

Die Entwicklung des Wasserwertes der Schneedecke im Einzugsgebiete der Limmat im Winter 1946/47

Autor(en): **Hoeck, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **39 (1947)**

Heft 4

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-921849>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Entwicklung des Wasserwertes der Schneedecke im Einzugsgebiete der Limmat im Winter 1946/47

Von Dr. E. Hoeck, Chef der Abteilung für Hydrologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH

1. Einleitung

Die Gefahren der winterlichen Schneedecke für die Verkehrsstrassen und Bahnen, für die Wälder und nicht zuletzt für die Heimstätten der Bergbevölkerung brachten es mit sich, dass der Wert systematischer Lawinenbeobachtungen schon gegen Ende des letzten Jahrhunderts erkannt wurde (1)*. Waren es früher fast ausschliesslich Förster und Bahningeniure, die sich mit den Aufgaben der Lawinenverbauung befassen, so begannen sich mit zunehmender Erschliessung der Alpen für den Wintersport bald weitere Kreise für eine systematische Beobachtung der Lawinen einzusetzen. Das Bedürfnis, die Schneedecke in gefährlichen Lawinhängen durch wirksame und möglichst billige Verbauungen zu stützen sowie die Notwendigkeit, Bergbewohner und Skifahrer über die geeigneten Massnahmen zur Vermeidung von Unglücksfällen aufzuklären, gaben diesen Bestrebungen machtvollen Auftrieb. Dies führte zur Gründung der Eidg. Kommission für Schnee- und Lawinenforschung, welche die nötigen Studien auf breiter Basis aufnahm und seither, gemeinsam mit wissenschaftlichen Instituten der ETH, die mechanischen, physikalischen und kristallographischen Eigenschaften der Schneedecke im Feld und im Laboratorium weitgehend erforschte (1).

Von einem ganz andern Standpunkt aus werden die Schneebeziehungen von der Wasserwirtschaft und von der Hydrologie im allgemeinen betrachtet. Für sie stellt die winterliche Schneedecke einen riesigen Wasserspeicher von zunächst unbekanntem und schwer feststellbarem Inhalt dar, der den Flüssen die winterlichen Niederschläge teilweise bis zu den Frühjahrs- und Frühsommermonaten entzieht, um sie dann während der Schmelzperiode, zu Hochwassern konzentriert, dem Abflusse zurückzugeben. Sie übt damit auf den Wasserhaushalt der Gewässer während der Winter- und Frühjahrsmonate einen dominierenden Einfluss aus, und es erhellt daraus das Interesse, mit dem die Wasserwirtschaft und die Hydrologie die Entwicklung der Schneedecke — oder genauer ausgedrückt, ihres Wasserwertes — während der Wintermonate verfolgen. Dieses Interesse ist an sich nicht neu, und systematische Messungen der Schmelzwasserhöhe der Schneedecke werden in anderen Ländern schon längere Zeit durchgeführt (3). In der Schweiz war aber für die Wasserwirtschaft, so lange der Bedarf an elek-

trischer Energie durch die Produktion mühelos gedeckt werden konnte, die genaue Kenntnis der in der Schneedecke aufgespeicherten Wasservorräte nicht unbedingt erforderlich. Man konnte sich mit ihrer Schätzung begnügen, was um so eher möglich war, als mit dem Aufblühen des Wintersportes regelmässige Meldungen in der Tagespresse über die Schneebeziehungen erschienen, die wenigstens einige Anhaltspunkte für diese Schätzungen lieferten.

