

Über Niederschlag und Abfluss im Monte Rosa-Gebiet

Autor(en): **Lütschg, Otto**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **104 (1923)**

PDF erstellt am: **11.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90334>

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.

Über Niederschlag und Abfluss im Monte Rosa-Gebiet¹

Oberingenieur OTTO LÜTSCHG (Bern)

Verehrte Damen und Herren!

Die Erforschung der Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss im eigentlichen Hochgebirge ist nicht nur in rein hydrographischer Hinsicht von hinreichend bekannter Wichtigkeit, sondern sie gewinnt neuerdings auch für praktische, wirtschaftliche Fragen eine ganz besondere Bedeutung. Mehr und mehr steigt die moderne Industrie auch in die entlegensten Winkel unsrer majestätischen Hochgebirgswelt hinauf.

Unsern Alpenseen und auch einzelnen hochgelegenen Talböden, die sich für Stauanlagen besonders eignen, kommt heute nicht nur als *Regulatoren und Akkumulatoren der Wasserkraft*, sondern namentlich auch als *Hochwasser-Schutzraum zur Aufnahme des Schadenwassers* eine ganz ungewöhnliche Bedeutung zu. Während für die Bekämpfung schädlicher Hochwasser solche natürliche oder künstliche Becken mit genügend grossem Schutzraum zur Aufnahme des Schadenwassers erwünscht sind, ergibt sich die meiste Wasserkraft bei vollständiger Füllung des Staubeckens. Sie ersehen daraus, dass die Ansprüche an das Wasser immer vielseitiger und widerspruchsvoller werden.

Damit entsteht denn auch für das Hochgebirge das grosse Grundproblem der Wasserwirtschaft: die Ausfindigmachung und Erhaltung des Gleichgewichtes zwischen dem fordernden Haushalte des Menschen und dem gebenden Haushalte der Natur. Hierzu gehört aber eine Gewässerkunde, die in der Lage ist, alle in das Gebiet gehörenden Erscheinungen in ihren Zusammenhängen zu

¹ Unter dem Titel: „Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge“ wird demnächst in den *Annalen der Eidgen. Landeshydrographie* eine Arbeit erscheinen, die das vorliegende Thema in erweitertem Masse behandelt. Aus diesem Grunde ist von einer Aushingabe eines Literaturverzeichnisses Umgang genommen worden.

überblicken. Sie bildet die notwendige Grundlage für eine zweckmässige, sowohl die *Wassernutzung* als auch die *Wasserabwehr* umfassende Wasserwirtschaft.

Eine Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge aufzustellen, wird namentlich durch die Unsicherheit der Messung der Niederschlagshöhen erschwert. Die Bestimmung der Niederschläge in den höheren und höchsten Regionen unserer Alpen bildet deshalb seit einer Reihe von Jahren das Studium der Meteorologen, Hydrologen und Glaziologen, weil die Kenntnis des Niederschlages nicht nur für die Aufstellung der Bilanz zwischen Niederschlag und Abfluss unbedingt notwendig ist, sondern auch für die Klimakunde, ferner dient sie als Grundlage für das Studium der Wasserkraftnutzung, besonders für die Erstellung von Staubecken und für das Studium der Abwehr der Hochwassergefahr durch Schaffung von Hochwasser-Schutzräumen.

Aus der MAURER'schen Regenkarte der Schweiz erkennt man, dass zur genauen Berechnung der Regenmengen ein sehr engmaschiges Beobachtungsnetz unbedingt notwendig ist. Die oben genannte Regenkarte kann natürlich keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit machen, hierfür ist ja die Zahl der Beobachtungsstationen, namentlich im Hochgebirge auch heute noch eine viel zu kleine, sie gibt uns aber im allgemeinen doch ein annähernd richtiges Bild der Niederschlagsverteilung.

Die Ausgestaltung von stationsreichen Beobachtungsnetzen, wie solche nötig sind, um die Ungleichheit der einzelnen meteorologischen Elemente an verhältnismässig nahe gelegenen Orten zu ermitteln, gehört in das Gebiet der Einzelforschung.

Der Wasserschatz des Walliser Rhonegebietes beträgt im Mittel der 19jährigen Periode 1904—1922 pro Jahr 5536 Millionen Kubikmeter. Wenn wir uns diese Wassermasse auf das ganze 5220 km² grosse Einzugsgebiet gleichmässig verteilt denken, so entspricht dies einer Abflusshöhe von 1060 mm. Diese Abflusshöhe ist nicht gleich der Niederschlagshöhe, da bei letzterer noch die Verlusthöhe abzuziehen ist. Die Gleichung hat heute die Form: Abfluss = Niederschlag — Verlust. Dabei ist unter Verlust einfach der Fehlbetrag des Abflusses gegenüber dem Niederschlag zu verstehen, ohne Rücksicht darauf, ob in den einzelnen Jahren ein wirklicher oder nur scheinbarer Verlust eingetreten ist. Unter den wirklichen Verlusten fällt namentlich die Wegführung der ver-

dunsteten Wassermassen durch den Wind¹ in ein anderes Gebiet, ferner der Verbrauch an Wasser im Haushalte der Natur für Menschen und Tiere, sowie zur Bindung bei entstehenden Gesteinen in Betracht.

Bringen wir die Abflusshöhe mit der aus sämtlichen Ergebnissen der Niederschlagsmessungen auf den Regenmeßstationen der Schweizer. Meteorolog. Zentralanstalt in Zürich im Walliser Rhonegebiet ermittelten mittleren Niederschlagshöhe in Beziehung, so erhellt daraus in einwandfreier Weise, dass diese ermittelte Niederschlagshöhe mit der tatsächlichen nicht übereinstimmen kann: es ergibt sich nämlich ein Wert, dessen Grösse nicht einmal ganz derjenigen der Abflusshöhe gleichkommt.

Aus den Ergebnissen der Abflussmengen, die das Amt für Wasserwirtschaft im Rhonegebiet zusammengestellt hat, ist namentlich ersichtlich, dass die Kettenregion der Penninischen Alpen in sehr niederschlagsreiche Zonen hineinragt.

