



## Doctoral Thesis

# **Zum Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Rhone bis Gletsch Untersuchungen zu Niederschlag, Verdunstung und Abfluss in einem alpinen, teilweise vergletscherten Einzugsgebiet**

**Author(s):**

Bernath, Andre

**Publication Date:**

1989

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000578026> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS.ETH Nr. 9025

**ZUM WASSERHAUSHALT IM EINZUGSGEBIET DER RHONE BIS GLETSCH**

**Untersuchungen zu Niederschlag, Verdunstung und Abfluss  
in einem alpinen, teilweise vergletscherten Einzugsgebiet**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung des Titels

**DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN**

der

**EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH**

vorgelegt von

**ANDRE BERNATH**

Dipl. Natw. ETH

geboren am 23.01.1956

von Thayngen/SH



Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. A. Ohmura, Referent

Prof. Dr. H. Lang, Korreferent

1989

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden in den hydrologischen Jahren 1979/80 bis 82/83 im teilweise vergletscherten Einzugsgebiet Gletsch unabhängige Bestimmungen der Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss, sowie der Energiebilanz durchgeführt. Das Einzugsgebiet Gletsch liegt in den Schweizer Zentralalpen und dehnt sich von 46°33' bis 46°39' N und 8°22' bis 8°25' E aus. Die gesamte Fläche beträgt 38.87 km<sup>2</sup>. Davon sind 52.4 % oder 20.35 km<sup>2</sup> vergletschert. Mit 17.4 km<sup>2</sup> Fläche dominiert der Rhonegletscher eindeutig. Der Höhenbereich umfasst eine Spanne von 1755.7 bis 3629.9 m.ü.M. Umfangreiche Messungen wurden jeweils in den Monaten Juni bis Oktober ausgeführt. Die Wintersituation wurde weitgehend mit automatischen Stationen und periodischen Messungen erfasst. Ergänzend dazu wurden die winterlichen Energiebilanz- und Verdunstungsverhältnisse in den Monaten März/April 82 im lawinensicheren Oberwald untersucht. Oberwald liegt rund 3 Kilometer von Gletsch entfernt in der gleichen Talschaft auf 1368 m.ü.M.

Die Sommerniederschläge (Mitte Juni - Anfang Oktober) wurden mit einem Messnetz von 25 Niederschlagssammlern vom Typ Hellmann und 3 Belfort-Niederschlagswaagen im Höhenbereich 1765 bis 2850 m.ü.M. ermittelt. Die Winterniederschläge wurden mit einem Totalisator in Gletsch bestimmt. Weitere Informationen liefern die Arbeiten von Funk (1985) und Pfirter (1980), sowie einige umliegende Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA). Die Niederschlagsverteilung im Sommer zeigt eine deutliche Variabilität. Gegenüber den anderen Teilen des Gebiets erhält der Grimselhang, beeinflusst durch die Passströmung über die Grimsel, deutlich mehr Niederschlag. Die Regionen Wyssgand und Belvedere liegen unter dem Gebietsmittel. Die Höhenabhängigkeit des Niederschlags zeigt während der Sommer- und Herbstmonate auf Wochenbasis in der Regel einen deutlichen Trend. Neben positiven Gradienten treten abhängig von der Wettersituation teilweise geringe oder negative Höhenabhängigkeiten auf. Der Zusammenhang zwischen dem Gradientenverlauf und gebräuchlichen Wetterklassifikationsgrößen ist vor allem beim Druckunterschied zwischen dem Norden und dem Süden der Alpen und bei der Differenz Boden-Höhenströmung deutlich. So nehmen bei zunehmendem Druckunterschied die Niederschlagsgradienten merklich ab. Grosse Gradienten treten speziell bei windschwachen Lagen auf. Die normierten monatlichen Gradienten schwanken von  $-0.129$  bis  $1.262 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ . Die Mengen liegen für die einzelnen Stationen in der Periode Juli bis Oktober zwischen 200 und 700 mm. Anhand von Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen Messnetzzusammensetzungen zeigt sich deutlich, dass die Bestimmung verlässlicher Höhengradienten in einem Einzugsgebiet einer genauen Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse bedarf. Bei der Abstützung auf wenige Stationen besteht ein grosses Risiko für Fehleinschätzungen. Die Niederschlagsverteilung im Winter zeigt im Gebiet des Rhonegletschers einen deutlich dominierenden Höhengradienten zwischen  $0.708$  und  $1.262 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  bis in die Höhe von 2900 m.ü.M. Darüber nehmen die im Winter gemessenen Niederschlagsmengen wieder ab. In den Randbereichen des Gletschers werden häufig erhöhte Schneemengen festgestellt. Die Niederschlagsmengen von Oktober bis Juni betragen, abhängig von der Höhenlage, zwischen 1100 und 3900 mm. Der Gebietsniederschlag liegt in den hydrologischen Jahren 79/80 - 82/83 zwischen 2440 und 2845 mm.

