

## Interview

In dieser Folge der Kolumne "Interview" geht es um das Thema "Schneehydrologie". Dabei werden nicht nur die Themenpunkte der Zusammensetzung und Verteilung von Schneedecken sowie die Messtechniken von Schneehöhen behandelt, sondern auch der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Schneeverteilung und das Vorkommen von Permafrostböden.

Das komplette Gespräch inklusive einiger Nachfragen und Erläuterungen kann im HyWa Podcast "WasserGespräche" verfolgt werden. Hinweise hierzu sind am Ende der Kolumne angegeben.

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

**Was versteht man unter Schneehydrologie und welche Rolle spielt Schnee im hydrologischen Kreislauf hier in Europa?**

**Antwort Prof. Lucas Menzel:**

Die Schneehydrologie befasst sich mit dem Beitrag des Schnees zum Wasserkreislauf und zur hydrologischen Dynamik, z. B. dem Auftreten von Hochwasser. Hier spielen Prozesse wie die Akkumulation von Schnee, des Rückhalts von Eis bzw. Wasser in der Schneedecke sowie die Schneeschmelze eine wesentliche Rolle. Außerdem gehören die Messung, die Beschreibung, die Simulation und die Vorhersage dieser Prozesse zur Schneehydrologie. Die praktische Bedeutung der Schneehydrologie zeigt sich z. B. bei der Hochwasserprognose sowie bei Zuflussprognosen für Talsperren und der damit verbundenen Verfügbarkeit von Wasser für die Elektrizitätsproduktion. Wichtig sind die Zuflussprognosen auch für die Bewässerungslandwirtschaft oder die Wasserwirtschaft allgemein.

Schnee bedeckt andauernd oder über einen Teil des Jahres etwa 30 % der Landflächen der Erde, vor allem auf der Nordhalbkugel. In Europa spielen die Alpen und die weiteren Hochgebirge (Pyrenäen, Karpaten, Kaukasus etc.) eine herausragende Rolle für die Schneehydrologie, insbesondere für die Aufhöhung des Abflusses der Flüsse in den außeralpinen Regionen während der verdunstungsaktiven Sommerzeit. Aber auch der Schnee in den höheren Lagen der Mittelgebirge Mittel- und Osteuropas besitzt nach wie vor eine schneehydrologische Bedeutung, wenn auch mit abnehmender Tendenz.

**Welche Eigenschaften hat eigentlich eine Schneedecke und was macht sie für die Hydrologie so interessant?**

An erster Stelle steht natürlich die Speicherung von Wasser und im Idealfall die langsame Abgabe des Schmelzwassers zu einem späteren Zeitpunkt. Optimal ist in Gebirgen das langsame Auftauen über die unterschiedlichen Höhenzonen hinweg, sodass das Wasser im Vorland bis weit in den Sommer hinein zur Verfügung steht. Dies erklärt neben der Gletscherschmelze die enorme Bedeutung der Gebirge als Wasserspeicher.

Eine Schneedecke hat ähnliche Eigenschaften wie ein Boden: Sie besitzt je nach Dichte eine gewisse Porosität, kann also flüssiges Wasser speichern, weiterleiten oder zum Gefrieren



Prof. Lucas Menzel  
Foto: Univ. Heidelberg

bringen. Rückhalt von Wasser erfolgt also nicht nur durch die Eisphase, sondern auch mittels Speicherung von flüssigem Wasser. Der Massenanteil von flüssigem Wasser im Schnee beträgt bis zu 5 %. Hinzu kommt die Schichtung der Schneedecke, sodass die genannten Eigenschaften im Schneeprofil sehr unterschiedlich sein können. Auch "Verdunstung" (genau: Sublimation) von Schnee ist möglich. Diese ist vor allem in den kalten Steppen- bzw. Prärielandschaften von großer Bedeutung und spielt eine wichtige Rolle für die Umlagerung von Schnee. Ebenfalls ist eine Re-Sublimation möglich, das heißt der Übergang vom gasförmigen in den festen Zustand. Dadurch kann eine Schneedecke unter bestimmten Umständen auch im Sommer hinweg bestehen bleiben und ist vor allem im Hochgebirge von Bedeutung. Bei Erreichen der Schmelztemperatur über das gesamte Schneeprofil hinweg tritt relativ rasches Auftauen auf. Kommt Regen dazu, können sich rasch Hochwasser entwickeln.

Wesentlich ist auch die klimatische Bedeutung: Schnee besitzt eine äußerst hohe Rückstrahl-Eigenschaften für kurzweilige (Sonnen-) Strahlung. Der sogenannte Albedoeffekt wirkt dabei "kühlend" auf den Untergrund.