Direkt gemessen sind leider die Niederschläge in grossen Höhen erst in ganz wenigen Teilen, da es an eigentlichen Hochstationen fehlt. Deshalb stösst auch die Bestimmung des mittleren Niederschlages für das ganze Rhonegebiet auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Sie ist heute erst für ein Gebiet, nämlich für das oberste Gebiet des Saastales, aufwärts von Zermeiggern, oberhalb Saas-Almagel möglich und deshalb von ganz besonderem Wert.

Eine systematische Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse in diesem Grenzgebiet, die uns in einwandfreier, zahlenmässiger Weise über diese Verhältnisse Aufschluss erteilt, konnte der grossen Kosten wegen erst ausgeführt werden, nachdem das Amt für Wasserwirtschaft von privater Seite aufgefordert wurde, für die Erforschung der Wasserkräfte des obern Saastales die Niederschlags- und Abflussverhältnisse daselbst einer eingehenden Untersuchung zu unterwerfen. Meinem ehemaligen Chef, Herrn Prof. Dr. COLLET in Genf, kommt das grosse Verdienst zu, den Weg zur Ausführung dieser Studie geebnet und die Grundlagen derselben unter schwierigen Verhältnissen geschaffen zu haben. Es ist mir heute ein Bedürfnis, ihm auch an dieser Stelle meinen wärmsten Dank auszusprechen. Bei der Aufstellung der Niederschlagssammler und Ausführung der

¹ Nicht unerwähnt dürfen ferner die Verluste, bzw. die Gewinne in den Randzonen sein, die dadurch entstehen, dass dem Gebiet bei Schneetreiben durch den Wind pulveriger Schnee entführt, bzw. zugeführt wird.

für die Messung des Niederschlages notwendigen Beobachtungen wurde ich in tatkräftiger Weise unterstützt von Herrn HERMANN ANKER, Techniker des eidg. Amtes für Wasserwirtschaft. Ihm verdanke ich im besondern die äusserst schwierige Aufstellung des Regensammlers am Monte Rosa-Sattel in einer Höhe von 4340 m über dem Mittelmeer.

Zu einer Untersuchung über das Verhältnis von Niederschlag und Abfluss eignet sich der oberste Teil des Saastales (oberhalb Zermeiggern) aus mehrfachen Gründen ganz besonders gut. Es ist auf allen Seiten von deutlich ausgeprägten Wasserscheiden umgrenzt und darf als eine orographisch und geologisch geschlossene Hochgebirgslandschaft betrachtet werden. Für die Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse sind in den Jahren 1915—1922 erst zwei, dann vier, hernach entsprechend den jeweiligen erzielten Ergebnissen immer mehr Niederschlagssammler zur Aufstellung gelangt. Mit Ende des Sommers 1922 setzte sich das Beobachtungsnetz aus 13 Stationen im eigentlichen Untersuchungsgebiet und aus 5 Stationen im unmittelbar benachbarten Zermattergebiet zusammen. Sämtliche Stationen sind mit geschützten Regenmessern, System P. L. MOUGIN mit Windschutz MAURER, ausgerüstet worden und liegen in Höhenlagen von 1680 bis 4340 m ü. M.

Schon nach den beiden ersten Jahresergebnissen der Niederschlagsmessungen mit zwei und vier Sammlern und den zugehörigen Abflussresultaten erkannte man sofort, dass zur genauen Berechnung der Regenmengen des Untersuchungsgebietes ein sehr engmaschiges Beobachtungsnetz unbedingt erforderlich ist. Bei der Aufstellung der Regenmesser ist auf die Abhängigkeit des Niederschlages von der Höhenlage, vom Gefäll (Neigung), von der Entfernung vom Grenzkamm und auf die grosse Bedeutung der Kondensation des Wasserdampfes der Luft an den im Gebiete vorhandenen ausgedehnten Gletschern besonders Gewicht gelegt worden. Manche Unterschiede in der Menge des Niederschlages schafft die Oberflächengestalt und daran liegen die Schwierigkeiten für das Studium der klimatischen Verhältnisse des Gebietes — Schwierigkeiten, welche vielleicht erst recht dann auftreten, wenn das Untersuchungsgebiet so klein ist wie das vorliegende.

Wenn auch die Ergebnisse der Niederschlagsmessungen, namentlich der ersten Jahre nicht durchweg als einwandfrei betrachtet werden dürfen, so ist man durch sie, trotz der oft schwer

zu überwindenden Hindernisse, der Lösung dieser für Wissenschaft und Praxis gleich bedeutsamen Aufgabe nahe gerückt; wir vermögen jetzt auch in den während des grössern Theiles des Jahres unzugänglichen Hochlagen die Höhe des während dieser Zeit gefallenen Niederschlages zu messen. Bei richtiger Beschickung, Bedienung und Kontrolle der Apparate dürfte es möglich werden, den Genauigkeitsgrad der Niederschlagshöhe einer Hochgebirgslandschaft auf $\pm 10\%$ zu ermitteln.

Aus den bisherigen Ergebnissen lässt sich namentlich recht deutlich erkennen, wie ungleich sich in einem relativ kleinen Gebiet das Wachsen der Niederschlagsmenge mit der Höhe vollzieht, wie verschieden also die einzelnen Teile des Gebietes mit Regen überschüttet werden. Nicht minder deutlich gelangt aber auch der grosse Einfluss, den die Gletscher auf die Kondensation der Wasserdämpfe ausüben und der Einfluss der örtlichen Verhältnisse der Stationen, insbesondere in bezug auf die feuchten Luftströmungen, zum Ausdruck.

