

Nährstoffaustrags aus einer schmelzenden Schneedecke im Alptal (SZ) am Beispiel von Nitrat

PETER WALDNER, MARTIN SCHNEEBELI, HANS WUNDERLI
(reviewed paper)

Keywords: snow cover, nutrients, ionic pulses, melt release

Abstract: The evolution of the release of nutrients from a snow cover may determine their availability for plants. In this study the nitrate release from a snow pack on an open field in Alptal was measured in winter 1998/1999. With the diminution of the nitrate concentration in single snow layers a hint for ionic fractionation has been found. The measurements allowed to estimate the variability of the water and nitrate release from the snow pack. Its high spatial and temporal heterogeneity is explained with preferential flow paths of the melt water.

Abstract: Der zeitliche Verlauf des Austrags von in der Schneedecke enthaltenen Nährstoffen könnte deren Verfügbarkeit für die Pflanzen entscheidend beeinflussen. Im Winter 1998/1999 haben wir den Schmelzwasser- und Nitrataustrag aus einer Schneedecke auf einer offenen Fläche im Alptal gemessen. Mit Konzentrationsabnahmen in einzelnen Schichten über die Zeit wurde ein Hinweis auf ionische Fraktionierung gefunden. Die Messungen erlaubten die Variabilität des Wasser- und Nitrataustrags zu bestimmen. Die ausgeprägte Heterogenität wird auf präferentielle Fließwege des Schmelzwassers zurückgeführt.

1 Einführung

Was hat es mit dem früher öfter gehörten Ausdruck auf sich, "der Schnee sei der Dünger der armen Leute"? Im Rahmen eines Nationalfond-Projektes hatte die WSL letzten Winter (1998/1999) den Nährstoffaustrag aus der Schneedecke auf einer Streuwiese im Alptal gemessen.

Mit dem Niederschlag werden neben Wasser auch Inhaltsstoffe in ein Gebiet eingetragen. Diese Inhaltsstoffe stammen aus Staubpartikeln und Gasen in der Luft. Die Stoffmenge, die jährlich mit dem Niederschlag eingetragen werden, ist klein im Vergleich zur der im Gebiet vorhandenen Menge. Wie im folgenden Kapitel erläutert, ist der Niederschlag für die Vegetation vielerorts gleichwohl eine wichtige Quelle für spärlich vorhandene Nährstoffe.

1.1 Stoffflüsse in voralpinen Einzugsgebieten

Im Alptal (SZ) wird der Eintrag von gelösten anorganischen Stoffen mit dem Niederschlag und der Austrag mit dem Abfluss für kleine voralpine Einzugsgebiete seit Jahren gemessen. Diese hydrologischen Einzugsgebiete liegen auf 900 bis 1600 m ü. M. Sie sind teilweise bewaldet (20 bis 60%), enthalten Feuchtwiesen und werden daneben als Streuwiesen oder Weiden (Burch, 1994; Forster & Baumgartner, 1999; Stähli et al., in Vorbereitung).

Für viele chemische Elemente, wie beispielsweise Kalzium, ist der Austrag mit dem Abfluss ungleich viel grösser als der Eintrag mit dem Niederschlag (Keller et al., 1989). Diese Elemente werden in grösseren Mengen aus dem Boden und dem Boden und dem geologischen Untergrund ausgewaschen (Kalzium: Auflösung von Kalk). (Keller, 1990) zeigte, dass für sie in den Bächen ein Verdünnungseffekt beobachtet werden kann. Bei viel Niederschlag und demzufolge viel Abfluss sind die Konzentrationen in den Bächen klein.

Für gelösten anorganischen Stickstoff hingegen steht im Alptal einem mittleren jährlichen Eintrag (Nassdeposition) von rund 12 kg/ha (50% NO_3^- 50%

NH_4^+ ; Fischer-Riedmann, 1995) ein jährlicher Austrag von nur rund 6 kg/ha (95% NO_3^- , 5% NH_4^+ ; (Keller et al., 1986) gegenüber. Der Stickstoff der in den Boden gelangt, kann dort zurückgehalten, umgewandelt, von den Wurzeln aufgenommen oder durch Grobporen rasch in die Bäche weitergeleitet werden (Hagedorn, 1999). Für die Pflanzen im Alptal ist das Angebot an Stickstoff einer der Faktoren, welche ihr Wachstum limitieren (Schleppi et al., 1998b). Die Fichten (*Picea* *Abies*) der umliegenden Bestände weisen einen leichten Mangel an N in den Nadeln auf (Schleppi et al., 1999; Schleppi et al., 1998a). Es kann folglich angenommen werden, dass der Stoffhaushalt der Vegetation und der Mikroorganismen die Stickstoffflüsse in diesen Einzugsgebieten beeinflussen. In den Bächen werden bei Gewittern und während der Schneeschmelze immer wieder Ereignisse mit erhöhter Stickstofffracht beobachtet (Schleppi et al., 1998b). Ein grosser Teil des jährlichen Austrags kommt während derartiger Ereignisse zustande.

Unklar ist, ob diese erhöhten Stickstofffrachten in den Bächen durch raschen Stickstoffaustrags aus der Schneedecke oder ob sie durch Freisetzung von Nährstoffpools zustande kommen hatte unter einer saisonalen Schneedecke durch Abbau organischer Substanz entstehende Nährstoffpools gefunden.

