

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 151 (2000)

Heft: 6

Artikel: Nährstoffaustrag aus einer schmelzenden Schneedecke im Alptal (Kanton Schwyz) am Beispiel von Nitrat

Autor: Waldner, Peter / Schneebeili, Martin / Wunderli, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098356>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Nährstoffaustrag aus einer schmelzenden Schneedecke im Alptal (Kanton Schwyz) am Beispiel von Nitrat

PETER WALDNER, MARTIN SCHNEEBELI und HANS WUNDERLI

Keywords: Snow cover; nutrients; ionic pulses; melt release; Alptal; canton of Schwyz, Switzerland. FDK 114.2 : 116.12 : (494.11)

Abstract: The evolution of the release of nutrients from a snow cover may essentially determine their availability for plants. In this study, the nitrate release from a snow pack on an open field in Alptal (canton of Schwyz, Switzerland) was measured in the winter of 1998/99. 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 1998/99 haben wir den Schmelzwasser- und Nitrataustrag aus einer Schneedecke auf einer offenen Fläche im Alptal (Kanton Schwyz) 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 im Winter 1998/99 den Nährstoffaustrag aus der Schneedecke auf einer Streuwiese im Alptal (Kanton Schwyz) gemessen. Mit dem Niederschlag werden neben Wasser auch Inhaltstoffe in ein Gebiet eingetragen. Diese Inhaltstoffe stammen aus Staubpartikeln und Gasen in der Luft. Die Stoffmenge, die jährlich mit dem Niederschlag eingetragen wird, 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 (Kanton Schwyz) 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 und BAUMGARTNER, 1999; STÄHLI *et al.*, 2000) genutzt.

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 geologischen Untergrund ausgewaschen (Kalzium: Auflösung von Kalk). KELLER (1990) zeigte, dass für diese Elemente 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 Stickstoffaustrag aus der Schneedecke oder aber durch Freisetzung von Nährstoffpools zustande kommen (WILLIAMS *et al.*, 1996).

Auf 17 Schneemessstrecken auf 1140 bis 1450 m ü. M. wurden im Alptal regelmässig die Wasseräquivalente 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) zeigten auf Grund 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 etwa 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 und 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 Schmelzens 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 wird darauf zurückgeführt, 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) haben 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 Beurteilung 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, 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 und
- 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.

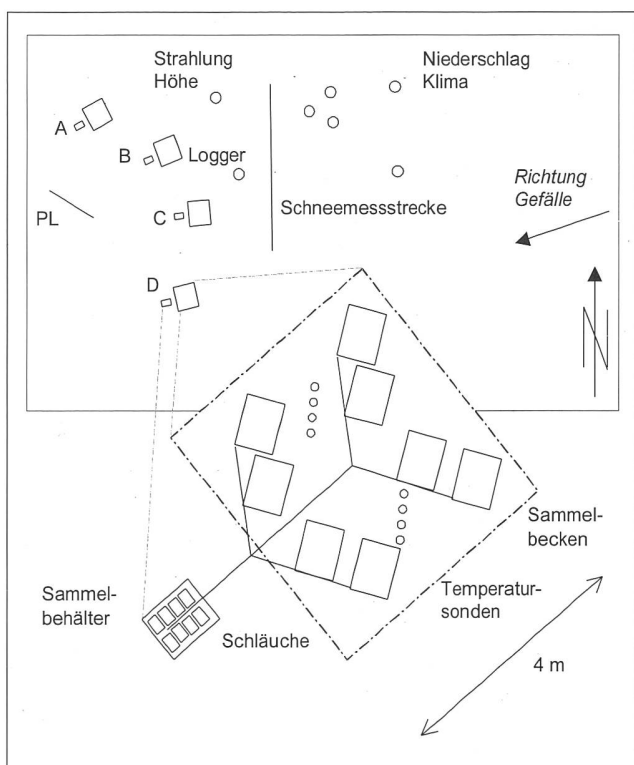


Abbildung 1: Plan der Messeinrichtungen im Winter 1998/99 bei der Klimastation Erlenhöhe im Alptal (Kanton Schwyz) auf 1210 m ü. M. (A, B, C, D: Schmelzwassersammler-Flächen, PL: Schneeprofile, Strahlungs- und Schneehöhenmessgerät, Klimastation mit Niederschlagsammler).

