Beiträge zur Geologie der Schweiz - Geotechnische Serie - Hydrologie
4. Lieferung

Herausgegeben von der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft gemeinsam mit dem Institut für Gewässerkunde der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich

ZUM WASSERHAUSHALT DES SCHWEIZER HOCHGEBIRGES

I. BAND

I. Teil

ALLGEMEINES

Erste Abteilung.

1. Kapitel. Ueber den heutigen Stand der Niederschlagsforschung im Schweizer Hochgebirge.
2. Kapitel. Ueber den gegenwärtigen Stand der Abflußforschung im Schweizer Hochgebirge.
3. Kapitel. Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß im allgemeinen.

Anhang.

Tabellenwerk.

Ergebnisse der Niederschlagsforschungen in unsern Hochgebirgslandschaften.

Von

O. Lütschg-Loetscher

Mitarbeiter Rudolf Bohner

Mit 9 Karten, 10 Textfiguren und 17 Tabellen

In Kommission bei Kümmerly & Frey AG., Geographischer Verlag, Bern
Nr. 7612 BRB 3. 10. 1939

Zürich 1945

Druck von Aschmann & Scheller AG. / Buchdruckerei „zur Froschau" / Zürich

Vorwort des Verfassers

Im Vorwort und in der Einleitung zum ganzen Werk [1]), sowie im anschließenden Abschnitt über die Einordnung der Forschungsgebiete in den Schweizer Alpenkomplex, habe ich ausführlich über Zielhaltung und Inhalt der Arbeit berichtet.

Der erste, nun folgende Teil des Werkes, betitelt: *Allgemeines* (Band I) behandelt in 15 Kapiteln in zwangloser Folge — die Kapitel 4 und 5 sind bereits erschienen [2]) — eine Sammlung von Problemen der Hochgebirgshydrologie. Diese Arbeiten sollen dem Leser das Verständnis für die im III. Teil folgenden Studien erleichtern.

Dem dritten Kapitel des vorliegenden Teiles füge ich ein *Tabellenwerk* bei, das *sämtliche Ergebnisse der langjährigen Niederschlagsforschungen in unsern Hochgebirgslandschaften* in sich schließt. Ich bin dabei von der Erwägung ausgegangen, dieses umfangreiche Material ohne Zeitverlust Wissenschaft und Wirtschaft dienstbar zu machen; zugleich bereitet es mir Freude, damit einen längst gehegten Wunsch meiner Fachkollegen erfüllen zu können.

Der Bau der Niederschlagsnetze in unsern Forschungslandschaften, die Ausführung und Ueberwachung des Beobachtungsdienstes, manche persönliche Hilfe durch Rat und Tat habe ich in den Leitern der nachstehend genannten Gesellschaften und Institute zu verdanken, ihnen allen schulde ich besondere Anerkennung.

Herrn Ingenieur *Gustav Lorenz*, Direktor der Rhätischen Werke für Elektrizität, Thusis, und der AG. Bündner Kraftwerke Klosters, für das *Hinterrhein-, Davosersee-* und *Somvixer Rheingebiet.*

Herrn Dr. *E. Moll*, Direktionspräsident der Bernischen Kraftwerke AG., Bern, für das *Grimselgebiet.*

Herrn Ingenieur *Fr. Ringwald*, Direktor und Delegierter des Verwaltungsrates der Centralschweizerischen Kraftwerke Luzern, für das *Melchseegebiet.*

Herrn Ingenieur Dr. h. c. *A. Zwygart*, Direktor der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG., Baden, in Verbindung mit

[1]) *Lütschg-Loetscher O.:* Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, Band II, III. Teil, Forschungsgebiet Nr. 7, Davosersee. Zur Hydrologie der Landschaft Davos, Zürich 1944.
Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Hydrologie, 4. Lieferung.

[2]) *Lütschg-Loetscher O.:* Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, Band I, I. Teil Allgemeines, Zweite Abteilung. 4. Kapitel: Die Bedeutung und Bewertung der Vorratsänderungen im Wasserhaushalt der Gletscher im Schweizer Hochgebirge, und 5. Kapitel: Beobachtungen über das Verhalten des vorstoßenden Oberen Grindelwaldgletschers im Berner Oberland.
Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Hydrologie, 4. Lieferung, Zürich 1944.

Herrn Ingenieur *W. Trüb,* Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich und Nationalrat, für das *Gebiet des voralpinen Wäggitales.*

Herrn Professor Dr. *P.-L. Mercanton,* Präsident der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Lausanne, für das *Rhonegletscher-Gebiet.*

Herrn Professor Dr. *L.-W. Collet,* Genf, Alt-Direktor der Schweizerischen Landeshydrographie in Bern, für das *Obere Saastal* (Zermeiggerngebiet).

Herrn Ingenieur *E. Schenker,* Generaldirektor der Lonza, Elektrizitätswerke und Chemische Fabriken AG., Basel, für das *Salanfegebiet.*

Herrn Ingenieur *M. Paschoud,* Generaldirektor der Schweizerischen Bundesbahnen, Bern, in Verbindung mit

Herrn Oberingenieur Dr. h. c. *Hans Eggenberger,* Bern, für das *Barberinegebiet.*

Herrn Dr. *F. Porchet,* Alt-Staatsrat des Kantons Waadt, in Verbindung mit

Herrn *E. Muret,* ehem. Direktor des Forstinspektorates des Kantons Waadt, für das *Baye de Montreuxgebiet.*

Kommentare zu den im Tabellenwerk mit viel Mühe und Arbeit erkämpften Niederschlagsergebnissen und zu folgenden Fragen: Welche Naturgesetze bedingen die verschiedenen Erscheinungsformen im Niederschlagsgeschehen? Welchen Ursachen müssen sie zugeschrieben werden? Welche eigentümlichen Züge offenbaren sich in ihrer Gruppierung? werde ich erst in getrennter Weise bei der Behandlung der Wasserhaushalte der in Untersuchung gezogenen Hochgebirgslandschaften (III. Teil), dann gemeinsam in den Schlußfolgerungen im IV. und letzten Teil des Werkes geben.

Diese Art des Vorgehens ermöglicht, in der Behandlung des Niederschlagsthemas ein einfacheres und übersichtlicheres Verfahren anzuwenden, d. h. dem begleitenden Text zu den in Untersuchung gezogenen Hochgebirgslandschaften nur die *Hauptergebnisse* der Niederschlagsforschungen beizufügen, dafür aber ihren Folgerungen mehr Raum zu geben.

Ein allgemeines Literatur-, Orts- und Sachverzeichnis folgt am Schluß des ganzen Werkes.

Basel, im März 1945. *O. Lütschg-Loetscher.*

Vorwort der Geotechnischen Kommission

Die folgenden Ausführungen, umfassend Kapitel 1 bis 3 des 1. Teils, bilden als Erste Abteilung den Anfang des I. Bandes. Die anschließenden Kapitel 4 und 5 sind als Zweite Abteilung bereits 1944 erschienen.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Für die Geotechnische Kommission
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft:

Der Präsident: Prof. Dr. *P. Niggli.*
Der Aktuar: Dr. *F. de Quervain.*

Inhaltsverzeichnis.

I. TEIL.

Allgemeines.

Erste Abteilung.

1. KAPITEL.

Ueber den heutigen Stand der Niederschlagsforschung im Schweizer Hochgebirge.

Seite

I. *Allgemeines* 2

II. *Spezielles* 3

Bezugslinien zwischen Niederschlag und Höhenlage 3
Sonderstudien 4
Naturlaboratorien 4
Systeme von Niederschlagsstationen 4
Behandlung der Grenzzonen. Geländeeinfluß 5
Beobachtungsnetz, Beobachtungsdienst 6
Hochstationen 6
Vallot-Rohr 7
Mougin-Totalisator 7
Zahl der Totalisatoren 8
Wahl des Meßortes 8
Fehlerquellen 9
Niederschlagsmesser 10
Allgemeine Richtlinien 14
Berechnung des Niederschlages 15
Kugelniederschlagsmesser 15
Vergleichsversuche 17
Abstichmethode Lütschg 17
Weitere Erfahrungen und Messungen 18
Nipherscher Windschutz 18
Genauigkeit des Schweizer Sammlers 19
Ambulante Sammler 20
Gebrauch der Niederschlagssammler 20
Behandlung von Lücken im Beobachtungsmaterial 21
Ergebnis unserer langjährigen und systematischen Untersuchungen . . . 21

Niederschlagskarten 21

Planimeterverfahren 22
Interpolationsmethode 22

Anforderungen an die Genauigkeit 23

Schluß 24

2. KAPITEL.

Ueber den gegenwärtigen Stand der Abflußforschung im Schweizer Hochgebirge.

Seite

I. *Allgemeines* 25

II. *Neue Salzverdünnungsmethode mit Hilfe elektrolytischen Meßverfahrens, nach H. Tobler, zur Bestimmung der Wasserführung von Gebirgsbächen* . . . 30

Prinzip 30

Meßverfahren 30

Wahl der Salzlösung 32

Versuchseinrichtungen 32

III. *Vereinfachtes Verfahren für die Titration bei der Wassermessung nach der Salzverdünnungsmethode, nach E. Hoeck* 35

IV. *Das Farbstoffverdünnungsverfahren* 37

V. *Fehlerquellen in der Messung des Abflusses* 38

VI. *Schluß* 40

3. KAPITEL.

Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß im allgemeinen.

Einleitung 42

Allgemeines 42

A. Sondereigenschaften klimatischer Natur 47

B. Sondereigenschaften geologisch-orographischer Natur 47

C. Zusammenfassung 55

1. Die meteorologischen (klimatischen) Charakteristiken 55
2. Die hydrologischen Charakteristiken 55
3. Die geomorphologischen Charakteristiken 55
4. Die vegetativen Charakteristiken 55
5. Die pedologischen (bodenkundlichen) Charakteristiken 56
6. Umwandlung der Naturlandschaft in eine Kulturlandschaft durch menschliche Eingriffe 56

D. Schluß 56

ANHANG.

Tabellenwerk.

Ergebnisse der Niederschlagsmessungen in unsern Forschungsgebieten im Schweizer Hochgebirge . . . nach Seite 60 D

(Ein eingehendes Inhaltsverzeichnis des Tabellenwerkes folgt nach Seite 60 und umfaßt die Pagina 60 A — 60 D.)

I. TEIL.

Allgemeines.

I. Teil.

Allgemeines.

1. KAPITEL.

Ueber den heutigen Stand der Niederschlagsforschung im Schweizer Hochgebirge.[1]

I. Allgemeines.

«Wer andere in der Niederschlagsfrage unterrichten will, muß selbst die Methoden des Niederschlages beherrschen, da er sonst seinen Gegenstand nicht beherrscht. Aber etwas anderes ist es, die Wahrheit zu finden und die gefundene Wahrheit andern beizubringen.»

G. Hellmann.

Die Niederschlagsfrage ist vor allem ein *gewässerkundliches* Problem. Ich meine damit, daß die Gewässerkunde diese bedeutsame Frage in einer ihr zweckdienlichen Art und mit allen ihr zu Gebote stehenden Mitteln zu lösen verpflichtet ist. Schon in meinen frühern Arbeiten habe ich darauf hingewiesen — und dies geht auch aus den neuesten Forschungen mit aller Klarheit hervor —, daß alle Meßmethoden nur relativen Wert haben. Bei Anwendung verschiedener Methoden gelingt es bisweilen, übereinstimmende Ergebnisse zu erzielen. Die Größe der Fehlergrenze der Meßmethoden für jede einzelne Lage zu berücksichtigen, ist aber unmöglich. Gegenüber dem relativen Charakter der Meßmethoden hat nur die Zeit etwas Absolutes an sich. In der Niederschlagsforschung des Hochgebirges muß man sich vor der Anwendung mathematischer Formeln ganz besonders hüten. Man darf die Mathematik, diese edle Wissenschaft, nur da anwenden, wo sie am Platze ist und nicht für Dinge mißbrauchen, die nicht in ihrem Bereich liegen. In der hydrometeorologischen Forschung dient die Mathematik vor allem dazu, die durch die *Beobachtung* gegebenen Lösungen quantitativ zu präzisieren. Die Mathematik kann in der Naturwissenschaft und ganz besonders in der Niederschlagsfrage des Hochgebirges nie die Beobachtung, noch das sachliche pragmatische Nachdenken über Naturvorgänge ersetzen und überflüssig machen.

Das vorliegende Kapitel stützt sich auf ein reichhaltiges, im Lauf der letzten Jahrzehnte gesammeltes, eigenes Beobachtungs- und Denkmaterial, das nur für das Schweizer Hochgebirge seine volle Gültigkeit besitzt.[2]) Es bildet eine wesentliche Er-

[1]) Die nachstehenden Ausführungen über das Niederschlagsproblem des Hochgebirges bezwecken vor allem, die heute noch bestehenden Zweifel, Vorurteile und Auffassungen, die mit der Erfassung der Größe dieses wichtigen hydrologischen Elementes immer wieder laut werden, zu beseitigen.

[2]) Ich betone: meine Erfahrungen beziehen sich nur auf die Schweizer Alpen. In der Antarktis z. B. gelangte, nach den Untersuchungen von Prof. *Henryk Arctowski* von der Universität Lwów, Pologne, trockener Schnee bei —15 und mehr Grad nicht in die Auffanggefäße seiner Sammler, er wurde vollständig hinausgeblasen. Prof. *Arctowski* verwendete für die Messung der Schneeniederschläge nur die Schneehöhen und ihre Wasserwerte. (Mündliche Mitteilung vom 27. Juli 1938.)

gänzung zu meinen bisherigen Ausführungen über dieses schwierige Thema.[1]) Wiederholt habe ich schon darauf aufmerksam gemacht, daß der Hochgebirgshydrologe genötigt ist, an die Genauigkeit der Niederschlagsmessung wesentlich höhere Anforderungen zu stellen als der Meteorologe. Es rührt dies nicht nur davon her, daß der Flächeninhalt der Forschungsgebiete, mit dem sich die Gewässerkunde beschäftigt, meist wesentlich begrenzter ist als das weite Feld der Meteorologie, sondern auch, weil es sich in der Kernfrage der Hydrologie, der *Landesverdunstungsfrage*, um eine Größe handelt, die aus dem *Unterschied* zwischen Niederschlag und Abfluß hervorgeht.

In *zwangloser* Ausführung soll hier über die Erfahrungen meiner langjährigen Tätigkeit in der Erforschung der Niederschlagsverhältnisse unseres Hochgebirges berichtet werden.

Nach 47jähriger Forschertätigkeit im Schweizer Hochgebirge bin ich zur Ueberzeugung gelangt, daß die Eigenart jeder einzelnen Gebirgslandschaft, ja jedes einzelnen Bezirkes derselben, namentlich was die verwickelten Beziehungen zwischen Lage und Oberflächengestalt, Bodennatur und Bodenbedeckung mit all ihren Begleiterscheinungen betrifft, in so ausgesprochenem Maße zur Auswirkung kommt, daß alle übrigen Faktoren, die mit der quantitativen Erfassung der auf eine Gebirgslandschaft fallenden Niederschlagsmasse in Verbindung stehen, stark in den Hintergrund treten. Die Niederschlagsverhältnisse im Gebirge sind vor allem an die Lage und Form des Geländes gebunden. Auf Aenderungen der Großwetterlage reagiert jede einzelne Landschaft auf ihre eigene Weise. Eine jede behält ihr eigenes, durch örtliche Verhältnisse bedingtes Sonderklima so lange bei, bis eine kapitale Umwälzung grundlegende Aenderungen gebietet. Verursacht schon eine vereinzelte Bodenerhebung Umwälzungen, so ist es verständlich, daß eine geschlossene Hochgebirgslandschaft geeignet ist, das Klima auf recht eigenartige Weise einschneidend zu beeinflussen und zu bestimmen.

II. Spezielles.

Bezugslinien zwischen Niederschlag und Höhenlage. — Heute wissen wir, daß Bezugslinien zwischen *Niederschlag (N)* und *Höhenlage (H)* mit aller Entschiedenheit abgelehnt werden müssen. Schon *Hellmann* hat darauf hingewiesen. *Karl Fischer* fand, als er die Beziehungen *(N, H)* für die zum Wesergebiet gehörigen Wasserläufe des deutschen Mittelgebirges auf Grund veränderter Jahresreihen nachprüfte, *Hellmanns* Ansicht vollauf bestätigt. So hat z. B. die Nordseite des Thüringer Waldes einen andern Verlauf von *N, H* als der Südwesthang, obwohl beides Luvseiten sind, und im Harz ändert sich, selbst wenn man nur den zur Weser gehörenden Teil betrachtet, die Linie *N, H* fast von Wasserlauf zu Wasserlauf. In den Alpen sind die Verhältnisse noch verwickelter; eine einfache Beziehung besteht nicht, die Aenderungen sind so stark, daß sich eine Zusammenfassung zu einheitlichen Linien geradezu verbietet. Die Ergebnisse der nachfolgenden Studien geben hierüber klare Auskunft. Der Hydrologe muß sich deshalb nicht nur mit dem Körper, sondern auch

[1]) *Lütschg O.:* Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Verbandsschrift Nr. 14, erster Teil, IV. Abschnitt, 1. Kapitel, S. 109 u. ff., Zürich 1926.

Lütschg O.: Zur Erforschung der Niederschlagsverhältnisse des Hochgebirges. Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt 1928, LXV. Jahrg., Zürich 1930.

mit der Seele der Landschaft beschäftigen. All dies hat zur Folge, daß man in der Zusammenfassung von Ergebnissen, in der Formulierung von Gesetzmäßigkeiten usw. große Vorsicht und Umsicht walten lassen muß.

Sonderstudien. — Die moderne Gewässerkunde verlangt heute gebieterisch tiefgründige Sonderstudien in möglichst vielen und charakteristischen Bezirken unserer Hochalpen. In der Frage des Wasserhaushaltes handelt es sich, ganz besonders in ihrer jetzigen Form, nicht mehr um die Aufstellung von ordnungsmäßigen Regeln und auch nicht mehr um die allgemeine Abklärung von physikalischen Prozessen, die sich in der Atmosphäre, auf der Erdoberfläche und innerhalb der Erdoberflächenschicht abspielen, sondern um die *quantitative* Behandlung der Wasserbilanz. Sie stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit jedes einzelnen Elementes, das für ihre Aufstellung erforderlich ist, insbesondere auch an die des Niederschlages.

Aus allen bisherigen Forschungsarbeiten unseres Institutes geht eindeutig und klar hervor, daß in jedem Gewässergebiet eine Reihe von Faktoren auftreten, die in ihrer Gesamtwirkung jeder Landschaft ihr besonderes Gepräge verleihen. Diese Faktoren ändern sich nicht nur nach Höhenlage, Art und Intensität von Wasserlauf zu Wasserlauf, sondern sie sind auch verschieden in ihrer Gruppierung und in ihrem zeitlichen Auftreten, also zuletzt in Form und Effekt ihres Zusammenwirkens. Was uns heute fehlt, sind vor allem gesunde zahlenmäßige Grundlagen, insbesondere für den Niederschlag. Diese Grundlagen müssen durch Forschung und Messung im Gelände selbst beschaffen werden. Gemeinsame Grundzüge lassen sich erst nach Durchführung einer ganzen Reihe von Sonderuntersuchungen verfolgen, wobei jede einzelne sich über einen längern Zeitraum zu erstrecken hat. Erst wenn eine auf Kenntnis und Verständnis der Eigenart beruhende Grundlage geschaffen ist, darf an praktisch gültige Schlußfolgerungen herangetreten werden. Die Individualität jedes einzelnen Gebietes ist aber in der Regel so ausgesprochen, daß man in der Verallgemeinerung solcher Schlußfolgerungen sehr vorsichtig sein muß.

Naturlaboratorien. — Schon in meinen frühern Arbeiten habe ich mit allem Nachdruck auf die große Bedeutung des experimentellen Forschens in unsern Untersuchungsgebieten hingewiesen. Sollen wirkliche Fortschritte erzielt werden, dann ist es unumgänglich notwendig, die Forschungsbezirke mit eigentlichen *Naturlaboratorien* zu versehen. Für solche Arbeitsräume darf man sich bei der Aufstellung von Niederschlagsmessern nicht an Regeln halten. Selbstverständlich muß die Ortswahl für die Aufstellung der einzelnen Niederschlagsmesser sorgfältig vorgenommen werden, damit zum mindesten am Beobachtungsort selbst richtig gemessen werden kann. In solchen Naturlaboratorien ist es notwendig, Niederschlagsmesser auch an Orten aufzustellen, wo ein besonders starkes Emporsteigen der Luftströmungen zu erwarten ist, oder wo die Windgeschwindigkeit große Werte erreicht oder wo lokale Winde häufig auftreten usw.

Systeme von Niederschlagsstationen. — Heute wissen wir auch, wie unumgänglich notwendig es ist, für *gewässerkundliche* Untersuchungen in unserem vielgestaltigen Alpenlande *ganze Systeme* von Niederschlagsstationen, also engmaschige Netze von Niederschlagsmessern, zu schaffen.

Da das vorliegende Werk insbesondere auch den Zwecken der allgemeinen Flußkunde und der Hydrotechnik zugute kommen soll, war eine Ausdehnung des Sta-

tionsnetzes über das eigene Beobachtungsgebiet hinaus notwendig, denn die Wasserführung eines Gewässers an irgendeiner Stelle seines Laufes wird erst verständlich, wenn man alle im topographischen und geologischen Einzugsgebiet und ihrer nächsten Umgebung gefallenen Niederschläge kennt. Solche Niederschlagsnetze haben mir erlaubt, der vorliegenden Arbeit detaillierte Karten über die Verteilung der Niederschlagshöhen beizugeben. Die Erfahrung lehrt, daß allein solche Karten ein zahlenmäßiges Erfassen der Wasserbilanz von Flußgebieten ermöglichen. Wo solche Stützpunkte fehlen, verlieren sich die aus ihnen ermittelten Ergebnisse im Nebel. Ueberhaupt ist es kaum zu glauben, wie oft von Forschern aller Kreise die in den Jahrbüchern gedruckten Niederschlagsergebnisse *ohne sachliche Kritik,* dafür aber mit einer um so größern Bewunderung als mathematische Gebilde erster Ordnung angesehen und verwertet werden, eben weil sie den organischen Zusammenhang des Niederschlagsgeschehens nicht verstehen.

Behandlung der Grenzzonen. Geländeeinfluß. — In unserm Alpengebiet gelangen oft *verschiedene* Klimate in ein und demselben Gebiet gleichzeitig zur Auswirkung. Ihre Feststellung und ihr Einfluß auf das Maß des Niederschlages erfordern namentlich in den Grenzzonen solcher Bezirke besonders dichte Beobachtungsnetze, und zwar auf der Luv- wie auf der Leeseite, d. h. inner- und außerhalb der eigentlichen Randzonen der Grenzkämme. Ohne solche kann z. B. der Frage des Uebergreifens der Niederschläge von der Luv- auf die Leeseite überhaupt nicht nähergetreten werden. Der von Station zu Station wechselnde Witterungs- und Reliefcharakter beeinflußt oft in entscheidendem Maße die Niederschlagsgröße bestimmter Zeitabschnitte. Ein Tal, ein Hang oder ein Gipfel liefern recht verschiedene Ergebnisse, selbst wenn sie in gleicher Meereshöhe liegen und nur wenig voneinander abstehen. Die gewaltigen Unterschiede, die oft bei geringer Entfernung der Stationen zutage treten, sind bald eine Folge der von Ort zu Ort stark wechselnden Zahl und Intensität der sommerlichen Gewitterregen, bald sind sie eine reine Folge der örtlichen orographischen und klimatischen Verhältnisse; ausschlaggebend ist in der Regel der Wind, der im Hochgebirge so oft sein unheimliches, unstetes Wesen treibt.[1]) Diese erheblichen örtlichen Unterschiede in der Höhe des Niederschlages müssen auch beim Erstellen von Niederschlagskarten ihre volle Berücksichtigung finden. Es setzt dies nicht nur eine enge Verbundenheit des Forschers mit seinem Untersuchungsgebiet voraus, sondern auch engmaschige Netze von Niederschlagsstationen, denn nur durch Häufung der Meßstellen kann der Geländeeinfluß erforscht und soweit berücksichtigt werden, daß der Durchschnittswert dem wahren Wert nahekommt.[2]) Besondere Sorgfalt muß ferner der Bestimmung der Größe der Ein-

[1]) «Selbst im Flachlande kommen an Orten, die weniger als ½ km voneinander entfernt sind, in einzelnen Monaten Unterschiede des Niederschlags bis zu 5 % vor. Diese Unterschiede steigern sich an einzelnen Tagen mit böigem Wetter und Gewitterregen so, daß sie 100 und mehr Prozent erreichen können.» *(Hellmann.)*

[2]) Auf zwei weitere Umstände, die bei der Einrichtung des Stationsnetzes nicht außer acht gelassen werden dürfen, soll hier noch besonders hingewiesen werden.