Die gewaltigste Gebirgsmasse und zugleich höchste Erhebung der Walliser Alpen und der Schweizer Alpen überhaupt bildet die Monte Rosa-Gruppe, ein ungeheurer, vergletscherter Wall, als dessen höchster Punkt die Dufourspitze — der höchste Gipfel der Schweizer Alpen — mit 4638 m Höhe ü. M. hervortritt. Sie ist der Ausgangspunkt zahlreicher, nach allen Richtungen von ihr ablaufenden Gebirgsketten, welche scharf von der Hauptmasse zu unterscheiden sind. Die drei von dieser gewaltigen Zentralmasse nach Norden ausgehenden, zugleich hervorragendsten Ausläufer bilden mit ihren steilen, vielfach vergletscherten Wänden die Umrahmung der tiefeingeschnittenen Täler von Nikolai und Saas. Der Grenzkamm zwischen dem Nikolai- und Saastal, der das Schwarzenberg-Weisstor über das Strahlhorn und die Mischabel mit dem Balfrin verbindet, erreicht eine mittlere Kammhöhe von 3963 m, also beinahe 4000 m.

Die westliche Grenzkette des Nikolaitales von der Tête Blanche über die Dent Blanche und das Weisshorn zum Brunnegghorn ist mit 3817 m um volle 523 m höher als die östliche des Saastales, vom Joderhorn über das Weissmies und das Fletschhorn zum Weissengrat mit 3294 m, die südliche Grenzkette des Nikolaitales mit 3892 m sogar um 682 m höher als diejenige des Saastales mit 3210 m Höhe. Aus diesen wenigen Zahlen geht die *aussergewöhn-*

liche Abgeschlossenheit des Zermattertales und die nach Süden und Osten mehr offene Lage des obern Saastales in kraftvoller Weise hervor.

Die Eigenart des Walliser Klimas lässt sich aus folgendem erklären: Absperrung von den allgemeinen Luftströmungen durch die das Wallis nach allen Seiten umfassenden Gebirgsketten. An ihnen steigen die feuchten Winde empor und lagern ihren Wasserinhalt ab; sie kommen relativ trocken in den innern Teilen des Gebietes an. Diese Absperrung hat eine bedeutend verminderte Regenmenge zur Folge. Der Bergkette, die die Dent de Morcle mit der Dent du Midi verbindet, zweitens der Monte Rosa-Gruppe kommt in dieser Hinsicht die grösste Bedeutung zu. Die regenbringenden West- und Südströme werden von diesen Ketten aufgehalten, was aus folgenden Werten deutlich ersichtlich ist:

Für die Westwinde:

Mittlerer Niederschlag für

Montreux, vor dem Riegel	= 1280 mm
Sitten, hinter " "	= 638 "

Für die Südwinde:

Mittlerer Niederschlag für

Macugnaga, vor dem Riegel = 1550 mm (1200 m ü. M.)
Saas-Fee, hinter " " = 940 " (1800 " " ")
Zermatt, " " " = 780 " (1613 " " ")
Grächen, " " " = 530 " (1629 " " ")
Visp, " " " = 690 " (655 " " ")

Die Vispertäler stehen in Hinsicht auf die Absperrung gegen die regenbringenden Luftströmungen fast einzig da. Die breite Erhebung der Gebirgsmasse des Monte Rosa bildet so recht das Gebiet der direkten Einwirkung der Sonnenstrahlen, der Insolation, der geringsten Regenmenge. Grächen über Stalden, unmittelbar oberhalb der Vispergabelung, 24 km vom Grenzkamm entfernt, steht, trotzdem die Station 1632 m ü. M. liegt, mit nur 529 mm Niederschlag in den Schweizeralpen einzig da. Die Ursache dieser eigenartigen Erscheinung ist nur eine Folge der gewaltigen Absperrung des Ortes von den regenbringenden Süd-, Südost- und Südwestwinden durch die sich in nächster Nähe erhebenden hohen Nebenketten der Monte Rosa-Gruppe, nämlich die Mischabel-, Weisshorn- und Dent Blanche-Kette.

Die Niederschlagsarmut dehnt sich bis nahe an den Grenzkamm aus. Die mittlere Niederschlagshöhe für Mattmark, 6 km vom Grenzkamm, 2117 m ü. M., beträgt nur 900 mm, für den Gornergrat, in 3100 m Höhe, zirka 950 mm.

Um so überraschender sind nun die Ergebnisse, die uns die neu erstellten Stationen im eigentlichen Grenzgebiete im Hintergrunde der Vispertäler liefern. Aus der grossen Zahl der Einzelergebnisse entnehme ich folgende charakteristische Werte:

Die Niederschlagshöhe in der achtmonatlichen Periode vom 1. September 1921 bis 1. Mai 1922 beträgt für

Saas-Fee, 1800 m ü. M.	456 mm
Mattmark, 2117 m ü. M.	466 „
Allalingletscher, 3360 m ü. M.	865 „
Fluchthorn, 3700 m ü. M.	1094 „
Weisstal, 2270 m ü. M.	579 „
Seewinenberg, 3025 m ü. M.	2337 „
Galmen, 2690 m ü. M.	499 „
Zermatt, 1613 m ü. M.	506 „

Die Zunahme des Regenfalls von Visp nach Mattmark längs der Talsohle ergibt aus den Ergebnissen der Periode September 1920 bis Oktober 1922 im Durchschnitt pro 100 m rund 6 mm und von Visp nach Zermatt rund 10 mm. Die Zunahme an der westlichen Talflanke von der Mattmarkebene hinauf in die durch die Strahlhorngruppe vor den Regenwinden geschützte Region des Allalingletschers beträgt im Mittel der nämlichen Periode 57 mm pro 100 m Höhenunterschied, an der östlichen den Regenwinden ausgesetzten Talflanke, Strecke Mattmark—Weisstal 300 mm, diejenige von der Mattmarkebene bis zum Seewinenberg, 2 km vom Grenzkamm, erreicht eine Grösse von 210 mm pro 100 m.

Für die soeben abgeschlossene Niederschlagsperiode vom 1. September 1922 bis 31. August 1923 ergeben sich folgende interessante Ergebnisse:¹

Plattje, ob A. B. C. Guffer, 2210 m ü. M., 8,6 km vom Grenzkamm² entfernt. An der Baumgrenze, in einer Mulde südwestlich des Mittelgrates 82 cm

¹ Auf vorstehenden Zeitraum reduzierte Ergebnisse.