Der heute bestehende Mangel an Winterenergie und die Unmöglichkeit, den Rückstand im Bau von Speicherbecken genügend rasch aufzuholen, machen es den Kraftwerken immer mehr zur Pflicht, den Inhalt der Speicherbecken möglichst gut zu verwerten. Der von der Bedarfsseite her ausgeübte Zwang zur Produktion lässt daher besonders in wasserarmen Zeiten die Frage nach der Grösse der Wasservorräte, die in Form von Schnee im Einzugsgebiet eines Stausees gebunden sind und bei Tau- und Schmelzperioden zum Abfluss gelangen, an Bedeutung gewinnen. Ihre exakte Beantwortung würde erlauben, die gesamten Wasservorräte besser zu verwerten und sie vorausschauend zu bewirtschaften. Eine langfristige Vorhersage über den Zeitpunkt des Schmelzprozesses oder von grösseren Tauperioden auf Grund meteorologischer Faktoren ist bei den mannigfachen Einflüssen, denen der Witterungsablauf in unserem Lande ausgesetzt ist, nicht mit der erforderlichen Genauigkeit möglich. Dagegen bietet es keine Schwierigkeiten mehr, die gesamten, in der Schneedecke eines Einzugsgebietes aufgespeicherten Wassermassen für einen beliebigen Zeitpunkt zu ermitteln, sobald die örtlichen Verhältnisse einigermaßen abgeklärt sind.

Eine ganz ähnliche Entwicklung des Interesses an der Beobachtung der Schneedecke zeigt die Hydrologie. Die Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluss und Verdunstung, die für die Lösung der meisten Probleme der Hydrologie den Schlüssel liefern, stützten sich früher ausschliesslich auf mehrjährige Beobachtungsreihen. Die im Einzugsgebiet aufgespeicherten Wassermassen waren in diesem Falle nur von untergeordneter Bedeutung. Die moderne Hydrologie verlangt aber für die Lösung zahlreicher Probleme die Wahl auch kürzerer Beobachtungsperioden (2). Bei Betrachtungen über den Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes sind in diesem Fall Änderungen des im Gebiete selbst aufgespeicherten Wasservolumens voll in Rechnung zu setzen. Diese Forderung setzt also auch die

* Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.

Kenntnis der Wassermasse voraus, die zu Beginn und am Ende der Beobachtungsperiode in der dann eventuell vorhandenen Schneedecke gebunden ist.

Nicht immer ist es möglich, die erforderlichen Erhebungen über Schneehöhen und Raumgewichte, deren Produkt den Wasserwert liefert, im richtigen Zeitpunkt vorzunehmen. Oft verhindern ungünstige Witterungsverhältnisse, Mangel an geeigneten Beobachtern usw. die Durchführung der im Gebirge erforderlichen Beobachtungen, so dass man gezwungen ist, früher oder später durchgeführte Messungen auf den gewünschten Termin zu reduzieren, oder aber aus wenigen, am Wohnort eines Beobachters festgestellten Schneehöhen und Raumgewichten auf die Schneeverhältnisse des ganzen Einzugsgebietes zu schliessen. Man war dabei bis heute weitgehend auf Schätzungen angewiesen.

2. Bisherige Untersuchungen

Die Abteilung für Hydrologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH hat in den letzten Wintern Methoden entwickelt, die gestatten, mit Hilfe einiger Messungen der Schneehöhen und des Raumgewichtes den in der Schneedecke eines Einzugsgebietes aufgespeicherten Wasservorrat mit möglichst grosser Genauigkeit zu bestimmen (3) und ihn mit Hilfe der im Einzugsgebiet selbst oder in seiner näheren Umgebung festgestellten Niederschläge, Temperaturen und Strahlungsverhältnisse und unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Schneedecke auf einen beliebigen Termin zu reduzieren.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden im Januar 1943 im Einzugsgebiet der Limmat regelmässige Beobachtungen der Schneedecke aufgenommen. Sie stützten sich auf ein System von sorgfältig ausgesuchten Stationen verschiedener Meereshöhe und Exposition, in denen teils regelmässige Beobachtungen der Schneehöhen, Raumgewichte und der massgebenden meteorologischen Elemente (Niederschlag, Temperatur, Bewölkung, Wind), teils nur die Beobachtung der Schneehöhen durchgeführt wurden. Wir verdanken an dieser Stelle der Kraftwerke Wäggitäl AG., der Sernf-Niedererbach AG., der Nordostschweiz. Kraftwerke AG. und der Etzelwerk AG. die Durchführung der Beobachtungen in zahlreichen Stationen durch ihr Personal und auf ihre Kosten.