Hangaufwärts gerichteter Wind trägt nicht selten einen Teil, manchmal sogar fast allen Niederschlag, vor allem wenn er in Schneeform fällt, über die Oeffnung des Messers hinweg; umgekehrt führt oft hangabwärts gerichteter Wind zuviel Niederschlag in das Meßgefäß. Solchen Fehlermöglichkeiten muß von vornherein durch geeignete Wahl der Meßstellen begegnet werden. Ihre Beseitigung erfordert allerdings *enge* Stationsnetze.

Von einer Schiefstellung der Oeffnungsfläche der Messer zu den Hängen (Abweichung von der horizontalen Lage), wie sie gelegentlich befürwortet wird, möchte ich abraten, denn sie steht im Widerspruch

flußzone, die jeder Station zuzuteilen ist, gewidmet werden. Auch hier sind Vorsicht und Umsicht besonders notwendig, denn die richtige Erfassung und Berücksichtigung der lokalen dynamischen Einflüsse gehört zum schwierigsten Problem der Hydrometeorologie und erfordert eine langjährige Praxis im Hochgebirge selbst. Berücksichtigt man dazu noch den ungleichen Einfluß, den die Luftströmungen auf die Meßapparate selbst ausüben, dann wird man wohl begreifen, daß die genaue Erfassung der auf eine bestimmte Hochgebirgslandschaft fallenden Niederschlagsmenge keine leichte Aufgabe ist. Und dennoch vollzieht sich, wie wir später sehen werden, in unsern relativ kleinen Forschungsgebieten, vor allem ihrer Vielgestaltigkeit und ihres Reichtums an Stationen wegen, ein befriedigender Ausgleich. Dafür sind unsere Landesverdunstungswerte gute Belege.

Aber nicht nur von der ortsgerechten Aufstellung und der Anzahl der Niederschlagsmesser allein hängt die Genauigkeit der Messungen ab, sondern auch von der Konstruktion des Apparates, von der Höhe der Auffangsfläche über Boden [1]), sowie von der Art und Sorgfalt der Beschickung und Bedienung des Gerätes.

Beobachtungsnetz, Beobachtungsdienst. — Die ältesten Niederschlagsmessungen der Schweiz sind die von Zürich, wo *J. J. Scheuchzer* bereits im Jahre 1708 mit solchen begann und mit einigen Unterbrechungen bis 1724 fortsetzte. Aus dem 18. Jahrhundert liegen Messungen aus *Orbe* im Waadtland und aus *Bern* vor, vom Januar 1755 bis Juni 1804 solche aus *Basel* von *J. J. d'Annone.* Im Jahre 1826 nahm die bis heute ununterbrochene *Genfer* Reihe ihren Anfang. Am 1. April 1826 eröffnete *Peter Merian* seine meteorologische Station in *Basel.* Ein vollständig einheitlich organisiertes Stationsnetz wurde aber erst im Dezember 1863 von der sog. «*Meteorologischen Kommission» der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft,* mit finanzieller Unterstützung durch den Bund, errichtet. Nach der Neuorganisation der *Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich* im Jahre 1881 ging die Leitung des ganzen Niederschlagsnetzes an den Bund über. Das Stationsnetz verdichtete sich allmählich sehr erheblich und wurde namentlich zu Anfang der achtziger Jahre, nach dessen Uebergang an die Eidgenossenschaft, weiter ausgebaut. Im Dezember 1939 umfaßte es *296* Regenmeß- und *120* meteorologische Stationen. Ihre Ergebnisse werden in den Jahrbüchern der *Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt* veröffentlicht. [2])

Hochstationen. — Mit der Entwicklung der Wasserwirtschaft in der Schweiz, stellte sich mehr und mehr das Bedürfnis ein, das bestehende Stationsnetz, das nur über wenige Hochstationen und solche mehrheitlich nur in Paßlagen verfügte, auch auf das eigentliche *Hochgebirge* auszudehnen. Es ist vor allem das Verdienst des frühern Leiters der *Schweiz. Landeshydrographie,* Prof. Dr. *L.-W. Collet* in Genf, den Bau von Hochstationen gefördert zu haben. Ihm verdanken wir die Gründung

zu der Berechnungsart der mittleren Niederschlagshöhe eines Gebietes (vgl. hierüber die Ausführungen «Berechnung des Niederschlages», S. 15).

[1]) So gibt der *Hellmann*sche Regenmesser, dessen Auffangfläche bei uns ungefähr in 1,50 m Höhe liegt, etwas kleinere Werte als ein Regenmesser im Boden, weil sich um den Regenmesser eine besondere Windströmung bildet, die weniger Tropfen in den Messer hineingelangen läßt, als auf den Boden (vgl. II. Teil, Forschungsgebiet Baye de Montreux [15], Kap. Klima, Abschn. Niederschlag, Bd. III).

[2]) Weitere Angaben und Einzelheiten siehe: *Maurer J., Büllwiller Rob.* jun. und *Heß C.*: Das Klima der Schweiz, Zürich 1909, S. 3—10.

der ersten Stations*netze* im Jungfrau- und Aletschgletschergebiet im Herbst 1913.[1]) Wohl hatte die *Gletscherkommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft* in den Jahren 1897 bis 1900 unter der damaligen Leitung von Prof. Dr. *E. Hagenbach-Bischoff* in Basel den Versuch gemacht, im Firngebiet des Rhonegletschers in 2560 m Höhe mit einer wasserdichten Kubikmeterkiste von 1 m² Oeffnung, den Niederschlag zu messen. Allein trotz dem hohen Aufwand an Kosten und Mühen bei der Aufstellung, waren die erhaltenen Ergebnisse ganz unbefriedigend; sie lieferten kaum die Hälfte dessen, was die heutigen, genaueren Methoden ergeben. Amerikanische Meteorologen haben anfangs des 20. Jahrhunderts neue Vorschläge gemacht und Instrumente gebaut, die geeignet schienen, in weit abgelegenen und im Winter wenig betretenen Bergregionen, Regen und Schnee lange Zeit aufspeichern zu können, um sie dann später zu gelegener Zeit einer Messung zugänglich zu machen.[2]) Es sind dies voluminöse, mit jalousieartigen Windschutzvorrichtungen versehene Schneekisten (Kantenlänge etwa 1,5 m), in die die eigentlichen Sammelgefäße, mit Salz und Oel beschickt, hineingestellt wurden.

Vallot-Rohr. — Versuche mit erweiterten *Vallot-Rohren* (Höhe 2,0 m, Durchmesser in der Mitte 0,3 m, an der Oeffnung 0,16 m) wurden durch die *Schweiz. Landeshydrographie* (Dr. *J. Epper*) auf der Roggenalp bei Oberiberg und auf der Wimmisalp bei Schangnau (1908) und von der Forstdirektion des Kantons Bern (Dr. *F. Fankhauser*, 1912) an den Hängen des Brienzer Rothorns durchgeführt. Die Ergebnisse befriedigten nicht. Vergleichsversuche mit einem *Hellmann*-Apparat ergaben für das Vallot-Rohr viel zu geringe Mengen, was vor allem der großen Verdunstung der Regentropfen an den Wänden der *Vallot*-Rohre zuzuschreiben war.

Mougin-Totalisator. — Aus dem *Vallot*-Apparat ist der *Mougin-Totalisator* hervorgegangen. Generalforstinspektor *Paul Mougin* verwendete ab 1910 für die Erforschung der Niederschlagsverhältnisse in den Savoyer Alpen, Zinkblechgefäße von 95 cm Höhe und 50 cm Durchmesser, mit Auffangflächen von 200 cm², ohne Windschutzkonstruktion, die er mit einer bestimmten Menge Kalziumchlorid, Wasser und 3 dl Vaselinöl beschickte, um das Gefrieren und Verdunsten der Lösung zu verhindern.[3]) In der Schweiz wurden solche Apparate von *J. Maurer, R. Billwiller, L. W. Collet* und *O. Lütschg* erst in primitiver Form auf einem Holzgestell, dann mit einer passenden Windschutzkonstruktion versehen, in verschiedenen Hochlagen der Walliser Alpen aufgestellt und bedient. Nach weitern langjährigen Versuchen und Erfahrungen ist der Typus entstanden, wie er in Fig. 3, S. 11, dargestellt ist und heute als Standardapparat des *Institutes für Gewässerkunde* in sämtlichen Untersuchungsgebieten verwendet wird. Dieser erprobte Sammler gestattet, den gefallenen Regen oder Schnee von mindestens einem Jahr aufzubewahren, so daß eine Entleerung, wenn notwendig, nur in der günstigen Jahreszeit vorgenommen zu werden braucht. Er leistet vor allem zwei Forderungen Genüge: erstens wird durch die Kalziumchlorid-Lösung der Niederschlag in fester Form im Sammler geschmolzen, dann wird durch die Oelschicht eine Verdunstung des Inhaltes verhindert.

---

[1]) *Maurer J.* und *Collet Léon:* Ueber die Niederschlagsmessung im Hochgebirge. Schweizerische Wasserwirtschaft, VII. Jahrgang, Nr. 6/9, Zürich 1914.

[2]) Vgl. hierüber die Arbeit von *Charles F. Brooks*, S. 464.

[3]) Die Verwendung von Sammlern (Totalisatoren) zur Messung des Niederschlags von längerer Dauer ist nordischen Ursprungs.

Zahl der Totalisatoren. — Im Schweizer Hochgebirge stehen augenblicklich 189 Niederschlagssammler (Totalisatoren) in Betrieb. Hiervon entfallen auf das *Stationsnetz des Institutes für Gewässerkunde 172 (91 %)*, auf das der *Meteorologischen Zentralanstalt 17 (9 %)*.

Die Bedeutung, die die Schweizer Hydrologie dem Niederschlagsproblem beimißt, geht aus diesen Zahlen deutlich hervor.

Wahl des Meßortes. — Die Hochgebirgswelt stellt an die Wahl des Meßortes hohe Anforderungen. Es ist klar, daß im Hochgebirge, wo ein Hindernis dem andern folgt, wo die Mannigfaltigkeit des Geländes eine unaussprechliche ist, den Forderungen, die an eine einwandfreie Station gestellt werden müssen, nicht immer nachgelebt werden kann. Auch dem erfahrensten Hochgebirgshydrologen dürfte es deshalb nie möglich werden, sich von vornherein durch passende Wahl der Meßstelle vom Geländeeinfluß so zu befreien, daß der gewählten Lage auch die gewünschte Einflußzone (Areal) zukommt. Aus diesem Grunde kann auch die Genauigkeit der Niederschlagsmessung nie vollkommen befriedigend sein; schon die ungleiche Höhenlage der winterlichen Schneedecke verhindert eine homogene Aufstellung. Dagegen ist heute, bei richtiger und genügender Kontrolle der Beobachtungsorte und der Stationen, ein einwandfreies Beobachtungs- und Meßergebnis doch erreichbar. Es setzt dies allerdings ein geschultes und getreues Beobachtungspersonal voraus, das im Hochgebirge nicht immer leicht zu finden ist.

Soweit möglich, sollte die Lage des Apparates den natürlichen Verhältnissen des Geländes angepaßt werden. Auf die Windverhältnisse ist besonders Rücksicht zu nehmen, d. h. es muß im freien, offenen Gelände, namentlich über der Baumgrenze, den lokalen Eigenarten des Gebietes volle Aufmerksamkeit geschenkt werden. Windgeschützte Orte sind in der Regel zu bevorzugen; dem Winde besonders ausgesetzte Stellen, wie Berggipfel, Kamm- und Paßlagen, usw., ebenso solche im direkten Bergschatten sind möglichst zu meiden. Wo dieser Forderung nicht nachzukommen ist, wie in Kamm- und Gipfellagen, empfiehlt es sich, örtlich begrenzt, — mehrere Sammler aufzustellen. Dabei kommt es natürlich sehr darauf an, für welchen Zweck die Niederschlagsmessungen ausgeführt werden. Sofern es sich um die Ermittlung der mittleren Niederschlagshöhe eines ganzen Gebietes handelt, kommt, streng genommen, jeder Lage die gleiche Bedeutung zu; es kommt nur darauf an, welcher Einflußzone jede einzelne Station zugeschrieben werden darf. Diese einfache Ueberlegung führt für Hochgebirgsverhältnisse ganz von selbst zum Bau von engmaschigen Niederschlagsstationsnetzen. Wichtig ist ferner, daß die Sammler, wo ausführbar, von den Sonnenstrahlen erreicht werden. Die Sonnenbestrahlung löst im Winter meist die sulzigen Schneemassen und Schneehauben, die sich gelegentlich nach großen und schweren Schneefällen über der Oelschicht zu bilden vermögen, auf. In besonders kalten Lagen empfiehlt es sich, das Sammelgefäß mit mattschwarzer Farbe anzustreichen. Allgemein gültige Regeln für die Wahl eines Platzes lassen sich nicht aufstellen. Der Niederschlag muß eben möglichst so gemessen werden, wie die Natur ihn auf den Boden fallen läßt. Es verlangt dies eine genaue Kenntnis der örtlichen Verhältnisse, d. h. eine enge Verbundenheit des Forschers mit seinem Gebiet.

Auf einen Widersacher soll noch im besondern hingewiesen werden: den *Rauhreif*. Rauhreif- und Eisbildungen am Rande der Auffangfläche der Totalisatoren

konnten allerdings in unsern sämtlichen Forschungsgebieten, soweit der Beobachtungsdienst dies bis heute ermöglichte, nicht festgestellt werden. Das soll nicht etwa heißen, daß solche Zustände nicht dennoch eintreten können oder schon eingetreten sind, daß also dadurch Fehlerquellen vorhanden sein könnten, deren Ausmaß sich unserer Beurteilung entzieht. Die Bedeutung, die diesem Phänomen bei der Niederschlagsmessung zukommen kann, geht aus den Beobachtungen und Erfahrungen, die auf dem 2504 m hohen Säntis gemacht wurden, deutlich hervor. Ich werde im Abschnitt Nebel, Tau und Reif näher darauf eintreten. [1])

Das vorstehende Bild über die Wahl des Meßortes wäre nicht vollständig, wenn neben den Schwierigkeiten der Messung selbst, nicht auch der Gefahren des Hochgebirges gedacht würde, die mit solchen Arbeiten verbunden sind. Bei der Auswahl des Platzes muß unbedingt auch auf dieses Moment Rücksicht genommen werden.

Allgemein läßt sich sagen, daß die Zahl der für Niederschlagsmessungen wirklich geeigneten Lagen im Hochgebirge recht beschränkt ist. Neben den Wind- und Schneeverhältnissen muß auch die *Zugänglichkeit* der Meßstelle berücksichtigt werden. Trotz aller Sorgfalt haften dennoch gewisse Mängel jeder Station an. Oftmals stand ich vor kaum überwindbaren Schwierigkeiten. Die Harmonie, die dennoch in unsern bisherigen Landesverdunstungswerten so schön zutage tritt, zeugt für eine relativ hohe Genauigkeit der mittlern Niederschlagswerte; sie ist hierfür geradezu ein glänzender Beleg. Diese Harmonie ist auch der Hauptgrund, weshalb wir an unserm Niederschlagssammlertyp und Meßverfahren festhalten und vor Aenderungen warnen. Will man trotzdem an unsern Niederschlagsergebnissen rütteln, dann muß man, wenn wir den Abfluß unberührt lassen, noch viel mehr an den Ergebnissen der Verdunstung rütteln, denn sie gehen ja aus dem Unterschied zwischen Niederschlag und Abfluß hervor; dann aber fällt das ganze, sorgfältig aufgebaute Gerüst, auf dem die Berechnung des Wasserhaushaltes unseres Hochgebirges beruht und an dessen Aufbau wir während Jahrzehnten intensiv gearbeitet haben, in sich zusammen.

Fehlerquellen. — Die Erfassung der Fehlerquellen, die in der Niederschlagsmessung liegen, ist nicht leicht, denn es handelt sich dabei nicht nur um die Bestimmung der Größe der Fehlergrenzen, die die Messung des aufgefangenen Niederschlages in sich birgt, sondern auch um die Ermittlung der Fehlergrößen, die durch die Gestalt des Geländes in Verbindung mit den stets wechselnden meteorologischen Faktoren bedingt sind und die selbstverständlich auch mit der Konstruktion des Niederschlagssammlers in Verbindung stehen. In dieser Beziehung sei besonders auf die ungleiche Wirkung der Luftströmungen auf die verschieden gestalteten Meßapparate aufmerksam gemacht, die jeder Berechnung trotzen.

Auf einen Fehler, der uns anfänglich bei der Montierung der ersten Sammler im Wallis (um 1913) entgangen ist und auf den wir erst nach den ersten Ergebnissen gestoßen sind, soll noch besonders hingewiesen werden.

Wie Fig. 3, Detail a, zeigt, ist beim Modell des *Institutes für Gewässerkunde* das kegelförmige Verbindungsstück zwischen Sammler und Auffangfläche *satt* mit dem Sammelgefäß verbunden; eine Luftzirkulation zwischen Sammler und Verbin-

[1]) Vgl. hierüber Kap. 9: «Die Bedeutung der Nebel-, Tau- und Reifbildungen im Wasserhaushalt des Hochgebirges» (im Druck).

dungsstück ist also vollständig ausgeschlossen. Das Fallen der Niederschläge in den Sammler kann also von dieser Kontaktstelle aus durch Luftströmungen nicht beeinträchtigt werden. Dies war leider bei den ersten Sammlern mit Windschutz, d. h. mit getrenntem Konusstück, nicht immer der Fall. Es kam vor, daß sich nach der Aufstellung zwischen Konus und Gefäß Spalten bildeten, die zu Luftzirkulationen führten, die den natürlichen Eintritt der Niederschläge in das Sammelgefäß zu stören vermochten, was je nach der Größe der Spalten und der örtlichen Lage des Sammlers zu Fehlern führen mußte. Erst durch ein einfaches Verstopfen der Schlitze, dann aber durch Aenderung der Konstruktion der Niederschlagssammler, vgl. Fig. 3, Detail a, konnte diesem Fehler vollständig begegnet werden. Sämtliche, in unsern Forschungsgebieten aufgestellten Sammler sind von der Konstruktion, wie Fig. 3 sie zeigt, also frei von solchen Fehlern.

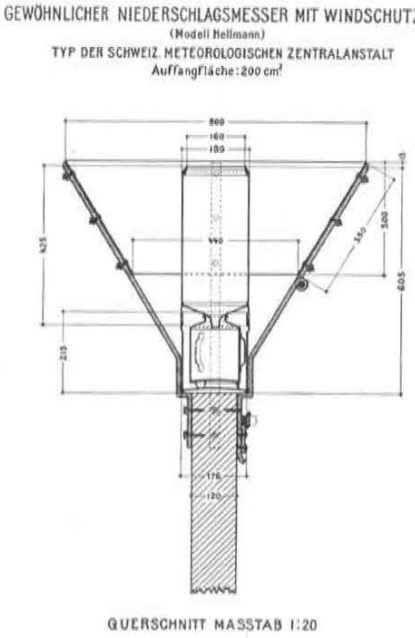


Fig. 1.

Niederschlagsmesser. — Für die Bestimmung der Größe des auf die Horizontalfläche unserer Forschungsgebiete fallenden Niederschlages verwenden wir folgende Meßtypen:

1. *Normaler Niederschlagsmesser,* System *Hellmann, ohne* Windschutz.

   Auffangfläche = 200 cm², Durchmesser = 159,6 mm.

2. *Normaler Niederschlagsmesser,* System *Hellmann, mit* Windschutz (Typ der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt).

   Auffangfläche = 200 cm², Durchmesser = 159,6 cm.

   Windschirm: Durchmesser oben = 800 mm, unten = 440 mm, Höhe = 300 mm (vgl. Fig. 1).

3. *Normaler Niederschlagssammler, Schweizer Modell, mit* Windschutz.

   Auffangfläche = 200 cm², Durchmesser des Sammelgefäßes = 500 mm.

   Windschirm: Durchmesser oben = 900 mm, unten = 700 mm, Höhe = 240 mm.

   Das Sammelgefäß vermag 4400 mm Niederschlag aufzufangen (vgl. Fig. 3).

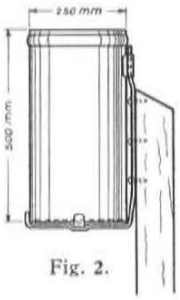


Fig. 2.

4. *Kleiner Niederschlagssammler, Schweizer Modell, ohne Windschutz.*

   Auffangfläche = 500 cm², Durchmesser = 252,3 mm, Höhe = 500 mm. [1]) Das Sammelgefäß vermag 450 mm Niederschlag aufzufangen (vgl. Figur 2).

5. *Kugelniederschlagsmesser Haas-Lütschg.*

   Durchmesser der Kugel = 250 mm, Zahl der Augen 32, Durchmesser der Augen = 55,5 mm für eine totale Projektionsfläche der Augen von 200 cm² (vgl. hierüber die Figuren 4, 5 und 6, S. 16).

[1]) Für Bezirke mit hohen Niederschlägen empfiehlt es sich, dem kleinen Sammler eine Höhe von 600 mm zu geben.

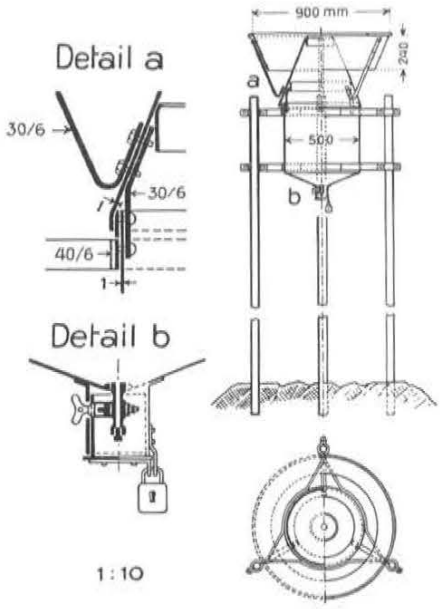


Fig. 3.

Schweizer Niederschlagssammler

Modell des vom *Institut für Gewässerkunde* in seinen Forschungsgebieten verwendeten Niederschlagssammlers mit Nipherschem Windschutztrichter.[1]) Die Leistungsfähigkeit unseres Nipherschen Windschutztrichters gewinnt an Bedeutung, je freier die Lage der Station und je größer die Anzahl der Schneetage ist, d. h. je höher das Forschungsgebiet liegt.

Auffangfläche = 200 cm², Durchmesser des Sammlers = 500 mm.

Der genaue Durchmesser unserer Sammelgefäße ist so gewählt, daß sich aus der Differenz zweier Abstichgrößen, multipliziert mit 10, der zugehörige Niederschlagswert ergibt.

Windschirm: Durchmesser oben = 900 mm, unten = 700 mm, Höhe = 240 mm.

Das Sammelgefäß vermag 4400 mm Niederschlag aufzufangen.

Es ist klar und bedarf keiner Erläuterung, daß die Genauigkeit des *mittleren* Niederschlages auch mit der *Dauer* der Untersuchung in Verbindung steht. Je kürzer der Zeitraum, desto größer dürfte in der Regel die Ungenauigkeit sein. Die vorliegenden Ausführungen zeigen klar genug, daß in dieser Frage so viele Unsicherheitsfaktoren mitspielen, daß von einer zahlenmäßigen Erfassung der Fehlergröße nicht gesprochen werden darf.