Auf 17 Schneemessstrecken auf 1140 bis 1450 m ü. M. wurden im Alptal regelmässig das Wasseräquivalent und die Konzentrationen anorganischer Ionen im Schnee gemessen (Keller et al., 1984). Auf der Schneemessstrecke bei der Klimastation Erlenhöhe auf 1210 m ü. M. treten während des Winters mehrmals Schmelzperioden auf. (Keller et al., 1984) zeigte aufgrund der Messungen in den Wintern 1976 bis 1981, dass die im Schnee gespeicherte Menge an anorganischem Stickstoff Maximalwerte zwischen 1.2 und 3.3 kg/ha (Mittel 1.0 kg/ha) erreichen kann. Dies sind bloss ungefähr 10 % des jährlichen Eintrags. Vom jährlichen Eintrag von rund 12.5 kg/ha fallen etwa 5 kg/ha auf die Jahreshälfte November bis April.

Während der Schneeschmelze nimmt die Vegetation noch kaum Nährstoffe auf. Aus Laborversuchen wissen wir, dass der Nährstoffaustrag aus Schnee nicht proportional zum Schmelzwasseraustrag ist. Johannessen & Henriksen (1978) waren die ersten, welche ein in diesem Zusammenhang zentrales Phänomen beschrieben: Sie beobachteten beim Abschmelzen von Schnee in einer homogenen Schneesäule, dass die Nährstoffe zu Beginn des Schmelzen als eigentliche ionische Pulse ausgewaschen wurden. Dabei waren die Konzentrationen im ersten Schmelzwasser höher als die Konzentration der Schneesäule zu Beginn des Laborversuches. Dieser Prozess wird auch 'ionische Fraktionierung' genannt. Er geht darauf zurück, dass die Inhaltstoffe bei der Schneemetamorphose nicht gut ins Gitter neuer Eiskristalle integriert werden und sich in der Folge zunehmend nahe der Oberfläche der Schneekörner anreichern. Bei einer Schneeschmelze werden dann diese äusseren mit Inhaltstoffen angereicherten Schichten der Schneekörner zuerst flüssig.

Färbversuche des Eidg. Institutes für Schnee und Lawinenforschung (SLF) hatten gezeigt, dass das Schmelzwasser in einer geschichteten Schneedecke vorwiegend entlang präferentieller Fliesswege abfließt (Schneebeli, 1995). Der zeitliche Verlauf und die örtliche Verteilung des Nährstoffaustrags aus der Schneedecke ist massgebend dafür, ob die Vegetation das Nährstoffangebot auch aufnehmen kann.

Bessere Kenntnisse über den Nährstoffaustrag aus der Schneedecke sind für die weitere Forschung über die Prozesse des Nährstoffhaushaltes von Ökosystemen und für die Beurteilungen von globalen Veränderungen von Nutzen. Weiter können sie auch zur Verbesserung der Planung von Gewässerschutzmassnahmen dienen.

1.2 Rahmen und Ziele

Ziel des Projektes ist es den Nährstoffaustrag aus der Schneedecke quantifizieren zu können, wenn die Akkumulation der Schneedecke und die wichtigsten Einflussfaktoren (Meteorologie, Topographie, Waldstruktur) bekannt sind.

Die im folgenden beschriebenen Feldmessungen im Alptal im Winter 1998/1999 sind ein Bestandteil dieses Projektes. Sie hatten zum Ziel

- die örtliche und zeitliche Variabilität des Nährstoffaustrags aus der Schneedecke zu messen und zu quantifizieren
- Gesetzmässigkeiten im Verhalten der Wasser- und Stoffflüsse zu beobachten
- Einen Datensatz für spätere Modellierungen zu erheben

2 Methodik

Die Messungen wurden auf einer offenen Streuwiese im Alptal, im Einzugsgebiet des Erlenbachs, auf 1210 m ü. M. durchgeführt (Abbildung 1). Die gewählte Fläche ist ziemlich gleichmässig geneigt (10 bis 15%), gegen Südwesten ausgerichtet und hat einen feuchten Gleyboden.

Kernstück der Messeinrichtungen waren 32 Schmelzwassersammler, die aufgestellt wurden um die örtliche und zeitliche Verteilung des Schmelzwasseraustrages zum messen.

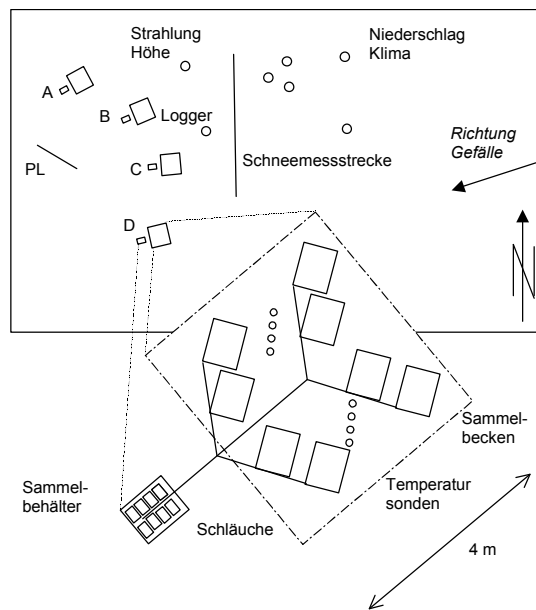


Abbildung 1: Plan der Messeinrichtungen im Winter 1998/1999 bei der Klimastation Erlenhöhe im Alptal (SZ) auf 1210 m ü. M. (A, B, C, D: Schmelzwassersammler-Flächen, PL: Schneeprofile, Strahlungs- und Schneehöhenmessgerät, Klimastation mit Niederschlagsammler).

