

Lehr- und Forschungszentrum
Landwirtschaft
www.raumberg-gumpenstein.at

Abschlussbericht GwSchnee

Projekt Nr./Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 100566

**Einfluss von Schneeakkumulation und -schmelze auf die
Grundwasserneubildung am Gebirgsstandort Stoderzinken**
Impact of snow accumulation and melting on groundwater recharge
at the mountain site Stoderzinken

Projektleitung:

Dr. Markus Herndl, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Dr. Andreas Bohner, LFZ Raumberg-Gumpenstein
Matthias Kandolf, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Univ.-Prof.Dr. Ulrich Strasser, Karl-Franzens-Universität Graz
Dr. Thomas Marke, Karl-Franzens-Universität Graz

Projektlaufzeit:

2009 - 2011



lebensministerium.at

www.raumberg-gumpenstein.at

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary	4
Einleitung	5
Material und Methoden	6
UNTERSUCHUNGSSTANDORT	6
TECHNISCHE AUSSTATTUNG DER LYSIMETERSTATION	6
MESSTECHNIK ZUR QUANTIFIZIERUNG VON SCHNEEWASSERÄQUIVALENT	7
<i>Schneekissen</i>	7
<i>Stechzylinder</i>	7
BESTIMMUNG DES SCHNEEWASSERÄQUIVALENTS	8
SCHNEEDECKENMODELL	9
TRACER VERSUCH	9
Ergebnisse und Diskussion	11
NIEDERSCHLAGSERMITTLUNG IM WINTER	11
VERGLEICH VON NIEDERSCHLAG UND SICKERWASSER AM UNTERSUCHUNGSSTANDORT	12
VERLAGERUNG VON SCHNEE AM UNTERSUCHUNGSSTANDORT	13
SCHNEEWASSERÄQUIVALENT AM UNTERSUCHUNGSSTANDORT	15
VERLAGERUNG VON SCHNEESCHMELZWASSER AM UNTERSUCHUNGSSTANDORT	17
Schlussfolgerungen	19
Literatur	20

Zusammenfassung

Die Kenntnis wie viel Wassermenge in einer Schneedecke gebunden ist (Schneewasseräquivalent), wird vorwiegend zur Vorhersage des Lawinen- und Hochwassergefahrenpotentials herangezogen. Diese Kenngröße, kann zusammen mit Auskünften über Relief, Windverfrachtung wichtige Informationen hinsichtlich Einfluss von Schneeakkumulation und -schmelze auf die Grundwasserneubildung liefern. Ergebnisse aus früheren Untersuchungen zeigen im Untersuchungsgebiet an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m) eine doch recht beträchtliche Diskrepanz zwischen Niederschlägen im Herbst und Winter und den anfallenden Sickerwassermengen. Es konnte bisher auf diesem Standort keine Beziehung zwischen Winterniederschlägen, Schneewasseräquivalent und Schmelzwasser bzw. Grundwasserneubildung während der Schmelzperiode hergestellt werden. In der vorliegenden Studie soll durch Messungen auf einem Schneekissen auf einem Lysimeter und durch computergestützte Modellierung ein verbessertes Verständnis von Schneeakkumulation und -schmelzprozessen hergestellt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass das Niederschlagsmesssystem „Pluvio“ vergleichsweise reproduzierbarere Niederschlagsmesswerte als das System „Parsivel“ liefert und daher für die weiteren Analysen über Schneeakkumulation und -schmelze herangezogen wurde. In der Gegenüberstellung der Resultate mit Modellierungsergebnissen, weist aber auch das System „Pluvio“ eine Unterschätzung des Niederschlages im Vergleich mit gemessenen Werten auf. Ergebnisse hinsichtlich lateraler Umverlagerung von Schnee und Schneeschmelzwasser, stellen Relief und Wind als starke Einflussgrößen dar. Das Schneewasseräquivalent am Untersuchungsstandort wurde durch mehrere Messmethoden ermittelt. Im parallelen Vergleich von Stechzylinder, Schneekissen und Computermodell zeigt sich, dass sowohl Schneehöhe als auch Schneewasseräquivalent deutlich voneinander abweichen. Diese Tatsache ist ein erneuter Hinweis, dass Schneedrift und Relief eine wichtige Rolle bei der Abschätzung von Schneehöhe und Schneewasseräquivalent sind. Um die Umverlagerung von Schneeschmelzwasser testen zu können, wurde ein Tracer-Versuch mit Lebensmittelfarbe durchgeführt. Das Ergebnis dieses Versuches weist eine klare laterale Verlagerung von Schneeschmelzwasser in der Abschmelzphase auf einer „Harschschicht“ aus. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Einflussgrößen auf die Diskrepanz zwischen Niederschlägen im Winter und den anfallenden Sickerwassermengen durch diese Studie bekannt und teilweise quantifiziert wurden. Nichts desto trotz, bedarf es weiterer Untersuchungen die diese Ergebnisse erhärten und die Einflussgrößen weiter quantifizieren.

Summary

The knowledge, how much water is bound in a snow cover (snow water equivalent) is predominantly used for the forecast of avalanche and flood risk potential. This parameter, can together with information about relief and wind drift supply important information regarding influence of snow accumulation and -melt on the ground-water formation. Results from earlier investigations, show in the investigation area at the west side of the Stoderzinken Mountain (1830 m), a nevertheless quite considerable discrepancy between precipitation in autumn and winter and the resulting seepage water quantities. So far, no relationship between winter precipitation, snow water equivalent and melting water or ground-water formation could be found during the snow melting period at this location. In the present study, an improved understanding of snow accumulation and -melting processes by measurements on a snow pillow, on a lysimeter and by computer-assisted modeling was established. The results show the fact that the precipitation measuring system „Pluvio “ supplies comparatively more reproducible precipitation values than the system „Parsivel “ and therefore those results were used for further analyses regarding snow accumulation and – melting. In comparison with modeling results, also the system „Pluvio“ exhibits an underestimation of the measured precipitation values. Results regarding lateral shift of snow and snow melting water, represent relief and wind as strong cause variables. The snow water equivalent at the investigation area was determined by several measuring methods. In comparison of core cutter, snow pillow and modeling results it shows up that both snow height and snow water equivalent deviate clearly from each other. This fact is a renewed reference that snow drift and relief play an important role on the estimation of snow height and snow water equivalent. In order to be able to test the shift of snow melting water, a tracer experiment with food color was accomplished. The result of this experiment proves a clear lateral misalignment of snow melting water in the melting phase on a „harsh layer “. It can be summarized that the discrepancy between precipitation in winter and the resulting quantities of seepage water was partly measured and quantified by this study. Nonetheless, it requires further investigations that confirm these results and the measured variables.

Einleitung

Topografisch ist Österreich hauptsächlich von den Alpen geprägt, wo je nach Höhenlage und Jahreszeit Niederschläge in einer mehr oder weniger langen Zeitspanne in Form von Schnee anfallen. Schnee kann während der Schmelzperiode Wasser zeitlich und räumlich je nach Witterung und Untergrund unterschiedlich frei geben. Markante Unterschiede im Wasseräquivalent einer alpinen Schneedecke können schon dadurch entstehen, dass die Niederschläge (meist) mit der Höhe zunehmen. Nach wie vor gilt es als schwierig, dieses Phänomen bei der Verteilung von gemessenen Punktniederschlägen auf die Fläche eines hinsichtlich seiner Topographie komplexen Gebietes zu berücksichtigen (LANG 1985). In hochalpinen Regionen mit entsprechendem Relief sind schließlich auch noch Prozesse der lateralen Umverlagerung von Schnee wichtig: An exponierten Graten und Kämmen werden beträchtliche Mengen Schnee - ab Windgeschwindigkeiten von ca. 4 m/s - aufgewirbelt, transportiert und bei abnehmender Windgeschwindigkeit wieder abgelagert. Letzteres geschieht häufig im Lee von Hindernissen, so dass dort mit beträchtlichen Triebsschneeansammlungen gerechnet werden muss (ESSERY et al. 1999).