Die Untersuchungen über den Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges erfordern vor allem eine möglichst genaue, zahlenmäßige Erfassung der in flüssiger und fester Form auf die Gebietsfläche fallenden Niederschlagsmengen. Trotz allen Fortschritten, die in den letzten Jahren mit viel Mühe und Arbeit erzielt werden konnten, bleibt dennoch die Bestimmung des Niederschlages das Sorgenkind in der Aufstellung der Wasserbilanz. Dies trifft namentlich für Flußgebiete zu, deren Hochlagen über 3000 m hinaus reichen. Für Landschaften unter 3000 m, die mit engmaschigen Netzen von Niederschlagsstationen versehen sind, wie das *voralpine Innertal* in den Schwyzer Alpen (Größe = 42,36 km², mittlere Höhe = 1360 m ü. M., höchster Punkt = 2297 m ü. M., Zahl der Niederschlagsstationen = 18) und das *Gebiet der Baye de Montreux* am Südwestfuße der Rochers de Naye (Größe = 13,84 km², mittlere Höhe = 1219 m ü. M., Zahl der Niederschlagsstationen = 39), darf die Genauigkeit der mittleren Niederschlagshöhe als recht befriedigend bezeichnet werden. Höhere Gebiete, wie z. B. das *obere Saastal*, das *Grimselgebiet*, das *Barberinegebiet* usw., erforderten besonders sorgfältig ausgebaute Niederschlagsnetze und getreue Bedienung und Kontrolle der Stationen.

Jeder erfahrene Hochgebirgsforscher wird zweifellos mit mir einig gehen, wenn ich die Ansicht vertrete, daß es kaum jemals gelingen wird, einen Niederschlags-

[1]) Sämtliche Totalisatoren wurden von der Metallwarenfabrik *A. Brunschweiler & Cie.*, Küsnacht-Zürich, unter der bewährten Leitung von *R. Carol*, seit Jahrzehnten zu unserer vollen Zufriedenheit hergestellt.

sammler zu konstruieren, der restlos allen Anforderungen zu genügen vermag, die das Hochgebirge an ein solches Gerät stellt. Die Ursache liegt vor allem in der unaussprechlichen Mannigfaltigkeit unserer Hochgebirgswelt. Diese Vielfalt hat aber auch ihren großen Vorteil, denn sie ist es ja gerade, die, vereint mit einem engmaschigen Stationsnetz, einen Ausgleich der manchmal zu großen, manchmal zu kleinen Niederschlagswerte ermöglicht. Selbstverständlich vermag auch das engmaschigste Netz von Niederschlagsstationen nicht alle Unsicherheiten der Niederschlagsmessung vollständig zu beseitigen, daß wir aber auf diesem Wege der Wahrheit sehr nahekommen, ist, wie bereits früher erwähnt, meine feste Ueberzeugung. Sehr wichtig und dringend erforderlich ist, die *gemessenen* Niederschlagsmengen — ich spreche von gesunden Ergebnissen — trotz den oft auf kurze Entfernungen eintretenden großen Differenzen, *unverändert, ungefälscht,* d. h. nicht am grünen Tisch gefühlsmäßig korrigiert, für die Berechnung der Niederschlagsmasse des Gebietes zu verwenden.[1]) Selbstverständlich gilt dies nicht für Ergebnisse, die offenkundig mit Fehlern behaftet sind! Die oft zutage tretenden, manchmal recht erheblichen und überraschenden Unterschiede benachbarter Stationen tragen durchaus nichts Unnatürliches an sich. Sie werden oft, meist mit Unrecht, der Konstruktion des Niederschlagsmessers zugeschrieben. In der Regel sind es aber örtliche Verhältnisse, die hierfür verantwortlich gemacht werden müssen (vgl. die Ergebnisse der Vergleichsversuche im II. Teil, Forschungsgebiet Baye de Montreux (15), Kap. Klima, Abschn. Niederschlag, Bd. III).

In unserm modern eingerichteten Naturlaboratorium der *Baye de Montreux* (Größe = 13,84 km²) sind seit 1931 39 Niederschlagssammler ununterbrochen im Betrieb. Sie werden mindestens jeden Monat einmal kontrolliert und ihre Inhalte gemessen. Die bisherigen Ergebnisse sind durchaus befriedigend. Mißerfolge treten selten ein. Drei Sammler mußten der gewaltigen Schneeniederschläge wegen, im Winter 1934/35 in eine höhere Lage versetzt werden, ein Apparat wurde durch einen Schneerutsch beschädigt, das ist alles. Wir haben deshalb keinen Grund, an der Feldtüchtigkeit und Konstruktion unseres Schweizer Modells zu zweifeln. Im Gegenteil, wir möchten nochmals vor wesentlichen Aenderungen geradezu warnen, denn sie führen zu Ungleichheiten, bringen Wirrwarr in die Untersuchungsergebnisse und verunmöglichen einen einwandfreien Vergleich der Ergebnisse von Forschungsgebiet zu Forschungsgebiet. In unsern Forschungslandschaften wird deshalb *grundsätzlich,* auch was den Windschutzschirm betrifft, mit einheitlichem Meßtyp (vgl. Fig. 3) gearbeitet.[2]) Dieser elementaren Forderung muß in unserm *Institut für Ge-*

---

[1]) So vermögen exzessive Niederschläge von kurzer Dauer (1 bis 3 Tage) die Niederschlagssummen nicht nur eines Monates, sondern des ganzen Jahres entscheidend zu beeinflussen, daher die oft großen Schwankungen der Niederschlagshöhe von Jahr zu Jahr.

[2]) Die *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien* verwendet für ihre Niederschlagsstudien im *Lunzer-* und *Sonnblick*gebiet, mit gutem Erfolg unser Schweizer Modell (mit Windschutz) in reduzierter Form, d. h. mit nur halbem Fassungsvermögen des Sammelgefäßes (größter Durchmesser 30 cm, Höhe 54 cm). Sie hat ihre Sammler an Orten aufgestellt, die eine monatliche Beobachtung ermöglichen. Bei den Zwischengängen benutzt die Anstalt die Abstichmethode *Lütschg,* bei Neubeschickungen wird das innere Gefäß aus dem Ring herausgehoben und entleert. Auf den einzelnen Beobachtungsexkursionen wird, wie bei uns, Chlorkalzium nachgefüllt, sobald die Konzentration der Flüssigkeit eine gefährliche Verdünnung erreicht. «Wir haben ab und zu Unstimmigkeiten, die scheinbar darauf hinweisen, als fände bei längern Perioden ohne Niederschlag doch eine Art von Verdunstung statt. Es handelt sich immer um ganz geringe Beträge, doch ist die Tatsache selbst etwas unangenehm. Vielleicht darf man allerdings derartige Unstimmigkeiten auf Ablesefehler zurückführen, die, wenn sie in den erwähnten engen Grenzen bleiben, eigentlich nichts ausmachen, weil wir dennoch die richtigen Gesamtsummen bekommen,

wässerkunde streng nachgelebt werden. Selbstverständlich soll damit nicht gesagt sein, daß vergleichende Niederschlagsmessungen mit verschiedenen Meßtypen z. B. unter gleichzeitiger Verwendung eines für bestimmte Länder gemeinsamen Normalmessers nicht durchgeführt werden sollten. Im Gegenteil, je mehr Vergleichsversuche, — desto besser. Aber solche Fragen verdienen eine sehr sorgfältige Prüfung, sie können fruchtbar nur auf internationalem Wege gelöst werden. Dr. *Henrik Renqvist*, der verdiente Leiter des hydrographischen Dienstes unserer Schwesterrepublik Finn-

---

auch wenn einzelne Ablesefehler fälschen sollten.» (Brieflicher Bericht von Prof. *Wilh. Schmidt* vom 9. Oktober 1934 an den Verfasser.) Sehr wertvoll sind die Ausführungen von *Ferdinand Steinhauer* in Wien, über die Niederschlagsverhältnisse im *Sonnblickgebiet* [1]), dem Hauptkamm der Ostalpen, auf die ich raumeshalber nicht eintrete. Die Erfahrungen, die in diesem klassischen Gipfelgebiet gemacht wurden, decken sich mit den unsrigen beinahe vollständig, soweit ein Vergleich dies gestattet. Erfreulich ist für mich, daß auch *Ferd. Steinhauer* für die Güte und Zuverlässigkeit der Totalisatorenmessungen eintritt. Ueber die Untersuchungen von *Salvatore Paglinca:* The measurement of precipitation on a windy mountain summit. Transactions of the American Geophysical Union, fifteenth annual meeting, 1934, S. 385 bis 393, hat ebenfalls *Ferd. Steinhauer* [2]) berichtet. Seine Ergebnisse sind überaus instruktiv und zeigen, wie unumgänglich es ist, in gebirgigen Gegenden ganze Systeme von Niederschlagsstationen zu bauen. [3])

Interessant für unsere Untersuchungen sind ferner die Erfahrungen, die *Wilhelm Friedrich* [4]) mit Niederschlagssammlern im Harz, im deutschen Mittelgebirge (höchster Berg: der Brocken, 1142 m ü. M.), und *J. Haeuser* [5]) in den Hochlagen der Bayerischen Alpen (in Höhen bis über 2500 m) gemacht haben. Sowohl *Friedrich* wie *Haeuser* verwenden Sammler *ohne* Windschutzschirm (sic!). Um ein Zuschneien der Auffangfläche zu verhindern, wurde ihr ursprünglich an drei Haltepfählen befestigter Sammler (Typ *Haeuser*) durch Flacheisen soweit in freie Lage gehoben, daß die Auffangfläche 40—45 cm über die Pfahlköpfe hinausragt.

Aus Versuchen, die die *Landesanstalt für Gewässerkunde in Berlin* gemeinsam mit den Harzwasserwerken durchführte, ist der Sammler nach *Friedrich* und *Haase* hervorgegangen. [6]) Auch dieser Sammler trägt keinen Windschutz (sic!). Er ist im Harzgebirge in größerer Zahl aufgestellt. Störungen durch Schnee oder sonstige Fehlerquellen sollen nicht beobachtet worden sein. Vergleichsmessungen, die *Friedrich* in *Eberswalde*, 30 m ü. M., im *Meteorologischen Institut der Forstlichen Hochschule* in den Jahren 1931 bis 1937 mit *Haeuser*schen Apparaten und einem gewöhnlichen *Hellmann*apparat durchführte, ergaben 2—3 % mehr Niederschlag als der *Hellmann*sche Messer.

Aus den Ausführungen *Friedrichs* geht nicht hervor, weshalb die beiden Forscher auf den Windschutzschirm verzichten, der doch von der Fachwelt allgemein anerkannt wird und ohne den wir uns eine Messung in freier Lage des Gebirges überhaupt nicht mehr vorstellen können. *Eberswalde* und der *Harz*, noch viel mehr die *Bayerischen Alpen* sind, örtlich betrachtet, doch grundverschiedene Gebiete. Die Vermutung liegt nahe, daß sie ihre Totalisatoren meist in windgeschützter Lage aufzustellen vermochten, was auch aus den Bildern der *Friedrich*schen Arbeit [4]) hervorzugehen scheint. Schade, daß die Vergleichsversuche von Eberswalde nicht auch auf das Gebiet der Bayerischen Alpen ausgedehnt werden konnten. Sicher würden solche zu weit größeren Differenzbeträgen als in Eberswalde und ganz von selbst zur Anbringung von Windschutzschirmen geführt haben.

Wertvoll ist ferner, daß Versuche mit Petroleum, an Stelle von Vaselineöl, zur Verhinderung der Verdunstung befriedigende Ergebnisse zeitigten.

[1]) *Steinhauer Ferdinand:* Ergebnisse unserer Beobachtungen über die Niederschlagsverhältnisse im Sonnblick gebiet. Sonderdruck aus dem XLI. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins, 1932.

[2]) *Steinhauer Ferdinand:* Zur Niederschlagsmessung auf einem Berggipfel. Meteorol. Zeitschrift, Bd. 52, 1935, S. 33—34.

[3]) Das Observatorium *Mount Washington* hat auf den verschiedenen Seiten des in seiner Nähe liegenden Gipfels des Mount Washington, der durch große Niederschläge und starke Winde besonders gekennzeichnet ist, vier Niederschlagsmesser aufgestellt und diese 19 Monate lang beobachtet. Nachstehend die Ergebnisse, nach den verschiedenen Windrichtungen und Windstärken geordnet. Bei Kalmen ergaben sämtliche Niederschlagsmesser — es handelt sich meist um Schneeniederschlag — nahezu die gleichen Werte, bei Wind stellten sich im Lee bedeutend größere Niederschlagsmengen ein als im Luv. Der Mehrertrag im Lee betrug bei Windgeschwindigkeiten von 0—48 km/h 22 %, von 49—120 km/h 86 %, über 120 km/h 157 %. Untersuchungen über die Wirkung des Nipherschen Windschutzes führten zu folgenden Resultaten: Der mittlere prozentische Mehrertrag des geschützten Messers gegenüber dem ungeschützten ergibt nach verschiedenen Windgeschwindigkeiten und nach Schnee und Regen geordnet, folgende Beträge:

Wind km/h	*Schnee* %	*Regen* %
0— 48	3	4
49—120	694	40
über 120	200	42

[4]) *Friedrich Wilhelm:* Erfahrungen mit Niederschlagssammlern (Totalisatoren). VI. Baltische Hydrolog. Konferenz Deutschland, August 1938, Bericht 15 A. Berlin 1938.

Haeuser J.: Niederschlagsmessungen in unbewohnten Hochlagen der bayerischen Gebirge. Veröffentl. der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München 1925, S. 11.

[6]) Abbildungen über die Niederschlagssammler nach *Haeuser* und *Friedrich* finden sich in der Schrift von *Friedrich* [4]), S. 13.

land, hat an der internationalen Tagung der Hydrologen in Edinburg im September 1936 mit vollem Recht den Vorschlag gemacht, solche vergleichende Versuche in das Arbeitsprogramm der Gesellschaft aufzunehmen. *Renqvist* schlägt als gemeinsamen Normalmesser den Bürstenmesser *H. Koschmieder*[1]) vor. Als Standardinstrument dient bei uns der gewöhnliche Niederschlagsmesser (Hellmann-Fuß) und wo ein solcher nicht verwendbar, unser Schweizer Normalniederschlagssammler (Totalisator).[2])

Allgemeine Richtlinien. — *Charles F. Brooks* gibt uns in einer ausführlichen Schrift[3]) ein übersichtliches Bild über die *Notwendigkeit allgemeiner Richtlinien für die Messung des Regens, des Schneefalles und der Schneedecke.* Auf diese wertvolle Arbeit kann ich nur soweit eintreten, als sie die Schweizer Alpen betrifft. Und auch dies kann nur in stark reduzierter Weise geschehen, denn der Umfang des von uns selbst errungenen und verarbeiteten Beobachtungsmaterials ist ein so großer, daß von einer weitern Ausdehnung der Niederschlagsfrage in dieser Arbeit, trotzdem auch wir von der Notwendigkeit der Aufstellung *allgemeiner* Richtlinien überzeugt sind, keine Rede sein kann. Ich betone, von der Notwendigkeit *allgemeiner* Richtlinien, denn der Fachmann weiß, daß es ein vergebliches Bemühen wäre, für alle Verhältnisse der Erde allgemein gültige Regeln aufstellen zu wollen. Alle bisherigen Erfahrungen über die Unsicherheit der Niederschlagsmessung, wie sie sich aus den Mängeln der Konstruktion der Meßinstrumente, aus der Art ihrer Aufstellung, aus der Natur des Niederschlages, der Mannigfaltigkeit des Geländes usw. selbst ergeben, rechtfertigen den Standpunkt, daß in dieser, wir dürfen wohl sagen, hydrometeorologischen *Kernfrage* erst noch viel Arbeit geleistet werden muß, bevor an einen allgemeinen Normaltyp gedacht werden kann. Und gerade die verdienstvolle Arbeit von *Ch. F. Brooks* ist hierfür ein wertvoller Beleg, denn sie führt uns die Schwierigkeiten, die einer quantitativen Erfassung des Niederschlages gegenüberstehen, bildlich und wörtlich in unmißverständlicher Weise klar vor Augen; sie zeigt, wieviel noch unsicher ist, wie manches noch fehlt, ganz allgemein, — wie schwierig sich die Lösung dieses Problems gestaltet. Sie bestätigt aber auch, daß sich unser Institut in der Bewältigung dieser Frage auf dem richtigen Wege befindet. Aus der *Brook*schen Arbeit darf ferner der Schluß gezogen werden, daß das Schweizer Hochgebirge,

---

[1]) *Koschmieder H.* (Danzig): Methoden und Ergebnisse definierter Regenmessungen. III. Hydrolog. Konferenz der Baltischen Staaten, Warszawa, Mai 1930.

[2]) Ueber die interessanten Vergleichsversuche von *Schmidt Wilhelm:* Zur Prüfung von Niederschlagsmessern, Meteorolog. Zeitschr., Bd. 50, 1933, S. 267—269, die er mit sechs Regenmessern in der weiten Ebene des Marchfeldes bei Groß-Enzerdorf an der Versuchswirtschaft der Wiener Hochschule für Bodenkultur ausgeführt hatte, kann hier nur ganz kurz die Rede sein. *Schmidt* stellte seine Regenmesser so auf, daß alle von den niederschlagsbringenden Winden frei getroffen werden konnten. Er leitet aus den erhaltenen Ergebnissen die Berechtigung ab, den bereits in größerer Anzahl im Gebirge stehenden Niederschlagssammlern mit Nipherschen Windschutztrichtern, eine größere Zuverlässigkeit und Verwendbarkeit zuzuschreiben.

Natürlich sind dabei jene Wirkungen nicht ausgeschaltet, die durch besonders starkes Emporwerfen der Luftströmungen an der Stelle der Messung auftreten. So liefern Gipfellagen mit Sicherheit viel zu niedrige Angaben. Unrichtig sind sie eigentlich nicht, weil ja die Gipfel selbst tatsächlich so wenig Niederschläge empfangen, wie dies der Niederschlagsmesser angibt. Nicht erlaubt ist es aber, von diesen Stellen auf die ganze Umgebung zu schließen.

«Das Zutrauen zu den Ergebnissen einzelner Apparate, wenn sie nur einigermaßen günstig aufgestellt sind, wurde vor allem dadurch gefestigt, daß die an benachbarten Niederschlagssammlern aufgefangenen Mengen weitgehend übereinstimmten» (W. Schmidt).

[3]) *Brooks Charles F.:* Need for Universal Standards for Measuring Precipitation, Snowfall and Snow Cover. Association Internat. d'Hydrologie Scientifique, Bulletin No. 23, Riga 1938.

dank seiner Vielgestaltigkeit, für die Lösung des Niederschlagsproblems als besonders geeignet bezeichnet werden kann.[1])

Berechnung des Niederschlages. — Bei der Berechnung der Niederschlagsmenge kommt es darauf an, welche Gesamtwassermenge auf eine Landschaft von bestimmter Größe fällt, nicht auf die Menge, die durch einen zu den Niederschlagsstrahlen senkrechten Querschnitt hindurchgeht. Ferner ist das Gelände nicht in seiner natürlichen Gestalt zu nehmen, sondern in seiner vertikalen Projektion auf die Horizontalfläche. In dieser Projektion wird die Flächengröße des Gebietes bestimmt und die Niederschlagsmasse ist das Produkt aus der Horizontalfläche und der mittlern Niederschlagshöhe. Ein Niederschlagsmesser mit waagrechter Auffangfläche verkörpert somit ein Stück der Horizontalfläche und ein senkrechter Regenfall stellt, wie das Gelände auch gestaltet sein mag, die Projektion auf die Horizontalfläche von selbst her. Anders ist es bei schrägem Niederschlag.[2]) In diesem Fall stellen sich namentlich im Hochgebirge recht verwickelte, von Ort zu Ort wechselnde Verhältnisse ein, auf die ich in meinen frühern Arbeiten wiederholt hingewiesen habe. Die Wirkung der rein geometrischen Verhältnisse wäre nur dann berechenbar, wenn auch die Richtung des Niederschlags immer bekannt wäre. Dies kann aber nur durch eigens dafür konstruierte Niederschlagsmesser (Kugelniederschlagsmesser *Haas-Lütschg*) ermittelt werden.

Als *Luv*seite wird die Gebirgsseite benannt, die dem Anfall niederschlagbringender Luftströmungen direkt ausgesetzt ist, als *Lee*seite — die gegenüberliegende; so liegen für unsere Gegenden solche Stationen im Lee, die sich östlich oder nordöstlich von bedeutenden Erhebungen befinden, während die Luvseite auf SW oder auf die W-Seite fällt. Die meisten unserer Hochgebirgsstationen lassen sich aber nicht einfach zur Lee- oder Luvseite gehörend stempeln, so daß sie sich in dieser Beziehung nicht in deutlich getrennte Gruppen sondern lassen. Man wird eher sagen müssen, daß bestimmte Gebiete entweder im Luv oder im Lee liegen. Im Hochgebirge besteht auch, wie bereits hervorgehoben, kein direkter Zusammenhang zwischen Höhenlage und Niederschlagsmenge; viel mehr als die Höhenlage spielen Gestalt (Böschungswinkel, Reliefenergie) und Exposition gegenüber den feuchten Luftströmungen die führende Rolle. Oft wichtiger als die vorgelagerten Gebirge für den Zusammenhang der Regenhöhe mit der topographischen Gestaltung ist der Niederschlag fangende Talhintergrund.

Kugelniederschlagsmesser. — Die Wirkung der Luftströmungen auf den Niederschlag selbst (Umgestaltung der Niederschlagsform und Anordnung) und auf die Niederschlagsmesser sind von einer unglaublichen Vielgestaltigkeit. Dies ist auch der Grund, weshalb die quantitative Erfassung des Niederschlages gewisser Hochgebirgsbezirke mit so großen Schwierigkeiten verbunden ist. Um einen Einblick in diese Verhältnisse zu erhalten, haben wir den Kugelniederschlagsmesser System *Haas-Lütschg*[3]) konstruiert. Die vielfach vertretene Meinung, die Erfinder beab-

[1]) Das eingehende Studium der Schrift von *Charles F. Brooks* kann allen Kollegen, die sich mit dem Niederschlagsproblem beschäftigen, lebhaft empfohlen werden.

[2]) Näheres hierüber siehe auch: *Fischer Karl:* Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt. Berlin 1936.

[3]) Vgl. *Lütschg O.*: Der Kugelniederschlagsmesser *Haas-Lütschg*. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 50, Heft 2—4, Leipzig 1937.

sichtigten, mit ihrem Kugelniederschlagsmesser den normalen Niederschlagsmesser mit waagrechter Auffangfläche zu verdrängen, ist vollständig irrig! Der Kugelniederschlagsmesser soll vor allem ein Hilfsmittel sein zur Klärung der im Hochgebirge auftretenden dynamischen Erscheinungen. Es gibt Niederschläge in Form von

Der Kugelniederschlagsmesser Haas-Lütschg.

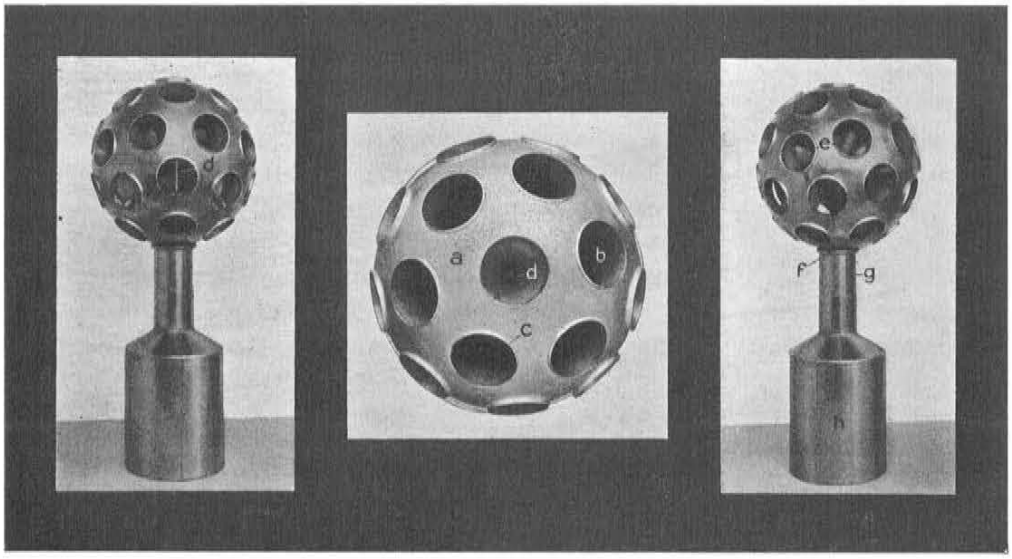


Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6

Ansicht von oben (Fig. 5)

a) Kugel; b) Löcher (Augen); c) Augenrand.