Im Winter 1945/46 wurden die Untersuchungen auch auf Stationen anderer Einzugsgebiete ausgedehnt, so dass heute die regelmässige Beobachtung der Schneehöhen, der Raumgewichte, der Schneegrenzen und der erwähnten meteorologischen Elemente in folgenden Stationen durchgeführt wird:

Sihlsee (Staumauer), Innertal und Brandhaltli (Wäggitäl), Rempen, Sieben, Rhodannenbergl (Klön-

tal), Mettmän* (Stausee Garichte), Schwägälp*, St. Antönien*, Obersaxen*, Andermatt*, Hahnenmoos*, Zermatt*, Barberine*, Les Avants, Jor und Les Béviaux (Einzugsgebiet der Baye de Montreux).

Bei der quantitativen Bestimmung des in der Schneedecke eines Einzugsgebietes aufgespeicherten Wasservorrates kommt der Exposition der Hänge eine überragende Bedeutung zu. Die in den genannten Stationen in horizontalen Versuchsfeldern vorgenommenen Beobachtungen werden deshalb ergänzt durch Messungen in weiteren 90 ausgesuchten Stationen verschiedener Exposition und Meereshöhe, in Hängen mittlerer Neigung, in denen regelmässig wöchentlich, ein- bis zweimal monatlich oder nach Bedarf die Schneehöhe und gelegentlich auch das Raumgewicht der Gesamtschneedecke gemessen wird. Diese Stationen sind vorläufig auf das Einzugsgebiet der Limmat konzentriert. Eine spezielle Untersuchung über das Raumgewicht der Schneedecke wird ferner im Einzugsgebiet der Baye de Montreux durchgeführt, wo in 23 Stationen zweimal monatlich Raumgewicht und Schneetiefe gemessen werden.

Über die Ermittlung des in der Schneedecke aufgespeicherten Wasservorrates mit Hilfe von Schneebeobachtungen und ergänzenden Berechnungen aus den massgebenden meteorologischen Elementen ist eine Publikation in Vorbereitung. Auf Einzelheiten der Mess- und Berechnungsmethoden hier einzutreten, würde uns zu weit führen. Heute, da infolge der frühzeitigen, starken Absenkung der Stauseen und der lange Zeit mangelhaften Wasserführung unserer Flüsse die Frage nach den in der Schneedecke gebundenen Wasservorräten besonderes Interesse erweckt, mag es angezeigt erscheinen, die Entwicklung des Wassergehaltes der Schneedecke im Einzugsgebiet der Limmat seit Dezember 1946 zu verfolgen und mit den entsprechenden Werten der Vorjahre zu vergleichen.

3. Resultate

In Abb. 1 ist die zeitliche Entwicklung der Schneedecke, in mm Schmelzwasser ausgedrückt (Wasserwert), in verschiedenen Meereshöhen zwischen 900 und 2400 m ü. M. seit anfangs Dezember 1946 dargestellt. Die Linien gelten praktisch für das ganze Einzugsgebiet der Limmat, mit Ausnahme des oberen Linthgebietes (Tierfeld) und seiner Seitenbäche, deren Schneeverhältnisse nicht denen des übrigen Einzugsgebietes entsprechen und heute auch noch nicht genügend abgeklärt sind. Diese Wasserwertlinien sind seit anfangs Dezember durch fortlaufende Anwendung der obenerwähnten Reduktionsmethode aus meteorologischen Elementen berechnet worden. Die hiefür er-

* Hier werden die hydrologischen Beobachtungen gleichzeitig mit den Beobachtungen der Eidg. Kommission für Schnee- und Lawinenforschung und durch den gleichen Beobachter durchgeführt.