Die Information wie viel Wassermenge in einer Schneedecke gebunden ist wird mit Schneewasseräquivalent bezeichnet und wird vorwiegend zur Vorhersage des Lawinen- und Hochwassergefahrenpotentials herangezogen. Dieser Parameter kann aber auch wichtige Informationen hinsichtlich Einfluss von Schneeakkumulation und -schmelze auf die Grundwasserneubildung liefern. Ergebnisse aus einer Studie von HERNDL et al. 2009, zeigen im Untersuchungsgebiet an der Westseite des Stoderzinkens (1830m), eine doch recht beträchtliche Diskrepanz zwischen Niederschlägen im Herbst und Winter und den anfallenden Sickerwassermengen. Im Jahresvergleich fallen um bis zu 1/3 höhere Sickerwassermengen an, als Niederschläge pro Jahr im Untersuchungsgebiet anfallen. Die Gründe könnten vielfältig sein und reichen von einer fehlerhaften Niederschlagsermittlung im Winter, bis zu Umverlagerung von Schnee oder Schneeschmelzwasser. Um diese Fragen beantworten zu können wurde seit dem Winter 2009 ein Schneekissen bzw. ein zusätzliches Niederschlagsmesssystem (Pluvio) installiert. Die zentrale Fragestellung dieser Studie ist, zum einen zu klären ob die Niederschlagsermittlung durch das neu installierte System verbessert werden kann und zum anderen, wie viel Schnee (Schneewasseräquivalent) im Untersuchungsgebiet vorhanden ist und welcher Anteil davon wann als Schmelzwasser abfließt.

Material und Methoden

Untersuchungsstandort

Im Herbst 2005, wurde an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m Seehöhe) eine Gebirgslysimeterstation errichtet. Der Standort der Lysimeterstation weist typisch für die Nördlichen Kalkalpen hohe Niederschlagsmengen und eher kühle Temperaturen auf. Die Vegetation im Bereich der Lysimeterstation besteht auf Grund 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 Kalkbraunlehm.

Technische Ausstattung der 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). 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“ und „Pluvio“ (Fa. OTT) in einer Höhe von 3 m bzw. 2 m (Abb. 1).

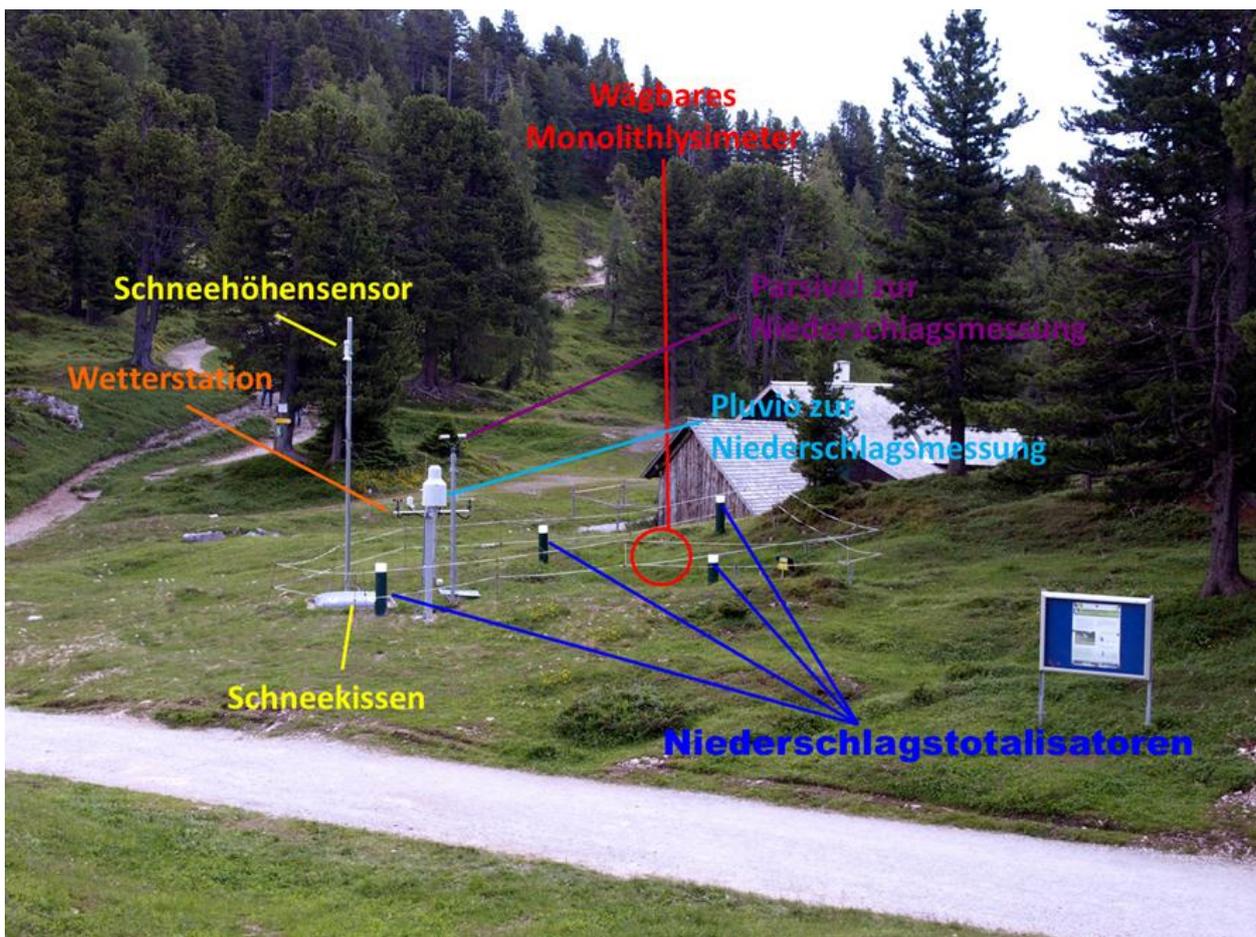


Abbildung 1: Technische Ausstattung der Lysimeterstation am Stoderzinken

Messtechnik zur Quantifizierung von Schneewasseräquivalent

Schneekissen

Das Messprinzip des Schneekissens beruht auf der Messung des von der Schneedecke verursachten hydrostatischen Drucks. Der mit einem Druckmessumformer erfasste Druck entspricht dem Wasseräquivalent bzw. Schneegewicht der Schneedecke (Abb. 2).

Stechzylinder

Der Stechzylinder (Hergestellt auf Empfehlung von Tobias Jonas - WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF) besteht aus einem Stahlzylinder mit einer Querschnittsfläche von 50 cm² und einer Länge von 1 m (verlängerbar auf 2 m; Abb. 3).