Ansichten von der Seite (Fig. 4 und 6)

d) Blechkreuz; e) Rohrstück; f) Oeffnung am Grunde der Kugel; g) Abflußrohr; h) Auffanggefäß (Kanne).

Um den Niederschlag — in welcher Richtung er auch falle — sammeln zu können, hat die Kugel (a) auf der Oberfläche 31 gleichmäßig verteilte Löcher (Augen) (b), durch welche Rohrstücke (e) gesteckt sind, so daß ein bestimmter Teil des Niederschlages in die Kugel hineinfällt, ein Teil aber auf die Kugeloberfläche trifft und nicht gemessen wird. Damit nun der Niederschlag, der auf die nicht mit Oeffnungen versehenen Teile der Kugeloberfläche fällt, nicht wieder in die weiter unterhalb befindlichen Löcher hineingerate und das Meßergebnis trübe, stehen die Rohrenden etwas aus der Kugelfläche nach außen hervor (c).

Damit das an der Innenfläche der Kugel herabrieselnde Wasser nicht wieder aus den untern Löchern herauslaufe, sind die in den Einfallslöchern stehenden Rohre (e) etwas in das Innere hineingeführt und so gestellt, daß nicht etwa ein Teil des Niederschlags von den obern zu den untern Löchern hinauslaufen kann. Durch solche Maßnahmen gelangt der gesamte durch die Löcher einfallende Niederschlag schließlich auf den Grund der Kugel.

Bei starkem Wind könnten Niederschlagstropfen z. B. auf der linken Seite in die Kugel hineingeweht und auf der rechten Seite wieder herausgeweht werden. Um dies zu verhindern, ist ein Blechkreuz (d) als Fangfläche in die Kugel eingesetzt.

Die durch die Augen unmittelbar in das Innere der Kugel gelangende Niederschlagsmenge ist für jede Windrichtung und für jede Schräge des Niederschlags die gleiche. Die Eichung des Niederschlagsmessers erfolgt durch Vergleich mit einem Normalregenmesser bei senkrechtem Tropfenfall.

Der Niederschlag sammelt sich am Grunde der Kugel und fließt dann durch die Oeffnung (f) und das Rohr (g) in ein Auffanggefäß (Kanne) (h), aus dem es zur Messung entnommen werden kann. Die Kugel ist auf einem Schutzgefäß mittels Tülle und Steckrohr befestigt.

Das Auffanggefäß (Kanne) entspricht dem Modell von Dr. *Walter Strub* in Basel. Das wesentlichste daran ist, daß die Kanne oben offen und mit einem Ausguß versehen ist, und daß der Boden in der Mitte spitz zuläuft. Zur Kanne gehört ein Deckel. Dieser hat in der Mitte einen runden Ausschnitt, der zur Trichterspitze der Kugel paßt und durch einen senkrechten Rand rund 5 mm über die Kanne hinuntergreift. Für den Ausguß hat der Rand einen entsprechenden Ausschnitt.

Regen und Schnee, die durch die Normalmesser mit waagrechter Auffangfläche überhaupt nicht oder nur zum geringen Teil erfaßt werden. Der dynamische Einfluß schafft Zustände, die die Niederschlagsmessung zuweilen sehr erschweren. Bei Schrägregen ist oft die Kenntnis der Richtung des Niederschlages oder der Niederschlagsmenge, die senkrecht zum Niederschlag fällt, wünschbar, und zwar nicht nur in hydrometeorologischer Beziehung, sondern auch betreffs Schadenwirkung auf bestimmte Objekte. Nur der Kugelniederschlagsmesser ermöglicht einen tiefern Einblick in solches Geschehen. Die in unserm Naturlaboratorium von Montreux bereits ausgeführten Studien legen beredtes Zeugnis ab über den Wert solcher Meßgeräte. Hierüber nur ein Beispiel: Durch unsere Kugelniederschlagsmesser im Kammgebiet der Verraux, der W-Grenze des Baye de Montreux-Bezirkes, konnte in einwandfreier Weise der Beweis erbracht werden, daß auf dynamischem Wege ein Teil der W-Niederschläge (Sommerregen) über den Grenzkamm hinaus auf die Leeseite gelangt.[1]) Ihren vollen Wert erhält die Kugel aber erst, wenn der Niederschlag, der in jedes einzelne Auge fällt, einzeln gemessen werden kann. Dies ist konstruktiv möglich. Daß auch die Kugelform dem natürlichen Luftstrom hindernd im Wege steht und Fehlerquellen schafft, ist sicher, aber trotz dieser Schwäche ermöglicht der Kugelniederschlagsmesser doch, wichtige hydrometeorologische Probleme einer Lösung entgegenzuführen.

Vergleichsversuche. — Um der Lösung des Niederschlagsproblems näherzukommen, muß vor allem den Größen der Fehlergrenzen der Meßmethoden nachgegangen werden. Dies kann für Hochgebirgsverhältnisse nur schrittweise auf dem Wege des Vergleichsversuches erreicht werden, denn die Schwierigkeiten, die die Ausführung solcher Studien verursacht, wachsen mit der Zunahme der Höhe stark an. Solche Vergleichsversuche sind in unsern Forschungslandschaften vielfach ausgeführt worden. Sie geben einen Begriff von der Genauigkeit der Niederschlagsmessung. In einem besondern Abschnitt wird dieser wichtigen Frage nähergetreten.

Abstichmethode Lütschg. — Ueber die Meßmethoden, die wir bei unsern Sammlertypen anwenden, habe ich an anderer Stelle berichtet.[2]) Vergleiche hierüber auch die Arbeit von *P.-L. Mercanton* und *J. Lugeon*[3]). Die Genauigkeit der Abstichmethode *Lütschg* kann durch eine sinnreiche Einrichtung dadurch erhöht werden, daß die Abstiche auf die Lösungsoberfläche nicht wie bei uns üblich vom Rande, sondern von der Mitte der Auffangfläche ausgeführt werden, wobei ferner die Berührung der Spitze des Abstichstabes mit der Lösung im Sammelgefäß nicht mehr von bloßem Auge, sondern auf elektrischem Wege durch einen Summton wahrgenommen wird. Wir haben diese veränderte Abstichmethode reichlich ausprobiert. Sie hat ihre Vorteile. Dennoch möchten wir sie auf bestimmte Fälle beschränkt wissen, vor allem, weil sie mehr Zeit in Anspruch nimmt und für Bergbewohner zu kompliziert ist. In unsern Forschungsgebieten müssen nämlich am gleichen Tage möglichst viele Stationen bedient werden. Nur das Einfachste ist im Hochgebirge zuverlässig.

---

[1]) Am stärksten dürfte der Einfluß des aufsteigenden Luftstromes im Winter werden, namentlich dann, wenn trockener Schnee fällt.

[2]) *Lütschg O.:* Zur Erforschung der Niederschlagsverhältnisse des Hochgebirges. Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt 1928, 65. Jahrg., Zürich 1929.

[3]) *Mercanton P.-L.* et *Lugeon J.:* L'électrosonde MZA. pour la mesure du contenu des totalisateurs de précipitations *(Mouginsi)*. Verhandlg. der Schweiz. Naturforsch. Gesellschaft, 117. Jahresversammlg., Solothurn 1936. Aarau 1936.

Weitere Erfahrungen und Messungen. — Die obigen Ausführungen sollen nun noch durch einige weitere Erfahrungen und Ergebnisse, die wir im Laufe der Jahre gesammelt haben, ergänzt werden.

Die Niederschlagsmessung im Hochgebirge wird, wie bekannt, durch den Wind, der hier sein eigenes Regiment führt, ganz gewaltig erschwert. Die Ergebnisse unserer Niederschlagssammler in freier Lage liefern hierfür manchen eindrucksvollen Beleg.

Nipherscher Windschutz. — Um dem Windeinfluß einigermaßen zu begegnen, haben wir unsere Sammler mit *Nipher*schen Windschutztrichtern ausgerüstet. [1]) Die Strömungslinien der Luft über der Auffangfläche, der Verlauf der Stromlinien usw. sind nicht nur von Lage zu Lage verschieden, sondern sie wechseln auch mit dem Charakter der Regen- und Schneefälle. Man muß sich darüber im klaren sein, daß der *Nipher*sche Windschutztrichter in seiner heutigen Schweizerform nur eine wesentliche Verbesserung des Sammelapparates ohne Windschutz sein kann und sein will. Die bisherigen Vergleichsversuche mit Messungen der Schneehöhe und Schneedichte im natürlichen Gelände, auf dem Boden neben den Sammlern, reden hierüber eine deutliche Sprache. Sie lassen auch ohne weiteres erkennen, wie ungleich sich die Wirkung des Trichters erweist, und gerade dieser Ungleichheit dürften wir es zu verdanken haben, daß die mittleren Niederschlagsmengen, die wir für unsere Forschungsgebiete im Schweizer Hochgebirge (engmaschige Niederschlagsnetze vorausgesetzt) ermittelt haben, von der wirklich gefallenen Menge nur wenig abweichen (sic!).

Den Windschirm einfach wegzulassen, wie dies für die hydrologischen Untersuchungen im Harz und in den Bayerischen Alpen zu geschehen pflegt, halte ich für ein gewagtes und übereiltes Unternehmen. [2]) Die Niederschlagsmessung und mit ihr die Vergleichbarkeit ihrer Ergebnisse, wird durch den Windeinfluß beeinträchtigt, weshalb es auch unsere Pflicht ist, diesem Uebelstand soweit möglich zu begegnen. Ueber den Einfluß des Windes bei Niederschlagsmessungen ist schon sehr viel geschrieben worden. Ich wiederhole: im Hochgebirge kommt, besonders was den Windeinfluß betrifft, jeder einzelnen Stelle der Landschaft ein so hoher individueller Charakter zu, daß es kaum je gelingen wird, einen Niederschlagssammler zu konstruieren, der allen Anforderungen zu genügen vermag. Abhilfe kann nur, sofern es sich um die Bestimmung der mittleren Niederschlagshöhe eines Gebietes handelt, durch den Bau eines möglichst dichten Stationsnetzes geschaffen werden.

Ins Gewicht fällt ferner die Höhenlage der Auffangfläche über Boden, die im Winter mit dem Wachsen und Schwinden des Schnees wechselt. Um diesen und andere Einflüsse möglichst zu beseitigen, hat *H. Koschmieder* seinen Bürstenregenmesser konstruiert und seine Bewährung an einem Beispiel durch Vergleichsversuche zahlenmäßig belegt. [3]) Leider sind solche Geräte für feste Niederschläge nur ausnahmsweise verwendbar. Der *Schneeverhältnisse* wegen, muß im Hochgebirge die

---

[1]) Die Oberkante unseres Windschutztrichters liegt rund 1 cm über der Auffangfläche des Sammlers.

[2]) Vgl. *Friedrich W.:* Erfahrungen mit Niederschlagssammlern (Totalisatoren). VI. Baltische Hydrologische Konferenz, Deutschland, August 1938. Berlin 1938.

[3]) Aehnliche Vergleichsversuche führen wir im Forschungsgebiet von Montreux durch (vgl. II. Teil, Forschungsgebiet Baye de Montreux [15], Kap. Klima, Abschn. Niederschlag, Bd. III).

Auffangfläche der Sammler oft in einer Höhe von 4—5 m über Boden angebracht werden. Die Vergleichbarkeit der Niederschlagsmessungen an verschiedenen Orten kann dadurch beeinflußt werden, denn die dynamischen Vorgänge im Bereich der Niederschlagssammler ändern sich auch mit der Höhe der Schneedecke. Es sind dies alles Faktoren, die in diesem oder jenem Sinne die Größe der Niederschlagsmasse im Sammler mitbestimmen.

Genauigkeit des Schweizer Sammlers. — Liefern unsere Schweizer Niederschlagssammler zu große oder zu kleine Niederschlagswerte? Die Meinungen hierüber gehen weit auseinander. Eine einfache, klare Antwort hierauf kann nicht gegeben werden. Bald liefert der eine Sammler zu viel, der andere zu wenig und umgekehrt, ganz nach Belieben und Launen der Witterung. Es gibt Faktoren, die in positivem, andere, die in negativem Sinne arbeiten. Eine Gesetzmäßigkeit besteht nicht, auch wenn wir jede einzelne Station für sich getrennt in Betracht ziehen. Gefühlsmäßig beurteilt, dürften nach meinen langjährigen Erfahrungen unsere Niederschlagsergebnisse vor allem der winterlichen Verhältnisse und insbesondere des bekannten Schneetreibens wegen (Hineinwehen von pulvrigem Schnee in das Sammelgefäß), — eher etwas zu groß als zu klein sein. Gegenüber bestimmten dynamischen Wirkungen, die ein Hineinwehen von Schnee in das Sammelgefäß bei stürmischem Wetter erschweren, ja sogar verunmöglichen, wirkt das Schneetreiben ausgleichend.

Ein Herauswirbeln, Heraussaugen von Schnee aus dem Sammelgefäß, die Bildung von Sulz- und Eiskuchen mit darüberliegenden, kegelförmigen Schneehauben, ein gelegentliches kurzes, vorübergehendes Verstopfen der Auffangfläche des Sammlers oder des Raumes zwischen Schirm und Auffanggefäß, verursacht durch anhaltend starke und nasse Schneeniederschläge, konnten in unsern Forschungsgebieten der Baye de Montreux und der Barberine mit total 48 Totalisatoren und monatlichen Beobachtungen nur in ganz seltenen Fällen festgestellt werden.[1]) Die Frage, ob solche Erscheinungen an unsern über 3000 m hoch liegenden Stationen vorkommen, muß vorläufig dahingestellt bleiben, da die Zahl der winterlichen Begehungen in die meist abgelegenen und oft lawinengefährdeten Gebiete nicht ausreicht, um hierüber klare Auskunft zu geben. Eines aber ist sicher: seit wir unsere Sammler weniger stabil aufstellen, d. h. die Sicherung des Auffanggefäßes durch Drahtverbindung mit dem Boden vermeiden, und die das Sammelgefäß tragenden drei Rohre lotrecht, und nicht mehr wie früher, — in ihren untern Hälften nach außen abbiegen, Fälschungen solcher Art nur selten mehr eintreten. Die wesentlich geringere Stabilität des Sammelgefäßes und des Schirmes ermöglicht ein Abschütteln des auf die unvermeidlichen Vorsprünge und waagrechten Flächen des Apparates fallenden, sowie eine raschere Verflüssigung des in den Sammler gelangenden Schnees. Diese weniger stabile Konstruktion und Aufstellungsart hat sich in unserm Hochgebirge vorzüglich bewährt. Auch die Dimensionen unseres Sammelgefäßes möchten wir, um einer Verdunstung des Niederschlagswassers den Wänden des Gefäßes entlang zu begegnen, nicht verändert wissen. Wir haben keinen Grund, an unserm Modell etwas zu ändern. Es ist das Produkt langjähriger Erfahrungen. Wo bestimmte und bekannte Winde gelegent-

[1]) Ein Gefrieren der Lösung im Sammelgefäß und die Bildung von Schneehauben über der gefrorenen Schicht kann bei genügender Beschickung des Sammlers mit Chlorkalzium, wenn erforderlich durch Nachbeschickungen und durch Rühren der Lösung bei den Kontrollgängen, beinahe vollständig vermieden werden.

lich auftreten und die Gefahr einer Zerstörung des Apparates vorliegt, kann durch eine oder zwei Drahtstreben die nötige Sicherung leicht erzielt werden.

Ueber die Beschickung der Sammler habe ich an anderer Stelle berichtet. [1]) Ich begnüge mich damit, hier hervorzuheben, daß für die Beschickung der Apparate nicht nur eine gute Qualität von Chlorkalzium nötig ist, sondern es muß auch für eine reichliche Konzentration der Initiallösung gesorgt werden. Apparate in ungeschützten Lagen mit reichlichen Winterniederschlägen müssen unbedingt durch Zwischenbeschickungen vor Gefrieren der Lösung geschützt werden.

Auf einen Fehler, dem bei der Beschickung der Sammler oft zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird, soll noch besonders hingewiesen werden. Es betrifft die Temperatur der Salzlösung. Wie bekannt, ist die Lösung von Kalziumchlorid in Wasser mit einer erheblichen Wärmeentwicklung verbunden. Wird nun bei der Neubeschickung der Apparate nicht zugewartet, bis die Lösung ungefähr die Normaltemperatur der umgebenden Luft erreicht hat, so entstehen bei der Messung des Inhaltes Fehler von 20 und mehr Millimetern. Es empfiehlt sich deshalb in Gebieten mit engmaschigen Stationsnetzen, wo ein Abwarten der Normaltemperatur nicht möglich ist, die Sammler von vornherein mit einer konzentrierten Salzlösung zu beschicken. Es setzt dies voraus, daß das notwendige Quantum Lösung vor der Beschickung der Sammler bereitgehalten wird. So wird z. B. das Barberinegebiet mit 16 Stationen seit Jahren und mit vollem Erfolge mit temperierter Lösung bedient. Solche Bedienungen erfordern allerdings die Mitnahme besonderer Traggefäße, deren Beschaffung sich aber reichlich lohnt.

Ambulante Sammler. — Für die einwandfreie Bestimmung der mittleren Niederschlagshöhen benötigen wir heute in unsern Forschungsgebieten — ich habe wiederholt darauf hingewiesen — ganze Systeme von Niederschlagsstationen. Unklarheiten erhellen wir durch Sonderuntersuchungen. Dazu verwenden wir kleine, leichte *ambulante Sammler;* sie tragen den Charakter *Hellmann*scher Niederschlagsmesser (vgl. Fig. 2, S. 10), besitzen aber eine Auffangfläche von 500 cm^2. Zur Vermeidung von Verdunstungsverlusten und der Gefahr des Gefrierens werden sie mit Oel und Chlorkalzium, wie die großen Sammler, beschickt. Die Ermittlung der Niederschlagsmenge mittels dieser kleinen Behälter erfolgt in Intervallen von 2 bis 14 Tagen durch das Abstichverfahren *Lütschg.* Die Apparate leisten gute Dienste; manche verwickelte Verhältnisse konnten durch diese leicht transportierbaren und billigen Messer klargelegt werden.

Ueber den *Gebrauch der Niederschlagssammler* und alle damit in Verbindung stehenden Fragen: Messung des Inhaltes des Sammelgefäßes durch Wägung, Volumenmessung mittels geeichter Gefäße, Volumenmessung mittels des Abstichverfahrens, Einfluß der Temperatur auf das Quantum der Salzlösung + Niederschlagsmenge, Berechnung der wirklich gesammelten Niederschlagsmenge für verschiedene Konzentrationen der Salzlösung (Volumenmessungen in mehr und mehr verdünnter Chlorkalziumlösung), Bestimmung der Gefrier- bzw. Verfestigungstemperatur usw., ist schon viel geschrieben und diskutiert worden. Ueber alle diese Fragen haben wir ausgedehnte Versuchsreihen und langwierige Untersuchungen im Laboratorium und

[1]) *Lütschg O.:* Ueber Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Schweiz. Wasserwirtschaftsverband, Verbandsschrift Nr. 14, S. 109—119. Zürich 1926.

in den einzelnen Gebirgslandschaften ausgeführt. Raumes wegen kann leider hier über deren Durchführung und Ergebnisse nicht berichtet werden. Wir sind auch der Frage des Ersatzes von Chlorkalzium durch Glyzerin nähergetreten — bekanntlich erstarrt eine konzentrierte Glyzerinlösung erst bei sehr tiefen Temperaturen (eine 67prozentige Lösung erst bei —46,5°) —, dabei aber zu unbefriedigenden Ergebnissen gelangt.

Behandlung von Lücken im Beobachtungsmaterial. — Sie erfordert einen sorgfältigen Vergleich mit *verschiedenen* Nachbarstationen, wobei eine genaue Kenntnis der Lage und Eigenart jeder Vergleichsstation vorausgesetzt werden muß.

Ist dies der Fall, dann können auch größere Lücken (3 bis 4 Wochen und mehr) ohne Schadenfolge ausgefüllt werden, denn die dabei auftretenden Fehler bewegen sich, erfahrungsgemäß, in engen Grenzen.

Das *Ergebnis unserer langjährigen und systematischen Untersuchungen* läßt sich in folgende Worte kleiden:

Bei sorgfältiger Beschickung und Entleerung des Sammlers, genügender Kontrolle in der Zwischenzeit, Berücksichtigung aller Fehlermöglichkeiten und der hier niedergelegten Vorsichtsmaßregeln, lassen sich Ergebnisse erzielen, die zweifellos den Anforderungen, die wir an ein solches Gerät stellen müssen, genügen, und für Forschungslandschaften mit engen Stationsnetzen zu Ergebnissen führen, die auch hohe Ansprüche befriedigen.

Niederschlagskarten. — Ein getreues Bild der Niederschlagsverteilung in einer Landschaft erhält man nur aus einer Isohyetenkarte (Niederschlagsgleichen). Sie allein ermöglicht eine klare Ermittlung der Niederschlagsgröße, die in einer bestimmten Zeit auf ein Gebiet fällt. Die Berechnung der mittleren Niederschlagshöhe einer Hochgebirgslandschaft setzt vor allem flächentreue Karten voraus. Bei der Konstruktion der Isohyeten ist der eigenen Anschauung reichster Spielraum zu lassen, sofern sie sich auf Erfahrungen zu stützen vermag, die sich aus der Betrachtung der Niederschläge in den Forschungsgebieten selbst ergeben.[1]) Wichtig ist ferner, daß vor allem den Ergebnissen der Niederschlagsmessung und erst in zweiter Linie dem Verlauf der Höhenkurven (Isohypsen) Rechnung getragen wird. Für die Ermittlung der mittleren Niederschlagswerte der Einzeljahre und der Jahresreihen wurden getrennte Karten konstruiert, nachher zur Kontrolle das arithmetische Mittel der Einzeljahreswerte mit dem Mittelwert der Jahresreihe verglichen. Die Uebereinstimmung der Werte war in allen Fällen beinahe vollständig. Von einer Veröffentlichung der Vergleichszahlen sehen wir ab.

Will man für bestimmte Zeiträume noch tiefer in das Walten der Niederschläge eindringen, so empfiehlt es sich, die Niederschläge in Prozenten der Vieljährigen

[1]) Der Verlauf der Isohyeten läßt sich, namentlich wenn die Zahl der Stationen eine beschränkte ist, nicht immer mit der wünschenswerten Genauigkeit festlegen, weil ja die Ziehung der Linien keine eindeutige, vielmehr eine recht willkürliche sein kann. Dies gilt im besondern für das Hochgebirge, wo der Wechsel der Niederschlagsmengen von Ort zu Ort bekanntermaßen ein sehr großer und oft ganz unerwarteter ist. Um diese Frage zu klären, haben wir für unsichere Gebiete wiederholt Doppel-Niederschlagskarten konstruiert, und zwar im Bestreben, erst einen möglichst hohen, dann einen möglichst niedrigen mittleren Niederschlagswert zu erzielen. Um den *individuellen* Einfluß bei der Konstruktion solcher Karten klarzulegen, wurden ferner gleichzeitig durch verschiedene Mitarbeiter Niederschlagskarten konstruiert und ihre Mittelwerte berechnet. Resultat: die Größe der Differenzen hängt mit der Dichte des Stationsnetzes und der Gestalt (Grundrißform) des Gebietes zusammen. Ist das Stationsnetz wirklich engmaschig, wie z. B. im Forschungsgebiet der Baye de Montreux, so haben neueste Untersuchungen ganz kleine individuelle Fehler, d. h. eine beinahe vollständige Uebereinstimmung ergeben.

(Normalen) auszudrücken und mit diesen Werten eine Niederschlagskarte der *Prozente* aufzustellen. Eine solche Karte gibt über gewisse Vorkommnisse im Niederschlagsgeschehen wertvolle, zuweilen überraschende Auskunft.