**Gibt es bestimmte Messtechniken oder numerische Modelle, um im Bereich der Schneehydrologie zu forschen?**

Für Feldmessungen der wichtigsten Schneeparameter gibt es recht einfache, aber effiziente und sehr genaue Messmethoden, die schon seit Jahrzehnten bewährt sind, wie die Schneewaage zur Bestimmung der Schneehöhe (SH) und des Schnee-Wasser-

Äquivalents (SWE) einer Schneedecke. Neben der Ermittlung der Schneedichte ist es vor allem wichtig, die Wasserspeicherung in einem Einzugsgebiet abzuschätzen. Der Einsatz der Schneewaage erfolgt manuell und ist weltweit verbreitet. Eine ernsthafte Alternative zur einfachen Schneewaage hinsichtlich der Bestimmung des SWE gibt es bislang noch nicht.

Zur Bestimmung der Schneehöhe gibt es neben einfachen Schneepegeln, die abgelesen werden, automatische Schneehöhenmesser auf Ultraschall- oder Laser-Basis. Wir setzen außerdem Kameras ein, welche Schneepegel automatisch abfotografieren und mithilfe einer selbst entwickelten Software kann später aus den Fotos die Schneehöhe präzise abgeleitet werden. Dies nennt man "Zeitraffertechnik". Allerdings benötigt man zur Bestimmung des Schnee-Wasser-Äquivalents aus der Schneehöhe die aktuelle Schneedichte, was manuelle Messungen erfordert und zu fehlerbehafteten Abschätzungen führen kann.

Neuartige Messinstrumente zur Bestimmung des Schnee-Wasser-Äquivalents und der Schneehöhe basieren z. B. auf der Abschwächung von GPS-Signalen oder der Modifizierung kosmischer Strahlung.

Ferner gibt es schneehydrologische Modelle, welche sehr präzise die Schichtung, den Dichte- und Temperaturverlauf und damit die Schneeschmelze bestimmen können. Jedoch benötigen diese Modelle eine Vielzahl an Parametern, die im operationellen Betrieb nicht verfügbar sind.

### **Wie wird Schnee in hydrologischen Modellen berücksichtigt und haben Eure Arbeiten Auswirkungen darauf, wie diese Modelle in Zukunft Schnee in den Berechnungen berücksichtigen?**

Es gibt natürlich hydrologische Modelle unterschiedlicher Komplexität. Spielt Schnee im betrachteten Gebiet eine untergeordnete Rolle oder liegt der Fokus des Modells auf anderen Prozessen, dann werden Akkumulation, Speicherung und Schmelze (Ablation) sehr einfach wiedergegeben, z. B. indem lediglich der gemessene Niederschlag und die Lufttemperatur in das Modell eingehen. Ein weltweit bekannter und in vielen Modellen enthaltener Ansatz zur Berechnung der Schneeschmelze ist z. B. das Taggradverfahren. Darin wird angenommen, dass oberhalb einer Schmelztemperatur (üblicherweise 0 °C) pro Grad Temperaturerhöhung eine bestimmte Menge (mm) an Wasser freigesetzt wird. Diese Wassermenge wird über den sogenannten Taggradfaktor (mm/°C Tag) gesteuert. Dieser wird oft als Kalibrierfaktor in den Modellen eingesetzt, d. h., die simulierte Schmelzwassermenge wird mit Messwerten verglichen und über die Einstellung des Taggradfaktors gegenüber der Beobachtung optimiert. Hier steht die Lufttemperatur stellvertretend für die Energiebilanz der Schneedecke. Die Güte dieses einfachen Ansatzes ist teils erstaunlich hoch.

Bei komplexeren Ansätzen wird die Schneedecke in ihre unterschiedlichen Schichten unterteilt, die sich als Abfolge von Ablagerung, Schmelze, Verdichtung usw. über den Lauf der Zeit ergibt. Dann wird schichtweise die Schmelze berechnet. Das kann so weit gehen, dass die komplette Energiebilanz der

einzelnen Schneeschichten bestimmt wird. Dann kommen wir aber in einen Bereich von Modellen, die operationell nicht mehr einsetzbar sind, weil sie einfach zu viele Parameter benötigen, die außerhalb von speziell eingerichteten Messflächen nirgends erhoben werden.