Besonderes Gewicht wurde auf die Messung der Verdunstung über alpiner Tundra mittels Profil- und Energiebilanzmethode gelegt. Die Flussmessungen wurden mit einer speziell konzipierten Messvorrichtung mit mobiler Instrumentenplattform durchgeführt. Im Sommer 83 wurde ein detaillierter Vergleich mit zwei unmittelbar nebeneinander aufgestellten, konstruktionsgleichen Gradientenmessern gemacht. Dabei zeigte sich deutlich, dass durch die starken horizontalen Schwankungen der Ausgangsgrößen selbst räumlich nahe Messorte nur bei genügender statistischer Abstützung vergleichbar sind. Bei der Bestimmung der latenten und fühlbaren Wärmeflüsse treten Schwierigkeiten mit den, durch die rauhe Oberfläche der Umgebung in Gletsch gestörten Profilen von Temperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit auf. Sehr unregelmässig sind häufig die Windprofile. Dies betrifft speziell die Profilmethode, für welche eine zusätzliche Korrektur vorgeschlagen wird. Die Bowen-Ratio-Methode ist hingegen weitgehend problemlos. Die Verdunstungswerte liegen bei den Sommer-Messperioden (Mitte Juli - Mitte September) in Gletsch zwischen 2.15 und 3.25 mm pro Tag. Zwischen 53 und 79 Prozent der verfügbaren Energie an der Oberfläche werden für Verdunstung aufgewendet. Die Energiebilanzverhältnisse in Oberwald sind durch die geschlossene Schneedecke völlig anders. Hier liegen die Tageswerte (insgesamt 11 auswertbare Tage) der Flussmessungen zwischen 0.07 mm Kondensation und 0.22 mm Verdunstung. Im Vergleich dazu zeigen die Resultate des Schneelysimeters im April zwischen 0.09 mm d<sup>-1</sup> Kondensation und 1.93 mm d<sup>-1</sup> Verdunstung. Die mittlere Gebietsverdunstung im Einzugsgebiet Gletsch liegt zwischen 131 und 240 mm pro Jahr, also zwischen 5 und 10 % der Niederschlagsmenge.

Die Grundlage der Abflussmengen bilden die Resultate der Limnigraphenstation Gletsch der Landeshydrologie. Da diese noch innerhalb des Talkessels von Gletsch liegt, schien ein Wasserverlust durch die Schotterfüllung möglich. Mit Verdünnungsmessungen bei der Messstation und am Talausgang konnte jedoch kein nennenswerter Unterschied zwischen den Wassermengen dieser beiden Standorte festgestellt werden. Mit einer Limnigraphenstation am Muttbach und vier einfachen Minimum/Maximum-Pegeln an den wichtigsten Quellbächen im Gletschboden wurden die Abflussbeiträge der drei wesentlichen Geländekammern Gletschboden, Muttal und Rhonegletscher untersucht. Der Anteil aus dem Gletschboden beträgt in den Monaten Juni bis Oktober zwischen 4.5 und 6, derjenige des Muttbachs zwischen 9.5 und 12 Prozent. Im Winter ist ihr Beitrag bei der für Gletschergebiete typischen geringen Wasserführung von rund 0.2 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> wesentlich grösser, fällt aber in der Gesamtmenge nur wenig ins Gewicht. Die mittleren Abflussmengen in den bearbeiteten Jahren betragen zwischen 2.5 und 3.4 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, das heisst zwischen 2108 und 2698 mm Abflusshöhe pro Jahr.

Vergleicht man die erhaltenen Zahlenwerte in der Wasserbilanz, so zeigt sich deutlich, wie wichtig es ist die einzelnen Komponenten der Gleichung separat zu bestimmen und nicht etwa die Verdunstung als Differenzwert von Niederschlag und Abfluss zu berechnen. Dazu sind die Unsicherheiten bei diesen Grössen in alpinen Gebieten viel zu hoch. Die separat bestimmten Jahresmittelwerte der Komponenten der Wasserbilanz in der vierjährigen Untersuchungsperiode für das Einzugsgebiet Gletsch betragen für den Niederschlag 2668 mm, für die Verdunstung 186 mm, für die Speicheränderung (Gletscherzuwachs) 206 mm (Funk, 1985) (Mittel der hydrologischen Jahre 79/80-81/82) und für die Abflusshöhe 2421 mm.

## Summary

In the context of this thesis independent investigations on the water balance components precipitation, evaporation including the heat balance and discharge were made in the partly glaciated basin Gletsch during the hydrological years 1978/80 to 82/83. The catchment Gletsch is situated in the central Swiss Alps from  $46^{\circ}33'$  to  $46^{\circ}39'$  N and  $8^{\circ}25'$  to  $8^{\circ}25'$  E. The total area is  $38.87 \text{ km}^2$ .  $20.35 \text{ km}^2$  or 52.4 percent are covered with glaciers. The Rhonegletscher with an area of  $17.4 \text{ km}^2$  is the largest glacier. The elevation reaches from 1755.7 to 3629.9 m.a.s.l. Extensive investigations were made from June to October. Winter situation was observed as far as possible automatically. As a complement the winter heat balance was investigated in March/April 82 at Oberwald because of danger of avalanches at Gletsch. Oberwald is situated in the same valley about 3 kilometers from Gletsch at 1368 m.a.s.l.