Auf ein weiteres und manchmal sehr wertvolles Hilfsmittel zur Konstruktion einer Isohyetenkarte soll hier aufmerksam gemacht werden: die Ozeanität der Stationen. Ihre Kenntnis, der Vergleich ihrer Größe mit Berücksichtigung der Lage der Station, ermöglicht, namentlich in kritischen Fällen (bei unklaren Ergebnissen einer Station) das Sonderverhalten (z. B. den Windeinfluß) zu deuten. [1])

Planimeterverfahren. — Zur Auswertung der Niederschlagskarten verwenden wir das *Planimeterverfahren.* Bei sorgfältiger Handhabung des Polarplanimeters *Amsler* und mehrmaliger Umfahrung der von den Isohyeten eingerahmten Flächenteilstücke wird eine Genauigkeit erreicht, die hohen Anforderungen Genüge leistet. Ein Nachteil dieser Methode liegt im großen Zeitaufwand. Heute verlangt die moderne Gewässerkunde nicht nur Niederschlagskarten für mittlere Jahresreihen und Einzeljahre, sondern auch für Einzelmonate, ja für bestimmte Untersuchungen sogar Tageskarten, denn erst durch eine systematische und wohldurchdachte graphische Darstellung kann Klarheit und Einsicht in das Wesen der Niederschlagskunde gebracht werden.

Es ist das Verdienst von Professor *W. Meinardus* [2]) ein kürzeres Verfahren zur Bestimmung des mittleren Niederschlages aus Isohyetenkarten entwickelt zu haben, das die zeitraubende Planimetrierung der Flächen vollständig ausschaltet. Der Weg ist folgender.

Interpolationsmethode. — Ueber die Niederschlagskarte wird ein quadratisches Liniennetz gelegt, dessen Flächeneinheit der Genauigkeit und dem Maßstab der Karte angepaßt werden muß. Die Niederschlagshöhe wird für jeden Schnittpunkt des Netzes mit Hilfe der Niederschlagsgleichen geschätzt und darauf die mittlere Niederschlagshöhe als einfaches arithmetisches Mittel aus den Werten der Netzpunkte gebildet. *Meinardus* nennt sein Verfahren «*Interpolationsmethode*».

Dieser Methode haben wir uns mit vollem Erfolg zugewendet und in oben angedeuteter Weise die Mehrzahl der Karten ausgewertet. Die Zahl der Karten für die Aufstellung des Wasserhaushaltes unseres Hochgebirges stieg dermaßen an, daß sie das Planimeterverfahren in den Hintergrund drängen mußte. Dieses kommt bei uns nur noch für Niederschlagskarten in Frage, die der Ermittlung der Landesverdunstung dienen. Vergleichsversuche zwischen dem Planimeter- und dem Netzverfahren führten, wie die große Zahl der Stationen unserer Forschungsgebiete erwarten ließ, zu sehr befriedigenden Ergebnissen. [3]) Für unsere Karten (Maßstäbe 1 : 10 000 bis 1 : 50 000) wählten wir Netzmaschen von 10 und 15 mm.

Die Genauigkeit der mittleren Niederschlagshöhen ist vor allem vom richtigen Verlauf der Niederschlagsgleichen abhängig. Letztere können aber nur dann mit hinreichender Genauigkeit gezogen werden, wenn Zahl und Art der Verteilung der

---

[1]) Vgl. Band 2, III. Teil: «Zur Hydrologie der Landschaft Davos», 5. Kap., 2. Abschn., D., S. 101 u. ff.

[2]) *Meinardus W.:* Eine einfache Methode zur Berechnung klimatologischer Mittelwerte von Flächen. Meteorolog. Zeitschr., S. 241—257. Wien 1900.

[3]) Die mittlere Differenz der beiden Verfahren ergibt ± 0,5 %. Mit der Zunahme der Dichte des Stationsnetzes nimmt die Größe dieser Differenz ab. Für das Baye de Montreux-Gebiet mit seinem engmaschigen Netz ergab sich überhaupt kein Unterschied mehr.

Stationen im Gebiet und seiner Umgebung ein getreues Bild der Niederschlagsverhältnisse ermöglichen. Auch der individuelle Fehler, der sich bei der Konstruktion der Niederschlagsgleichen natürlich einstellt, darf nicht unterschätzt werden. Hier spielt die Auffassung des Konstrukteurs eine Rolle. Nach unseren Erfahrungen schwankt er zwischen 1 und 2 % der mittleren Niederschlagshöhe. Alles in allem darf festgestellt werden, daß durch die oben skizzierten Faktoren, die verändernd auf die Isohyetenkarte zu wirken vermögen, eine wesentliche Modifizierung der gewonnenen Resultate (mittlere Niederschlagshöhen) nicht eintreten wird.

Die Schwierigkeiten, die sich einer genauen Erfassung des Niederschlages im Hochgebirge entgegenstellen, sind so groß, daß zu ihrer Bewältigung viel Mut, zähe Ausdauer und vor allem große Arbeitsfreudigkeit gehören. Beruhigend und ermunternd zugleich, namentlich nach Mißerfolgen, wirken die Landesverdunstungswerte, die wir uns aus Niederschlag und Abfluß nach jahrzehntelangen Bemühungen *erkämpft* haben. Sie tragen durchweg *harmonischen* Charakter. Ich bin fest überzeugt, daß die Ursache dieser bemerkenswerten Erscheinung vor allem in der hohen Zahl der in unsern Forschungsgebieten zur Aufstellung gelangten Niederschlagsmesser und ihrer Feldtüchtigkeit zu suchen ist.

Anforderungen an die Genauigkeit. — Wir sind am Kernpunkt unserer Betrachtungen über das Niederschlagsproblem im Hochgebirge angelangt: Die Lösung der für die Wasserwirtschaft und manche Fragen der Erdkunde bedeutsamen Aufgabe der quantitativen Aufstellung der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung, als Bilanz zwischen Einnahme und Ausgabe aufgefaßt, ist für unser Hochgebirge nur dann möglich, wenn neben der präzisen Bestimmung des gesamten Abflusses auch die totale Niederschlagsmasse, die auf ein Forschungsgebiet fällt, mit *genügender Genauigkeit* erfaßt werden kann. Dies ist leider heute erst für eine recht bescheidene Zahl von Hochgebirgslandschaften möglich, ja, wir müssen, um ehrlich zu bleiben, zugeben, daß sich selbst unter der kleinen Zahl unserer mit Hingebung gepflegten Forschungsgebiete noch solche vorfinden, die den Anforderungen, die wir an derartige Aufgaben stellen müssen, nicht gänzlich gewachsen sind. Dies gilt namentlich für unsere *stark vergletscherten* Untersuchungsgebiete, für die die Bestimmung der Größen von *Rücklagen* und *Aufbrauch früherer Rücklagen, mit erheblichen Schwierigkeiten* verbunden war.

Wir dürfen uns deshalb der Erkenntnis nicht verschließen, daß Untersuchungen über den Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, denen nicht ganz gesunde Werte für Niederschlag und Abfluß zugrunde gelegt werden können, nur von beschränktem Werte sind, ja sogar zu irreleitenden Ergebnissen führen müssen. Eine vorausgehende scharfe Kritik des jeder einzelnen Untersuchung zugrunde liegenden Materials ist deshalb unerläßlich.

Natürlich darf die Forderung auf Genauigkeit der Niederschlagsmessung nicht allzu hoch gestellt werden. Wenn *Hans Burger,* der verdiente Leiter der *Eidg. Forstlichen Versuchsanstalt in Zürich* [1]), die Ansicht vertritt, daß «grundsätzlich in unsern Einzugsgebieten wie anderswo eine Regenmessung von genügender Genauigkeit erst

[1]) *Burger Hans:* Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. II. Mittlg. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1915/16 bis 1926/27. S. 323, Mitteilgn. der Schweiz. Anstalt für das forstl. Versuchswesen, XVIII. Bd., 2. Heft, Zürich 1934.

möglich sein wird, wenn es den Meteorologen gelingt, Regenmesser zu konstruieren, die bei allen Windverhältnissen (sic!) richtig messen», oder daß «die Vermehrung der Anzahl der Niederschlagsmesser wohl dazu hilft, die größten (sic!) Fehler auszumerzen, aber nicht genügt, um die Unsicherheiten der Niederschlagsmessung zu eliminieren», so geht das denn doch zu weit. Sowohl dem Hydrologen, wie dem Meteorologen und auch dem besten Konstrukteur wird es — ich wiederhole es — kaum je gelingen, einen Alpen-Niederschlagsmesser zu konstruieren, der bei allen Winden richtig mißt. Das Hochgebirge mit seiner unbeschränkten Vielgestaltigkeit setzt natürlich auch hier bestimmte Schranken.

Was die Frage der Verdichtung des Niederschlagsnetzes anbetrifft, ist vor allem hervorzuheben, daß die bisherigen Erfahrungen *einhellig* die Nützlichkeit solcher Netze beweisen.

Heute steht zweifellos fest, daß wir durch den Bau engmaschiger Niederschlagsnetze der Lösung des Niederschlagsproblems im Schweizer Hochgebirge bedeutend näher gekommen sind. Daß es sich bei unsern Niederschlagsergebnissen nur um Relativwerte handelt, denen von Gebiet zu Gebiet individueller Einschlag anhaftet, darauf habe ich schon öfters hingewiesen.

Schluß.

Die bisherigen Beobachtungen und Messungen in unsern Forschungsgebieten haben Niederschlagsergebnisse geliefert, die sich als zuverlässig und vergleichsfähig erwiesen. Gewiß können Gründe geltend gemacht werden, die gegen eine befriedigende Genauigkeit der Niederschlagsergebnisse des Hochgebirges sprechen, man braucht nur bestimmte natürliche Schwächen, die in den angewendeten Meßmethoden liegen, ungünstig auszulegen. Solchen Prominenten rufe ich das *Hellmann*sche Wort zu, das ich als Motto über dieses Kapitel gesetzt habe (vgl. S. 2). In meiner 47jährigen Tätigkeit als Gewässerkundiger hat mir mein angeborener Optimismus stets vorzügliche Dienste geleistet.

Um weitere Fortschritte zu erzielen, empfiehlt es sich, ausgedehnte, vergleichende Messungen zur Ermittlung des Unterschiedes zwischen dem vom Messer gelieferten Ergebnis und der am Boden gemessenen Schneemenge auszuführen.

Für die Konstruktion einer Niederschlagskarte der Schweizer Alpen reicht das vorhandene Stationsnetz bei weitem nicht aus, und es wird noch geraume Zeit vergehen, bis die hierfür notwendigen Unterlagen beschafft sind.

Die Lösung der Niederschlagsfrage kann nur schrittweise, wohl am besten auf dem Wege von Sonderuntersuchungen, gefunden werden. Sie erzieht den Forscher zum Arbeiten und Denken auf lange Sicht und macht ihn in seinen Ansprüchen bescheiden. Für derartige Forschungen angelegte Kapitalien tragen erst nach einer langen Reihe von Jahren Zinsen, dann aber solche vaterländischen Charakters. Der Erfolg der Untersuchungen ist vor allem abhängig von der Persönlichkeit des Leitenden, aber auch von seinen Mitarbeitern; bei den letztern fallen neben der Vorbildung, der Intelligenz und Arbeitsfähigkeit, auch die Charaktereigenschaften wesentlich in Betracht. Das gesamte Personal muß ein harmonisches Ganzes bilden und von Arbeitsfreudigkeit beseelt sein.

2. KAPITEL.

Ueber den gegenwärtigen Stand der Abflußforschung im Schweizer Hochgebirge.

1. Allgemeines.

Zur Bestimmung der Abflußmengen der Gewässer in unsern Forschungsgebieten wurden die allgemein gebräuchlichen Methoden angewendet. Die Messungen selbst und deren Verarbeitung wurden von den Organen folgender Gesellschaften und Aemter ausgeführt:

Tabelle 1

Nr. in Karte	Forschungsgebiet	Gesellschaft, Amt
1	Somvixer Rhein, Val	Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern. (Im Auftrag der AG. Rhätische Werke für Elektrizität, Thusis.)
1a	Somvixer Rhein, A. Sutglatscher	
2	Hinterrhein, Sufers	AG. Rhätische Werke für Elektrizität, Thusis.
3	Averser Rhein, Campsut	
4	Averser Rhein, Innerferrera	
5	Hinterrhein, Andeer-Bad	Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern.
6	Fundognbach, Donat	AG. Rhätische Werke für Elektrizität, Thusis.
7	Davosersee, Davos-Dorf u. Landschaft Davos	AG. Bündner Kraftwerke Klosters und Institut für Gewässerkunde E.T.H., Zürich.
8	Aare, Grimsel	Schweiz. Landeshydrographie, Bern.
9	Melchsee, Frutt und Melchtal	Centralschweizerische Kraftwerke Luzern.
10	Stausee Innertal, Wäggital	AG. Kraftwerk Wäggital, Siebnen.
10a	Vorder Wäggitaler Aa, Rempen	
11	Rhonegletscher, Gletsch	Schweiz. Landeshydrographie, Bern.
12	Saaser Visp, Zermeiggern	Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern.
13	Barberine, Barrage	Generaldirektion der Schweiz. Bundesbahnen, Abteilung für Kraftwerke, Bern.
13a	Barberine, Emosson	
14	Salanfe, Salanfe	Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern.
15	Baye de Montreux, Montreux	Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Service des Eaux de Vevey-Montreux und Institut für Gewässerkunde E.T.H., Zürich.

Als Quellenmaterial zur Ermittlung der Abflußmengen an den Stationen des *Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft in Bern* dienten dessen Jahrbücher. Für die Stationen der oben bezeichneten Gesellschaften und Aemter ist dem Verfasser das Abflußmaterial in Tabellenform mit allen nur wünschbaren Einzelheiten und Auskünften ausgehändigt worden.

Sämtliche für die vorliegende Untersuchung in Betracht fallenden und benutzten, mit Limnigraphen ausgerüsteten Abflußstationen wurden an Orten gebaut, die soweit möglich allen modernen Anforderungen entsprechen, d. h. für die Meßstellen wurden

nur Orte gewählt, wo Veränderungen im Flußbett (Höhenlage und Gefälle) gar nicht eintreten oder nur in beschränktem Maße vor sich gehen. Wo notwendig, wurden Kontrollmessungen in genügender Zahl ausgeführt. Die Ermittlung der Abflußmengen erfolgte mit großer Sorgfalt. Trotz aller Vorsicht und Umsicht muß mit einer gewissen Ungenauigkeit gerechnet werden, deren Größe aber zahlenmäßig zu bestimmen schlechterdings nicht möglich ist. Beruhigend wirkt, daß mit einem gewissen Ausgleich der Fehlerquellen — sie sind unter sich verschiedener Natur —, mit gutem Gewissen gerechnet werden darf. Die Untersuchung ruht auf den im Abflußmaterial niedergelegten Werten, in die Mißtrauen zu setzen kein Grund vorliegt.

Besondere Aufmerksamkeit wurde von Fall zu Fall der Frage eines unterirdischen Wasserverlustes in gebietsfremde Bezirke oder eines unterirdischen Wassergewinnes aus gebietsfremden Gebieten geschenkt.

Die Gewässer unseres vielgestaltigen Schweizer Hochgebirges — seien es nun Wildbäche, Gletscher- oder Talwasser — sind bekanntlich durch eine stark schwankende Wasserführung besonders gekennzeichnet. Sie charakterisieren sich im weitern durch die meist in den Sommermonaten eintretende Schlamm- und Geschiebeführung, die wiederum nach Form und Menge, der Eigenart des Gebietes entsprechend, recht verschieden in Erscheinung tritt.

Das Studium der Bewegungsvorgänge eines natürlichen, fließenden und geschiebeführenden Wildwassers muß immer noch als ein Problem betrachtet werden, dessen vollkommene und einwandfreie Lösung nicht auf dem Wege rein theoretischer Entwicklung erreichbar ist, zu dessen Erkenntnis vielmehr die unmittelbare Beobachtung und der praktische Versuch die erforderlichen Unterlagen bieten müssen. Die lebendige Natur des Hochgebirges läßt sich eben nirgends in ihrer Mannigfaltigkeit auf eine gemeinsame Formel bringen. Es sollen daher auch für unsere Forschungsgebiete die gesuchten Beziehungen nur aus *praktischen* Messungen abgeleitet werden.

Es liegt in der Natur des Schweizer Hochgebirges, daß für die Bestimmung der in einer Zeiteinheit durchfließenden Wassermenge beinahe alle dem modernen Hydrologen zur Verfügung stehenden Wassermeßmethoden praktisch angewendet werden können.

Sind die Wassermengen klein und das Wasser klar, so bietet ihre genaue Messung mit *geeichten Behältern,* durch *Wägung* oder mit *geprüften Ueberfalleinrichtungen* keine besondern Schwierigkeiten. Bei mittleren und großen Abflußmengen aber, können zuverlässige Behälter- und Ueberfallmessungen nur in seltenen Fällen ausgeführt werden. Unter solchen Umständen bedient sich der Fachmann meist Meßverfahren, die die sekundlich durchfließende Menge auf mittelbarem Wege angeben, wie z. B. durch Ermittlung der Geschwindigkeitsverteilung für den Fall der *Flügelmessung,* oder durch allmählich eintretende und gleichmäßige Zuführung einer konzentrierten Salz- oder Farblösung in den *Salz-* und *Farbverdünnungsverfahren.*

Ueber die heute üblichen, ihrem Wesen nach sehr ungleichen Wassermeßverfahren und über ihre Zuverlässigkeit wird in dieser Arbeit nicht näher berichtet. Wir wissen, daß die bereits angeführten und auch die vielfach angewendeten Methoden, unter günstigen Umständen und von Fachmännern ausgeführt, meist *befriedigende* Ergebnisse liefern. Wohl die bedeutsamste Voraussetzung für die Erzielung ein-

wandfreier Abflußwerte ist die richtige Wahl des für den betreffenden Ort geeigneten Meßverfahrens. Die zu wählende Meßmethode muß dem Gewässer im allgemeinen, und den örtlichen Verhältnissen seines Bettes — im besondern angepaßt werden, darin liegt das entscheidende Moment.

In unsern Forschungsgebieten werden folgende, durch Vergleichsversuche eingehend geprüfte und erprobte Wassermeßverfahren mit vollem Erfolg angewendet:

1. für *kleine und klare Wassermengen:* die *Behälter-* und *Ueberfallmessung* [1]);
2. für *mittlere und große Wassermengen:* die *Flügelmessung* und das *Salzverdünnungsverfahren.*

Für die Erfassung der Abflußregimes unserer Hochgebirgsbäche bei Mittel- und Hochwasserständen verwenden wir heute fast ausschließlich das *Salzverdünnungsverfahren.* Dieses wurde dem hydrologischen Dienst des Hochgebirges zugänglich gemacht durch Prof. Dr. *L. W. Collet* [2]) in Genf, Prof. Dr. *R. Mellet* in Lausanne und den Verfasser selbst. Erst seit diese Wassermeßmethode bei uns eingeführt, weiter ausgebaut und praktisch erprobt wurde, dürfen wir sagen, daß die großen Schwierigkeiten behoben sind, die sich jahrelang einer einwandfreien und genauen Erfassung der Abflußmengen unserer Gebirgsbäche entgegenstellten. Die Bedeutung, die dem Salzverdünnungsverfahren zukommt, nimmt von Jahr zu Jahr zu. Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn gerade dieser Wassermeßmethode, insbesondere ihrer Genauigkeit und Vereinfachung, vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt wird. Es sei in dieser Frage besonders auf die verdienstvolle Arbeit von Dr. *K. M. Oesterle* [3]) hingewiesen. Nach unsern gemeinsamen Untersuchungen in der Zentrale Ackersand, Visp, der *Lonza-Elektrizitätswerk und chemische Fabriken, Basel,* ist für die Bestimmung des Kochsalzgehaltes nach dem Salzverdünnungsverfahren namentlich die potentiometrische Fällungstitration zu empfehlen. Die darauf begründeten, langjährigen Erfahrungen zeigen deutlich, daß die direkte, potentiometrische Salzbestimmung dem chemischen Verfahren nach *Moor* (Titration mit Silbernitrat und Kaliumchromat) vorzuziehen ist. Sie hat den großen Vorteil, daß das Titrationsende nicht subjektiv am Farbenumschlag erkannt werden muß, sondern es kann der Gang der Titration *objektiv* am elektrischen Meßinstrument verfolgt werden. Dieser Vorteil sowie das Wegfallen zeitraubender Aufkonzentrationen sind die wesentlichsten Gründe, weshalb das chemische Verfahren nach *Moor* bei uns nicht mehr angewendet wird.[4])

---

[1]) Jede Ueberfalleinrichtung muß durch Vergleichsversuche einer genauen Prüfung unterzogen werden. Ueberfalleinrichtungen in schlamm-, sand- und geschiebeführenden Bächen sind vollständig zu meiden, denn sie führen zwangsläufig zu falschen Ergebnissen.

[2]) *Collet W., Mellet R.* et *Lütschg O.:* Jaugeages par titrations. Communications du Service de l'Hydrographie Nationale, nº 1, Berne 1913.

Collet W., Mellet R. et *Lütschg O.:* Méthodes de Jaugeages. Communications du Service des Eaux, nº 10, Berne 1917.

Lütschg O.: Ueber unsere letzten Erfahrungen mit dem Titrationsverfahren für Wassermessungen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1928, Heft 7, München 1928.

[3]) *Oesterle K. M.:* Die direkte potentiometrische Salzbestimmung verdünnter Salzlösungen bei Wassermessungen (Salzverdünnungsverfahren). Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 29. Jahrg. 1934, 13. und 14. Heft, München 1934.

[4]) Vgl. auch *Kirschmer O.:* Das Salzverdünnungsverfahren für Wassermessungen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1931, Heft 18 (Sonderdruck), München 1931.

Kirschmer O.: Erfahrungen mit dem Salzverdünnungs-Verfahren. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1937, Heft 10/11 (Sonderdruck), München 1937.

Das Salzverdünnungsverfahren hat aber, ganz abgesehen von seiner nicht einfachen Auswertung, namentlich bei seiner Verwendung im Hochgebirge, den Nachteil des zeitraubenden, kostspieligen und oft mühsamen Transportes der dazu erforderlichen, meist erheblichen Salzmengen. Wir haben uns deshalb nach neuen Verfahren umgesehen. Auf einen hoffnungsvollen Weg führte uns die Verwertung der *Eigenschaft des Wassers, seine elektrische Leitfähigkeit bei Zusatz von Kochsalz zu ändern.*

Es ist das Verdienst von Ingenieur *H. Tobler*, Zürich, uns bereits im Jahre *1938* [1]) auf dieses neue Salzverdünnungsverfahren aufmerksam gemacht zu haben. *H. Tobler* stellte uns auch für die ersten Versuche die notwendigen Unterlagen und Meßgeräte zur Verfügung. Wir wollen dieses Spezialverfahren die «*Salzverdünnungsmethode mit Hilfe elektrolytischen Meßverfahrens nach H. Tobler*» nennen.

Die Frage, ob das bisherige Salzverdünnungsverfahren durch eine noch einfachere und billigere, d. h. weniger zeitraubende und in der Auswertung nicht so umständliche Methode ersetzt werden könne, hat den Verfasser schon vor Jahrzehnten veranlaßt, Prüfungen mit einem Farbstoff an Stelle von Salz vorzunehmen. In den Abschnitten II., III. und IV. werden wir diesen Problemen nähertreten.

Ueber die verschiedenen Methoden zur Ermittlung der täglichen, monatlichen und jährlichen Abflußmengen und Abflußhöhen möchte ich mich hier nicht äußern, denn sie sind der Fachwelt genügend bekannt. Zudem leistet eine reichliche Fachliteratur auch hohen Ansprüchen gute Dienste. Ich beschränke mich deshalb auf die Bekanntgabe von Erfahrungen mit unsern Meßmethoden bei *Eisbildungen* und *Krautwuchs.* [2])

Durch *Eisbildungen* (Grund- und Ufereis) und *Krautwuchs* wird bekanntlich der Wasserstand der Bäche und Flüsse in der Regel gehoben, der normale Abfluß gestört. Die beobachteten Pegelstände verlieren ihre Gesetzmäßigkeit und ihre Bedeutung für die Ermittlung des Abflußregimes. Zahlenmäßige Anhaltspunkte über die Wirkung solcher Erscheinungen sind nur dann erhältlich, wenn der Verlauf des Wasserspiegels vor, während und nach der Periode der Eisbildung und des Krautwuchses im limnigraphischen Bilde einwandfrei festgehalten werden kann.