Bei unseren Modellierungen versuchen wir, so einfach wie möglich vorzugehen, um die interessierenden Größen wie Schneedeckenzeit, SWE und Schneeschmelze zu berechnen. Denn wir arbeiten in Gebieten, für die es oft nur wenige oder gar keine Messgrößen gibt, die für die hydrologische Modellierung genutzt werden können. Meistens werden nur Niederschlag und Lufttemperatur erfasst. Dann müssen wir unsere Modelle mithilfe großskaliger Reanalysedaten – einer Kombination aus Stationsdaten und Wettervorhersage – antreiben oder gerasterter Klimagrößen, wie z. B. die täglichen Niederschlagsraster des GPCC – Global Precipitation Climatology Center beim DWD.

Unsere Modelle werden zwar weiter optimiert, vor allem auf Basis aktueller Literaturstudien. Es ist aber nicht die Absicht in unserer Arbeitsgruppe, mit unseren Simulationen die Modellentwicklung zu beeinflussen oder neue Ansätze zu entwickeln. Der Schwerpunkt unserer Arbeit liegt hier ganz klar auf der Modellanwendung, um Aussagen zu Veränderungen in der Schneedecke über längere Zeit und für verschiedene Erdregionen zu treffen, und natürlich, um die Auswirkungen auf die Hydrologie abschätzen zu können.

### **Werden ausschließlich Freilandversuche zur Schneehydrologie durchgeführt oder auch Laborexperimente in Kälte-laboren?**

Persönlich kenne ich nur das Kältelabor des Schnee- und Lawinenforschungsinstituts (SLF) in Davos. Wir haben kein solches Labor, benötigen dies aber auch nicht, denn wir sind nicht an der Mikrostruktur des Schnees und damit zusammenhängender Prozesse und Dynamiken interessiert wie z. B. die Entstehung einer Lawine oder Kristallveränderungen unter Auflast. Unsere Freilandmessungen konzentrieren sich auf die Entwicklung der Schneedecke über den Winter und umfassen die Parameter: Anzahl Schneetage, Schneehöhe, Schnee-Wasser-Äquivalent, Schnee-Regen-Ereignisse (sogenannte "rain-on-snow events") und Dynamik der Schneeschmelze. Ferner umfasst unsere Arbeit die langzeitliche Beobachtung dieser Prozesse, die Validierung und evtl. Weiterentwicklung unserer Modelle sowie die Validierung von Fernerkundungsmethoden.

### **Lässt sich die Schneeverteilung ähnlich prognostizieren wie der (flüssige) Niederschlag? Das Bedeutende am Niederschlag in Schneeform ist ja sein Rückhalt in der Landschaft bzw. im Einzugsgebiet.**

Zunächst ist es schwierig, beim Niederschlag Schneefall oder Regen zu prognostizieren, zumal es einen thermischen Übergangsbereich gibt, innerhalb dessen sowohl Schnee als auch Regen bzw. kurzfristig auch Schnee-Regen auftreten kann, sogenannter "Mischniederschlag". Das hängt nicht nur von der aktuellen Schichtung der Atmosphäre ab, z. B. kältere Luft liegt über wärmerer, sondern auch von den regionalen Gegebenheiten

ten, Stichwort Niederschlagsabkühlung. Ob der Schnee dann tatsächlich liegen bleibt, ist auch eine Frage der Bodentemperaturen und der Vorfeuchte der Bodenoberfläche. Hat sich eine Schneedecke gebildet, so kann vereinfachend davon ausgegangen werden, dass innerhalb einer Höhenzone zunächst die Schneeverteilung homogen ist. Störende Faktoren sind hier vor allem die Vegetation, wie die Interzeption auf den Kronen von Bäumen, und die Geländetopographie, insbesondere Luv- und Leelagen. Schon nach kurzer Zeit kann es dadurch zu teils erheblichen Umlagerungen der Schneedecke kommen, z. B. durch herabfallenden Schnee in Vegetationsbeständen oder insbesondere durch Windverfrachtung von Schnee. Expositionsunterschiede können zudem zu großen Unterschieden in der Schneehöhe und im Schneewasseräquivalent führen. Es gibt Ansätze, diese räumlichen Variabilitäten zu modellieren, jedoch ist die bewährteste Methode nach wie vor, die Schneedeckenvariabilität vor Ort zu messen oder Fernerkundungsmethoden anzuwenden.