² Schwarzenberg-Weisstor bis St. Joderhorn.

Mattmarksee, 2117 m ü. M., 6 km vom Grenzkamm. Auf einem Felsblock am Nordwestufer des Mattmarksees, am Fusse der südlichen Seitenmoräne des Allalingletschers	74 cm
Weisstal, 2270 m ü. M., 4,5 km vom Grenzkamm. Auf vorspringendem Felsen am Westhang des Stelli	111 „
Ofentalpass, 2800 m ü. M. Auf Felsrippe zwischen Ofentalpass und Ofentalgletscher, 280 m westlich der Pass-einsenkung	141 „
Galmenhorn, 2850 m ü. M., 2,5 km vom Grenzkamm. Gipfelstation	90 „
Galmen, 2690 m ü. M., 2 km vom Grenzkamm. Auf vorspringender Terrasse am Galmenplateau	97 „
Mondellipass, 2800 m ü. M. Auf Felsrippe nördlich des Passes	203 „
Rothorn, 3237 m ü. M. Gipfelstation	254 „
Schwarzenberg-Weisstor, 3570 m ü. M. An einer steilen Felswand, zirka 8 m unter der Einsattelung des Grates, an der Stelle, wo der scharfe Felsgrat vom Grenz-(Signal) Gipfel herkommend in den Firn übergeht.	236 „
Seewinenberg, 3025 m ü. M., 2 km vom Grenzkamm. Gipfelstation	365 „
Fluchthorn, 3700 m ü. M., 2,9 km vom Grenzkamm. Ostkante des Gipfels (auf Felskopf zirka 100 m unter dem Hauptgipfel), Gipfelstation	175 „
Allalingletscher, 3360 m ü. M., 4,5 km vom Grenzkamm. Auf einer Felsinsel mitten im Allalingletscher	120 „
Schwarzenbergkopf, 2565 m ü. M., 5,4 km vom Grenzkamm. Auf einem vorspringenden Felskopf	146 „
Monte Rosa-Sattel, 4340 m ü. M. In den Felsen westlich des „Sattels“	215 „
Gornergrat, 3100 m ü. M. Am Nordhang des Grates, zirka 15 m nördlich des Turmes des Hotel Gornergrat-Kulm	98 „
Furgghorn, 3390 m ü. M. Am Felsen östlich des Gipfels, zirka	124 „

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht neuerdings die ausgesprochene — trotz der bedeutenden Höhenlage einzelner Niederschlagssammler — bis tief in die beiden Seitentäler sich hineinstreckende *Niederschlagsarmut* eindrucksvoll hervor. (Belege

Mattmarksee, 2117 m ü. M.: 74 cm; Galmen, 2690 m ü. M.: 97 cm; Gornergrat, 3100 m ü. M.: 98 cm.)

Gegen den Grenzkamm steigt mit zunehmender Höhe der Niederschlag auffallend rasch, er erreicht in 3050 m Meereshöhe (Seewinenberg) mit 365 cm das Maximum, sinkt aber bis zum Kamm (Rothorn 3237 m ü. M.) wieder auf 254 cm, d. h. um mehr wie 100 cm, was teilweise auch der den Winden ausgesetzten Lage des Niederschlagssammlers zuzuschreiben ist.

Erwähnenswert ist ferner die gewaltige Zunahme der Niederschlagshöhe an der Ost- und Westtalflanke. Die Zunahme der Regenhöhe an der Ostflanke (Mattmarksee [2117 m ü. M.] bis Weisstal [2270 m ü. M.]) beträgt für diese 153 m 37 cm, diejenige an der Westflanke (Mattmarksee [2117 m ü. M.] bis Schwarzenbergkopf [2565 m ü. M.]) im Mittel pro 100 m 16 cm. Die Abnahme der Niederschlagshöhe vom Schwarzenbergkopf (2565 m ü. M.) in das Firngebiet des Allalingletschers (3360 m ü. M.) mit 3 cm pro 100 m ist in erster Linie eine Folge der geschützten Lage dieses Gebietes den regenbringenden Winden gegenüber (gegen Süden durch die Strahlhorngruppe, gegen Norden durch die Allalinhorngruppe und gegen Westen durch die Rimpfischhorngruppe).

Diese wenigen Zahlenbeispiele mögen einstweilen genügen, um anzudeuten, wie die Niederschlagsverhältnisse sich am Nordabhang gestalten. Für die Beurteilung derselben ist es unbedingt notwendig, auch die Verteilung des Niederschlages im südlichen Grenzgebiet zu kennen. Hierüber geben uns die vorzüglichen Veröffentlichungen des „Ufficio Idrografico del Po“ in Parma Auskunft. Es nimmt der Regenfall in der Po-Ebene mit der Annäherung an das Gebirge zu, erfährt am Anstiege desselben eine wesentliche, oft wellenförmige Steigerung und nimmt dann taleinwärts wiederum ab, um an den äussern Abdachungen der gewaltigen Erhebungen der Monte Rosa-Gruppe infolge des Anstieges der mit Feuchtigkeit beladenen Luftschichten ein Maximum zu erreichen. Entsprechend der vorhandenen Druckverhältnisse vermögen sich diese Regengüsse in mehr oder weniger hohem Masse auch auf die innere Randzone auszudehnen. Die Grenzzonen unseres Untersuchungsgebietes befinden sich deshalb in einem Übergangstreifen, der die Gegensätze des mittelländischen mit dem kontinentalen Klima vermittelt.

Die regenbringenden Wolken vermögen in der Regel den

Grenzkamm nicht oder nur am äussersten Rande zu überschreiten, mit andern Worten: das kontinentale Klima des Wallis besteht nicht nur im grossen, tiefeingeschnittenen inneralpinen Längstale der Rhone, sondern es zieht sich bis in die Grenzlagen der Penninischen Alpen hinauf, ungeachtet der bedeutend höheren Lagen, die in diesen Zonen herrschen.