Je 8 Sammler wurden auf 4 Flächen von 4x4 m verteilt. Als Sammler verwendeten wir Fotoschalen aus Polyethylen (40 x 70 cm, Randhöhe 7 cm), die vor dem ersten Schnee direkt auf den Boden gelegt wurden. Das von dieser Schale aufgefangene Schmelzwasser wurde durch einen Schlauch in einen Sammelbehälter geleitet. Um das Gefrieren des Schmelzwassers zu verhindern, wurde dieser Schlauch und der Sammelbehälter unter der Bodenoberfläche verlegt.

Um die Schmelzwassersammler herum wurden mit Ausnahme des 7 cm hohen Rand der Fotoschalen keine Hindernisse aufgestellt, die das Windfeld beim Einschneien beeinflusst hätten. Andererseits war damit die Fläche der Schneedecke, aus der das aufgefangene Schmelzwasser stammt, nicht genau bestimmt. Je nach internen Fliesswegen konnte über dem Sammler gebildetes Wasser weiter Hang abwärts über die Fotoschale hinweg geleitet werden oder Schmelzwasser von oberhalb in den Sammler gelangen. Die grosse Anzahl an Sammlern hatte einerseits zum Ziel, einen gut abgesicherten Mittelwert zu erhalten und andererseits die Variabilität, die durch diese Fliesswege zustande kommt, erfassen zu können.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Schneedecke, die zu diesem Schmelzwasseraustrag führten, wurden mit einer Kombination von manuell-destruktiven und kontinuierlichen nicht-destruktiven Methoden untersucht. Auf allen 4 Flächen der Schmelzwassersammler wurden je zwei Temperaturfühler auf 5 cm, 20 cm und 40 cm über dem Boden sowie auf der Bodenoberfläche angebracht, um die Temperaturvariation in der Schneedecke zu messen. Zwischen den Schmelzwassersammlern wurde nach grösseren Änderungen

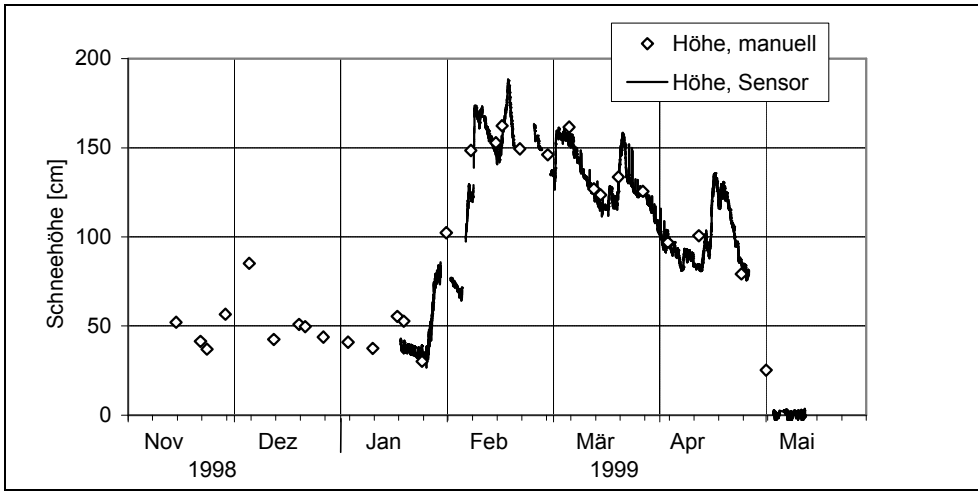


Abbildung 2: Wöchentlich manuell gemessene, sowie mit einem Ultraschallsensor automatisch registrierte Schneehöhe bei der Klimastation Erlenhöhe.

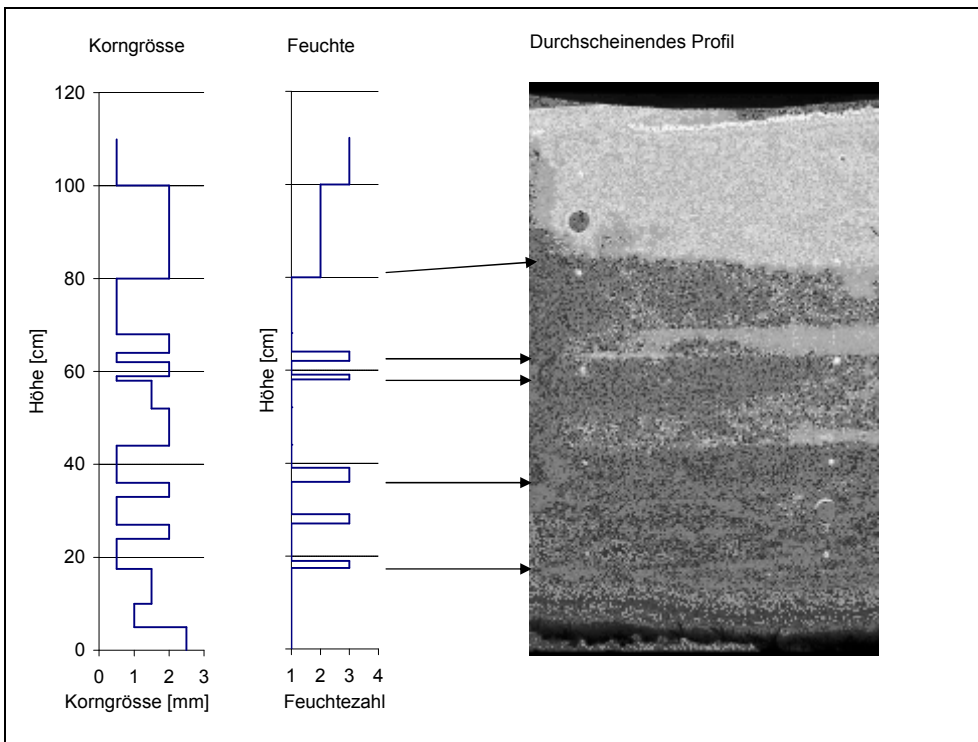


Abbildung 3: Die Schneedecke am 30. März 1999: Vertikales Profil der Korngrösse und der Feuchte und die Aufnahme eines durchscheinenden Schneeprofiles. Das durchscheinende Profil ist am Rand alle 20 cm mit Marken und zwei runden Flächen mit standardisierter Transparenz versehen.