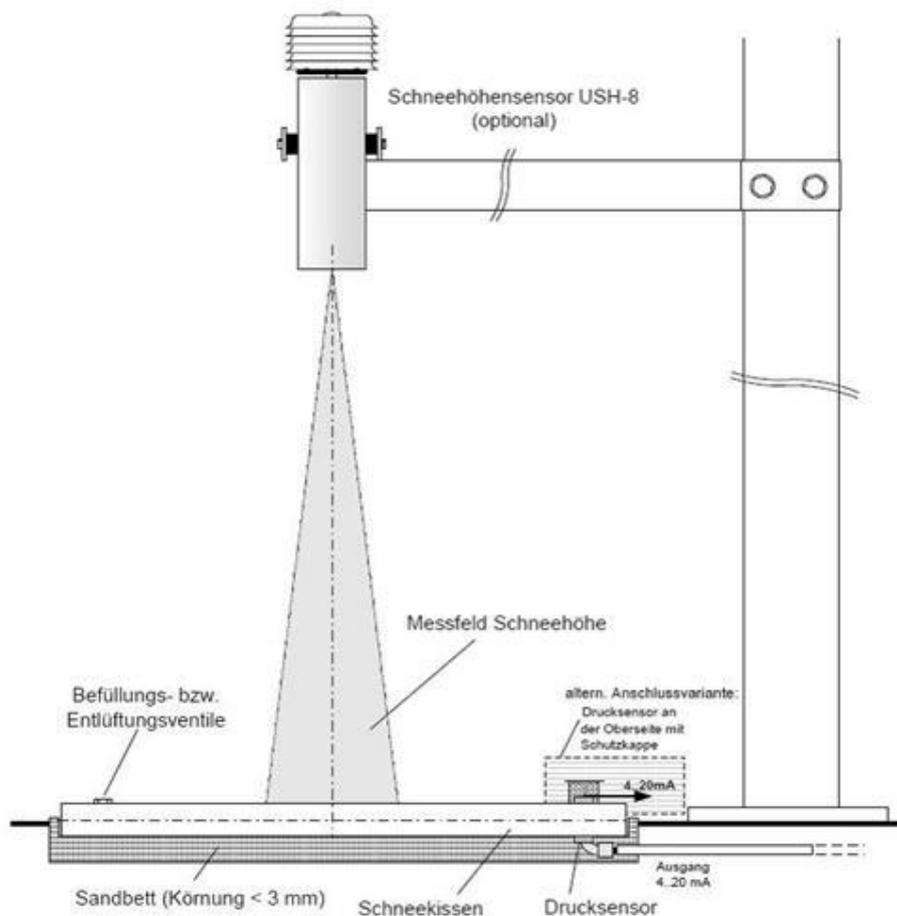


Abbildung 2: Technische Beschreibung des Schneekissens am Stoderzinken (Fa. Sommer)

Bestimmung des Schneewasseräquivalents

Das Schneewasseräquivalent (SWE) im Stechzylinder wurde nach folgender Formel berechnet:

$$SWE_i [mm] = \frac{G \text{ g} * h_i \text{ cm} * 10}{F \text{ m}^2 * h_z \text{ [cm]}}$$

wobei die Parameter Gewicht des ausgestochenen Schneezylinders (G), Höhe (hz) des Schneezylinders für eine Schneeschicht (i) und Querschnittsfläche (F) waren (PLATTNER 2004).



Abbildung 3: Stechzylinder zur Bestimmung des Schneewasseräquivalents (1 m Länge, 50 cm² Oberfläche)

Schneedeckenmodell

Das in der Studie verwendete Modell trägt den Namen ESCIMO.spread und wurde von Ulrich Strasser und Tom Marke entwickelt (STRASSER und MARKE 2010). ESCIMO.spread simuliert die Energie und die Massenbilanz, sowie Schmelzrate an der Schneeoberfläche. Das Modell benötigt stündliche Aufnahmen der Temperatur, des Niederschlags, der Windgeschwindigkeit, der relativen Luftfeuchtigkeit und der ankommenden globalen und langwelligen Strahlung. Der Modelloutput ist in stündlichen und täglichen Diagrammen visualisiert. Das Modell ist beweglich und justierbar und läuft besonders schnell: eine stündliche Berechnung einer Wintersaison ist auf einem Standardcomputer blitzschnell möglich.

Tracer Versuch

Der Lysimeter stellt normalerweise ein von seiner Umgebung abgeschlossenes System da. Die Diskrepanz zwischen erhöhtem Sickerwasser im Lysimeter und dem gemessenen Herbst- und Winterniederschlag könnte durch einen Mehreintrag über die Schneedecke erfolgen. Da der Lysimeter in einer kleinen Mulde eingebaut ist, könnte das Wasser im Winter bei Vorhandensein einer Schneedecke in den Lysimeter laufen.

Um diesen Sachverhalt zu klären, wurde ein Tracer Versuch mit der Lebensmittelfarbe „Brilliant Blue“ durchgeführt (SCHNEEBELI et al. 1995). Ziel des Tracer Versuches war, einen Einblick in das Fließverhalten innerhalb einer schmelzenden (also bei typisch warmen Frühjahrstemperaturen) Schneedecke zu erhalten. Am 19. April 2011 wurde an einer Stelle wenige Meter von der Station ein Block von ca. 50 x 50 cm Grundfläche und einer Schneehöhe von etwa 70 cm so ausgeschnitten, dass drei Seiten komplett einsichtig waren. Abbildung 4 zeigt den Block bevor der Tracer aufgebracht wurde. Man beachte die rote markierte Linie auf der Abbildung. Es handelt sich um den ungefähren Verlauf einer Schichtgrenze. Beim Versuch wurde in 1 Liter Wasser, das im Schnee zuvor auf eine Temperatur nahe am Gefrierpunkt herabgekühlt worden war, mit dem Tracer „Brilliant Blue“ (Konzentration 4 g/l) vermischt und auf die Schneeoberfläche des Versuchsblocks (1 m²) vorsichtig aufgetragen.

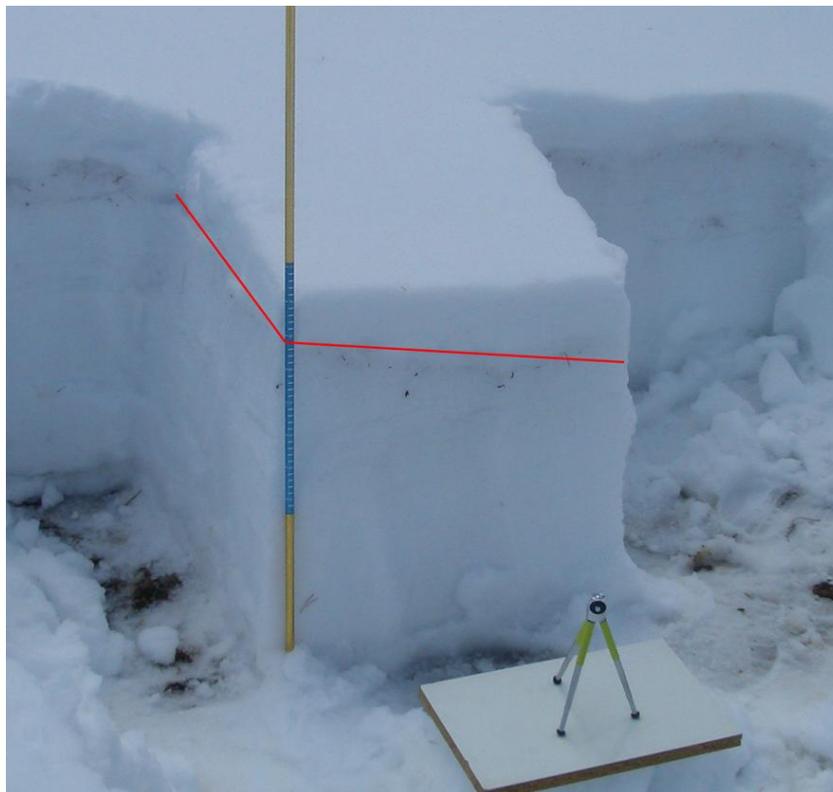


Abbildung 4: Schneeblock für den Tracer Versuch (50 x 50 cm Grundfläche, 70 cm Höhe)