Die Ergebnisse der Stationen Grächen in 1629 m Höhe mit 530 mm, Zermatt in 1613 m Höhe mit 780 mm, Saas-Fee in 1800 m mit 940 mm, Mattmark in 2117 m Höhe mit 950 mm sind hiefür deutliche Belege.

Die Grenzketten des Saastales vermögen nun infolge ihrer tieferen Höhenlage die feuchten Luftströmungen, die vom mittelländischen Meer herkommen, weniger zurückzuhalten, als dies im benachbarten Zermattental der Fall ist. Über die verschiedenen Einfallstore des Grenzkammes Monte Moro, Mondelli, Ofental und Antrona gelangen deshalb — bei entsprechendem Druckgefälle — oft schwere, mit Feuchtigkeit beladene Luftmassen aus dem Anzascatal in die Gegend des oberen Saastales. Die bedeutenden Niederschläge, die gelegentlich, aber weit seltener als im Saastale, das Zermattental übergiessen, stammen ebenfalls aus schweren Luftmassen, die von Südosten her durch das Anzascatal über die Roffelhörner und den Weissgrat herkommen. Wenn der „Roffelwind“ bläst, so weiss der Zermatter, dass schwere Regen zu erwarten sind. Die Niederschläge, die über den Theodul ins Nikolaital gelangen, sind häufiger, aber lange nicht so ergiebig wie diejenigen von den Roffelhörnern.

Den Niederschlägen in dieser Randzone, in diesem Streifen mit mittelländischem Klima, kommt im Wasserhaushalte der Walliser Rhone eine ganz aussergewöhnliche Bedeutung zu. Ihnen verdanken wir in erster Linie einen Teil unseres Nationalreichtums: die majestätische Gletscherwelt, die sich in diesen Tagen vor unsern Augen auftut. Die grosse Ausdehnung der Gletscher an der Nordseite des Monte Rosa-Massives ist eine Folge dieser, hauptsächlich vom Mittelmeer herkommenden Niederschläge. Diese Niederschläge sind aber auch die Ursache fürchterlicher Überschwemmungen, von denen das einzigartig dastehende prächtige Walliserland wie kein anderes Gebiet unserer lieben Schweiz schon so oft heimgesucht wurde. Wir werden später darauf zurückkommen.

Das gewaltige, aber ungleiche Anwachsen der Niederschläge von 740 mm in der Höhe von Mattmark bis auf 3650 mm in der Höhe des Seewinenberges — beinahe das fünffache — ist eine Folge in erster Linie des Einflusses des mittelländischen Klimas, dann der Kondensation des Wasserdampfes der Luft an den ausgedehnten Gletscheroberflächen und schliesslich der Reliefgestaltung des Gebietes. Aus den wenigen bisherigen Ergebnissen geht deutlich hervor, wie ungleich die Zunahme an den Talflanken erfolgt. Deutlich sieht man, dass die Grenzregion in ein sehr niederschlagreiches Gebiet hineinragt. Die räumliche Ausdehnung dieser Region ist eine sehr beschränkte. Ein abgeschlossenes Urteil über deren Grösse werden wir erst geben können, wenn uns die Resultate einer vieljährigen Periode zur Verfügung stehen.

Die Massenerhebung ist die Ursache von zwei verschiedenartigen Erscheinungen. Für die Luvseite (Südseite) bedingt sie eine Zunahme, für die Leeseite (Nordseite) eine Abnahme der Niederschläge. Der Übergangstreifen gehört zu der Luvseite, d. h. er ist noch dem mittelländischen Klima unterworfen. Unter dieser Doppelwirkung ist es begreiflich, dass der Verlauf der Isohyeten ein sehr unregelmässiger werden muss. Durch die Vermehrung der Niederschläge infolge einer den Regenwinden zugänglichen Lage, oder Verminderung derselben infolge Abhaltens der Regenwinde durch vorgelagerte Bergketten tritt der Einfluss der Höhenlage wesentlich zurück.

Über die charakteristische Verteilung des Niederschlages auf den Winter und Sommer am inneralpinen Rande der Monte Rosa-Gruppe wage ich Ihnen heute noch keine Mitteilungen zu machen, weil das Beobachtungsmaterial dazu noch nicht hinreicht. Soviel darf immerhin gesagt werden, dass den Herbstregen, welche für das südlich dem Grenzkamm liegende Gebiet kennzeichnend sind, auch im nördlichen Grenzgebiete eine wesentliche Bedeutung zukommt.

Einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die Niederschlagshöhe im Grenzgebiete des Saastales übt auch die bei Tage, namentlich längs des südlichen Steilabfalles der Monte Rosa-Gruppe aufsteigende Luft aus. Sie führt den hauptsächlich aus Landesverdunstung stammenden Wasserdampf der untern Schichten des Anzascatales in die Höhe. Die damit verbundene Abkühlung kondensiert diese Feuchtigkeit zu Wolken, die nicht selten die Ursache von lokalen

Regengüssen und Gewittern sind. Diese Nachmittagsgewitter, deren Dauer selten mehr als einige Stunden umfasst, treten ein, selbst wenn die allgemeine Wetterlage keine Niederschläge erwarten lässt und die umgebende Niederung auch in der Tat sich des schönsten Wetters erfreut. Der oft zu Tage tretende ungleiche Verlauf der täglichen Periode der Wasserstandsbewegung bei anscheinend ganz denselben Witterungsverhältnissen dürfte in vielen Fällen dem Auftreten dieser kleinen lokalen Gewitter zuzuschreiben sein.

Es sind aber nicht die zahlreichen kleineren Niederschläge, aus denen sich die bedeutenden Jahresergebnisse im Randgebiete zusammensetzen, sondern wenige, aber heftige, ergiebige Niederschläge.

Eine bezeichnende Eigentümlichkeit dieser Randzonen sind die mit aussergewöhnlicher Gewalt auftretenden, sehr heftigen, oft sintflutartigen Herbstregen. Alle die durch diese Herbstregen verursachten Hochwasser zeichnen sich durch gemeinsame Züge aus. Rasch fangen die Gewässer in ihren obersten Gebieten an zu steigen, binnen wenigen Stunden schwellen sie zu aussergewöhnlicher Höhe an und fallen dann rasch auf ihren frühern Stand herab.