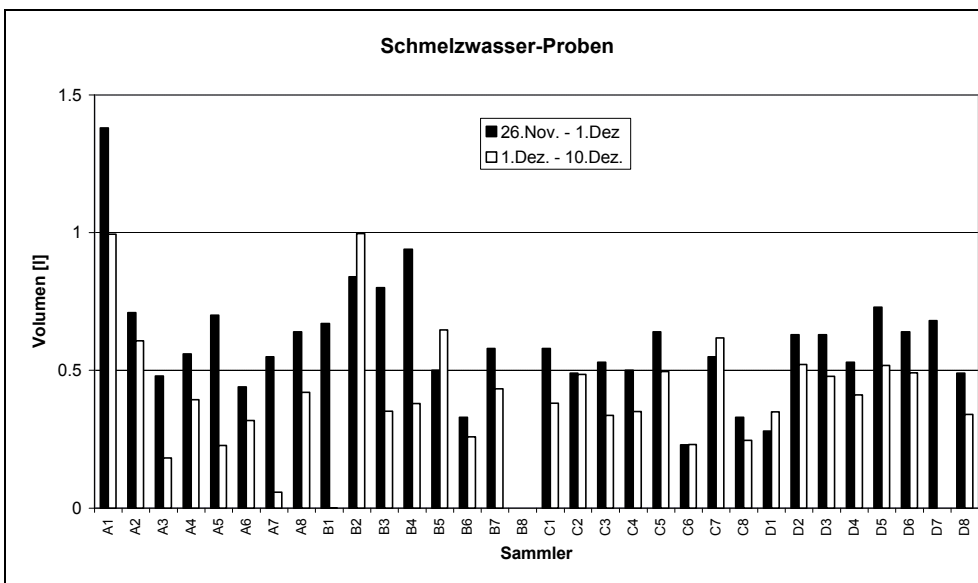


Abbildung 4: Volumen, das mit den Schmelzwassersammlern in den Sammelperioden zwischen dem 26. November und dem 1. Dezember bzw. dem 1. und 10. Dezember aufgefangen wurde.

des Schneedeckenaufbaus mit klassischen Schneeprofilen Informationen über die einzelnen Schichten aufgenommen. Neben der Begutachtung von Härte, Feuchte, Kornform und -grösse wurden schichtweise die Dichte gemessen und Proben für chemische Analysen genommen. Für Schneehöhe und Wasseräquivalent konnte auf die seit Jahren wöchentlich durchgeführten Messungen auf der angrenzenden Schneemesstrecke zurückgegriffen werden. Zusätzlich wurde ein Ultraschallsensor in Betrieb genommen, der den zeitlichen Verlauf der Schneehöhe im 10-Minuten-Schritt aufzeichnete.

Die meteorologische Daten wurden von der angrenzende Klimastation erhoben. Bei dieser Station wurden auch wöchentliche Sammelproben des Niederschlags genommen, aus denen die chemische Zusammensetzung des Niederschlags bestimmt werden konnte.

3 Resultate und Interpretation

Der Winter 1998/1999 war durch ein frühes Einschneien und extreme Neuschneemengen im Februar gekennzeichnet. Dies ist in dem in Abbildung 2 gezeigten Verlauf der Schneehöhe ersichtlich. Die Isolationswirkung der Schneedecke reichte aus um den Boden vor dem Einfrieren zu bewahren.

Im Verlaufe des Winters wurden 12 Schneeprofile aufgenommen. Durch die vielen Schneefälle konnte in den Profilen eine zunehmende Anzahl sichtbarer Schichten beobachtet werden.

Zumindest die obersten Temperatursensoren (40 cm über Boden) lagen bis zum ersten extremen Schneefall Ende Januar in dem Bereich der Schneedecke, der den täglichen Temperaturschwankungen unterworfen war. Anschliessend lag die Temperatur in den unteren Schichten meist um Null Grad. Grosse Temperaturgradienten konnten sich in der Schneedecke keine ausbilden und es fand in der Folge kaum aufbauende, sondern nur abbauende Schneemetamorphose statt. Dabei wurden die feinen Neuschneekristalle zu grösseren, runderen Kristallformen umgewandelt. Wiederholt kamen so feinkörnige Schichten auf grobkörnige zu liegen. Oberhalb dieser Grenzhorizonte konnten nasse Zonen von 1 bis 2 cm Dicke beobachtet werden (Abbildung 3). Diese feuchten Schichten sind auf den hydraulische Stauwirkung des Korngrössenübergangs von fein zu grob zurückzuführen. Der Effekt ist aus anderen porösen Medien bekannt und wurde im Schnee bereits von (Marsh & Woo, 1984) postuliert.