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

Je acht Sammler wurden auf vier Flächen von 4 x 4 m verteilt. Als Sammler verwendeten wir Photoschalen 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 Randes der Photoschalen keine Hindernisse aufgestellt, die das Windfeld beim Einschneien beeinflussen 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 hangabwärts über die Photoschale 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 durch diese Fliesswege zustande kommende Variabilität 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 vier 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 wurden nach grösseren Änderungen 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 Schneemessstrecke zurückgegriffen werden. Zusätzlich wurde ein Ultraschallsensor in Betrieb genommen, der den zeitlichen Verlauf der Schneehöhe in 10-Minuten-Schritten aufzeichnete.

Die meteorologischen Daten wurden von der angrenzenden 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 1998/99 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 zwölf 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 demjenigen Bereich der Schneedecke, der den täglichen Temperaturschwankungen unterworfen war. Anschliessend lag die Temperatur in den unteren Schichten meist um 0 °C. Grosse Temperaturgradienten konnten sich in der Schneedecke nicht ausbilden, und es fand in der Folge kaum auf-

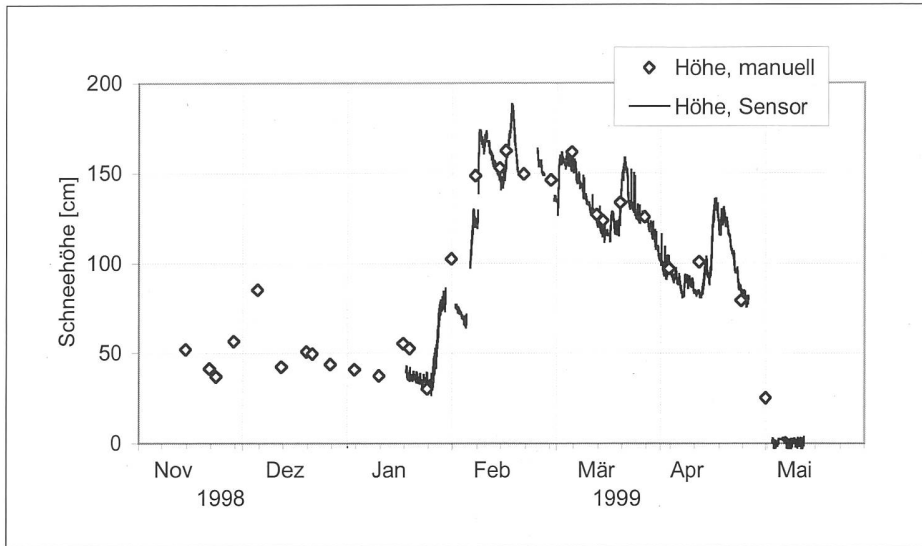


Abbildung 2: Wöchentlich manuell gemessene sowie mit einem Ultraschallsensor automatisch registrierte Schneehöhe bei der Klimastation Erlenhöhe.