Von den 226 Überschwemmungen, welche die südlichen Zuflüsse der Rhone seit dem Jahre 563 verursacht haben, fallen 65 in die Monate September und Oktober. Man sieht, dass es in diesem Falle bestimmte Luftdruck-Verteilungen, bzw. charakteristische Depressionsbahnen sein müssen, welche die südlichen Zuflüsse zum Anwachsen bringen. Diese Depressionen treten nicht plötzlich ein, man kann ihre Entwicklung verfolgen. Ein Minimum von wenigen Millimetern genügt, die feuchte Luft der Adria anzusaugen, welche sich als regenspendender Wind naht, um ungeheure Regenmassen, namentlich im Grenzgebiete zum Fallen zu bringen, was in der Regel — entsprechend dem geringen Druckgefälle — bei mässigen Winden geschieht, die vorwiegend aus Südosten und Süden kommen.

Die ausserordentliche Bedeutung solcher Wetterlagen geht aus den Niederschlägen und Abflussmengen vom 23./24. September 1920 hervor. Eine Teildepression, die sich in der Nähe von Sitten festlegte, veranlasste ein Einströmen warmer, mit Feuchtigkeit gesättigter Luft aus der Adria durch die Einfallstore Monte Moro, Mondelli, Ofental und Antrona. In den Randzonen fielen unglaubliche Mengen von Niederschlag, so stiegen die Niederschlagshöhen

am 23. September an der Ostflanke des Saastales bis zu 240 mm¹. Die totale Abflussmenge im obersten, 37 km² grossen Gebiete des Saastales betrug 15,4 Millionen m³ in 54 Stunden, was einer Abflusshöhe von rund 400 mm gleichkommt. Die maximale sekundliche Abflussmenge erreichte einen Betrag von 140,000 sec/l gegenüber 35 l bei minimaler Wasserführung. Das Vielfache gegenüber der minimalen beträgt somit 4000.

Vergleichen wir diese aussergewöhnlich grosse maximale, sekundliche Abflussmenge von 4000 l pro km² des 37 km² grossen Mattmarkgebietes mit der absolut grössten Hochwassermenge des ganzen 5220 km² grossen Rhonegebietes der letzten 19 Jahre in Porte du Scex (Sommer 1914) mit nur 200 l pro sec und pro km², so zeigt sich, dass die maximale Abflusszahl der Rhone zwanzigmal kleiner ist. Wohl wissen wir, dass, je grösser das Gebiet, um so ausgeglichener die Wasserführung auch bei Hochwasserfluten ist; dass aber solche Vielfache eintreten, ist für die vorliegenden Verhältnisse eine Überraschung.

Im Mittel der 4jährigen Periode 1914/15 bis 1917/18 betrug die totale Abflussmenge des Mattmarkgebietes pro Jahr rund 58,5 Millionen m³, beim Hochwasser im September 1920 gelangten in nur 54 Stunden 15,4 Millionen m³ zum Abfluss, also mehr wie ein Viertel des Jahresabflusses. Zum grossen Glück streifte das Ungewitter nur einen Teil der südlichen Alpenkrone und dehnte sich nicht gegen das Haupttal aus, so dass sogar im benachbarten oberen Gebiete der Matter Visp keine aussergewöhnlichen Niederschläge fielen. Dies geht am allerdeutlichsten hervor, wenn wir die maximalen Abflussmengen während der beiden Tage vom 23./24. September einem Vergleich unterziehen:

Die Matter Visp in Randa lieferte pro km² nur 196 l/sec, also 20,4 mal weniger Wasser als die Saaser Visp. Die Ursache dieser Erscheinung ist, wie ich einleitend bereits erwähnt habe, auch eine Folge der vermehrten Abgeschlossenheit des Zermattertales den Regenwinden gegenüber.

¹ Über die Intensität solcher Niederschläge geben uns die wertvollen Messungen des Herrn ALBERT LAROI in Brüssel, die er anlässlich des dreissig Stunden dauernden Gewitterregens vom 29./30. August 1922 vor dem Hotel Mattmark ausführte, Auskunft. Die maximale Niederschlagshöhe pro Stunde betrug 16,5 mm, die mittlere Höhe während 7 Stunden 11 mm, die totale rund 240 mm.

Ähnliche Verhältnisse wie im Saas- und Nikolaitale treten auch in den meisten übrigen Tälern des Wallis ein. Überall finden wir mehr oder weniger breite Randzonen, sogenannte Übergangstreifen, die von den ausserhalb des Grenzkammes liegenden Klimaten beeinflusst werden, d. h. die Gegensätze des mittelländischen und des kontinentalen Klimas vermitteln. Entsprechend den geographischen und orographischen Verhältnissen ist dieser beidseitige Einfluss ein sehr verschiedener.

Die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss in einer geschlossenen Hochgebirgslandschaft, wie sie uns das Zermatter- und Saastal darbieten, werden dadurch verwickelter, dass ein Teil des Abflusses aus weit zurückliegenden Niederschlägen stammt. Ich denke hierbei weniger an die Schneevorräte, die nach kalten Sommern im Einzugsgebiete liegen bleiben und vielleicht im nächsten warmen Sommer zur Abschmelzung gelangen, als an die Niederschläge, die in fester Form von Schnee und Eis in den Nährgebieten der Gletscher aufgespeichert werden und oft erst nach Jahrzehnten in grösserem oder kleinerem Masse — entsprechend dem Stande der Gletscher — in das Abschmelzungsgebiet hinunterwandern. Diesem Teil des Abflusses kommt bei der Behandlung der Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss erhöhte Bedeutung zu, wie im Flach- und Mittellande dem Grund- und Quellwasser.