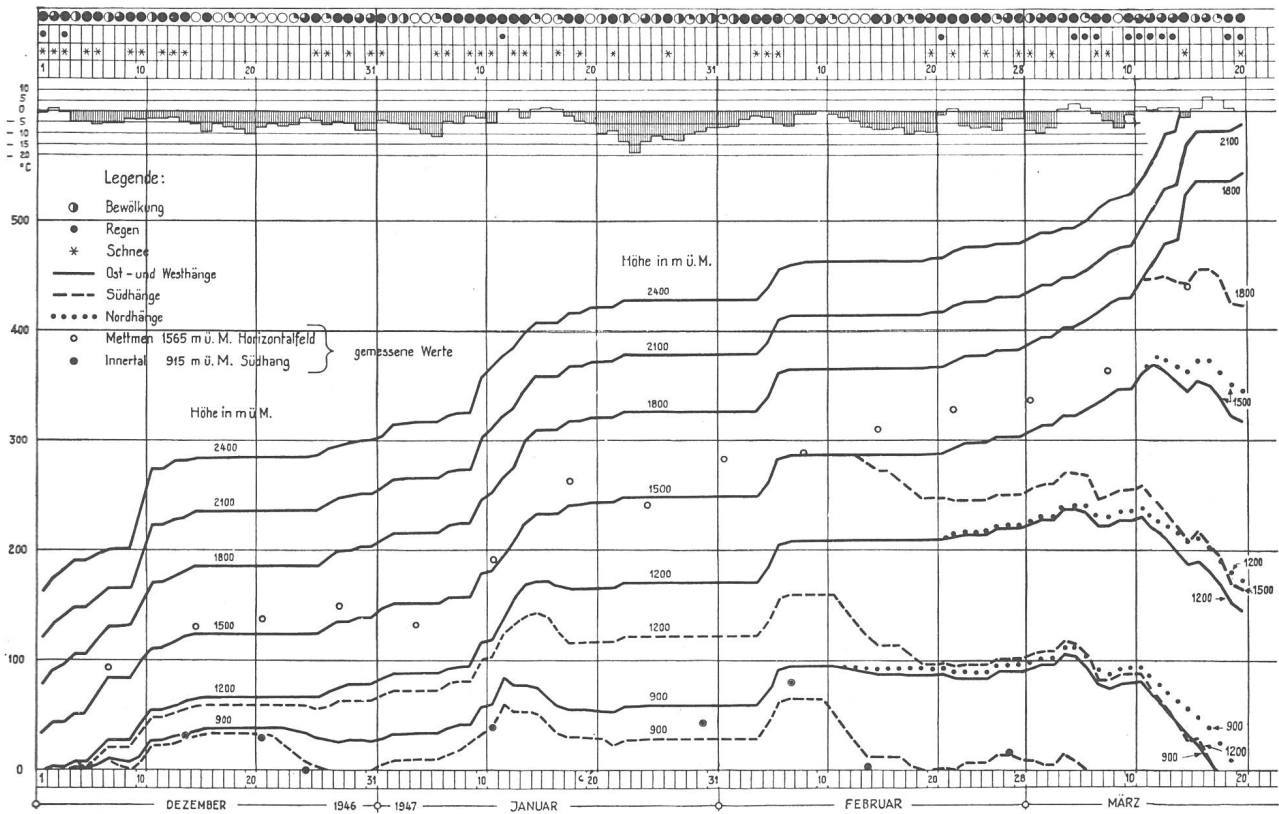


Abb. 1 Zeitliche Entwicklung des Wasserwertes der Schneedecke im Einzugsgebiete der Limmat, Winter 1946/47.

forderlichen Temperaturen, Niederschläge und Bewölkungsgrade wurden für die in Betracht gezogenen Meereshöhen durch Interpolation aus den Beobachtungen der Stationen Einsiedeln, Innertal, Glarus, Mettmen (Stausee Garichte) und Säntis gewonnen, für welche teilweise die täglichen Meldungen der Meteorologischen Zentralanstalt benützt wurden.

Die Abb. 1 zeigt das typische Bild der zeitlichen Entwicklung des Wasserwertes während der Aufbauperiode der Schneedecke: In Höhen über 1500 m ü. M. reagiert der Wasserwert vorerst nur auf die Niederschläge, die von der Schneedecke in der Regel auch dann aufgespeichert werden, wenn sie in Form von Regen fallen. Im Gegensatz dazu spiegeln die Wasserwertlinien für tiefere Lagen, besonders diejenige für 900 m ü. M., sehr deutlich den Einfluss der Witterung: Zunahmen des Wasserwertes infolge von Schneefällen wechseln mit kurzen Schmelzperioden (21.—28. Dezember, 15.—18. Januar, 10.—15. Februar usw.) und Tauwettereinbrüchen (12. Januar, 5.—7. März). Der Unterschied der Wasserwerte in Hängen verschiedener Exposition macht sich hier schon deutlich bemerkbar. Während Ost-, West- und Nordhänge — abgesehen von Unterschieden im Niederschlag, die in unseren Mittelwerten nicht zum Ausdruck kommen — in allen Höhen bis zum 11. Februar gleiche Wasserwerte aufweisen, kommen in den Südhängen unter 1500 m ü. M. bereits im Dezember

die günstigeren Strahlungsverhältnisse zur Geltung.