Ergebnisse und Diskussion

Niederschlagsermittlung im Winter

Um den Niederschlag im Winter evaluieren bzw. Fehlmessungen eruieren zu können, wurden die Messungen der beiden am Versuchsstandort vorhandenen Niederschlagsmesssysteme „Parsivel“ und „Pluvio“ gegenübergestellt. Es zeigt sich an einzelnen Tagen eine deutliche Erhöhung der Niederschläge beim System „Parsivel“ im Vergleich zu Messungen mit dem System „Pluvio“ (Abb. 5). Analysen über den Grund der doch recht deutlichen Abweichungen zeigen, dass die Windgeschwindigkeit und vor allem die Windrichtung als Ursache für die Fehlmessungen eine Rolle spielen. Wie Abbildung 6 zeigt, herrscht zum Zeitpunkt der Abweichungen eine im Vergleich erhöhte Windgeschwindigkeit verbunden mit der Windrichtung 40-60° (NO). Da der Sensor für die Niederschlagsermittlung im System „Parsivel“ in der Hauptwindrichtung WO ausgerichtet ist, kann vermutet werden, dass der Sensor bei gewissen Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten keine korrekten Werte erzeugen kann. Die Unterschätzung der Niederschlagsmengen im Winter durch das System „Pluvio“ ist aus der Literatur bekannt (STRASSER 2008) und kann daher auch bei den Messwerten am Stoderzinken vermutet werden.

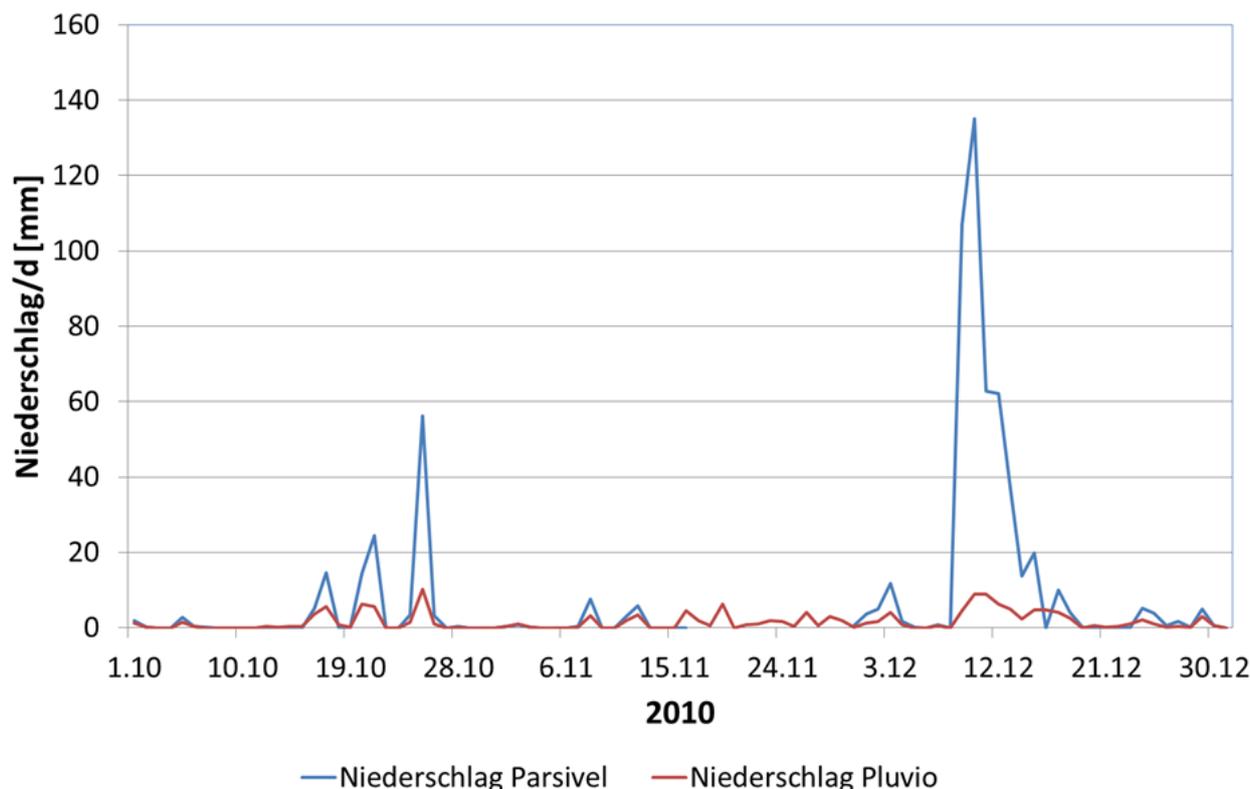


Abbildung 5: Mittlerer täglicher Niederschlag am Untersuchungsstandort Stoderzinken ermittelt durch das System „Parsivel“ und „Pluvio“

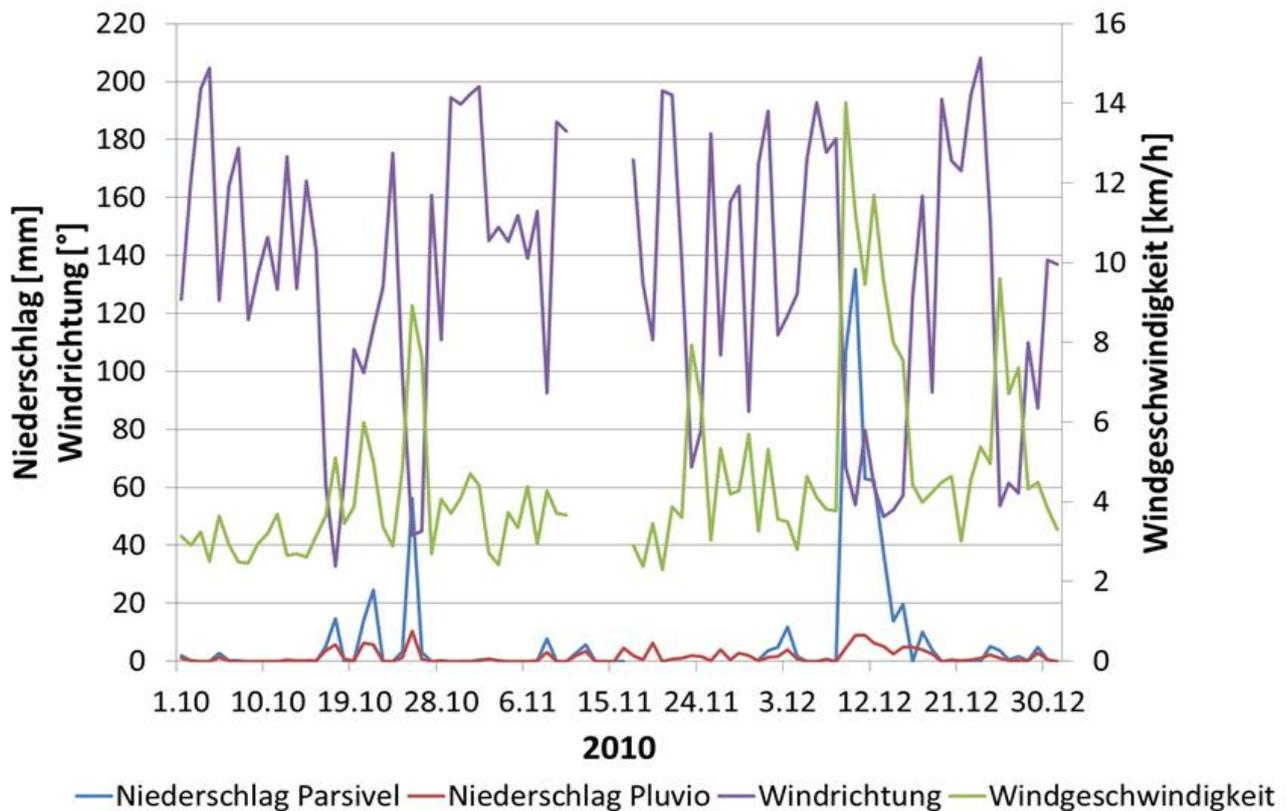


Abbildung 6: Mittlerer täglicher Niederschlag, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am Untersuchungsstandort Stoderzinken