Wenn wir bedenken, dass im 37 km² grossen Mattmarkgebiet — die Vergletscherung des Gebietes beträgt 37 % des totalen — der fünfmonatliche Sommer im Durchschnitt der Jahre 1914/15—1917/18 = 95 %, der siebenmonatliche Winter nur 5 % vom Gesamt-Abflusse liefert, so erhellt daraus, was für eine Bedeutung den Schnee- und Schmelzwasserfluten zukommt. Diese Angaben zeigen so recht deutlich, wie gross der Einfluss der *Form der Niederschläge* auf den Abflussvorgang ist.

Während wir heute das Schmelzwasser aus Schnee aus den Ergebnissen der Niederschlagssammler und den Abflussmengen zu berechnen vermögen, kann der Einfluss der Gletscher auf den Wasserhaushalt der Alpenflüsse am besten untersucht werden in Perioden trockenen, warmen und heiteren Wetters, in denen, entweder infolge geringerer Niederschläge im vorangegangenen Winter, oder infolge hoher anhaltender Wärme der unmittelbar vorhergehenden Monate, die Fläche, von welcher Abschmelzung statt-

findet, in der Tat auf die eigentlichen Firn- und Eisfelder beschränkt worden ist — in denen ferner Niederschläge fehlen oder nur in sehr bescheidenem Masse auftreten und möglichst hohe Temperaturen vorherrschen. Für eine solche Untersuchung eignete sich der Sommer des Jahres 1921 in ganz hervorragendem Masse.

Das Amt für Wasserwirtschaft hat diese Gelegenheit benutzt und den Einfluss der Gletscher auf den Wasserhaushalt des Walliser Rhonegebietes bestimmt. Aus der Fülle der Ergebnisse greife ich nur das stark vergletscherte Gebiet der Matter Visp bei Randa heraus. Das Einzugsgebiet dieser Station umfasst $316,71 \text{ km}^2$, wovon $167,97 \text{ km}^2 = 53 \%$ des totalen vergletschert sind. Das ganze Gebiet liegt in einer mittleren Höhe von 2925 m, die mittlere Höhenlage der Gletscherflächen liegt in 3186 m über Meer. Für die Bestimmung der Abflussmengen aus dem nicht vergletscherten 149 km^2 grossen Gebiete stehen uns keine direkten Messungen zur Verfügung. Um dennoch einen Annäherungswert zu erhalten, haben wir als solchen den mittleren Abfluss des Vorwinters, berechnet aus den Mittelwerten der Monate November, Dezember 1920, Januar, Februar und März 1921, plus 10 % dieses Betrages in Rechnung gestellt. Die Abflusszahl ergibt für den Quellenertrag des Einzugsgebietes $5,16 \text{ l/sec pro km}^2$.

Der mittlere Ertrag pro km^2 Gletscherfläche für die Periode vom 23. September bis 22. Oktober 1921 (total 30 Tage), bei einer mittleren Temperatur von $10,7^\circ$ in Zermatt, beträgt 109 l/sec .

Für die Rhone in Gletsch (Einzugsgebiet = $38,87 \text{ km}^2$, wovon $24,19 \text{ km}^2$ Firn und Gletscher) erhalten wir eine Abflussgrösse von 207 l/sec/km^2 , für die Lonza in Goppenstein (Einzugsgebiet = $145,26 \text{ km}^2$, wovon Firn und Gletscher $38,07 \text{ km}^2$) sogar einen Betrag von 243 l/sec/km^2 . Für sämtliche Gletscher des Rhonegebietes oberhalb des Genfersees 133 l/sec/km^2 (Einzugsgebiet $5220,33$, wovon Firn und Gletscher $932,96 \text{ km}^2$). Entsprechend der Höhenlage, Exposition, dem Gefälle, dem Retentionsvermögen und namentlich der Gliederung der Gletscherflächen fallen die Beträge verschieden aus, stimmen aber, wenn wir alle diese Faktoren mit berücksichtigen, so schön überein, dass wir dieses Problem als gelöst betrachten dürfen.

Über die Schwierigkeiten, die uns durch die Flächenvergrösserung oder -Verminderung infolge des Wachsens und Schwindens der Gletscher erwachsen, helfen uns die Fortschritte, die die

Aviatic in den letzten Jahren gemacht hat, glänzend hinweg. Photographische Aufnahmen aus den Luftschiffen orientieren uns über die wechselnde Ausdehnung der Schnee-, Firn- und Gletscherflächen.

Nach den Untersuchungen von JEGERLEHNER schwingt sich die Schneegrenze im Monte Rosa-Gebiet, infolge der aussergewöhnlich hohen Lage der einzelnen Massive und der intensiven südlichen Besonnung einzelner Gletscher bis auf eine Höhe von 3260 m hinauf. Sie steht in Hinsicht auf ihre Höhenlage unter sämtlichen Gruppen der Alpen an erster Stelle. Es ist einleuchtend, dass die Höhenlage der Schneegrenze der Monte Rosa-Gruppe auch die Abflussverhältnisse der Flussgebiete, die ihr entstammen, im Sinne eines vermehrten Schmelzabflusses beeinflussen muss. Im engen Zusammenhange mit dem Einfluss der Massenerhebung auf die Höhenlage der Schneegrenze steht der Einfluss dieser Massenerhebung auf die Temperaturverhältnisse und auf die Lage der isothermischen Flächen.

Wir haben bereits im vorstehenden auf die Trockenheit des Wallis im allgemeinen und des Vispgebietes im besondern aufmerksam gemacht. Die Hebung der Schneegrenze in der Monte Rosa-Gruppe kann diese Erscheinung nur teilweise erklären, es müssen auch die isothermischen Flächen im Gebirge sich heben. Hierüber besitzen wir die überaus verdienstvolle Arbeit von Prof. Dr. A. DE QUERVAIN in Zürich.

DE QUERVAIN zeigt uns, dass der Einfluss des Gebirges in den verschiedenen Jahres- und Tageszeiten verschieden ist, je nachdem die *Ausstrahlung* oder die *Einstrahlung von Wärme überwiegt*.