Die Gesamtheit der mit den Schmelzwassersammlern durchgeführten Messungen wiesen für die Wasserflüsse einen Median von 0.24 mm/Tag, ein erstes Quartil von 0.05 und drittes von 0.89 mm/Tag auf. Dabei konnten drei Typen (I, II, III) von Wasserflüssen unterschieden werden:

Typ I: Schon zu Beginn des Winters und auch bei tiefen Temperaturen unterschritt der eingefangene Wasserfluss einen relativ konstanten Minimalwert kaum. Diese *Grundschmelze* bestimmten wir auf rund 0.13 mm/Tag. Wir gehen davon aus, dass ein Wärmefluss vom Boden in den Schnee die unterste

Schneeschicht zum Schmelzen geführt und so diesen Wasserfluss produziert hat. Den 0.13 mm/Tag würde ein Wärmefluss von 0.5 Wm^{-2} entsprechen. Dies liegt im Bereich der Werte, wie sie für beispielsweise von Forster (1994) in hydrologische Modellen für Einzugsgebiete im Alptal verwendet werden.

Typ II: Der Wasserfluss der über diese Grundschmelze hinaus ging, war mit einer überaus grossen räumlichen und zeitlichen Variabilität behaftet. Dabei war der Zusammenhang zwischen Probenahmedatum (Witterung) und Volumen grösser (Korrelationskoeffizient $R^2=0.6$) als zwischen Sammlern (Mikrotopographie) und Volumen ($R^2=0.3$). Dies entspricht dem erwarteten Verhalten des durch die Schneedecke *durchsickernden oberflächlich gebildeten Schmelzwassers*. Die Variabilität kann auf die Ausbildung von präferentiellen Fliesswegen in der Schneedecke zurückgeführt werden. Die Tatsache, dass sich die relative Verteilung des Schmelzwasseranfalls auf die verschiedenen Sammler von Sammlerperiode zu Sammlerperiode verändert hat, bekräftigen die Vermutung von Schneebeli (1995), dass sich diese präferentiellen Fliesswege im Schnee mit der Zeit verlagern (Abbildung 4). Die Nitratkonzentration im Schmelzwassers dieses Types wies einen Mittelwert von 0.92 mg/l und eine Varianz von 0.38 mg/l auf.

Typ III: Elf Sammler erhielt im Verlaufe des Winters zeitweise grosse Wassermengen mit unerwartet hoher elektrischer Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeit ist abhängig von den im Wasser enthaltenen Ionen und für die meisten Ionen nahezu linear zu deren Konzentration. Elektrische Leitfähigkeiten, in der Grössenordnung in der sie in diesen Schmelzwassersammlern gemessen worden sind, weisen klar darauf hin, dass dieses Wasser vorher in Kontakt mit dem Boden war. Bei 55% der Proben war die elektrische Leitfähigkeit grösser als $50 \mu\text{S/cm}$ (bei 20°C). Diese Eigenschaften weisen auf eine wassergesättigten Zone in dieser Schneedecke hin, wie sie von Colbeck (1978) postuliert wurde.

Die Abbildung 6 zeigt als Beispiel vertikale Konzentrationsprofile von Nitrat in der Schneedecke zu verschiedenen Zeitpunkten. Die Konzentrationen in der obersten, neu gefallenen Schneeschicht (Abbildung 6) waren, wie erwartet, jeweils ungefähr gleich gross wie die Konzentration des in der vorangehenden Periode gefallenen Niederschlags (Abbildung 5). In den vertikalen Profilen der Schneedecke bewegten sich die Konzentrationspitzen abwärts als Folge der Setzung der Schneedecke. Weiter wurde besonders zwischen dem 27. und 29. April eine Abnahme der Konzentrationen in allen Schneeschichten beobachtet, was in der Abbildung einer Verschiebung der Kurve nach links entspricht. Dies ist nur möglich, falls ionische Fraktionierung stattgefunden hat.

Die Abbildung 7 zeigt die Nitratkonzentrationen in den Schmelzwasser-Sammelproben. Früh im Winter, besonders in der Probe vom 7. Januar, war die Konzentration höher als gegen Ende des Winters. Keller et al. (1984) hatte bereits eine Konzentrationsabnahme in der Schneedecke als Hinweis für ionische Fraktionierung gewertet.

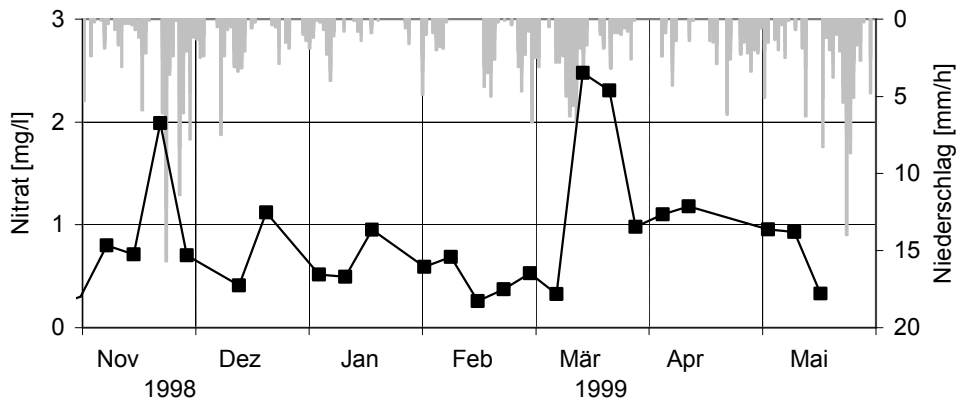


Abbildung 5: Niederschlag: Nitratkonzentration in wöchentlichen Sammelproben des Niederschlags und Stundenmittelwerte der Niederschlagsmenge.