Der winterliche Verlauf der Wasserstände der Gewässer im Schweizer Hochgebirge ist im weitern dadurch gekennzeichnet, daß er durch starke Schneefälle, Lawinen, Eis- und Schneeeinbrüche, Schneeverwehungen usw. häufig und in ungleichem Maße beeinflußt wird. Von irgendwelcher Beständigkeit der Wasserstände darf in solchen Perioden nicht gesprochen werden. [3]) Hydrologische Untersuchungen, deren Kern der Erforschung der Abflußverhältnisse von Hochgebirgsgewässern gilt, erfordern deshalb eigene Vorkehrungen. Für die Behebung solcher Schwierig-

---

[1]) Von deutscher Seite aus wurde in einem spätern Zeitraum dasselbe Verfahren zur Bestimmung des Wasserverbrauches von Turbinen veröffentlicht, vgl. *Franke R.:* Die Leitfähigkeits-Wassermessung. Grundlagen und Versuche. Mitteilung Nr. 24 des Instituts für Wasserbau an der Technischen Hochschule in Berlin, besprochen von Dr. *O. Kirschmer* in «Wasserkraft und Wasserwirtschaft». Jahrgang 38, Heft 9. München, den 15. Sept. 1943.

[2]) Hierüber gibt auch *Karl Fischer* in: Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Flußgebiete. Mittlgn. des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft e. V., Deutscher Wasserwirtschafts- und Wasserkraftverband, Berlin-Halensee 1936, Nr. 40, manch wertvolle Auskunft.

[3]) Vgl. hierüber meine Untersuchungen am Flüelabach (Davos) im Winter 1931/32 (Bd. II, Teil III, Kap. 6, Abschn. 2, III., B., 2., S. 248 u. ff.).

keiten steht nur ein Weg offen: Der Verlauf der Abflußmengen muß durch eine ganze Reihe von Einzelmessungen eindeutig festgelegt werden. Fügt man die Ergebnisse solcher systematischer Messungen einem Koordinatensystem ein (Abszissen = Zeit in Tagen, Ordinaten = Abflußmengen oder Abflußhöhen), so ergibt die Verbindung der einzelnen Punkte — die Ganglinie der Abflußmengen, die in ihrem Verlauf meist einen recht unsteten Charakter zeigt. Diese Ganglinie ermöglicht, für jeden beliebigen Zeitraum die zugehörige Abflußmenge herauszugreifen, oder auf planimetrischem Weg den Mittelwert zu erfassen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens bei Eisbildungen hängt natürlich von der Zahl der Messungen und von der Strenge des Winters ab. Namentlich in andauernd kalten und schneereichen Wintern erweist sich diese Methode als zeitraubend und kostspielig und ist deshalb nur in Sonderfällen anwendbar, führt aber zweifellos zum gewünschten Ziel.

Wesentlich einfacher gestaltet sich das Problem bei *Krautwuchs*. Vor allem ist hervorzuheben, daß dem Krautwuchs in unsern Alpenflüssen keine so große Rolle zufällt, wie in tiefern Lagen, und er somit nur in vereinzelten Fällen hemmend auf die Ermittlung des Abflußregimes wirkt. Er tritt vorwiegend in kleineren Wasserläufen, meist in Quellbächen auf. Auch die Lösung dieser Frage verlangt eine ununterbrochene Reihe von Abflußmessungen, deren Zahl aber, bei genauer Kenntnis der natürlichen Vorgänge und im Gegensatz zu der bei Eisbildungen, — wesentlich reduziert werden kann, denn der Verlauf der Wasserstände bei Verkrautung weist eine gewisse Stetigkeit auf.

Schluß. Trotz aller Sorgfalt, die der Ermittlung des Abflußregimes solcher Gewässer zugewendet wird, trotz aller Mühe und Kosten, um zu einwandfreien Abflußergebnissen zu gelangen, treten dennoch Ungenauigkeiten auf, deren Beseitigung hohe Anforderungen an das Meß- und Beobachtungspersonal stellt. Beruhigend wirkt allerdings der Umstand, daß die totale winterliche Abflußmenge, im Verhältnis zur gesamten Jahresabflußmasse, von relativ kleinem Ausmaße ist, hauptsächlich dann, wenn nur die Schnee- und Eisperiode in Betracht gezogen wird. Wie groß der Einfluß des Schnee- und Eisstaues sein kann, und wie unbrauchbar Pegelbeobachtungen während solcher Zeiträume sind, zeigen eindrucksvoll die Untersuchungen im Flüelabach (Davos) im Winter 1931/32 (vgl. Bd. II, Teil III, Kap. 6, Abschn. 2, III., B., 2., S. 248 u. ff.).

Die moderne Hydrologie stellt eben auch an die Genauigkeit der Abflußmengen im Hochgebirge hohe, manchmal sogar *höchste* Anforderungen. Ich denke dabei an die Landesverdunstungsfrage, deren Lösung aus der *Differenz* zwischen Niederschlag und Abfluß hervorgeht. Abgesehen davon soll und muß jede Messung stets so genau als möglich durchgeführt werden.

Die Genauigkeit unserer Abflußergebnisse darf, allgemein beurteilt, als recht befriedigend bezeichnet werden; sie zahlenmäßig festzuhalten ist schwer, denn sie schwankt von Fall zu Fall. Unter günstigen Verhältnissen dürfte die Fehlertoleranz 1—2 % betragen. Die Ungenauigkeiten sind in der Hauptsache dem Einfluß der Schlamm- und Geschiebeführung und der Aenderung der Gefällsverhältnisse im Bereich der Meßstation zuzuschreiben, ebenso aber auch dem Eis- und Schneestau, wie bereits oben erwähnt.

II. Neue Salzverdünnungsmethode mit Hilfe elektrolytischen Meßverfahrens, nach H. Tobler, zur Bestimmung der Wasserführung von Gebirgsbächen.

Prinzip. Das neue, weniger zeitraubende und in der Auswertung wesentlich einfachere Meßverfahren beruht auf der Eigenschaft des Wassers, seine elektrische Leitfähigkeit, bei Zusatz von Kochsalz, je nach dem Grad der Lösung, zu ändern (Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Konzentration einer Salzlösung).[1])

Meßverfahren:

1. Ein rund 100 l fassendes, *reines* Gefäß v (vgl. Fig. 1 und 2) wird bis zur Eichmarke m mit *natürlichem* Bachwasser gefüllt, das dem Bach an der Stelle A, also oberhalb der Zuführungsstelle B für die Initialsalzlösung a entnommen wurde.
2. Ein rund 1 l fassendes Gefäß f wird mit Wasser gefüllt, das dem Bach in einer genügend großen Entfernung von der Zuführungsstelle B entnommen wurde, so daß mit einer vollständigen Durchmischung von Wasser und Salzlösung gerechnet werden kann.
3. Einen kleineren, mit cm³-Teilung versehenen Meßzylinder M füllt man mit der gleichen konzentrierten Salzlösung a, wie solche an der Stelle B dem Bach zugeführt wird.

Salzverdünnungsmethode mit Hilfe elektrolytischen Meßverfahrens nach H. Tobler.

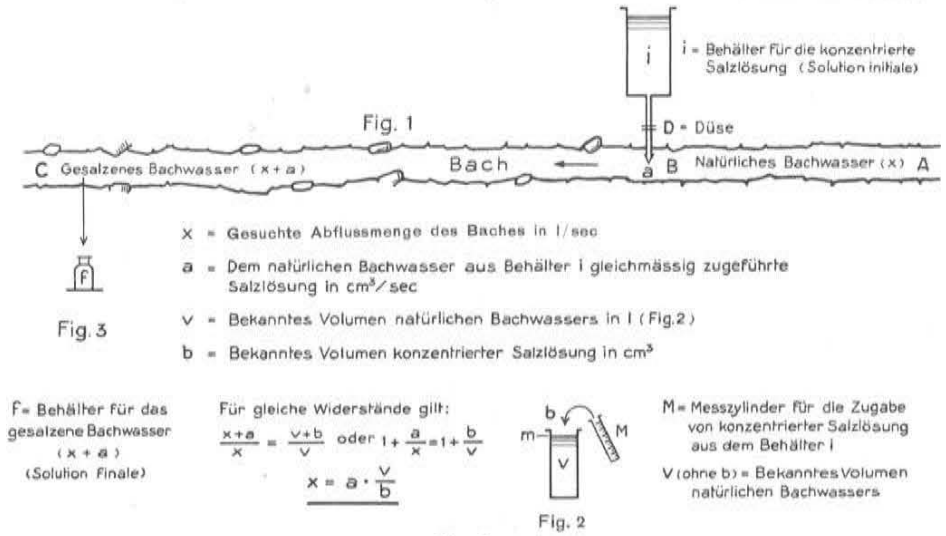


Fig. 7.

Wir bezeichnen nun die unbekannte, sekundliche Abflußmenge des Baches mit x (in Liter) und die an der Stelle B dem Bach sekundlich zugeführte, konzentrierte Salzlösung (Initiallösung) mit a (in cm³). Von der im Meßzylinder M enthaltenen, konzentrierten Salzlösung gießt man nun unter stetigem Umrühren so viel in das 100 l Bachwasser enthaltende Gefäß v, bis die elektrische Leitfähigkeit der Mischung gleich groß ist wie jene der im Gefäß f befindlichen Wasserprobe. Die hierfür erforderliche Menge der Salzwasserlösung sei mit b (in cm³) ausgedrückt.

[1]) Der Hauptanspruch des Meßverfahrens besteht nicht in der allgemeinen Tatsache einer Aenderung des Leitfähigkeitsgrades durch bloßes Zusetzen von Na Cl, sondern in der Differenzierung derselben bei Lösungen verschiedener Konzentration (Gehalt an Na Cl).

Station de Jaugeage de la Baye de Montreux au Pont «Port Romulus»
(en Beaucul-C^ne du Châtelard).

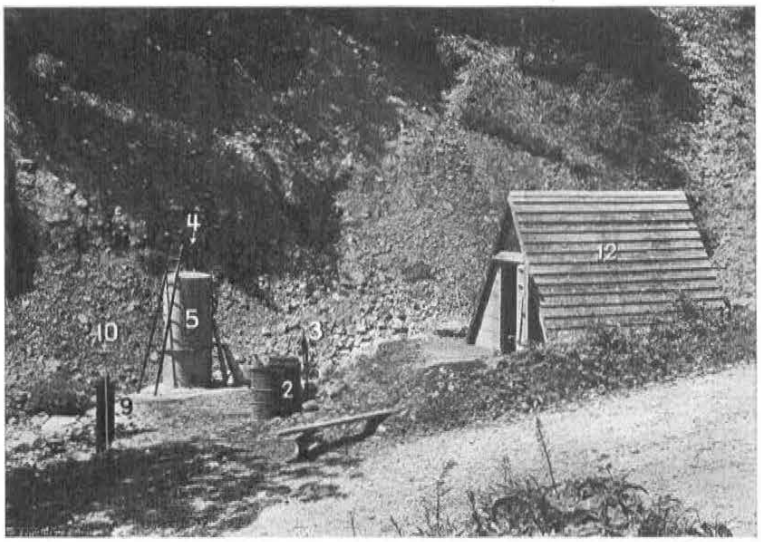


Fig. 8. Phot. O. Lütschg.

Station de Jaugeage par la méthode chimique et la méthode électrique
(mesure de résistivité de l'eau salée).

Fig. 9. Phot. O. Lütschg.

Installations pour les jaugeages.

1. Tuyau de la pompe pour aspirer l'eau du torrent.
2. Tonneaux pour la préparation de la solution initiale salée.
3. Pompe pour monter l'eau du torrent et la solution initiale salée.
4. Tuyau d'alimentation du réservoir.
5. Réservoir pour la solution initiale salée.
6. Ajustage débitant la solution initiale salée.
7. Tuyau conduisant la solution initiale salée du réservoir dans le torrent.
8. Récipient pour déterminer le débit de l'ajustage de la solution initiale.
9. Récipient de 100 l pour la détermination de la résistance électrique de l'eau salée.
10. Agitateur pour les mélanges d'eau salée.
11. Lieu de prélèvement des échantillons d'eau (solution finale) après le mélange de la solution initiale salée avec l'eau du torrent.

1. Zuleitung des Bachwassers zur Pumpe.
2. Behälter für die Zubereitung der konzentrierten Salzlösung.
3. Pumpe zur Förderung von Bachwasser und konzentrierter Salzlösung in die Behälter (2 und 5).
4. Zuleitung der konzentrierten Salzlösung in den Behälter (5).
5. Vorratsbehälter (2,5 m^3) der konzentrierten Salzlösung.
6. Meßdüse.
7. Rohr zur Einführungsstelle der konzentrierten Salzlösung.
8. Eichgefäß für die Düsenmessung.
9. Gefäß mit Eichmarke von 100 l Inhalt für die Bestimmung der spezifischen Leitfähigkeit von Salzlösungen verschiedener Konzentration.
10. Rührkolben für die Durchmischung der Salzlösungen.
11. Entnahmestelle der durch das Bachwasser verdünnten Lösung.

Für gleiche Widerstände gilt nun folgende Beziehung:

$$\frac{x + a}{x} = \frac{v + b}{v} \text{ oder } 1 + \frac{a}{x} = 1 + \frac{b}{v}, \text{ somit } x = a \cdot \frac{v}{b} \text{ (l/sec).}$$

Wichtig ist nun, daß die Temperatur auf die Leitfähigkeit des Wassers einen großen Einfluß ausübt. Es muß somit der Vergleich zwischen den Leitfähigkeiten der Flüssigkeiten in den Gefäßen v und f bei genau gleicher Temperatur vorgenommen werden. Man geht dabei zweckmäßig in der Weise vor, daß man die Leitfähigkeit der im Gefäß f (Entnahmestelle C) befindlichen Wasserprobe bei mindestens zwei verschiedenen Temperaturen mißt und hierauf die Ergebnisse graphisch darstellt. Mit Hilfe der Leitfähigkeits-Geraden kann dann leicht der gesuchte Punkt herausgegriffen werden, der der Temperatur des im Behälter v enthaltenen Wassers entspricht.

Wahl der Salzlösung. Ein Liter Wasser vermag bei Raumtemperatur rund 250 g Kochsalz zu lösen (Sättigung). Zweckmäßig wählt man nun pro l einen Kochsalzgehalt von 50 bis 100 g. Um eine größtmögliche Meßgenauigkeit zu erzielen, sollte der Salzgehalt des Bachwassers den Betrag von ungefähr 0,1 g pro l nicht überschreiten. Für die Ermittlung der dem Bach bei B sekundlich zuzusetzenden Menge a (in cm^3) der Salzlösung (von der Konzentration 50—100 g/l), verfährt man in der Weise, daß die unbekannte Menge x der Wasserführung des Baches vorerst geschätzt wird. Diese Schätzung ergebe z. B. den Betrag von 180 l pro sec. Demzufolge müssen der Wasserführung an der Stelle B sekundlich 180 × 0,1 g, d. h. 18 g Kochsalz zugesetzt werden. Da unsere Lösung 50—100 g Kochsalz enthält, entspricht dies einer sekundlichen Zufuhr von 0,36—0,18 l/sec der Salzlösung. Dieses Quantum Salz kann bei sorgfältiger Prüfung der Sachlage noch wesentlich reduziert werden.

Versuchseinrichtungen. Zu den Versuchen stand die Meßanlage von Beaucul im Baye de Montreux-Gebiet zur Verfügung. Sie wurde für Behälter-, Ueberfall- und Flügelmessung, sowie das Salzverdünnungsverfahren (Titrationsverfahren) eingerichtet (vgl. Fig. 10). Die Verteilung der Meßeinrichtungen für die zur Anwendung kommenden Wassermeßverfahren längs der 130 m langen Strecke der Baye de Montreux ist aus Figur 11 ersichtlich.

Ehe die eigentlichen Versuche beginnen konnten, bedurfte es einer Reihe von Vorarbeiten. Zuerst mußte dafür gesorgt werden, daß a) eine einwandfreie, konzentrierte Salzlösung vorlag, b) die Düsen für die Zugabe der Initiallösung mit größtmöglicher Genauigkeit geeicht wurden, c) die Entnahmestelle einer gleichmäßigen Durchmischung der eingeführten Salzlösung mit dem Bachwasser Genüge leistete. Endlich wurde das mit der Durchführung der Versuche betraute Personal in der Handhabung der einzelnen Verfahren so geschult, daß ein störungsfreier Ablauf der Hauptversuche gewährleistet war.

Für die Messung des spezifischen Widerstandes der Wasserproben wurde eine Widerstandsmeßbrücke für Gleich- und Wechselstrom (Meßbereich bei Gleichstrom von 0,05—50 000 Ohm, bei Wechselstrom von 0,5—50 000 Ohm), mit eingebauter Taschenlampenbatterie, Schleifdraht, Galvanometer und ansteckbarem Summer und Kopfhörer verwendet.

Entgegen den gehegten Erwartungen, ergaben aber die Messungen mit dieser Brücke so erhebliche Unterschiede unter sich und unwahrscheinliche Werte gegenüber den durchgeführten Flügelmessungen, daß die Versuche als mißglückt bezeichnet werden mußten. Eine eingehende Untersuchung über die möglichen Ursachen der Fehlmessungen führte zum Ergebnis, daß diese einzig und allein in der ungenügenden Genauigkeit der Widerstandsbrücke zu suchen waren. Es war daher geboten, sich nach einer genaueren Widerstandsbrücke umzusehen. Ich habe mich in dieser Frage an unsern bewährten Fachmann, Ingenieur *E. Schiltknecht*, Technische und wissenschaftliche Meßinstrumente und Apparate, Zürich, gewendet, der in verdankenswerter Weise die Verfahren der elektrischen Leitfähigkeitsmessung von Elektrolyten, insbesondere in bezug auf die Möglichkeit der Erhöhung der Meßgenauigkeit, näher studierte. Es zeigte sich dabei, daß unter Verwendung aller

Station de Jaugeage de la Baye de Montreux au Pont «Port Romulus».

N

S

Fig. 10.

1: Canal de la Baye de Montreux.
2: Pont.
3: Limnigraphe.

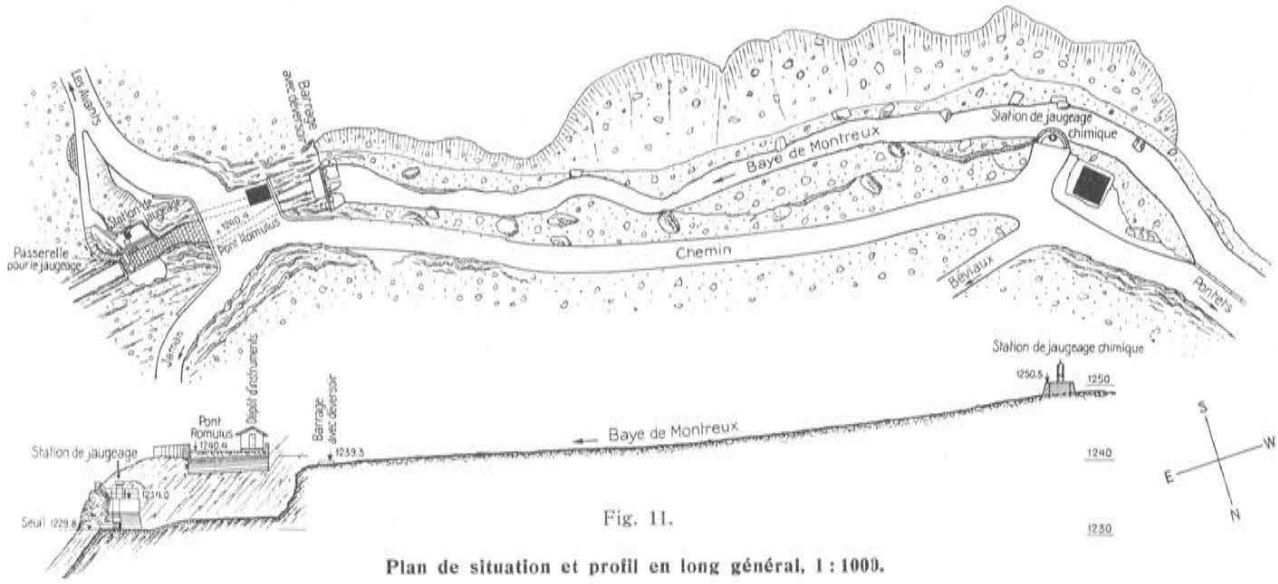


Fig. 11.

Plan de situation et profil en long général, 1 : 1000.

zur Verfügung stehenden Mittel, die uns die elektrische Meßtechnik bietet, Meßgenauigkeiten von $^1/_{100}$ ‰ erreicht werden können für Widerstände zwischen 10 und 10 000 Ohm. Will man diese Meßgenauigkeit ausnützen, so setzt dies bereits voraus, daß die Temperatur des Elektrolyten auf $^1/_{100}$ ° genau konstant gehalten werden muß. Auch dies ist ohne weiteres mit einem modernen Thermostaten möglich *(E. Schiltknecht)*. Es ist klar, daß eine Apparatur zur Erreichung solch außerordentlich hoher Meßgenauigkeiten ziemlich umfangreich und teuer wird. Für unsern Fall können aber Konzessionen an die Meßgenauigkeit gemacht werden, wodurch sich an der Apparatur wesentliche Vereinfachungen durchführen lassen. Ueber die bei genauen Leitfähigkeitsmessungen anzuwendenden Vorsichtsmaßnahmen gibt die nachstehende, von Ing. *E. Schiltknecht* verfaßte Beschreibung ein anschauliches Bild.

«Als Standard-Instrument für Leitfähigkeitsmessungen an Elektrolyten kann die *Wheatston*sche Brücke betrachtet werden.

Im einfachsten Falle besteht der Meßdraht aus einem im Querschnitt möglichst gleichmäßigen Draht, der über einer Millimeterteilung ausgespannt ist. Dieser Meßdraht wird im zweiten Brückenkreis durch Vergleichswiderstände und durch das Leitfähigkeitsgefäß ergänzt. Als Stromquelle dient in der Regel ein Summer, der von einer Batterie betrieben wird. Im Nullzweig dient als Stromindikator in der Regel ein niederohmiges Telephon. In dieser Ausführung genügt die Meßbrücke relativ bescheidenen Ansprüchen.

Für Präzisionsmessungen werden Meßgenauigkeiten von 1 ‰ und noch höher gefordert. Bei der Ueberprüfung der Fehlerquellen der einfachen Meßbrücke wurden die Mittel gefunden, die angewendet werden müssen, um die Meßgenauigkeit erheblich zu steigern.