Vergleich von Niederschlag und Sickerwasser am Untersuchungsstandort

Die Gegenüberstellung von Niederschlag (ermittelt mit dem System „Pluvio“) und anfallendem Sickerwasser im Lysimeter, zeigt eine in der Summe um etwa 1/3 erhöhte Sickerwassermenge im Vergleich zum Niederschlag in der gleichen Zeit (Abb. 7). Diese Tatsache bestätigt Ergebnisse von HERNDL et al. 2009, wo in etwa die gleiche Diskrepanz zwischen Niederschlägen und Sickerwassermengen im Lysimeter zu beobachten war. Gründe für diese Abweichung können vielfältig sein, ein Ansatz zur Klärung dieser Diskrepanz könnte die Unterschätzung der Niederschlagsmenge durch das System „Pluvio“ sein. Leider konnte durch die großen Abweichungen der Niederschlagsermittlung im System „Parsivel“ diese Vermutung nicht geklärt werden. Ein weiterer Erklärungsansatz könnte die Verlagerung von Schnee- oder Schneeschmelzwasser sein, was in weiterer Folge untersucht wurde.

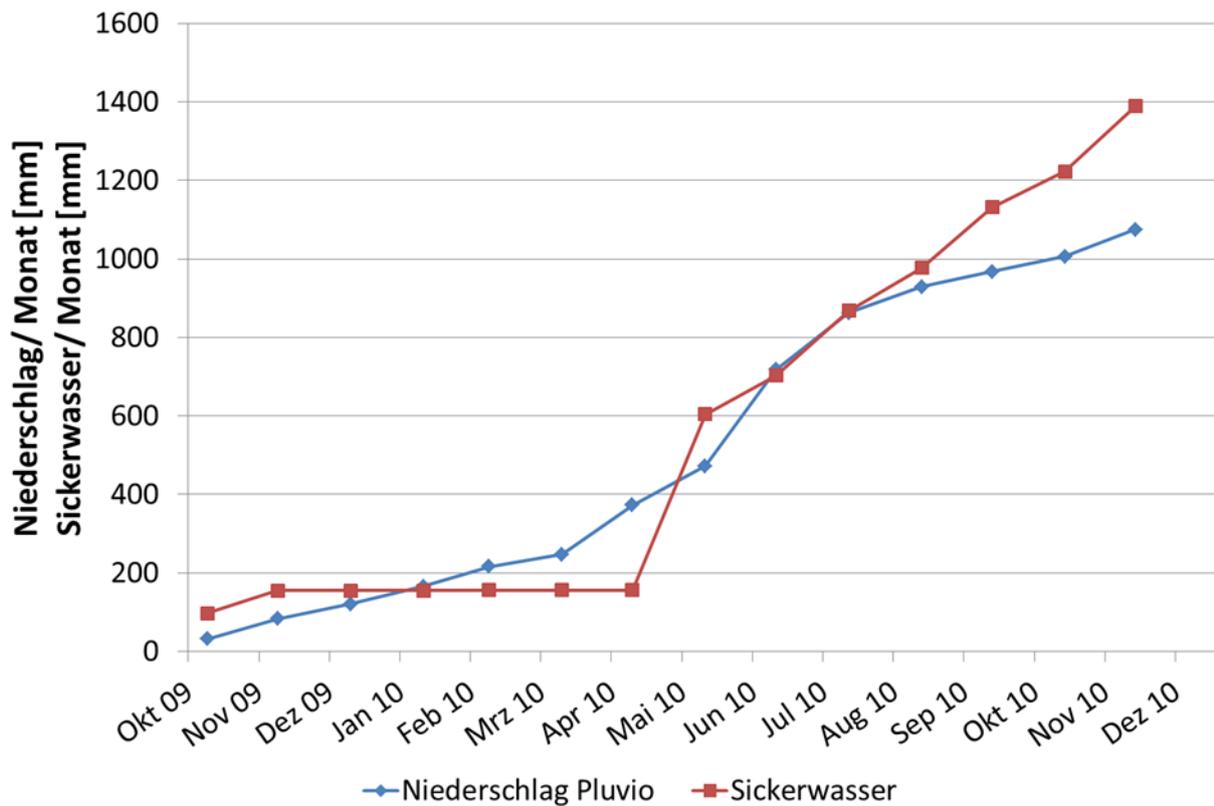


Abbildung 7: Monatlicher Niederschlag und Sickerwasser am Untersuchungsstandort Stoderzinken

Verlagerung von Schnee am Untersuchungsstandort

Den Einfluss von Relief auf die laterale Verlagerung von Schnee zeigt eindrücklich Abbildung 8. Trotz räumlich eng beieinander gemessener Schneehöhen (im Umkreis von ca. 5 m) zum gleichen Zeitpunkt, zeigt sich der Einfluss von der Lage der Messpunkte. Vor allem die gemessenen Schneehöhen mittels Stechzylinder im Umland des Lysimeters weisen eine große Variabilität auf. Auffallend ist die relativ hohe Schneehöhe am Lysimeter bzw. die geringste Schneehöhe am Schneekissen. Da der Lysimeter in einer kleinen Muldenlage liegt und das Schneekissen ungefähr 0,5 m über dem Lysimeter positioniert ist, sind die Abweichungen relativ einfach erklärbar und macht die Bestimmung der absoluten Schneehöhe für den Standort nahezu unmöglich.