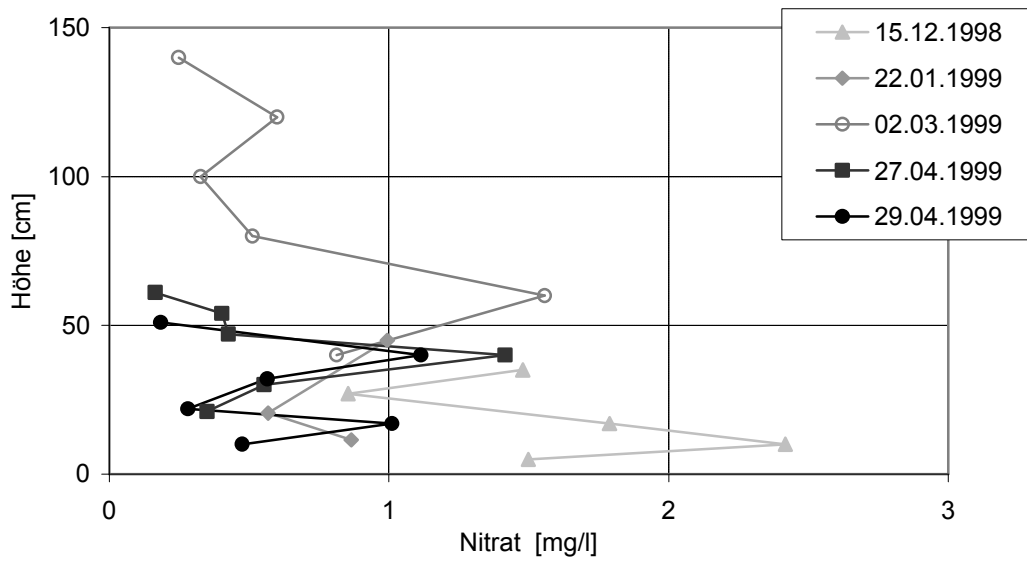


Abbildung 6: Schneedecke: Nitratkonzentrationen in Proben aus Schneeprofilen in unmittelbarer Nähe der Schmelzwassersammler.

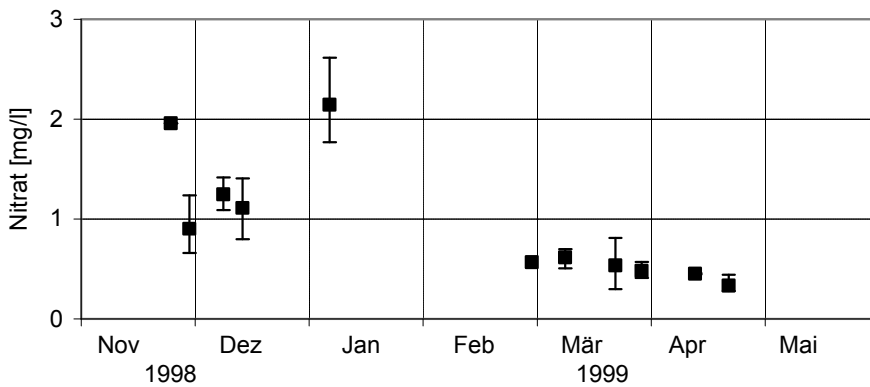


Abbildung 7: Schmelzwasser: Mittlere, maximale und minimale Nitratkonzentrationen in den auf der Fläche A ausgelegten Schmelzwassersammlern.

Der Verhältnis zwischen Konzentration im Schmelzwasser und derjenigen im Schnee das aus der ionischen Fraktionierung hervorgeht, konnte aufgrund der starken Schichtung nicht bestimmt werden. Hudson & Golding (1998) hatten in Feldversuchen für Nitrat Konzentrationsfaktoren von 1 bis 2 und Marsh & Pomeroy (1999) Faktoren von bis zu 11 gefunden.

4 Schlussfolgerungen

Mit dem gezeigten Messprogramm ist es uns gelungen, ein klareres Bild der Grössenordnung und der räumlichen Variabilität des Schmelz- und Nährstoffaustrags aus einer Schneedecke auf einer rund 40x20 m² grossen, offenen Fläche zu erhalten.

Die grosse örtliche Variabilität des gemessenen Schmelzwasseraustrags zeigt, dass sich präferentielle Fliesswege in der Schneedecke innerhalb kurzer Zeit ausbilden und räumlich verändern können. Abbauende Umwandlung der Schneekristalle führt häufig zu Korngrössenübergängen, die laterale Fliesswege auslösen können.

Laterale Fliesswege an der Bodenoberfläche sind bei schlecht drainierendem Untergrund offenbar für den Transport des Schmelzwassers über weite Strecken massgebend.

Die Nitratkonzentration nahm in der Schneedecke mehrmals in einzelnen Schichten zwischen zwei Probenahmen ab. Diese Konzentrationsabnahmen sind Hinweise darauf, dass der eingangs beschriebene Prozess der ionischen Fraktionierung in der untersuchten Schneedecke stattgefunden hat. Es wird vermutet, dass allenfalls dabei entstandene ionische Pulse durch die starke Schichtung der Schneedecke und durch überlagerte Prozesse gedämpft worden sind.

Schnee enthält relevante Mengen an Nährstoffen für die Pflanzen. Die Fliesswege und Metamorphose in der Schneedecke haben zur Folge, dass der Nährstoffaustrag aus der Schneedecke örtlich und zeitlich heterogen ist, wobei sich die Teilflächen mit überdurchschnittlichem Nährstoffaustrag mit der Zeit verlagern können. Bei Nutzungsformen ohne Bodenbearbeitungen trifft der heterogene Austrag aus dem Schnee oft auf einen heterogenen, von Grobporen durchzogenen Boden. Trotz Bedarf könnten dadurch relevante Mengen an aus der Schneedecke ausgetragenen Nährstoffen für Pflanzen nicht nutzbar sein. Die Verfügbarkeit für die Pflanzen hängt massgeblich davon ab, ob die Nährstoffe zum Zeitpunkt des Austrags bereits von den Pflanzen aufgenommen oder im Boden gespeichert werden können.