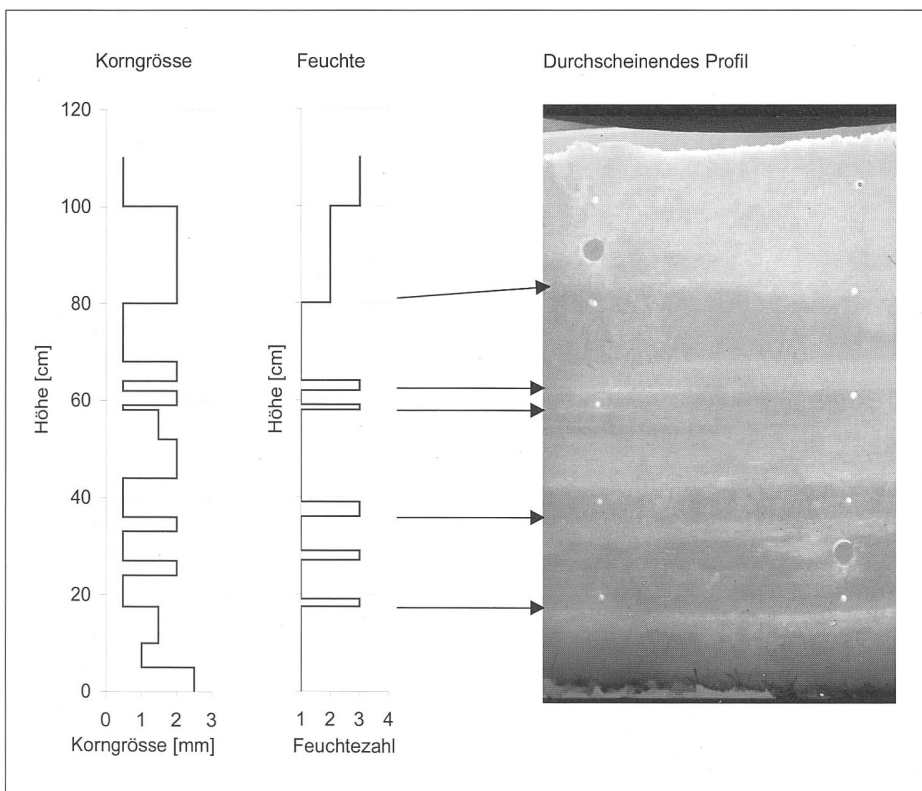


Abbildung 3: Die Schneedecke am 30. März 1999: Vertikales Profil der Korngrösse und der Feuchte und die Aufnahme eines durchscheinenden Schneeprofiles. Das durchscheinende Profil ist am Rand alle 20 cm mit Marken und zwei runden Flächen mit standardisierter Transparenz versehen.

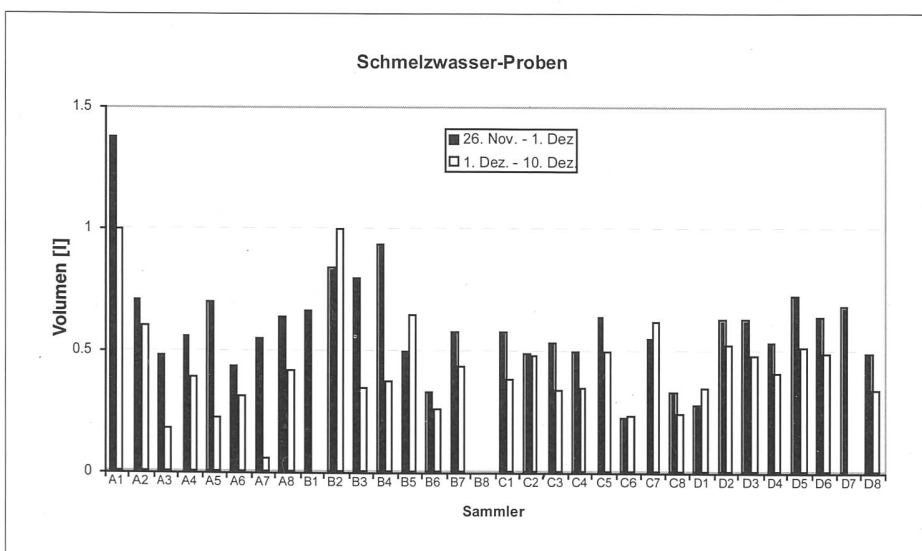


Abbildung 4: Volumen, das mit den Schmelzwassersammlern in den Sammelperioden zwischen dem 26. November und dem 1. Dezember bzw. dem 1. und 10. Dezember aufgefangen wurde.

bauende, 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 hydraulischen Stauereffekt des Korngrößenübergangs von fein zu grob zurückzuführen. Der Effekt ist aus anderen porösen Medien bekannt und wurde im Schnee bereits von MARSH und 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 Grundschnmelze 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 $0,5 \text{ Wm}^{-2}$ entsprechen. Dies liegt im Bereich der Werte, wie sie für beispielsweise von FORSTER (1994) in hydrologischen Modellen für Einzugsgebiete im Alptal verwendet werden.