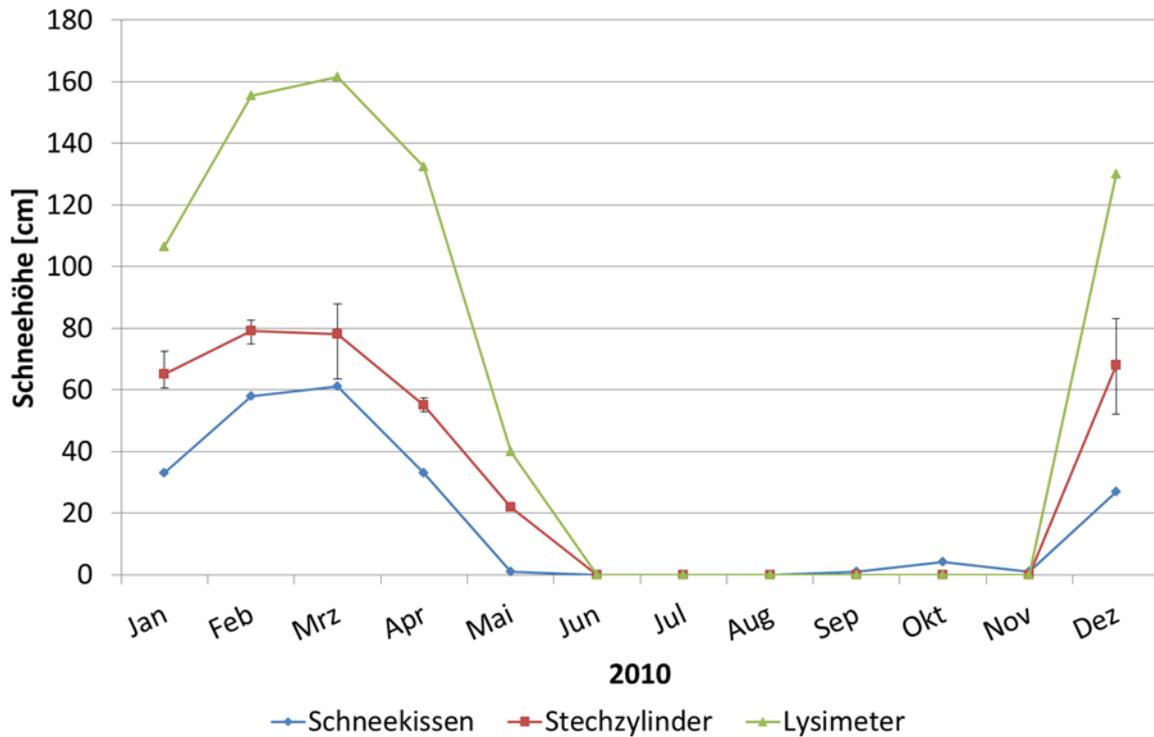


Abbildung 8: Schneehöhe gemessen am Untersuchungsstandort Stoderzinken für das Jahr 2010

Den Einfluss von Wind auf die laterale Verlagerung von Schnee ist bedeutend und wurde ebenso auf dem Standort untersucht. In Abbildung 9 kann man erkennen, dass wenn die Schneehöhe die höchsten Werte erreichte, gleichzeitig eher geringe Windgeschwindigkeiten herrschten. In den Akkumulationsphasen ist jedoch der Wind stets involviert. Dies zeigen ganz deutlich die Peaks um den 2.-3.Jänner, jene Anfang Dezember und jene im März. Die Tatsache, dass die Schneehöhenzunahme um den 10. Dezember bei eher mäßigen Niederschlagssummen aber bei einigen Tagen andauernden hohen Windgeschwindigkeiten vor sich ging, kann durchaus als Beleg dafür gewertet werden, dass Schneemassen im größeren Ausmaß in den muldenartigen Platz der Station durch den Wind verfrachtet werden.

Weiter ist anzumerken, dass die Schneeverfrachtungen nur bei bestimmten Zuständen der Schneedecke, genauer der Schneekristalle ermöglicht werden, denn Neuschneekristalle lassen sich im Gegensatz zu Schmelzformen oder anderen Altschneekristallen leicht verfrachten (ESSERY 1999). Letztere sind durch die bessere Verzahnung bzw. Kompaktion nicht mehr so anfällig, vom Wind aus dem Verbund an Kristallen herausgerissen zu werden. Das bedeutet, dass je älter die Schneedecke ist, desto geringer ist die Windanfälligkeit. Auch die Feuchtigkeit spielt hier eine wichtige Rolle. Ein eher trockener Schnee lässt sich auch leichter verfrachten als feuchte oder nasse Schneekristalle.

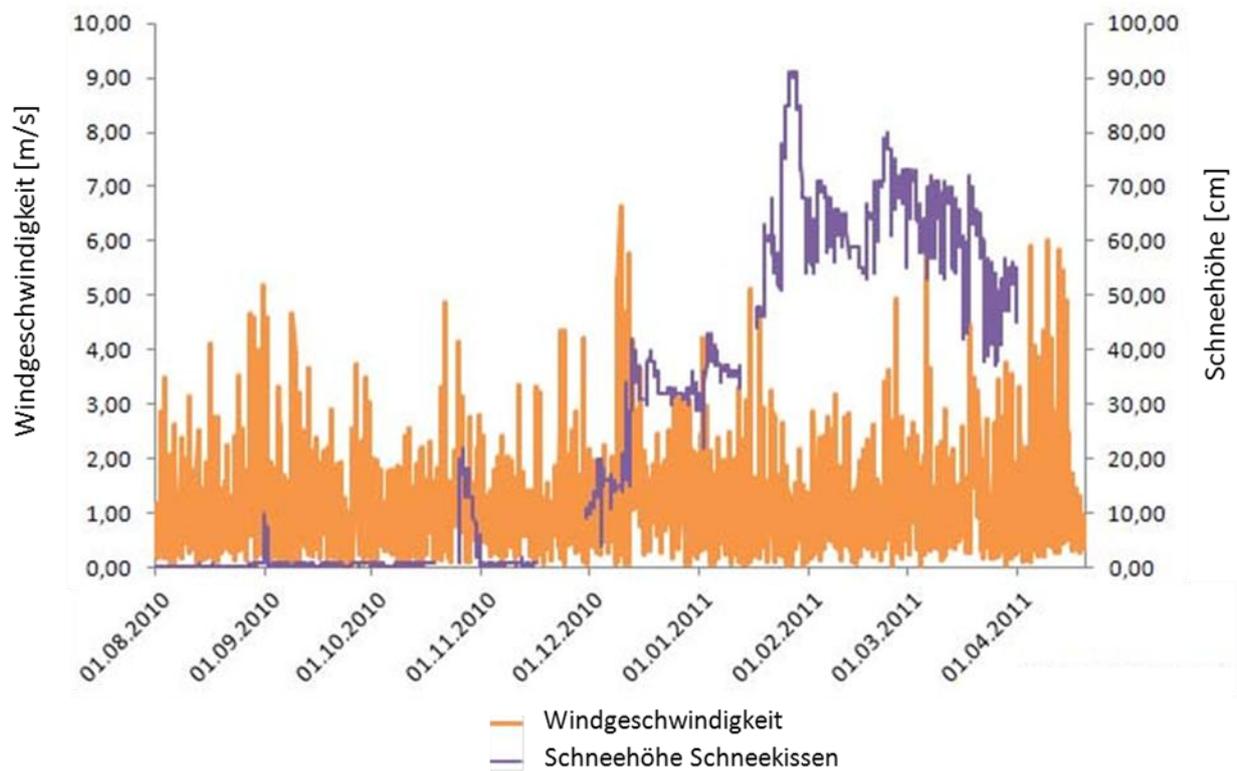


Abbildung 9: Stündliche Schneehöhe und Windgeschwindigkeit am Untersuchungsstandort Stoderzinken für den Herbst und Winter 2010 und 2011

Schneewasseräquivalent am Untersuchungsstandort

Das SWE am Untersuchungsstandort wurde durch mehrere Messmethoden ermittelt. Abbildung 10 zeigt den Vergleich von Schneehöhen und SWE im Zeitraum Januar bis April 2010 jeweils mit Stechzylinder und Schneekissen ermittelt. Es zeigt sich, dass sowohl Schneehöhe als auch SWE deutlich voneinander abweichen. Diese Tatsache ist wieder ein Hinweis, dass Schneedrift und Relief eine wichtige Rolle bei der Abschätzung von Schneehöhe und SWE ist.