### **Wie ist der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Schneeverteilungsaufkommen darstellbar?**

Schnee als "warmes Element" ist immer nahe an seinem Schmelzpunkt. Daher kann schon eine vergleichsweise geringe Erhöhung der Lufttemperatur zu deutlichen Veränderungen führen. Der Klimawandel hat sich bereits in den vergangenen Jahrzehnten, insbesondere seit ca. Ende der 1980er-Jahre, in teils drastischen Verkürzungen der Schneedeckenzeiten in deutschen Mittelgebirgen sowie den unteren und mittleren Höhenlagen der Alpen bemerkbar gemacht. Entsprechend sichtbar ist auch die Verringerung der Schneespeicherung und ein vermehrter Abfluss während der Winter, während der Abfluss in den Frühjahren fehlt. Dies bedeutet eine Veränderung der Abflussregime, Stichwort "snow drought". Neuartig sind auch die teils drastischen Warmlufteinbrüche bis in mittlere Höhenlagen (ca. 2.000 m) mitten im Hochwinter – wie die Situation zwischen Weihnachten 2022 und ca. Mitte Januar 2023 – mit völligem Abschmelzen der Schneedecke. Mit dem fortschreitenden Klimawandel wird sich der Schnee unweigerlich in größere Höhen zurückziehen.

### **Um nun auf das Thema Permafrost zu kommen: Was bedeutet eigentlich Permafrost-Hydrologie und was hat das mit Schnee zu tun?**

Etwa 25 % der Landfläche der Nordhalbkugel ist von dauernd gefrorenem Boden unterlagert. Für die Hydrologie interessant ist die sogenannte Auftauschicht, die über der Permafrosttafel alljährlich periodisch auftaut. Die Mächtigkeit der Auftauschicht ist sehr variabel, von lediglich 20 bis 30 cm bis zu 2 oder 3 m. Die Auftau- und Gefrierdynamik steuert sehr stark die Hydrologie dieser Regionen: Vorwiegend kommt es zu einer lateralen Prozessdynamik an Hängen, in den Ebenen zu Vernässung und Seenbildung, aber es findet keine Grundwasserneubildung im engeren Sinne wegen der undurchlässigen Permafrosttafel statt. Derzeit ist eine teils deutliche Erwärmung des Permafrosts und eine Tieferlegung der Permafrosttafel zu beobachten. Das heißt, die Mächtigkeit der Auftauschicht nimmt zu.

Schnee spielt bei der Permafrostdegradation, also beim Abbau des Permafrosts, eine der steuernden Rollen. Liegt viel Schnee, dann ist die thermische Isolation des Untergrundes gegenüber der freien Atmosphäre sehr gut aufgrund der Eigenschaften von Schnee. Dann werden die tiefen Temperaturen der bodennahen Luft nicht in den Boden transferiert, was für den Erhalt des Permafrosts wichtig ist. Wichtige Forschungsfrage: Wie hat sich die Schneedecke in diesen Regionen verändert? Warum fällt überhaupt mehr Schnee, bzw. tut es das wirklich? Unser Fokus ist hier auf dem südlichen Sibirien, d. h. in den Quellregionen einiger großer sibirischer Ströme, vor allem der Lena.

### **Wie hat es sich ergeben, dass Schneehydrologie am Geographischen Institut in Heidelberg sich etablierte? Eher sind doch eigentlich Hochschulen im Alpenraum dafür prädestiniert.**

Bereits zu Studienzeiten in Freiburg hatte ich Ski-Langlauf als Hobby betrieben. Dabei machte ich die Beobachtung, dass je nach vorhandener Schneedecke und ihren Eigenschaften die Skier unterschiedlich gelaufen sind. Durch meine Doktorarbeit an der ETH Zürich bin ich dann später mit dem wissenschaftlichen Schnee-Thema in Berührung gekommen. So z. B. mit Forschungsarbeiten des Instituts zur Entwicklung des Schneewasser-Äquivalents (SWE) im Wägital für Abflussprognosen, der längsten SWE-Zeitreihe der Alpen.

Später führte ich eigene Forschungsarbeiten zu Einwirkungen des Klimawandels auf die (globale) Hydrologie durch, insbesondere auf Hochwasser und Dürren. Der Schnee wurde im Modell "nachgeführt" und zunächst wenig beachtet. Durch den Umzug nach Heidelberg kam es zur Etablierung einer eigenständigen Schnee-Hydrologie, u. a. auch wegen der Nähe zum Schwarzwald und den Vogesen, aber auch aufgrund zunehmender Hinwendung zur Schnee-Modellierung. Später kamen die Fragestellungen und Untersuchungen zur Permafrost-Hydrologie hinzu, wobei der Schnee hierbei ebenfalls eine große Rolle spielt.

### **Mit welchen Hochschulen oder Forschungseinrichtungen arbeitet der Heidelberger Lehrstuhl zusammen?**

Zunächst ist in Deutschland das Physikalische Institut der Uni Heidelberg zu nennen, mit dem wir zu Neuartigen Messmethoden zusammenarbeiten. In Frankreich ist es das Laboratoire Hydrosociétés Montpellier, v. a. zum Thema Modellierung.