Über den Verlauf der Witterung dieses Winters ist, nach den Meldungen der Meteorologischen Zentralanstalt, folgendes zu sagen: Die ersten Schneefälle wurden auf dem Säntis anfangs Oktober verzeichnet, doch bildete sich eine bleibende Schneedecke erst in der zweiten Monatshälfte. Im trockenen und nur unwesentlich zu warmen November vermochte sie sich zu verstärken. Anfangs Dezember, zu Beginn unserer Aufzeichnungen des Wasserwertes, hatte sich bis auf 900 m ü. M. hinunter bereits eine geschlossene Schneedecke gebildet.

Der Monat Dezember hatte nur in seiner ersten Hälfte wesentliche Niederschläge zu verzeichnen; insgesamt erreichten sie aber in den tieferen Lagen nur knapp die Hälfte der für diesen Monat üblichen Werte. Etwas günstiger waren die Verhältnisse in den höheren Lagen, doch blieben die Niederschläge auch hier hinter den Erwartungen zurück. In der kalten Schönwetterperiode der zweiten Monatshälfte vermochte sich die Schneedecke im wesentlichen ohne Veränderung ihres Wasserwertes — Verdunstung und Kondensation werden hier, weil zu geringfügig, nicht in Rechnung gesetzt — zu halten. Nur gerade die Hänge unter 1000 m Meereshöhe, und hier besonders die Südhänge, hatten infolge des Schmelzprozesses und am 26./27. Dezember durch geringfügige Regen-

fälle Verluste zu verzeichnen. Am 27. des Monats (in der Station Innertal tatsächlich am 25.) waren die Südhänge in 900 m Meereshöhe ausgeapert. Schon am 1. Januar hatte sich aber auch hier wieder eine geschlossene Decke gebildet.

Der Monat Januar brachte nahezu normale Niederschläge und im Mittelwert ein Wärmedefizit. Während den wenigen warmen Tagen vom 12.—17. Januar fiel Regen bis auf 1600 m Meereshöhe, der in Verbindung mit der Wärme in den Hängen unter 1200 m ü. M., und hier natürlich besonders in den Südhängen, eine Verminderung des Wasserwertes verursachte. In 1500 m ü. M. dagegen vermochte die Schneedecke den Regen und das Schmelzwasser vollständig aufzunehmen. Eine Abnahme des Wasserwertes war hier nicht festzustellen.

Die Gipfelstationen verzeichneten im Januar ungünstige Windverhältnisse, so dass der Neuschnee teilweise schon vor seiner Ablagerung oder kurz nachher in tiefere Lagen verfrachtet wurde. In den dem Wind ausgesetzten Hängen und Gipfellagen wurde infolgedessen nur ein geringer Zuwachs, oder sogar eine lokale Abnahme des Wasserwertes festgestellt (Abb. 3). Wir haben versucht, diesem Umstand schätzungsweise Rechnung zu tragen, was sich in Meereshöhen über 1800 m durch einen, im Vergleich zu den tieferen Lagen, etwas geringeren Anstieg der Wasserwerte zwischen dem 10. und 14. Januar bemerkbar macht. Die letzte Januardekade brachte grosse Kälte und nur wenig Neuschnee, der sich durch ausserordentlich kleine Raumgewichte auszeichnete. In mehreren Messungen wurden Werte von nur 35 kg/m³ festgestellt.