Typ II:

Der Wasserfluss, der über diese Grundschnmelze hinaus ging, war mit einer überaus grossen räumlichen und zeitlichen Variabilität behaftet. Dabei war der Zusammenhang zwischen Probenahme-Datum (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, bekräftigt die Vermutung von SCHNEEBELI (1995), dass sich diese präferentiellen Fliesswege im Schnee mit der Zeit verlagern (*Abbildung 4*). Die Nitratkonzentration im Schmelzwasser dieses Types wies einen Mittelwert von 0,92 mg/l und eine Varianz von 0,38 mg/l auf.

Typ III:

Elf Sammler erhielten 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 wassergesättigte 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 (*Abbil-*

dung 5). In den vertikalen Profilen der Schneedecke bewegten sich die Konzentrationsspitzen als Folge der Setzung der Schneedecke abwärts. Weiter wurde besonders zwischen dem 27. und 29. April eine Abnahme der Konzentrationen in allen Schneeschichten beobachtet, was in der *Abbildung 5* 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) hatten bereits eine Konzentrationsabnahme in der Schneedecke als Hinweis für ionische Fraktionierung gewertet.

Das Verhältnis zwischen der Konzentration im Schmelzwasser und derjenigen im Schnee, das aus der ionischen Fraktionierung hervorgeht, konnte auf Grund der starken Schichtung nicht bestimmt werden. HUDSON und GOLDING (1998) hatten in Feldversuchen für Nitrat Konzentrationsfaktoren von 1 bis 2 und MARSH und 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 $40 \times 20 \text{ m}^2$ 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. Die 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 Pflanzennährstoffen. Die Fliesswege und die 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.

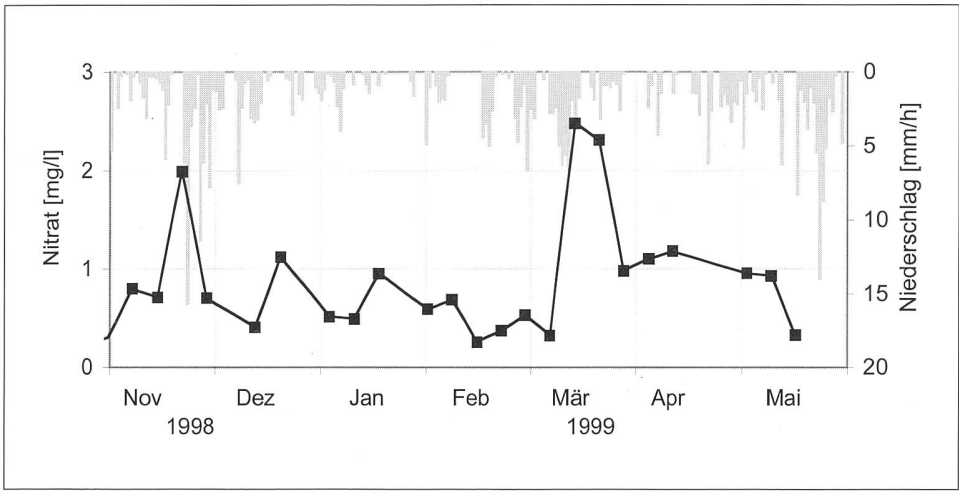


Abbildung 5: Niederschlag: Nitratkonzentration in wöchentlichen Sammelproben des Niederschlags und Stundenmittelwerte der Niederschlagsmenge.