Zusammenfassung

Nitrat austrag aus einer Schneedecke im Alptal (SZ)

Inhaltstoffe im Niederschlag sind vielerorts eine relevante Quelle von spärlich vorhandenen Nährstoffen für die Vegetation. In voralpinen Einzugsgebieten im Alptal verlassen beispielsweise von den jährlich mit dem Niederschlag eingetragenen

rund 12 kg anorganischem Stickstoff pro ha, gerade ungefähr 4 kg ha⁻¹ das Gebiet mit dem Abfluss. Die Inhaltstoffe werden während des Winters in der Schneedecke gespeichert und erst während der Schneeschmelze wieder freigesetzt. Weiter hatten Laborversuche gezeigt, dass die ersten Schmelzwasseranteile eine höhere Konzentration enthalten als die Schneedecke. Der zeitliche Verlauf des Austrags könnte somit entscheidend sein, ob die Vegetation diese Stoffe aufnehmen kann.

Im Winter 1998/1999 wurde der Schmelzwasser- und Nährstoffaustrag einer Schneedecke auf einer offenen Fläche im Alptal gemessen. Dazu wurden 32 aus Fotoschalen bestehende Schmelzwassersammler auf den Boden ausgelegt. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Schneedecke wurden mit einer Kombination von manuellen und automatischen Messmethoden erfasst.

Der Winter 1998/1999 war durch extreme Schneefälle im Februar und eine zunehmende Anzahl von Schichten gekennzeichnet. Im Schneeprofil konnten wir nasse Zonen oberhalb Horizonten mit einem Korngrössenwechsel beobachten. In einzelnen Schichten konnte eine Abnahme der Konzentration zwischen zwei Probenahmen festgestellt werden, was auf ionische Fraktionierung hinweist.

Die grosse Variabilität der Wasserflüsse aus dem Schnee und des entsprechenden Stoffaustrags aus dem Schnee konnten mit diesen Messungen geschätzt werden.

Der Nährstoffaustrag aus der Schneedecke ist vermutlich aufgrund präferentieller vertikaler und lateraler Fliesswege des Schmelzwassers im Schnee zeitlich und örtlich heterogen.

Summary

Nitrate release of a snow pack in Alptal (SZ)

Chemical species in precipitation are a relevant source of sparse nutrient for the vegetation. E. g., from the yearly input by precipitation of 12 kg ha⁻¹ inorganic nitrogen into subalpine catchments in Alptal, only about 4 kg ha⁻¹ leave the catchment with the runoff. These ions are stored in the snow cover during winter and released during snow melt. Further, laboratory experiments have shown, that the first portion of melt contains higher ionic concentrations than the snow pack. The benefit for plants may thus depend on the temporal and spatial distribution of this release.

In the winter 1998/1999 measurements of the melt water and nutrient release of a snow cover were carried out on an open field in Alptal. A network of 32 melt water samplers, consisting of small basins (0.4 m x 0.7 m) had been put on the ground to quantify the variability of the snow melt release. The chemical and physical properties of the snow cover and precipitation were measured with a combination of manual and automatic methods.

The winter 1998/1999 was characterized by an extreme amount of snow fall in February and an increasing number of structure elements. In the snow profile we observed wet zones just above grain size

change with manual snow profile examination. A diminution of the concentrations has been detected. This is a clear hint for ionic fractionation.

We were able to quantify the considerable variability of the water flow paths occurring in the snow pack, as well as of the solute discharge. The melt water samplers caught three types of water flow: a rather constant base melt flow caused by a heat flux from the soil into the snow pack, a spatially and temporally highly variable surface melt percolation and a lateral flow of water that had been in contact with the soil.

The nutrient release of the snow cover is spatially and temporary heterogeneous. This heterogeneity is most probably due to preferential vertical and lateral flow paths in the snow.

Résumé

L'apport de nitrate provenant d'une couverture neigeuse en Alptal (SZ)

Les précipitations contiennent des substances dissoutes qui constituent, en maints endroits pauvres en nutriments, une source importante de minéraux. Dans les bassins versants de l'Alptal, par exemple, environ 4 kg ha⁻¹ d'azote inorganique, sur les 12 kg ha⁻¹ annuellement apportés par les précipitations, quittent le bassin par ruissellement. En hiver le contenu ionique s'accumule dans la neige et n'est libéré qu'au cours de la fonte des neiges. Par ailleurs, des essais en laboratoire ont montré que la concentration ionique de la première eau de fonte est plus élevée que celle de la couverture neigeuse (phénomène appelé fractionnement ionique). L'évolution de la libération des ions est ainsi déterminante quant à la quantité de nutriments que la végétation peut assimiler.

Au cours de l'hiver 1998/1999, dans l'Alptal, le contenu ionique de l'eau de fonte d'une parcelle-test à découvert et enneigée a été mesuré. Pour ce faire, un collecteur constitué de 32 récipients (bacs de développement photographique) a été installé. Les mesures des propriétés chimiques et physiques de la neige furent relevées par des méthodes en partie manuelles et en partie automatiques.

L'hiver 1998/1999 fut caractérisé par d'abondantes chutes de neige en février. Les profils de neige présentaient la caractéristique suivante: la neige à la limite inférieure de certaines couches était humide et présentait une transition dans la taille des grains. Une analyse par couches de neige confirma le phénomène de fractionnement ionique, étant donné que la concentration ionique entre deux prélèvements avait diminué. La grande variabilité des quantités d'eau de fonte et de leurs concentrations ioniques a pu être estimée.