Des Weiteren kooperieren wir in Kanada mit der University of Waterloo ebenso zum Thema Modellierung und Messung, insbesondere Fernerkundung, sowie mit der Wilfrid Laurier University, Cold Regions Research Center, zur Thematik Permafrost-Hydrologie.

Ebenso arbeiten wir mit der Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Institute of Arctic Climate and Environment zur Modellierung in Sibirien zusammen.

In der Mongolei schließlich arbeiten wir eng zusammen mit der Mongolischen Akademie der Wissenschaften, ebenso zum Thema Permafrost- und Schnee-Messung.

## Nunmehr die abschließende Frage: Welches sind die derzeitigen schneehydrologischen Projekte des Geographischen Instituts Heidelberg?

Hierzu gibt es eine ganze Reihe von seinerzeitigen sowie aktuellen Projekten. Das Vorhaben zum "Langzeitmonitoring der Schneedecke" im Nationalpark Schwarzwald wäre als Erstes zu nennen. Ebenso das Projekt zur "Simulation der langzeitlichen Schneedeckendynamik und der hydrologischen Auswirkungen in Südwestdeutschland" (BW und RLP) zur Validierung mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden, welche zuvor einem Korrekturverfahren unterzogen wurden. Desgleichen wäre das Projekt "Schnee unter Wald und Problem der "Erkennbarkeit" für Fernerkundungsprodukte" zu nennen, wobei wir dort zum Thema Schnee-Interzeption tätig sind.

Als Projekte im Ausland wären das Vorhaben "Simulation der Schneedeckenentwicklung in den oberen Einzugsgebieten von Aldan, Lena und Selenga" (südliches Sibirien und nördliche Mongolei) anzugeben. Desgleichen sind wir am Projekt "Permafrostdynamiken und Permafrost-Hydrologie im Khentii-Gebirge/Nord-Mongolei" zu Feldmessungen beteiligt. Schließlich ist auch noch das Projekt "Analyse der hydrologischen Veränderungen im Aldan, oberer Lena und Selenga mit Hilfe von Datenassimilation" zu nennen.

### Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:

Vielen Dank, lieber Lucas, für das sehr informative und ausführliche Gespräch zum Thema "Schneehydrologie".

Wie wir von Dir erfahren haben, wird das Thema an Eurem Lehrstuhl seit vielen Jahren behandelt und Ihr seid dabei in engem Kontakt mit einer Vielzahl von weiteren Instituten und Forschungseinrichtungen, die im Bereich der Schneehydrologie tätig sind. Ebenso aber arbeitet Euer Team innerhalb der Professur für Hydrogeographie und Klimatologie mit ausländischen Einrichtungen zusammen, ganz besonders bei Euren seit einigen Jahren tätigen Forschungen zu den Permafrostböden.

In der nächsten Folge wird Prof. Dr. Wolfram Mauser, emeritierter Hochschulprofessor von der Ludwig-Maximilians-Universität München zum Thema "Hydrologie & Fernerkundung" als Gesprächspartner zur Verfügung stehen. Unter anderem wird es dabei um die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Satellitenfernerkundung in der hydrologischen Forschung gehen, aber auch, wie die Fernerkundung zur Erfassung der Bodenfeuchte, der Bestimmung der Wasserqualität sowie zur Unterstützung bei der hydrologischen Modellierung genutzt werden kann.

### Weitere Informationen:

Professur für Hydrogeographie und Klimatologie,  
Universität Heidelberg  
[www.geog.uni-heidelberg.de/hydro/index.html](http://www.geog.uni-heidelberg.de/hydro/index.html)



## Willkommen bei "WasserGespräche" – der neue Podcast der Fachzeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, HyWa"

Hier trifft sich die HyWa-Redaktion etwa einmal im Quartal mit Fachleuten und Experten aus dem gesamten Bereich der Gewässerkunde und Hydrologie, aber auch aus den Bereichen Limnologie & Grundwasser, Klimatologie & Meteorologie sowie Geologie & Bodenkunde und spricht dabei mit ihnen über aktuelle Themen und Fragestellungen sowie interessante Forschungsfelder rund um diese Themenbereiche.

Der Podcast ist erreichbar auf:

- HyWa-Internetseite:  
<https://www.hywa-online.de/podcast-wassergespraech/>
- Apple Podcasts:



<https://podcasts.apple.com/de/podcast/hywa-wassergespraech/id1642502969>

- Spotify:



<https://open.spotify.com/show/0AgygEJKHu99IrmHwtb4GU>

Wir wünschen viel Interesse beim Zuhören.

*Dr. Thomas Lüllwitz/Schriftleitung,  
Stefanie Wienhaus/Redaktion*