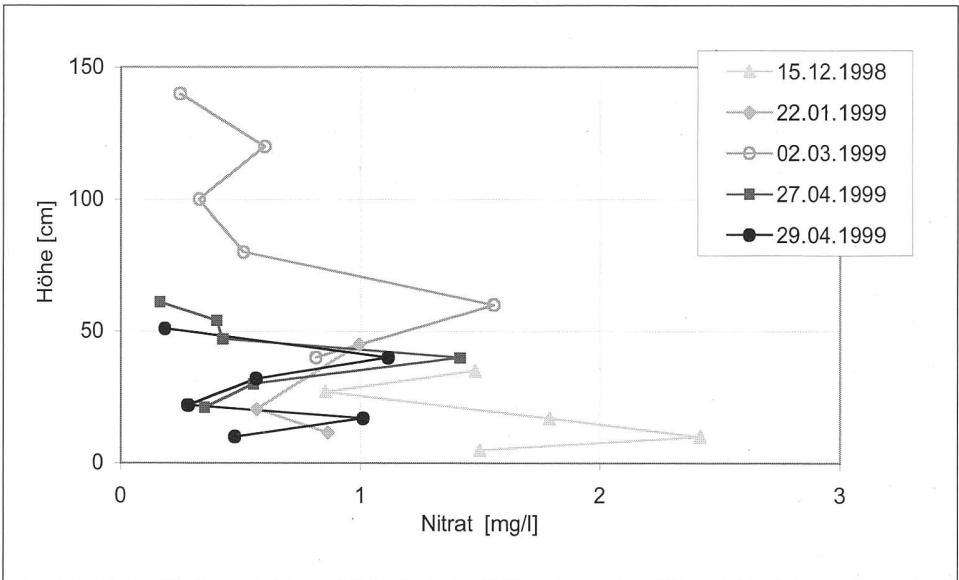


Abbildung 6: Schneedecke: Nitratkonzentrationen in Proben aus Schneeprofilen in unmittelbarer Nähe der Schmelzwassersammler.

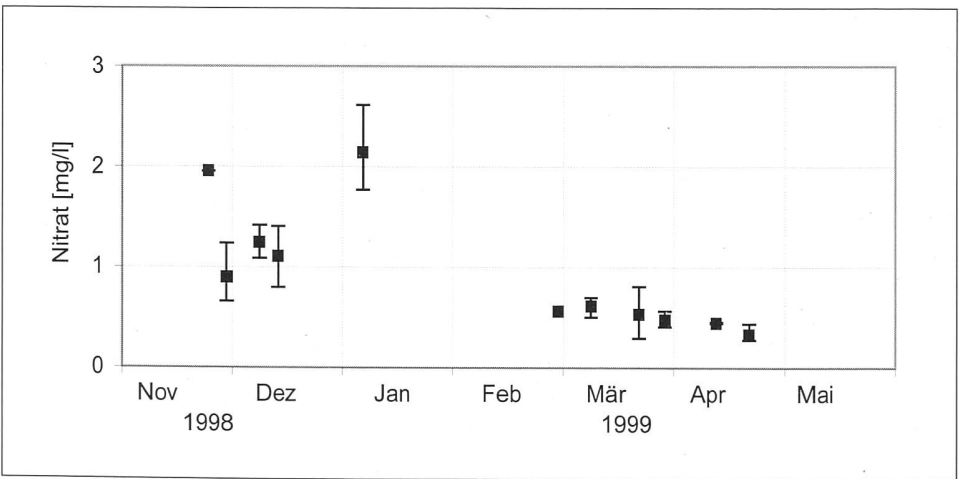


Abbildung 7: Schmelzwasser: Mittlere, maximale und minimale Nitratkonzentrationen in den auf der Fläche A ausgelegten Schmelzwassersammlern.

Zusammenfassung

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 etwa 4 kg/ha 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 1998/99 wurde der Schmelzwasser- und Nährstoffaustrag einer Schneedecke auf einer offenen Fläche im Alptal gemessen. Dazu wurden 32 aus Photoschalen 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 1998/99 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 auf Grund präferentieller vertikaler und lateraler Fließwege des Schmelzwassers im Schnee zeitlich und örtlich heterogen.

Résumé

L'apport de nitrate provenant de la fonte des neiges dans l'Alptal (canton de Schwyz)

Les précipitations contiennent des substances dissoutes qui constituent, en maints endroits pauvres en éléments nutritifs, un apport important pour la végétation. Dans les bassins versants de l'Alptal, par exemple, près de 4 kg ha⁻¹ d'azote inorganique, sur les 12 kg ha⁻¹ que les précipitations apportent par année, 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 des premières eaux de la fonte des neiges est plus élevée que celle de la couverture de neige (phénomène appelé fractionnement ionique). L'évolution de la libération des ions est par conséquent déterminante pour la quantité d'éléments nutritifs que la végétation peut assimiler.