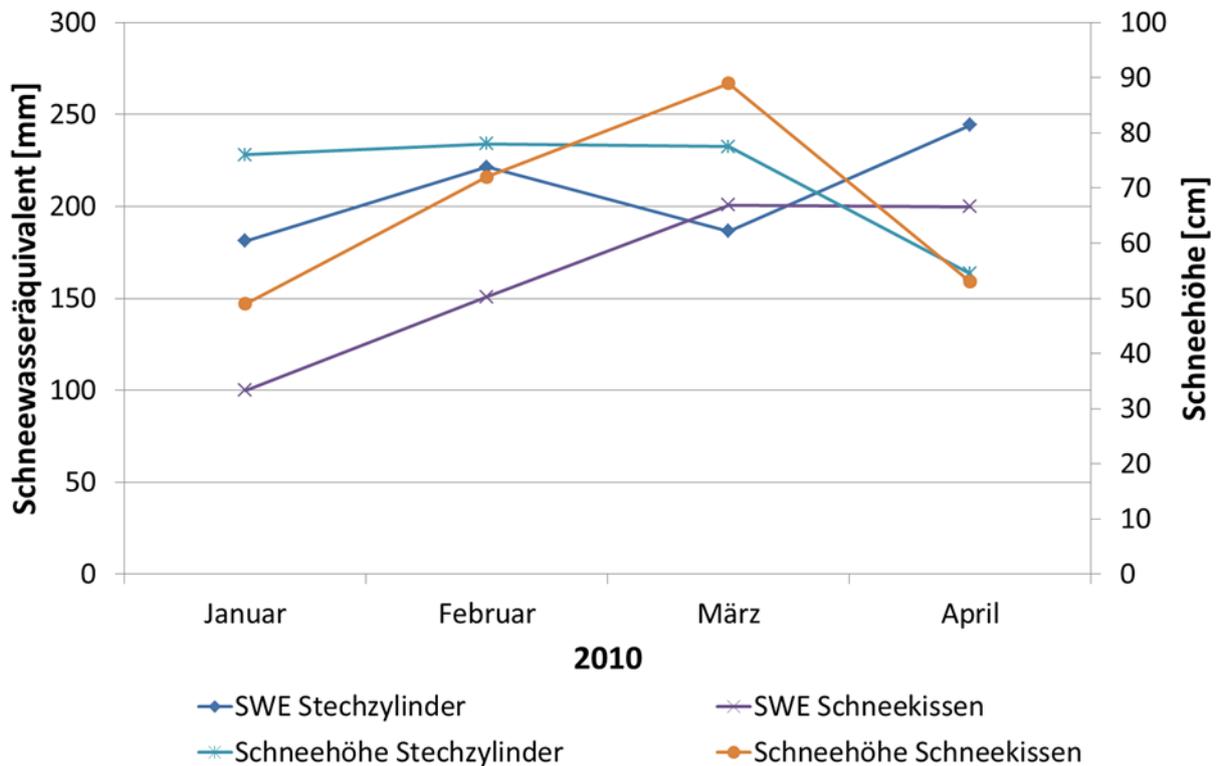


Abbildung 10: Schneehöhe und Schneewasseräquivalent am Untersuchungsstandort Stoderzinken für den Winter 2010

Der Vergleich mit Modellierungsergebnissen weist wesentlich höhere gemessene SWE als modellierte Werte auf (Abb. 11). Weiters zeigt das Modell eine schnellere Abschmelzphase als die gemessenen Werte. Der Grund der Unterschätzung der SWE im Modell könnte wiederum ein Indiz dafür sein, dass es zu einer Unterschätzung des gemessenen Niederschlages mit dem System „Pluvio“ kommt. Aus dem Diagramm ist auch klar ersichtlich, dass die kalten und warmen Phasen (dies gilt vor allem für die Temperaturen in der Nacht und ist wichtig für den fortschreitenden Schmelzprozess) ab Anfang Februar einander abwechseln und hier im Spätwinter ein ausgeglichenes Bild ergeben. Das resultiert aus der Tatsache, dass der Energieaustausch und die Unterschiede (Temperatur...) zu dieser Jahreszeit enorm groß sind.

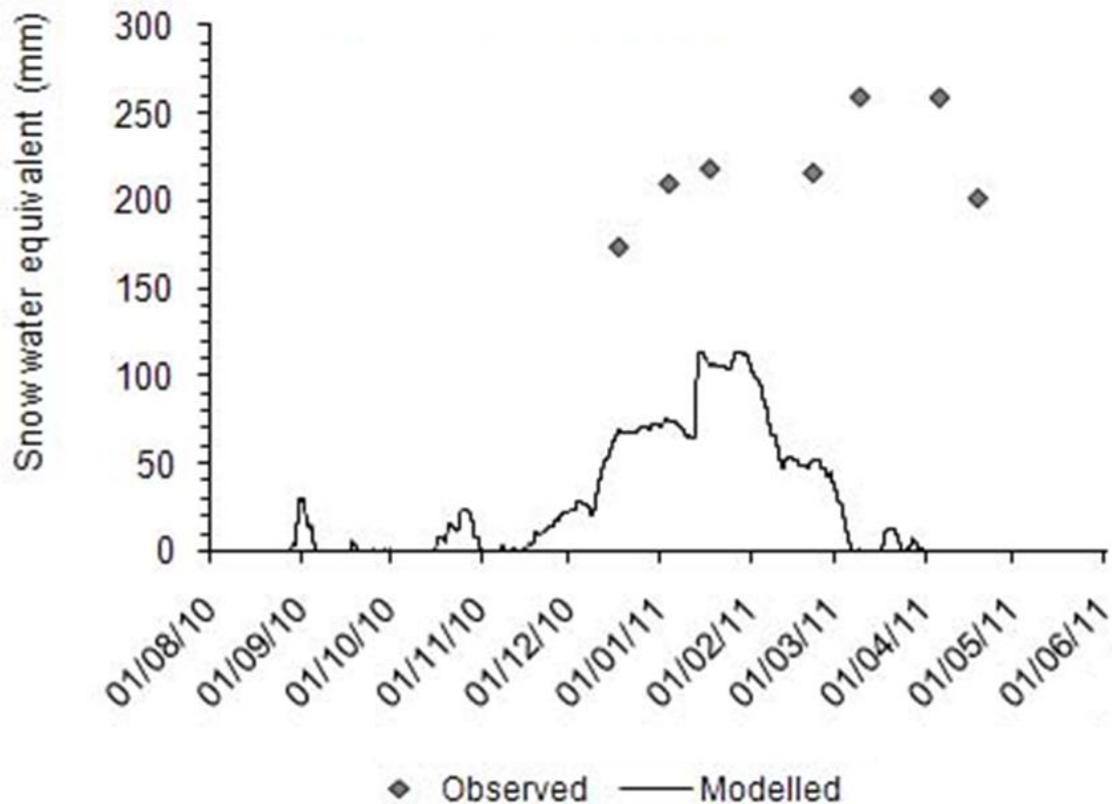


Abbildung 11: Modelliertes und gemessenes Schneewasseräquivalent am Untersuchungsstandort Stoderzinken für den Herbst und Winter 2010 und 2011

Verlagerung von Schneeschmelzwasser am Untersuchungsstandort

Nach dem Start des Tracer Versuchs am 19. April 2011 erfolgte die Verlagerung des Tracers in der Schneedecke schneller als erwartet. Versuche von SCHNEEBELI et al. 1995, registrierten eine deutliche Veränderungen erst nach 10-20 Minuten. Bei den vorherrschenden warmen Frühjahrestemperaturen um die 11 °C ging das Infiltrieren in die Neuschneeauflage viel schneller und bereits ab der 5 min nach Start trat ein Großteil der eingefärbten Wassermengen über die Harschdeckelschicht nach außen und floss anschließend über die Seitenwände des Schneeblocks hinunter (Abb. 12).