Der Monat Februar ist uns ausgiebige Niederschläge schuldig geblieben, so dass in unserem Untersuchungsgebiete seit November schon der dritte Monat mit einem wesentlichen Defizit an Niederschlägen abschloss. Die fast andauernd tiefen Temperaturen verhinderten auch die Bildung grösserer Schmelzwassermengen. Nur in Hängen unter 1500 m Meereshöhe, und hier hauptsächlich in Südhängen, machte sich in der zweiten Februardekade ein merkbarer Schmelzprozess geltend. Die Ost- und Westhänge in 900 m ü. M. weisen hier erstmals kleinere Wasserwerte der Schneedecke auf als die Nordhänge in gleicher Höhenlage. Dieser Unterschied wird sich von nun an ständig vergrössern und sich nach und nach auch in höheren Lagen bemerkbar machen.

In der ersten Märzhälfte wurden zunächst unwesentliche, später aber stärker werdende Niederschläge registriert, die im Verein mit der starken Temperaturzunahme Tauwetter bis gegen 1800 m ü. M. hinauf verursachten. An der Bildung der lange erwarteten und deshalb für unsere Energieversorgung sehr willkommenen Taufluten waren auch die in den

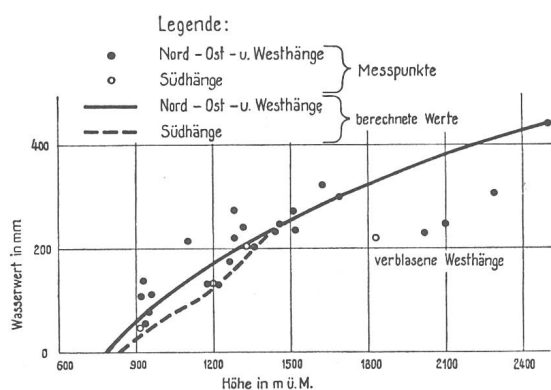


Abb. 2 Wasserwert der Schneedecke am 28. 1. 47 in Abhängigkeit der Höhenlage ü. M.

Nordhängen bis auf 1500 m ü. M. liegenden Schneemassen beteiligt. Vor Abschluss unserer Betrachtungen bestand Aussicht auf weitere Niederschläge.

Die Übereinstimmung der in Abb. 1 dargestellten, berechneten Wasserwerte mit direkten Messungen zeigt Abb. 2. Die dort dargestellte Beziehung zwischen Wasserwert und Meereshöhe wurde der Abb. 1 entnommen. Sie entspricht mit genügender Genauigkeit dem Mittelwerte der Messpunkte, soweit die letzteren aus Stationen mit möglichst ungestörter Schneeeablagerung gewonnen werden konnten. Die eingezeichneten Messpunkte zwischen 1820 und 2300 m ü. M. beziehen sich auf Stationen in den sehr stark dem Wind ausgesetzten Westhängen der Bleitstöcke (Niederbachgebiet), wo zudem nur die Schneetiefe festgestellt wurde. Bei der Bestimmung der Wasserwerte dieser Punkte wurde das in Mettmen festgestellte Raumgewicht in Rechnung gestellt. Der Einfluss des Windes, der durch Pressung der Schneedecke erhöhte Raumgewichte und durch Schneeverfrachtung im allgemeinen eine Verminderung des Wasserwertes in Westhängen verursacht, wurde nicht berücksichtigt. Diese Punkte sind deshalb für die Beziehung zwischen mittlerem Wasserwert und Meereshöhe nur sehr beschränkt massgebend. In der Abb. 1 sind ferner die Messpunkte der Stationen Innertal (Südhang, 915 m ü. M.) und Mettmen (Westhang bzw. Horizontalfeld, 1565 m ü. M.) zum Vergleich eingetragen. Die Übereinstimmung zwischen Messungen und Berechnungen ist durchaus befriedigend und zeigt, dass in den Wintermonaten eine genügend genaue Berechnung des Wasserwertes der Schneedecke aus meteorologischen Elementen ohne Schwierigkeiten möglich ist. Gegen das Frühjahr wird dagegen erfahrungsgemäss eine aus Rechnung und Messung kombinierte Methode bessere Resultate ergeben, da hauptsächlich die durch den Windeinfluss bedingten Fehler der Berechnung sich mit der Zeit häufen.

(Schluss folgt)