Im Winter ist die Luft im Gebirge kälter als in gleicher Höhe der freien Atmosphäre, weil die hochgelegenen Ländflächen eine starke Ausstrahlung und damit eine erhebliche Abkühlung der Oberfläche bewirken. Im Frühjahr und Herbst gilt dies nur für 7 Uhr morgens. Um Mittag wirken die durch Einstrahlung erwärmten hochgelegenen Landoberflächen im Gebirge als Heizfläche, die der Atmosphäre Temperaturen mitteilt, welche erheblich höher sind als die Temperaturen in freier Lage am Rande der Alpen. Nur der Dezember und Januar mit ihrem tiefen Sonnenstand zeigen in 1500 m Höhe um 13 Uhr keine höhern Temperaturen in den Gebieten höchster Massenerhebung. Aber schon im Februar stellt sich im südlichen Wallis ein Wärmeüberschuss gegenüber der

freien Atmosphäre von $2\frac{1}{2}$ — 3° ein. Vom April bis zum Oktober hält er sich auf 5° , im Juli erreicht er mit $5,5^{\circ}$ sein Maximum.

DE QUERVAIN weist nach, dass es stets die Gebiete grösster Massenerhebung sind, welche die höchsten Temperaturen aufweisen, d. h. wir treffen dieselben Lufttemperaturen im Gebirge in erheblich grösserer Höhe als am Rande desselben. Diese Hebung der Isothermen in den Gebieten grösster Massenerhebung ist, nach DE QUERVAIN, nicht nur eine Folge der begünstigten Einstrahlung, sondern ebenso sehr eine Folge der durch die Natur der Massenerhebung bedingten Hinderung dynamischer Abkühlung und Begünstigung dynamischer Erwärmung.

In diesem gewaltigen Anstieg der Isothermen der Mittagszeit haben wir nicht nur die Hauptursache der hohen Lage der Schnee-, Wald- und Siedelungsgrenzen in den Gebieten stärkster Massenerhebung vor uns, sondern das Steigen der Lufttemperatur ist auch in erster Linie die Hauptursache der *vermehrten Abschmelzung* der Schnee-, Firn- und Gletscherflächen im Gebiete der Monte Rosa-Gruppe. Der gewaltige Wechsel der Abflussmengen im Verlaufe eines Tages (tägliche Periode), welcher die Matter Visp in Randa und die Saaser Visp in Mattmark im Vergleich mit anderen Gewässern auszeichnet, ist in erster Linie eine Folge dieses starken Anstieges der isothermischen Flächen um die Mittagszeit.

Ich habe Ihnen mitgeteilt, was für beträchtliche Niederschläge in der innern Randzone des Monte Rosa-Gebietes fallen. Leider besitzen wir über die Niederschlagsmengen am Aussenrande des Mattmarkgebietes keine Daten, die uns ermöglichen festzustellen, in was für einem Verhältnis sich die Niederschlagsmengen in ein und derselben Höhenlage am Aussen- und Innenrand des Monte Rosa-Gebietes zu einander verhalten.

Im Saastale kommt den aussergewöhnlich grossen Unterschieden, die in den Niederschlagsmengen zutage treten, auch eine besondere Bedeutung zu. Die Hebung der isothermischen Flächen, infolge der grossen Massenerhebung, dürfte ebenfalls ein Grund sein an der Zunahme der Niederschlagsmenge in den höhern Lagen der Randzone des Monte Rosa-Gebietes. Es würde das darauf hindeuten, *dass auch die Zone der maximalen Niederschläge im Gebiete der grössten Massenerhebung ihre grösste Höhe erreicht*. Die vorläufigen Ergebnisse reichen noch nicht dazu aus, um diese Höhe in unserem Gebiete genau festzustellen. Für die

nördliche Randzone des Monte Rosa-Massives dürfte sie — unter Zugrundelegung der bisherigen Resultate — zwischen 3000 und 3500 m, sicher über 3000 liegen.

Die gewaltigen winterlichen Niederschläge in Schneeform, welche in unsern Hochalpentälern niederfallen, gelangen in der Regel erst in den Sommermonaten zur Abschmelzung. Je höher hinauf sich die Schneegrenze bewegt, desto grösser ist der Teil des winterlichen Niederschlages, der verflüssigt wird, mit anderen Worten — eine desto grössere Schmelzwassermenge liefert uns das Gebiet. Der Talbach eines Gebietes in stärkster Massenerhebung liefert deshalb mehr Schmelzwasser, als ein solcher in einem Gebiet von gleicher Grösse und Beschaffenheit, aber mit geringerer Massenerhebung. Dies muss namentlich in Gebieten mit grosser Vergletscherung, zu Zeiten grösster Ausdehnung der Fall sein. Die grossen Gegensätze zwischen den winterlichen und sommerlichen Abflussmengen der Saaser Visp in Mattmark sind zum Teil auch auf die hohe Lage der Nullisotherme zurückzuführen.

Der Lage der Schneegrenze kommt also im natürlichen Wasserhaushalte eines Flusses besondere Bedeutung zu.

Auf die Wechselbeziehungen zwischen der Temperatur, dem Niederschlag, den Gletscherschwankungen usw. einerseits und den Abflussschwankungen andererseits soll an dieser Stelle nicht eingetreten werden.

Meine Damen und Herren! Ich habe mich bestrebt, Ihnen in ganz knappen Zügen zu zeigen, dass es auch im eigentlichen Hochgebirge möglich geworden ist, den Niederschlag und den Abfluss zahlenmässig zu bestimmen.

Die Vorbereitungen für die Erforschung der Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss im eigentlichen Hochgebirge sind heute getroffen, einige wenige Ergebnisse stehen uns schon zur Verfügung. Weitere langjährige Messungen und Beobachtungen sind notwendig, um die Lösung der schwierigen Aufgabe zu einem glücklichen Ende zu führen.

Ich schliesse mit dem schönen Worte des berühmten französischen Mathematikers H. POINCARÉ:

«L'expérience est la source unique de la vérité, elle seule peut nous apprendre quelque chose de nouveau, elle seule peut nous donner la certitude.»