The precipitation during the summer months (June–October) was measured with a network of 25 Hellmann–raingauges and 3 Belfort–weighting–gauges in the range of altitude from 1765 to 2850 m.a.s.l. Winter precipitation was measured with a storage gauge at Gletsch. Further information is given by the work of Funk (1985), Pfirter (1980) and in the meteorological year–books (Schweiz. Meteorol. Anstalt, 1979 ff.) for some measuring places in the catchments neighbourhood. The distribution of precipitation in summer shows a significant variability. The slope of the Grimsel pass through the influence of pass wind gets more precipitation than other regions of the catchment. The precipitation–elevation dependency based on weekly measurements shows during summer months in most cases a distinct trend. Beside positive gradients, small and even negative gradients were observed. Between a few commonly used weather classifications and the course of precipitation gradients a connection can be found. Specially the pressure difference between the south and the north of the Alps and the difference between winds at the ground and at the 500–mb level show a clear relationship. With increasing pressure difference the precipitation–gradients are decreasing. Large gradients are observed often with small winds at both levels. The normalized monthly gradients vary between  $-0.129$  and  $1.262 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ . The precipitation amount for individual stations in the period from July to October is from 200 to 700 mm. Some comparing calculations with various network compositions show clearly that exact knowledge of precipitation situation in a catchment is needed for determining accurate gradients. Using only a few stations there is a large risk of wrong inference. The distribution of snow in winter shows in the area of the Rhonegletscher a significant precipitation–elevation dependency between  $0.708$  and  $1.262 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  till 2900 m.a.s.l. Above this height the measured amount of precipitation is decreasing. At the glacier borders large amounts of snow are frequently measured. The precipitation from October to July amounts from 1100 to 3900 mm depending on elevation. The average precipitation for the catchment in the hydrological years 79/80 to 82/83 is between 2440 and 2845 mm.

Particular stress was laid on the measurement of evaporation over alpine tundra using energy–balance and profile method. The flux–measurements were made with a special tower with a moving instrument platform. During summer 83 an extensive comparison with two identical gradient–towers was made. It was found that the horizontal fluctuation of the major quantities even between very close measuring points only remain comparable in a statistical way. During investigation of latent and sensible heat fluxes some difficulties appear through

the influence of the surroundings on the mean profiles of temperature, humidity and wind-speed. The wind profiles are very often irregular. This affects specially the profile method. An additional correction for this is suggested. Bowen-ratio was used without problems. The amount of evaporation during the summer periods (July to September) at Gletsch is between  $2.15$  and  $3.25 \text{ mm d}^{-1}$ . From 53 to 79 percent of available energy at the surface is consumed by evaporation. The heat balance at Oberwald is strongly influenced by the snow cover. The daily means of the flux measurements (calculated from 11 days) are between  $0.07 \text{ mm d}^{-1}$  condensation and  $0.22 \text{ mm d}^{-1}$  evaporation. The comparison with snow-lysi-meter results from April 82 shows condensation amounts of  $0.09 \text{ mm d}^{-1}$  and evaporation of  $1.93 \text{ mm d}^{-1}$ . The average evaporation for the basin of Gletsch is estimated between  $131$  and  $240 \text{ mm y}^{-1}$ , that is 5 to 10 percent of precipitation.

The basis for the amount of discharge are the results of the gauging station at Gletsch. As the station is situated on the valley floor of Gletschboden a loss through ground water seepage seemed possible. Discharge measurements with salt-dilution-method show no significant difference between the gauging station and the bedrock-'Riegel' at the end of the valley. With a discharge station at the Muttbach and four simple minimum/maximum-water gages the contribution of the three major regions Gletschboden, Muttal and Rhone-gletscher was examined. The portion from Gletschboden amounts from 4.5 to 6 percent, that one from the Muttbach from 9.5 to 12 percent in the months from July to October. In winter with the typical small discharge from glacierized basins of  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  the contribution increases, but it remains small compared with total discharge. Average discharge in the observed years is between  $2.5$  and  $3.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , that is from 2108 to 2698 mm a year.

If we compare the individual amounts in the water balance we realize the importance of their independent investigation, e.g. evaporation should not be calculated from the difference of precipitation and discharge. For this the uncertainty of these components in Alpine regions is too large. The average components for the four-year observing period for the catchment of Gletsch are 2668 mm for precipitation, 186 mm for evaporation, 206 mm for the change of retention into glacier ice (Funk, 1985)(average from 79/80 to 81/82) and 2421 mm for discharge.