Abbildung 12: Horizontale und vertikale Verlagerung des Tracers in der Schneedecke nach 5 min

Wie in der Abbildung 13 ersichtlich, fungiert dieser Harschdeckel tatsächlich wie ein Wasserstauer. Die Neuschneedecke obenauf wurde innerlich nur wenig eingefärbt, da sich das Wasser darin wie in Kanälen fortbewegte. Nach dem Abtragen wurde ersichtlich, dass kaum Schmelzwasser direkt durch den eingeschnittenen Harschdeckel durchgesickert ist. Die Schneeflächen waren noch zum größten Teil weiß, und sind folglich nicht mit dem Tracer in Kontakt gekommen. Vor allem die Seitenaufnahme ließ diesen Schluss zu und bestätigt die These zu den Überlegungen des Fließverhaltens von Schmelzwasser innerhalb einer Frühjahrsschneedecke. Das Wasser folgt somit einfach der Schwerkraft und das deutet darauf hin, dass dies auch einige Meter weiter beim Lysimeter geschehen könnte. Wie groß diese Mengen sind, lässt sich damit vorerst nicht feststellen, allerdings sind Versuche diesbezüglich geplant.

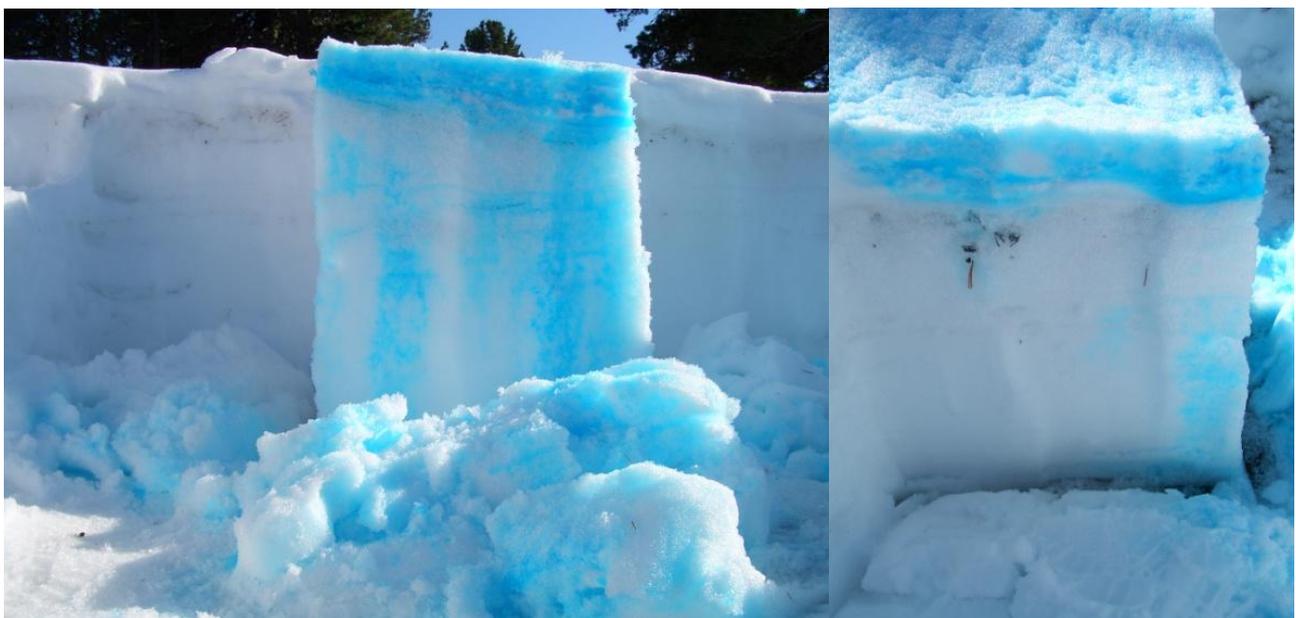


Abbildung 13: Horizontale und vertikale Verlagerung des Tracers in der Schneedecke nach 60 min

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes bestätigen die Schwierigkeit Niederschlag in Form von Schnee und das daraus entstehende Sickerwasser an einem Gebirgsstandort ermitteln zu können. Es vertiefen sich Vermutungen aus vorhergehenden Untersuchungen, wonach nicht jedes Niederschlagsmesssystem für den Einsatz im Winter geeignet ist. Das System „Pluvio“ weist weniger starke Ausreiser in den Ergebnissen auf, wie aber aus der Literatur bekannt ist unterschätzt aber auch dieses Niederschlagsmesssystem den Niederschlag grundsätzlich. Die Ergebnisse dieser Studie belegen diese Tatsache im Vergleich von gemessenen Werten mit modellierten. Den Einfluss von Wind und Relief auf laterale Verlagerung von Schnee konnte eindrücklich verdeutlicht werden. Zusätzlich konnte eine Hypothese durch einen Tracer Versuch bestärkt werden, die eine laterale Verlagerung von Schneeschmelzwasser in der Schneedecke zum Lysimeter hin vermutete. Alles in allem kann die Diskrepanz zwischen niedrigerem Niederschlag als Sickerwasser im Lysimeter durch die Ergebnisse dieser Studie zum großen Teil erklärt werden. Um die Ergebnisse zu erhärten bzw. den lateralen Schmelzwasseranteil im Lysimeter mengenmäßig quantifizieren zu können, bedarf es weiterer Versuche bzw. langjähriger Datenreihen.

Literatur

- 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.
- ESSERY, R., LI, L. und J. POMMEROY 1999: A distributed model of blowing snow cover over complex terrain. *Hydrological processes*, 13 (14-15), S. 2423-2438.
- FLÜGEL, H.W. und F. NEUBAUER, 1984: Steiermark. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. Geologische Bundesanstalt Wien, 127 S.
- HERNDL, M., BOHNER, A., KANDOLF, M. 2009: Gebirgs-Lysimeterstation am Stoderzinken - Erste Ergebnisse. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung 2009, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 111-116.
- LANG, H. 1985: Höhenabhängigkeit der Niederschläge. In: *Der Niederschlag in der Schweiz. Beiträge zur Geologie und Hydrologie der Schweiz*, 31, 149–157, Bern.
- PLATTNER, C. 2004: "Ableitung des Winterniederschlags in den Jahren 2002-2004 am Vernagtferner aus Geländemessungen sowie flächendifferenzierte Betrachtung der schneeverteilung unter Verwendung und Erstellung von GIS Anwendungen", Diplomarbeit, LMU-München, Lehrstuhl für Geographie und Landschaftsökologie, 140S.
- SCHNEEBELI, M. 1995: Development and stability of preferential flow paths in a layered snowpack, pp. 89-96. In K. A. Tonnessen, M. W. Williams, and M. Tranter (ed.), *Biogeochemistry of Seasonally Snow Covered Basins*. IAHS-AIHS Publ. 228 Intl. Assoc. Hydrol.Sci.
- STRASSER, U. 2008: Die Modellierung der Gebirgsschneedecke im Nationalpark Berchtesgaden. *Modelling of the mountain snow cover in the Berchtesgaden National Park*, Berchtesgaden National Park research report, Nr. 55, Berchtesgaden.
- STRASSER, U. und T. MARKE 2010: ESCIMO.spread – a spreadsheet-based point snow surface energy balance model to calculate hourly snow water equivalent and melt rates for historical and changing climate conditions, *Geoscientific Model Development*, Vol. 3, 643-652.