De plus, nous avons pu constater que l'apport ionique provenant de la couverture neigeuse est temporellement et spatialement hétérogène, ce qui peut probablement être imputé à l'existence de chemins d'écoulement verticaux et latéraux préférentiels.

Literaturverzeichnis

- Burch, H., 1994: Ein Rückblick auf die hydrologische Forschung der WSL im Alptal. In: Gedenkschrift Hans M. Keller. Hrsg.: Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL), Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Vol. 35: 18-32.
- Colbeck, S. C., 1978: The physical aspects of water flow through snow. *Advances in Hydrosociences*: 165-206.
- Fischer-Riedmann, A., 1995: Atmosphärische Konzentration und Deposition von N-haltigen Komponenten im Wald des hydrologischen Einzugsgebietes Erlenbach im Alptal. Zürich, Diss. ETH Nr. 11035, 242 p.
- Forster, F., 1994: Die Simulation hydrologischer Prozesse mit dem Modell BROOK - eine Analyse. In: *Hydrologie kleiner Einzugsgebiete*. In: Gedenkschrift Hans M. Keller. Hrsg.: Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL), Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Vol. 35: 195-208.
- Forster, F. & Baumgartner, W., 1999: Bestimmung seltener Starkniederschläge kurzer Dauer - Fallbeispiele im Vergleich mit den schweizerischen Starkniederschlagskarten. *Schweizerische Zeitschrift des Forstwesens*, 150 (6): 209-218.
- Hagedorn, F., 1999: Transformation and transport of nitrogen in a subalpine catchment - effects of elevated nitrogen deposition. Zürich, Diss. ETH Nr. 13167, 145 p.
- Hudson, R. O. & Golding, D. L., 1998: Snowpack chemistry during snow accumulation and melt in mature subalpine forest and regenerating clear-cut in the southern interior of BC. *Nordic Hydrology*, 29 (3): 221-244.
- Johannessen, M. & Henriksen, A., 1978: Chemistry of snow meltwater: changes in concentration during melting. *Water Resources Research*, 14: 615-619.
- Keller, H. M., 1990: Extreme conditions of streamwater chemistry in a partly forested mountainous region. In: *Hydrology in Mountainous Regions. I - Hydrological Measurements; the Water Cycle*, Lausanne. IAHS Publ. Nr. 193: 477-486.
- Keller, H. M., Forster, F., & Weibel, P., 1986: Factors affecting stream water quality: results of a 15-year monitoring study in the Swiss prealps. IAHS Publ. Nr. 157: 215-225.
- Keller, H. M., Burch, H. & Guecheva, M., 1989: The variability of water quality in a small mountainous region. IAHS Publ. Nr. 182: 305-312.
- Keller, H. M., Strobel, T. & Forster, F., 1984: Der Gehalt gelöster Stoffe in der Schneedecke eines schweizerischen Voralpentales. In: H.-M. Brecht: *Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa*, Hannover, München. 12.-15. März 1984, In: *Mitteilungen, DVWK-Mitteilungen*, Bonn. Vol. 7: 545-558.
- Marsh, P. & Pomeroy, J. W., 1999: Spatial and temporal variations in snowmelt runoff chemistry,

- Northwest Territories, Canada. *Water Resources Research*, 35(5): 1559-1567.
- Marsh, P. & Woo, M.-K., 1984: Wetting front advance and freezing of meltwater within a snow cover: 1. observations in the Canadian Arctic. *Water Resources Research*, 20 (12): 1853-1864.
- Schleppi, P., Bucher-Wallin, I., Siegwolf, R., Saurer, M., Muller, N. & Bucher, J. B., 1999: Simulation of increased nitrogen deposition to a montane forest ecosystem: partitioning of the added 15N. *Water, Air and Soil Pollution*, 116: 129-134.
- Schleppi, P., Muller, N. & Bucher, J. B., 1998a: Dépôts atmosphériques d'azote et charges critiques: résultats d'une expérience d'addition dans la vallée d'Alptal (SZ). *Journal Forestière Suisse*, 149: 1-15.
- Schleppi, P., Muller, N., Feyen, H., Papritz, A., Bucher, J. B. & Flühler, H., 1998b: nitrogen addition experiment at Alptal, Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 101: 177-185.
- Schneebeili, M., 1995: Development and stability of preferential flow paths in a layered snowpack. In: K. A. Tonnessen, M. W. Williams & M. Tranter: *Biogeochemistry of seasonally snow-covered catchments*, Boulder. IAHS Publ. Nr. 228: 89-95.
- Stähli, M., Papritz, A., Waldner, P. & Forster, F., in Vorbereitung: Die Schneedeckenverteilung im voralpinen Einzugsgebiet Erlenbach während des Rekordwinters 1998/99. *Schweizerische Forstzeitung*.
- Williams, M. W., Brooks, P. D., Mosier, A. R. & Tonnessen, K. A., 1996: Mineral N transformations in and under seasonal snow in a high-elevation catchment, Rocky Mountains, USA. *Water Resources Research*, 32: 3175-3185.

Abbildungen gedruckt mit Unterstützung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 8903 Birmensdorf

Verfasser:

PETER WALDNER, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf;

MARTIN SCHNEEBELI, Eidg. Institut für Schnee und Lawinenforschung, Flüelastrasse 11, 7260 Davos-Dorf;

HANS WUNDERLI, Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich, Grabenstrasse 11a, 8952 Schlieren.