Au cours de l'hiver 1998/99, on a mesuré, dans l'Alptal, le contenu ionique de l'eau provenant de la fonte des neiges d'une placette d'essai à découvert et enneigée. Pour ce faire, on a installé, à même le sol, 32 collecteurs (bacs de développement photographique). Des méthodes en partie manuelles et automatiques ont permis de relever les propriétés chimiques et physiques de la neige.

L'hiver 1998/99 fut caractérisé en février par d'abondantes chutes de neige et une augmentation des couches. 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 avait diminué entre deux prélèvements. Ces mesures ont permis d'esti-

mer la grande variabilité qui caractérise les quantités d'eau provenant de la fonte des neiges et leur concentration ionique.

En raison de l'écoulement vertical et latéral, l'apport ionique provenant de la couverture de neige est probablement hétérogène dans le temps et l'espace.

Summary

Nitrate Release from a Melting Snow Pack in Alptal (Canton of Schwyz, Switzerland)

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 sub-alpine 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 of 1998/99, measurements of the melt water and nutrient release from a snow cover were carried out on an open field in Alptal. A network of 32 melt water samplers, consisting of small basins, 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 of 1998/99 was characterised 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 from the snow cover is spatially and temporary heterogeneous. This heterogeneity is most probably due to preferential vertical and lateral flow paths in the snow.

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), Eidgenössische 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 S.
- FORSTER, F., 1994: Die Simulation hydrologischer Prozesse mit dem Modell Brook – eine Analyse. In: Gedenkschrift Hans M. Keller. Hrsg.: Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL), Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Vol. 35: 195–208.
- FORSTER, F. und BAUMGARTNER, W., 1999: Bestimmung seltener Starkniederschläge kurzer Dauer – Fallbeispiele im Vergleich mit

- den schweizerischen Starkniederschlagskarten. Schweiz. Z. Forstwes. 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 S.
- HUDSON, R.O. und 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. und HENRIKSEN, A., 1978: Chemistry of snow melt-water: 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. und 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. und GUECHEVA, M., 1989: The variability of water quality in a small mountainous region. IAHS Publ. Nr. 182: 305–312.
- KELLER, H.M., STROBEL, T. und 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. und POMEROY, J.W., 1999: Spatial and temporal variations in snowmelt runoff chemistry, Northwest Territories, Canada. *Water Resources Research* 35 (5) 1559–1567.
- MARSH, P. und 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. und 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. und BUCHER, J.B., 1998a: Dépôts atmosphériques d'azote et charges critiques: résultats d'une expérience d'addition dans la vallée d'Alptal (SZ). *Schweiz. Z. Forstwes.* 149, 1: 1–15.
- SCHLEPPI, P., MULLER, N., FEYEN, H., PAPRITZ, A., BUCHER, J.B. und FLÜHLER, H., 1998b: Nitrogen addition experiment at Alptal, Switzerland. *Forest Ecology and Management* 101: 177–185.
- SCHNEEBELI, M., 1995: Development and stability of preferential flow paths in a layered snowpack. In: K.A. Tonnessen, M.W. Williams und M. Tranter: *Biogeochemistry of seasonally snow-covered catchments*, Boulder. IAHS Publ. Nr. 228: 89–95.
- STÄHLI, M., PAPRITZ, A., WALDNER, P. und FORSTER, F., 2000: Die Schneedeckenverteilung in einem voralpinen Einzugsgebiet und ihre Bedeutung für den Schneeschmelzabfluss. *Schweiz. Z. Forstwes.* 151, 6 (im Druck).
- WILLIAMS, M.W., BROOKS, P.D., MOSIER, A.R. und 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 WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf;
 MARTIN SCHNEEBELI, Eidg. Institut für Schnee und Lawinenforschung (SLF), Flüelastrasse 11, 7260 Davos-Dorf;
 HANS WUNDERLI, Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich, Grabenstrasse 11a, 8952 Schlieren.