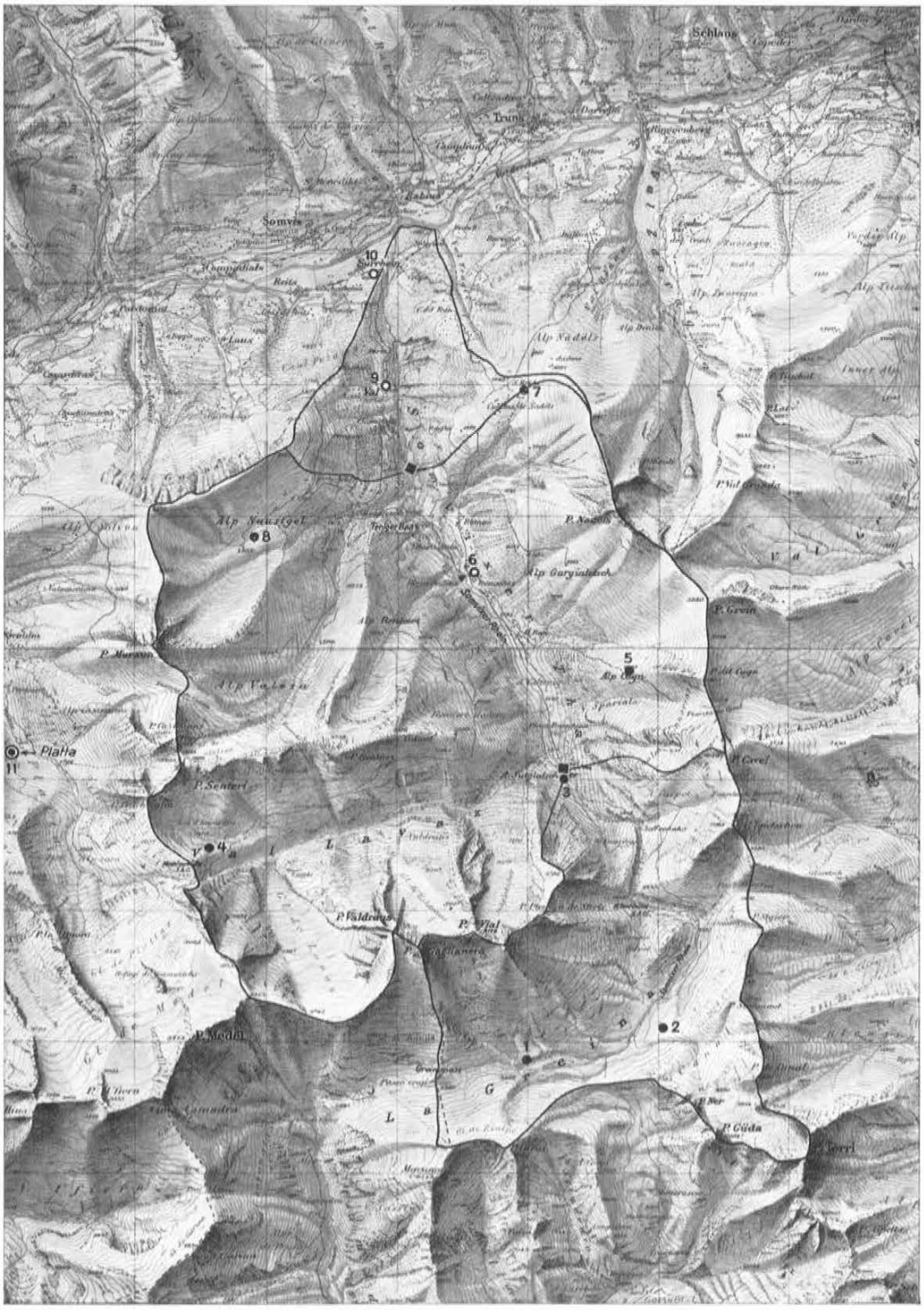
Bei Messungen mit einer einfachen Meßbrücke wird konstatiert, daß das Telephon vielfach bei keiner Brückenabstimmung stromlos wird, sondern daß nur ein Tonminimum wahrzunehmen ist. Dieses Tonminimum ist nicht scharf feststellbar. Die Ursachen können an verschiedenen Orten liegen. Wesentliche Verbesserungen können erzielt werden, wenn das Induktorium, das keinen rechten Wechselstrom liefert, durch eine Stromquelle mit sinusförmiger Spannungskurve ersetzt wird. Als solche können Röhrengeneratoren, Stimmgabelsummer, Glimmlicht-Oszillatoren, Mittelfrequenzmaschinen in Frage kommen. Die Frequenz wird zweckmäßigerweise zu 800—1000 Perioden pro Sekunde gewählt.

Da der Grund für ein unscharfes Tonminimum in ungünstigen Phasenverhältnissen der Brückenströme zu suchen ist, ist den Vergleichswiderständen erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Diese müssen so gebaut sein, daß die Selbstinduktion zu vernachlässigen ist. Auch sind die dielektrischen Verluste klein zu halten. Da ferner das Leitfähigkeitsgefäß eine Kapazität darstellt und die Elektrolyten oft verschiedene Dielektrizitätskonstanten aufweisen, muß für exakte Messungen die Möglichkeit gegeben werden, dem entsprechenden Vergleichswiderstand eine Kapazität parallel schalten zu können. Auf diese Weise ist es möglich, phasenrichtige Verhältnisse in den Brückenströmen zu erhalten, wodurch eine wesentliche Steigerung der Schärfe des Tonminimums erreicht wird. Da die Empfindlichkeit des Telephons beschränkt ist, besteht die Möglichkeit, durch Zwischenschaltung eines Verstärkers die Empfindlichkeit erheblich zu steigern. Dabei ist die Möglichkeit gegeben, an Stelle des Hörers empfindliche Gleichstrom-Instrumente zu verwenden.

Eine weitere Verfeinerung der Wechselstrom-Leitfähigkeitsmeßbrücke liegt in der sorgfältigen Definierung der Erdkapazitäten evtl. unter Verwendung der *Wagner*schen Hilfsbrücke.

Hand in Hand mit der Verfeinerung der elektrischen Ausrüstung muß eine einwandfreie Ueberwachung der Temperaturverhältnisse gehen. Es hat absolut keinen Zweck, die Meßgenauigkeit an und für sich auf Bruchteile von Promille zu steigern, wenn nicht gleichzeitig für einwandfrei definierte Temperaturen im Leitfähigkeitsgefäß gesorgt wird. Auch hier stehen jedoch heute Präzisions-Thermostaten zur Verfügung, die erlauben, die Temperatur im Meßgefäß auf einige Tausendstel Grad konstant zu halten. Es ist selbstverständlich, daß bei der hohen Temperaturempfindlichkeit darauf geachtet werden muß, daß die Meßströme klein ge-

Uebersichtskarte des Somvixer Rheingebietes (1).



Relief von Ernst Huber, Vermessungsingenieur E. T. H.

Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie.

- ⊙ Meteorologische Station
- ○ Niederschlagsstation mit täglicher Beobachtung
- ● Niederschlagssammler mit Windschutz
- ◆ Abflußstation mit Limnigraph
- ► Pegelstation

1 : 100 000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 km

halten werden, denn sonst werden schon von der Erwärmung durch den Meßstrom merkbare Fehler möglich. Außerdem hat der gute Zustand der Meßelektroden (Platinierung der Platinbleche) einen erheblichen Einfluß auf die Meßgenauigkeit.

Werden alle diese Vorsichtsmaßnahmen berücksichtigt, so ermöglicht die Leitfähigkeitsmeßbrücke eine außerordentlich große Meßgenauigkeit.»

Weitere Erfahrungen müssen gesammelt werden. Die praktische Anwendbarkeit der neuen Salzverdünnungsmethode mit Hilfe elektrolytischen Meßverfahrens nach *H. Tobler* zur Bestimmung der Wasserführung von Gebirgsbächen steht außer Frage.

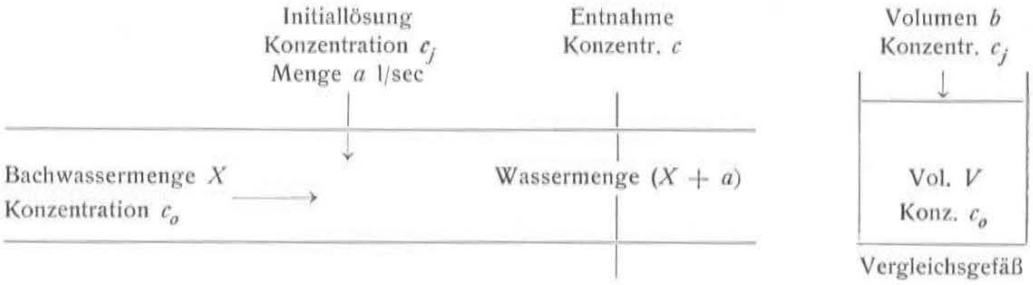
Die Kenntnis der Genauigkeit des vorliegenden Verfahrens erfordert die Durchführung einer genügend großen Anzahl von Versuchsmessungen bei unterschiedlicher Wasserführung, sowie in klarem, trübem und schlammführendem Zustand. Es kann dies um so leichter geschehen, als die Meßmethode einfach und Messungen auch bei höherem Wasserstand keine besondern Schwierigkeiten bieten. Die vorgenannten Umstände veranlassen uns, dieser Methode vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken.

Aus dem *H. Tobler*schen Verfahren ist das vereinfachte Verfahren nach *E. Hoeck* hervorgegangen, worüber im nachstehenden berichtet wird.

III. Vereinfachtes Verfahren für die Titration bei der Wassermessung nach der Salzverdünnungsmethode,

nach E. Hoeck.

Es seien:



Für gleiche Konzentration c im Bach und im Vergleichsgefäß V ist:

$$\frac{(X + a)c}{a\,c_j} = \frac{(V + b)c}{b\,c_j}, \quad \text{woraus} \quad \text{Gl. 1: } X = a\,\frac{V}{b} \quad \text{nach } \textit{Tobler}.$$

Nach dieser Methode handelt es sich darum, das Volumen b der Initiallösung so zu bestimmen, daß seine Mischung mit dem Volumen V des Bachwassers die Konzentration c erhält, die vorher durch chemische Titration der Bachentnahmen ermittelt wurde. Etwas bequemer ist es, für die Berechnung von X die Frage umgekehrt zu formulieren, nämlich das Volumen V des Bachwassers zu suchen, das mit einem gewählten Volumen b der Initiallösung zusammen die Konzentration c erhält. Dann gilt für den Mischvorgang die Gleichung:

$$\text{Gl. 2: } V\,c_o + b\,c_j = (V + b)\,c.$$

In dieser Gleichung sind c_o, c_j und V vorläufig unbekannt. Für die Berechnung der gesuchten Bachwassermenge X ist es aber nach der Wahl von b nur nötig, die Größe V zu ermitteln, was folgendermaßen geschehen kann:

Zunächst wird V geschätzt, was nach einer Schätzung von X unter Beachtung der Gleichung 1 leicht geschehen kann. Dieses geschätzte Volumen sei V_1. Nach Beimischung des Volumens b der Initiallösung ergebe sich im Volumen $(V_1 + b)$ die Konzentration c_1, so daß auch gilt:

$$\text{Gl. 3:} \quad V_1 c_o + b c_j = (V_1 + b) c_1.$$

Da $V_1 \cong V$ ist, wird auch $c_1 \cong c$. Die Konzentration c_1 ist durch Titration zu ermitteln. Hat man für X und a, wie meistens üblich, ungefähr 10 000 zu 1 gewählt, so wird auch $V/b = 10\,000$. Nimmt man $b = 2$ cm³, so muß $V_1 = 20{,}0$ l gewählt werden. Für die Titration wird natürlich nur ein Teil der Mischung $(V_1 + b)$ hergestellt, indem man die Menge b zunächst mit einem kleineren Volumen v des Bachwassers verdünnt, und dann einen beliebigen Bruchteil dieser verdünnten Menge $(v + b)$ mit demselben Bruchteil des zu V_1 noch fehlenden Bachwassers $(V_1 - v)$ mischt.

Ist c_1 durch Titration bestimmt, so erhält man durch Subtraktion der Gl. 2 und Gl. 3:

$$V_1 c_o - V c_o = V_1 c_1 - V c + b (c_1 - c)$$

$$V (c - c_o) = V_1 (c_1 - c_o) + b (c_1 - c), \quad \text{woraus}$$

$$\text{Gl. 4:} \quad V = V_1 \frac{(c_1 - c_o) + \frac{b}{V_1} (c_1 - c)}{(c - c_o)}$$

Das zweite Glied im Zähler ist sehr klein gegenüber dem ersten Glied, da b sehr klein ist im Verhältnis zu V (ca. 1 : 10 000) und außerdem $c_1 \cong c$ ist. Man kann daher dieses Glied vernachlässigen, so daß bleibt:

$$\text{Gl. 5:} \quad V = V_1 \frac{(c_1 - c_o)}{(c - c_o)}$$

Diese Gleichung enthält außer der Unbekannten V auch noch die unbekannte Konzentration c_o des natürlichen Bachwassers. Je genauer aber die Schätzung V_1 mit dem Volumen V übereinstimmt, desto genauer entspricht auch die Konzentration c_1 der gewünschten Konzentration c, so daß Zähler und Nenner des Bruches nahezu gleich groß werden. Ein Fehler von c^o macht sich aber um so weniger bemerkbar, je genauer c_1 mit c übereinstimmt, je genauer also die ursprüngliche Schätzung war, und je kleiner c_o gegenüber der Konzentration c ist. Es genügt deshalb ohne weiteres, c_o durch direkte Titration des Bachwassers, also ohne Einkochung des letzteren, zu bestimmen. Hat man bei der ersten Schätzung von V noch kein genügend genaues Resultat erreicht, d. h., stimmt das berechnete Volumen schlecht überein mit der ursprünglichen Schätzung, dann wiederholt man die Titration, wobei man das aus der ersten Schätzung berechnete Volumen als zweite Schätzung verwendet. Die Formel ist jedoch so wenig empfindlich auf Fehler von c_o sowie auf Fehlschätzungen, daß man in der Regel schon aus der ersten Schätzung ein genügend genaues Resultat errechnen kann.

Beispiel.

Es sei der wahre Wert von $X = 1{,}0$ cm³/sec,

die Menge der Initiallösung $a = 0{,}2$ l/sec,

die Konzentration des Bachwassers $c_o = 5$ mg Cl/l,

die Konzentration der Initiallösung $c_j = 150$ g Cl/l (entsprechend ca. 250 g NaCl/l).

Mit diesen Annahmen für die effektiv vorhandenen Werte erreichen die Bachentnahmen eine Konzentration c, die sich mit Hilfe der obigen Werte aus der Gleichung $X c_o + a c_j = (X + a) c$ berechnen läßt. Es ergibt sich $c = 35{,}0$ *mg Cl/l*. Die Größe von c wird durch Titration ermittelt.

Nimmt man nun zuerst an, X werde ganz grob falsch geschätzt, z. B. $X = 2$ m³/sec (Fehler 100 %). Dann ergibt sich $X/a = 10\,000$. Mit $b = 2$ cm³ ergibt sich somit als erste Schätzung von V: $V_1 = 20{,}0$ l. Stellt man die Mischung $(V_1 + b)$ her, so erhält sie eine Konzentration c_1, die mit Hilfe der wahren Werte nach Gl. 3 berechnet werden kann. Es ergibt sich $c_1 = 20{,}0$ *mg Cl/l.*

Ist der Betrag von c_1 durch Titration ermittelt, so ist noch c_o durch Titration des natürlichen Bachwassers zu bestimmen. Nimmt man hier an, man habe bei der Titration einen Fehler von 20 % gemacht, und $c_o = 6{,}0$ mg Cl/l bestimmt, dann erhält man nach Gl. 5

$$V = 20{,}0 \; \frac{20{,}0 - 6{,}0}{35{,}0 - 6{,}0} = 9{,}65 \; l.$$

Da das wahre Verhältnis $X/a = V/b = 1000/0{,}2 = 5000$ beträgt, ist der wahre Wert von $V = 5000 \cdot 2 = 10\,000$ cm³ $= 10{,}0$ l.

Eine Fehlschätzung von 100 % in V und ein Fehler von 20 % in c_o führt also schon zu einem Resultat, das nur 3,5 % vom wahren Wert abweicht. Nimmt man nun als zweite Schätzung $V_1 = 9{,}7$ l, dann ist mit $b = 2$ cm³ die Konzentration der Mischung $(V_1 + b)$ nach Gl. 3 $c_1 = 35{,}9$ *mg Cl/l.* c_1 wird wieder durch Titration bestimmt.

Nimmt man für c_o weiter einen Fehler von 20 % an und setzt $c_o = 6{,}0$ mg Cl/l, so erhält man nun für V:

$$V = 9{,}7 \; \frac{35{,}9 - 6{,}0}{35{,}0 - 6{,}0} = 10{,}001 \; l.$$

Trotzdem c_o noch mit einem Fehler von 20 % eingesetzt wurde, stimmt das Resultat mit dem wahren Wert praktisch überein. Die Hauptfehler bei der Bestimmung von V nach der vorliegenden Methode entstehen also nicht durch die falsche Schätzung von V oder durch ungenaue Ermittlung von c_o; die Genauigkeit von V hängt vielmehr nur davon ab, wie genau die Titrationen von c und c_1 durchgeführt werden können. Es ist deshalb von Vorteil, die Titrationen mindestens zwei- bis dreimal durchzuführen, um genügend genaue Mittelwerte zu erhalten.

IV. Das Farbstoffverdünnungsverfahren.

Die Frage, ob das Salzverdünnungsverfahren nicht durch eine einfachere und billigere Methode ersetzt werden könne, hat den Verfasser veranlaßt, an Stelle von Salz einen *Farbstoff* zu verwenden. [1])

Die ersten Versuche mit Farbstoff, allerdings in primitiver Form, habe ich mit meinem verstorbenen Freunde Prof. Dr. *H. Schardt,* Zürich, am Doubs, in der quellenreichen Schlucht des Saut du Doubs, unterhalb des Lac des Brencts, während der außergewöhnlichen Trockenzeit vom Oktober 1906 in reichlicher Zahl ausgeführt. *Schardt* darf zweifellos als der Vater des Farbverdünnungsverfahrens betrachtet werden. Er hat es meisterlich verstanden, mit bescheidenen Mitteln eine relativ hohe Genauigkeit zu erzielen. Als Farbstoff wurde bei sämtlichen Versuchen das stark färbende Fluoreszein verwendet. Mit Hilfe von Fluoroskopen und einer von *Schardt* eigenhändig und sorgfältig hergestellten Verdünnungsskala wurden die Ab-

[1]) Am 4. Januar 1928 habe ich erstmals an öffentlicher Stelle, im Hydraulikausschuß des *Vereins deutscher Ingenieure,* auf das Farbstoffverdünnungsverfahren aufmerksam gemacht, mit der Bemerkung, daß aber hierüber, wenigstens soweit es sich um Präzisionsmessungen handle, die nötigen praktischen Untersuchungen und Erfahrungen noch fehlen. Der Gedanke fand Anklang und er wurde auch von verschiedenen Seiten weiterverfolgt, namentlich vom *Forschungsinstitut für Wasserbau und Wasserkraft e. V., München* (Prof. Dr. Ing. *O. Kirschmer,* Dresden, und Dr. Ing. *B. Esterer,* München), mit dem es dem Verfasser vergönnt war, einen regen Gedankenaustausch zu pflegen. Auf die Versuche in München näher einzutreten, verbietet mir der Raum. Betrachten wir die bisherigen, umfangreichen Arbeiten des Münchner Institutes über das Farbverdünnungsverfahren, so kann daraus die uneingeschränkte Brauchbarkeit dieses Verfahrens für Gebirgsbäche, und zwar für klares, trübes oder schlammführendes Wasser, einwandfrei abgeleitet werden.

flußmengen bestimmt. Vergleichsmessungen mittels Ueberfalleinrichtungen und Flügel ergaben Differenzen von 5—10 %, somit für hydrologische Forschungen nicht hinreichend genaue Ergebnisse. Im weitern Ausbau des Verfahrens zeigte sich sehr bald, daß zur Bestimmung der Konzentration die Genauigkeit einer Verdünnungsskala nicht ausreichte. Ich setzte mich deshalb auch in diesem Fall mit unserem Gewährsmanne, Ing. *E. Schiltknecht* in Zürich, in Verbindung. Die Folge dieser Beratungen war, daß wir dazu übergingen, an Stelle des menschlichen Auges — eine photoelektrische Meßeinrichtung zu verwenden.[1]) Systematische Versuchsreihen mit verschieden großen Verdünnungen des Farbstoffes zeigten, daß Verdünnungen bis zu 1 : 2 Millionen der konzentrierten Lösung mit einer Genauigkeit von 1 ‰ gemessen werden können. Weitere Laboratoriumsversuche ergaben, daß die Farbstoffkonzentration bei Berührung der Flüssigkeit mit organischen und anorganischen Stoffen (Kies, Schlamm, Pflanzen, Holz u. dgl.) keine in diesem Bereich meßbaren Veränderungen erfährt.

Für die praktische Ausführung der Versuche in unserem Naturlaboratorium von Montreux ist namentlich der Gesichtspunkt maßgebend, daß durch die außerordentlich große Verdünnbarkeit des Farbstoffes eine *beträchtliche* Verkleinerung des Tankvolumens für die konzentrierte Lösung möglich ist. Statt des heutigen Tanks von 1000 l Inhalt für das Salzverfahren genügt für die Färbemessungen ein solcher von nur 5 l; für die dem Bach zu entnehmenden Proben sind Flaschen von 100 cm^3 (Salz: 1000 cm^3) hinreichend. Mit andern Worten: Durch Verwendung von Farbe an Stelle von Salz wird vor allem eine wesentliche Reduktion der Transportkosten erreicht. Ein besonderer Vorteil liegt ferner darin, daß sich der ganze Vorgang vor unsern Augen abwickelt. Wichtig ist auch, daß die bedeutende Verringerung des Gewichtes den Transport der Meßgeräte von einer Stelle zur andern ermöglicht. Es können also mit ein und derselben Apparatur an verschiedenen Stellen eines Gewässernetzes Messungen ausgeführt werden.

Zur Abklärung der Genauigkeit dieses Verfahrens und seiner praktischen Verwendbarkeit sind reichliche Versuchsmessungen im Gelände selbst notwendig. Heute steht bereits fest, daß in der Farbverdünnungsmethode ein recht brauchbares und billiges Verfahren gefunden ist, das eine genaue und auch einfache Auswertung an Ort und Stelle zuläßt. Die praktische Anwendbarkeit dieser Methode ist recht vielseitig, ihr dürfte eine erfolgreiche Zukunft bevorstehen.

V. Fehlerquellen in der Messung des Abflusses.

Die Eigenart der Fehlerquellen im Abfluß ist grundverschieden von der des Niederschlages. Die Berechnung der mittleren Niederschlagshöhe eines Gebietes stützt sich vor allem auf die Ergebnisse einer ganzen Reihe über das Forschungsgebiet gleichmäßig verteilter Stationen; die Berechnung der mittleren Abflußhöhe dagegen meist nur auf *eine* Station. Zwingende Voraussetzung für eine einwandfreie Abflußstation ist vor allem, daß in ihrem Bereich weder ein Umströmen, noch ein Unterströmen des Wassers stattfindet. Grundbedingung für eine präzise Bestimmung

[1]) Die photoelektrische Meßeinrichtung zur Wassermengenmessung nach dem *Farbverdünnungsverfahren* besteht aus:

1. *Photozelle* und allen dazu gehörigen Nebenapparaten, wie Klemmen, Filter, opt. Sammelsystem, Beleuchtungsquellen, sowie Spiegelgalvanometer mit objektiver Ablesevorrichtung,
2. *Gleichstrom-Meßverstärker*, in feuchtigkeitssicherem Kasten eingebaut zur Vermeidung von Isolationsstörungen, mit Anodengitter- und Heizbatterie, sowie den dazu gehörigen Regulierwiderständen, zwei säuredichten, gekitteten Küvetten aus planparallelem Glas,
3. einem Auslaufgefäß für die Farblösung mit eingebautem Thermometer, Inhalt 5 l, Ausflußmenge 5 bis 10 cm^3/sec,
4. einer Eichvorrichtung mit den dazu nötigen Kubizierapparaten aus Glas mit amtlicher Eichung.

Dadurch, daß sowohl Photozelle als auch Gleichstromverstärker in Vakuum gesetzt bzw. durch ein Trockenmittel fortwährend getrocknet werden, sind mit der vorgesehenen Verstärkeranordnung außerordentlich zuverlässige Werte zu erwarten.

des Niederschlages ist ein *dichtes* Stationsnetz; unumgänglicher Vorbehalt für eine solche des Abflusses aber ist nicht nur die Erfassung der kleinen und mittleren Abflußmengen — sie bietet in der Regel keine Schwierigkeit —, sondern vor allem die der *Hochwasserfluten.* Die genaue Kenntnis dieser Art von Abflußmengen beherrscht in der Frage der Wasserbilanz eines Flußgebietes die Situation; gerade die Messung der großen und größten Wassermengen begegnet namentlich im Hochgebirge ganz besondern Schwierigkeiten. [1])

Eine weitere Unsicherheit ergibt sich für Stationen, deren Profil- und Gefällsverhältnisse durch Geschiebetransport und Geschiebeablagerung fortwährenden Aenderungen unterworfen sind. Ihre Beseitigung kann mit Erfolg nur durch eine den Verhältnissen entsprechende Vermehrung der Zahl der Einzelwassermessungen erzielt werden. Ueberfalleinrichtungen in Flüssen und Bächen mit Geschiebeführung sind, wenn immer möglich, vollständig zu vermeiden, denn sie führen meist zu Trugschlüssen, weil Aenderungen am Flußbett und am Gefälle auch verändernd auf die maßgebende Höhe des Wasserspiegels am Ueberfall einwirken. Vor dem Bau von Ueberfallmeßeinrichtungen in geschiebeführenden Bächen *kann deshalb nicht genug gewarnt werden!* Weitere Fehler sind dem Umstand zuzuschreiben, daß das Gebiet an Verlusten krankt, d. h. daß die oberflächlich zum Abfluß gelangende Wassermenge der Niederschlagsmenge des Gebietes nicht entspricht. Dieses Geschehen ist auf verschiedene Arten möglich. Ist die Sohle des Flußbettes durchlässig, so kann nur ein Teil des Wassers durch die Messung erfaßt werden. Ist das Gebiet geologisch nicht geschlossen, d. h. finden Zuläufe aus andern Gebieten oder Abläufe aus dem Gebiet in andere statt, so kann von einer Erfassung der Gesamtabflußmenge des Gebietes, die ihm vom Niederschlag zukommt, durch Messung nur in Ausnahmefällen die Rede sein. Dieser Frage muß deshalb schon vor Beginn der Untersuchungen besondere Sorgfalt gewidmet werden.

In einzelnen Fällen kann die Geschlossenheit des Gebietes nicht mit der wünschenswerten Sicherheit bestimmt werden. Setzen wir genaue Unterlagen für die Messung von Niederschlag und Abfluß voraus, dann vermögen Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung auch der Geologie wertvolle Dienste zu leisten, denn sie verschaffen ihr über die Frage der unterirdischen Wassergewinne oder Wasserverluste wertvolle Anhaltspunkte.

Auf die Genauigkeit der heute im Gebrauch stehenden Wassermeßmethoden soll in dieser Arbeit nicht näher eingetreten werden, es genügt, nochmals zu betonen, daß vor allem die zu wählende Methode der Eigenart des Forschungsgebietes und der Meßstelle angepaßt werden muß. Die große Zahl der erprobten Meßmethoden ermöglicht ein solches Vorgehen.

Eine weitere Schwäche fast aller bisherigen Forschungen liegt in der *ungenügenden Dauer der Untersuchungen.*

Es bleibt mir noch übrig, auf Fehlermöglichkeiten aufmerksam zu machen, die sich gelegentlich erst nach dem Bau von Wassermeßanlagen bemerkbar machen. Ihre Beseitigung muß nach Möglichkeit angestrebt werden. Sie beziehen sich vor

[1]) Wenn wir bedenken, daß im Hochgebirge ein einziges ekzessives Hochwasser zuweilen einen Fünftel bis Drittel der totalen Jahresabflußmenge ausmacht, so geht die Bedeutung einer zahlenmäßig genauen Erfassung gerade dieser Abflußmengen eindrucksvoll genug hervor.

allem auf den sprunghaften Wechsel der Fließart des Wassers, d. h. von strömendem Wasser (ruhiges Fließen) in schießendes (reißendes Fließen) und umgekehrt, im Bereiche der Limnigraphenanlage. Es sind dies Unregelmäßigkeiten bei gewissen Aenderungen in den Querschnittsgrößen des Bettes, die in den limnigraphischen Aufzeichnungen zum Ausdruck gelangen und deren Bedeutung oft unterschätzt wird. Es muß dafür gesorgt werden, daß das Bild der Wasserstandsbewegung und des Abflußmengenverlaufes ein vollständig harmonisches Ganzes bildet.[1]) Dies ist im Hochgebirge oft recht schwer zu erreichen.

Trotz aller Sorgfalt und Aufopferung, trotz bestem Willen und großen Kosten gelingt es nicht immer, eine Abflußstation so auszubauen, daß sie auch allen Anforderungen, die wir an eine solche Anlage stellen müssen, gerecht werden kann. Ich denke dabei namentlich an mein Sorgenkind, die Station *«Port Romulus» im Baye de Montreux-Gebiet* (vgl. Fig. 9, 10 u. 11). Ihr haben wir alle unsere Kräfte gewidmet![2])

Und dennoch sind wir nicht vollständig zum erhofften Ziel gelangt. Immer und immer wieder stellten sich neue Schwierigkeiten ein, deren Beseitigung uns so schwer wurde.[3]) Erst durch *Modellversuche in der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich* (Leiter Prof. Dr. *E. Meyer-Peter)* wurde es möglich, die noch bestehenden Mängel klar zu überblicken und durch Aenderungsversuche am Ursprungsmodell einwandfrei zu beseitigen. Ich bin heute fest überzeugt, daß der vorgesehene Umbau den gehegten Erwartungen entsprechen wird.[4]) *Uns standen leider solche Mittel nicht zur Verfügung. Ich gebe, was ich habe. Die Zukunft wird tiefer einzudringen und mehr zu leisten vermögen.*

Auf den großen Wert solcher Modellversuche möchte ich an dieser Stelle ganz besonders hinweisen.

VI. Schluß.

Aus dem vorstehenden geht klar genug hervor, daß den Messungen von Niederschlag und Abfluß ein gehöriges Maß von Ungenauigkeiten anhaftet, und es ist deshalb erste Pflicht des Forschers, solchen nachzugehen und sie auf ein Mindestmaß zu beschränken. Die Zahl der möglichen Fehler ist groß, sie verpflichtet den Forscher, in seinen Schlußfolgerungen *bescheiden* aufzutreten. Manche Unklarheit und Unsicher-

---

[1]) Ein Uebergang vom Strömen zum Schießen in unstetigen Bachbetten, wie sie in unserm Hochgebirge die Regel sind, stellt sich praktisch sehr oft ein.

[2]) An der Entwicklung und am Umbau der Station «Port Romulus» hat auch der *«Service des Eaux de Vevey-Montreux»*, insbesondere sein verdienstvoller Direktor Dipl.-Ingenieur *Charles Herter*, lebhaften Anteil genommen. Für seine wertvolle Mitarbeit und finanzielle Unterstützung sei ihm auch an dieser Stelle herzlich gedankt.

[3]) Namentlich der auftretende Wechsel in der Fließart des Wassers bei plötzlichen Aenderungen in den Querschnittsgrößen des Bachbettes (Uebergang vom Strömen zum Schießen, Wechselsprung) machte uns große Sorgen und ließ uns keine Ruhe.

[4]) Für die Ermittlung der Abflußmengenkurve der Station «Port Romulus» (Abflußmengen in Funktion der Pegelhöhe) ist vorgesehen, das Modell dieser Meßstation im Maßstab 1 : 20 hierfür zu verwerten. Die Schwierigkeiten, die sich einer Eichung dieser Station bis zu den *höchsten* Wassermengen in der Natur, infolge der isolierten Lage der Station, entgegenstellen, können auf diese Weise umgangen werden. Um die Grundlagen für den Modellbau zu schaffen, wurde die Stationsanlage und ein genügend großer Teil der Zuflußstrecke oberhalb der Station genau vermessen, indem 25 nach einer Längsachse orientierte Querprofile und ein Längenprofil aufgenommen, sowie zahlreiche Photoaufnahmen und Detailmessungen der Geschiebe gemacht wurden.

heit erfordern weitere Aufklärungen. Was sich als unsicher und unhaltbar erweist, muß beseitigt und durch bessere Grundlagen ersetzt werden. Theorie und Praxis sind zweierlei. Meist fehlt es an gesunden Unterlagen. Erst müssen solche beschafft werden. Lassen wir uns den Blick nicht durch schillernde, innerlich aber hohle Theorien trüben. Sie kommen einem Feuerwerk über einem See gleich. Wenn es einmal verprasselt ist, bleibt nichts von ihm übrig als ein paar leere Raketenhülsen, die auf dem Wasser schwimmen.

Wenn auch ein gewisser Ausgleich der jeder Untersuchung anhaftenden Fehler zweifellos stattfindet, verlangt die Aufstellung der Wasserbilanzen doch Umsicht und Vorsicht. Das Gebot der Stunde erfordert dies. Noch ist ein weiter Weg der Forschung zurückzulegen, bis die Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung so klargelegt sind, daß aus ihnen allgemeine Gesetze formuliert werden dürfen! Mit *Karl Fischer,* Berlin-Spandau [1]), *W. Wundt,* Freiburg i. Br. [2]) und *G. Troßbach,* Stuttgart [3]), gehe ich vollständig einig, wenn sie eindrücklich darauf hinweisen, daß für ihre dem Flachlande und dem Mittelgebirge zugehörigen Flußgebiete die bisherigen Ergebnisse immer noch als vorläufig zu betrachten sind. [4]) Um wieviel mehr gilt dies für unser vielgestaltiges Schweizer Hochgebirge! Wohl besitzen wir für eine bescheidene Zahl von Landschaften greifbare Werte, von einer Verallgemeinerung aber darf nicht gesprochen werden. Wie viele Konstruktionen mußten wir schon niederreißen, wie oft sie auf anderm Grund wieder aufbauen, um zu gesunderen Ergebnissen zu gelangen! Das Gerüst, das zum Bau des Werkes notwendig ist, darf erst weggenommen werden, wenn das Gebäude in seiner ganzen Form vollendet dasteht.

Gründliche und bleibende Kenntnisse sind nur auf dem Wege der Einzelforschung möglich und auch auf diesem Wege sind der Schwierigkeiten, die zu überwinden sind, noch fast zu viele.

---

[1]) *Fischer Karl:* Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Flußgebiete. Mitteilungen des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft e. V., Deutscher Wasserwirtschafts- und Wasserkraft-Verband, Nr. 40, Berlin-Halensee 1936.

[2]) *Wundt Walter:* Das Bild des Wasserkreislaufs auf Grund früherer und neuer Forschungen. Mitteilungen des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft e. V., usw., Nr. 44, Berlin-Halensee 1938.

[3]) *Troßbach G.:* Niederschlag und Abfluß in Württemberg und Hohenzollern. Mitteilungen des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft e. V., usw., Nr. 36, Berlin-Halensee 1935.

[4]) Wertvolle Beiträge zu den vorstehend behandelten Fragen aus Kreisen hervorragender amerikanischer Hydrologen finden sich im großangelegten, inhaltsschweren Werk von *Oscar E. Meinzer:* «Hydrology. Physics of the Earth» — IX, First Edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London 1942.

In Betracht fallen namentlich die Kapitel: II. *Niederschlag,* von *Merrill Bernard* (S. 32—55); IV. *Schnee und Eis,* von *James E. Church* (S. 83—148); V. *Gletscher,* von *François E. Matthes* (S. 149 bis 219), und VIII. *Transpiration und Totale Verdunstung,* von *Charles H. Lee* (S. 259—330).

3. KAPITEL.

Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß im allgemeinen.

Einleitung.

Der Wasserhaushalt der Erde darf nach unsern heutigen Kenntnissen als in sich geschlossen betrachtet werden, insofern nämlich die gesamte Menge des an der Oberfläche sichtbaren und in der Oberflächenschicht (Erdrinde) verborgenen, sowie des in der Luft und im Boden als Dampf und in Tröpfchenform enthaltenen Wassers die nämliche bleibt.

Wie bekannt, vollziehen sich ständige Umwandlungen. Die wichtigsten sind Verdunstung und Kondensation: jene liefert den Wasserdampf ständig nach, der mit den Winden weitergetragen wird, bis er sich schließlich wieder kondensiert und als Niederschlag zu Boden fällt.

Im Verhalten von Niederschlag und Abfluß nimmt das Hochgebirge eine Sonderstellung ein, der nachgegangen werden soll.

Allgemein läßt sich sagen, daß die Niederschläge aus *Landes*verdunstung mit zunehmender Höhenlage immer mehr gegen die aus *Meeres*zufuhr zurücktreten. Daran ändert am Gesamtergebnis auch dann nicht viel, wenn sich in einzelnen Gebirgstälern, deren Wände den Wasserdampf schwer entweichen lassen, ein besonders häufiger Wechsel zwischen Verdunstung und Niederschlag entwickeln kann. Solche Erscheinungen gehören zu den Sondereigenschaften bestimmter Gebiete. Je größer die Höhe über dem Meere und mit ihr im allgemeinen die Niederschlagshöhe der Flußgebiete wird, um so mehr verringert sich der verdunstende Bruchteil des Niederschlages. Größer als die Landesverdunstung selbst kann aber ihr Beitrag zum Niederschlag nie werden, und so folgt aus den Werten für die alpinen Flüsse, daß die Alpen noch weit größere Mengen fremder Wasserdampfzufuhr auffangen, als die Flußgebiete der Mittelgebirge. [1])

Allgemeines.

Beziehen wir das Verdunstungsproblem auf *ganze Hochgebirgslandschaften,* so ist die mittlere Jahresverdunstung durch den Unterschied zwischen Niederschlag und Abfluß gegeben, sofern wir die Bilanz nur auf den Erdboden beziehen und die Beträge für Rücklage und Aufbrauch früherer Rücklagen (im Hochgebirge kommt namentlich den Gletschern eine wichtige Rolle zu) ebenfalls in Betracht ziehen.

[1]) Vgl. *Keller H.:* Ursprung und Verbleib des Festland-Niederschlags. Jahrbuch für Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen, Bd. 2, Nr. 7. Berlin 1914, und

Hellmann G.: Untersuchungen über die jährliche Periode der Niederschläge in Europa. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Berlin, 1924, S. 122.

Voraussetzung hierfür ist, daß das in Untersuchung gezogene Gebiet *topographisch und geologisch als geschlossen betrachtet werden darf*, d. h., es müssen die oberirdischen Wasserscheiden mit den unterirdischen übereinstimmen und die Abflußmeßstation muß so eingerichtet sein, daß sie den ganzen Abfluß des Gebietes erfaßt.

Die *Landes*verdunstung ist vor allem scharf zu unterscheiden von der *klimatischen* Verdunstungskraft, der sog. potentiellen, möglichen Verdunstung (im Gegensatz zur wirklichen Verdunstung), wie sie etwa in der Verdunstung freier Wasserflächen zum Ausdruck kommt. Die klimatische Verdunstungskraft ist abhängig von den meteorologischen Elementen, namentlich vom Sättigungsfehlbetrag der Atmosphäre. Bei der Seeverdunstung ist Wasser zum Verdunsten in beinahe unveränderlichem Maße vorhanden. Bei der Landesverdunstung wechselt der Feuchtigkeitsgrad der Landflächen, ganz besonders im vielgestaltigen Hochgebirge, beständig, zuweilen, praktisch beurteilt, bis zur Austrocknung. Zwischen Temperatur, Sättigungsfehlbetrag usw. und Verdunstung besteht kein Abhängigkeitsverhältnis. Die Gebietsverdunstung kann deshalb nicht nach physikalisch-meteorologischen Formeln berechnet werden, weil sich in unserm Klima die Pflanzenwelt, der unbedingt ein Großteil an der Verdunstung zufällt, in feuchten und nicht zu kühlen Sommern reicher entfaltet als in trockenen und heißen.[1]) In feuchten Sommern arbeitet eine größere Verdunstungsfläche; viele Kombinationen sind möglich, was keine Verdunstungsformel zu berücksichtigen vermag. Die Schwankungen der meteorologischen Elemente von Jahr zu Jahr übertragen sich nur gedämpft auf die Gebietsverdunstung. Die entscheidende Ursache liegt unbedingt in der *Beschaffenheit* der Landschaften.

Betrachtet man die Wasserbilanz am Erdboden, so steht zweifellos fest, daß sich Einnahme und Ausgabe die Waage halten müssen, d. h. es muß der Niederschlag gleich dem Abfluß plus Verdunstung sein. Dies gilt natürlich nur für das Durchschnittsjahr im Sinne eines Mittels aus einer längern Reihe von Jahren, nicht aber für ein beliebiges Jahr und noch weniger für einzelne Jahreszeiten.

Die Klarstellung des Zusammenhanges zwischen Niederschlag und Abfluß gehört, wie ich des öftern wiederholt habe, zu den grundlegenden Aufgaben der modernen Gewässerkunde. Verwenden wir hierfür ein Koordinatensystem mit dem Niederschlag (N) als Abszisse und dem Abfluß (A) als Ordinate, so würde, bei nicht wirksamer Verdunstung (V) zu jedem Niederschlag ein gleich großer Abfluß gehören, d. h., die Abflußlinie würde von ihrem Ursprung aus unter 45° ansteigen. Bei geringem Niederschlag zehrt aber die Verdunstung den Niederschlag meist ganz auf oder es bleibt für den Abfluß nur wenig übrig. Steigt aber der Niederschlag, so nähert sich die Verdunstung langsam einem bestimmten Wert, der bei weiterer Steigung des Niederschlages nicht mehr überschritten wird. Die Verdunstung erhält dann, wie *Karl Fischer* sich ausdrückt, den Charakter einer Halbinvariante.[2]) Die Abflußkurve nimmt also zuerst einen nach der Abszissenachse gewölbten Verlauf und

[1]) Die Ursache der zeitweise *starken* Anteilnahme der Pflanzenwelt an der Verdunstung führt weniger von der Transpiration her; sie liegt viel mehr in der Oberflächenvergrößerung, die namentlich durch das vielfach gegliederte Vegetationskleid bedingt wird. Bei sehr häufiger Benetzung vermag die Verdunstung der Pflanzendecke sicher die einer Wasserfläche zu übertreffen.

[2]) *Fischer Karl:* Abflußverhältnis, Abflußvermögen und Verdunstung von Flußgebieten Mitteleuropas. Zentralblatt der Bauverwaltung, 45. Jahrg., Nr. 41, Berlin 1925; und

Niederschlag, Abfluß und Verdunstung des Weserquellgebietes. Jahrbuch für Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilg., Bd. 4, Nr. 3, Berlin 1925.

steigt später in weitgehender Annäherung zu einer geraden Linie unter 45° an. Für das Schweizer Hochgebirge mit seinen hohen Niederschlagswerten fällt nur der obere Teil, das gerade Teilstück dieser Kurve, in Betracht. In der Folge werden wir auch nur diesem Teil der Kurve unsere Aufmerksamkeit schenken. Niederschlag und Abfluß ändern sich also annähernd gleich stark. Die Streuung der Punkte um die Beziehungsgerade darf, wenn wir vorläufig von vergletscherten Gebieten absehen, als relativ bescheiden bezeichnet werden. Andere Verhältnisse treten ein, wenn das Forschungsgebiet *vergletschert* ist. In der Regel nimmt die Streuung der Extremwerte der Jahrespunkte um die Beziehungsgerade, mit zunehmender Vergletscherung zu. Die Ursache dieser Erscheinung ist vor allem eine Folge des ungleichen Wärmeeinflusses (ungleiche Abschmelzung oder Anhäufung von Schnee, Firn und Eis), der sich im Abfluß schon bei relativ bescheidenen Schwankungen bemerkbar macht und entsprechend der Größe der Vergletscherung des Gebietes kleinere oder größere Streuungen auslöst. Diese Streuungen erreichen natürlich in extremen Jahren ihre Höchstwerte. Die Verdunstung ist vor allem von der Temperatur abhängig, sofern Wasser zum Verdunsten vorhanden ist. Bei hoher Temperatur — gleicher Niederschlag vorausgesetzt — verdunstet mehr, bei niedriger — — weniger Wasser.

Die Abflußlinien der *warmen* Tropen biegen deshalb stark, die der *kalten* Alpenregionen nur schwach nach unten ab, wie dies *Walter Wundt* in seiner Arbeit [1]) so eindrucksvoll gezeigt hat. Was die Aenderung der Verdunstung (bzw. des Abflusses) bei stetem Wechsel der Temperatur betrifft, wurde ebenfalls von *Wundt* die Tatsache bewiesen, daß die Abflußlinien bei tiefen Temperaturen näher beieinander liegen als bei hohen, m. a. W., daß die Verdunstung rascher ansteigt als die Temperatur (vgl. *Wundt*sche Tafel 11).

Für unsere Forschungsgebiete im Hochgebirge haben wir absichtlich die aus Niederschlag und Abfluß erhaltenen Verdunstungswerte nicht mit den mittleren Temperaturwerten — ihre genaue Ermittlung ist heute mangels einer genügenden Zahl von Stationen einfach unmöglich — [2]), sondern mit den *mittleren Höhenlagen* der Untersuchungsgebiete in Zusammenhang gebracht. Für solche Beziehungen ist dieser Begriff wie geschaffen, denn er verkörpert gerade das, was wir in bescheidenem Maße von ihm verlangen. Nicht nur die Temperatur gelangt mit ihm zum Ausdruck, sondern auch die bedeutende Rolle, die der Sonnenkraft im Wärmehaushalt des Hochgebirges zukommt, insbesondere ihr Einfluß auf die Schmelzkraft (Ablation), Bodenwärme und Verdunstung. Ich habe mich hierüber andernorts eingehend ausgesprochen (vgl. Bd. II, III. Teil, Kap. 5, Abschn. 3, S. 128 u. ff.).

Ueber das Abflußverhältnis $\frac{A}{N}$ ist folgendes zu bemerken. Trotzdem *Karl Fischer* [3]) und *Walter Wundt* [1]) wiederholt und eindringlich seine Bedeutung klarge-

[1]) *Wundt Walter:* Niederschlag und Abfluß in Zusammenhang mit der Temperatur und der Lage der Trockengrenze. Petermanns Geogr. Mitteilg. 1937, Heft 4, 83. Jahrg. 1937, S. 72—110.

[2]) Auch *H. Gams* weist deutlich auf diesen Mangel hin: «Die jahreszeitliche Schwankung der Schattentemperatur kennen wir in den Alpen von zu wenigen Stationen und sie wird auch im Gebirge noch mehr als von der Kontinentalität von der örtlichen Lage in Tälern, an Hängen oder Gipfeln, beeinflußt.» (Gams H.: Das ozeanische Element in der Flora der Alpen. Jahrb. d. Ver. z. Schutz d. Alpenpflanzen, III, München 1931.)

[3]) *Fischer Karl:* Klassifikation der Flüsse nach dem Abflußkoeffizienten. Deutsche Wasserwirtschaft 1934, Heft 12, Stuttgart 1934.

stellt haben, herrscht da und dort immer noch die irrtümliche Auffassung, daß die Größe dieses Verhältnisses für ein bestimmtes Flußgebiet eine hydrographische Konstante darstelle, die bei wechselndem Niederschlag den Abfluß oder umgekehrt aus dem Abfluß den Niederschlag im voraus abschätzen lasse. Das ist nicht der Fall. Nicht dem Abflußkoeffizienten, sondern der *Landesverdunstung*, wenn auch in etwas eingeschränktem Maße, kommt im langjährigen Mittelwert der Charakter einer Halbinvariante zu. [1]) Hierüber lassen sich Beispiele genug anführen. Bemerkenswert dabei ist, daß für das Hochgebirge die Folgen einer solchen irrtümlichen Auffassung weniger ins Gewicht fallen, als für tiefere Gegenden. Raumeshalber dürfen wir nicht näher auf diesen Gegenstand eintreten.

In der Gleichung Niederschlag = Abfluß + Verdunstung (N = A + V) umfaßt das Glied «Verdunstung» die ganze aus dem Niederschlag hervorgehende Wassermenge, die, ohne durch die Flüsse außer Gebiet gebracht zu werden, vom Erdboden aus in die Atmosphäre zurückkehrt. In pflanzenbedeckten Gebieten geht das in die Atmosphäre zurückverdunstende Wasser zu einem Teil als *Transpirationswasser* durch die Pflanzen hindurch, anderes Wasser verdunstet unmittelbar von der Oberfläche der Pflanzen, vom Stein-, Erd- und Felsboden, von freien Wasserflächen aus, wieder anderes von den Schnee-, Firn- und Gletscherfeldern, usw. Die allgemeine Wasserverdunstung zerfällt also in eine Reihe ganz verschiedener Einzelvorgänge, die mit der Höhenlage und der Eigenart des Gebietes in Verbindung stehen. Ihrer Verteilung auf das Untersuchungsgebiet muß sorgfältig nachgegangen werden, namentlich im Hochgebirge, wo mit zunehmender Höhe auch die Vegetation im allgemeinen zurückgeht und ihre Art wechselt, die Temperatur abnimmt, Firn- und Gletscherfelder, Fels- und Schutthalden flächenmäßig zunehmen, die Reliefenergie wächst und die Geländegestalt ändert. Mit der Verdunstungsfrage muß natürlich auch der Kondensationsfrage nachgegangen werden. Maßgebend für den Vorgang der Verdunstung überhaupt, ist die Tatsache, daß der Uebergang des Wassers vom flüssigen in gasförmigen Aggregatzustand (Verdampfung, Verdunstung) mit Energieverbrauch in Form von Wärme verbunden ist. Selbstverständlich spielt sich dieser Prozeß in der Natur nur dann ab, wenn ihm der nötige Wasservorrat zur Verfügung steht. Diesem Moment kommt natürlich im Hochgebirge eine besondere Rolle zu.

Aus den vorstehenden Ueberlegungen lassen sich, auch wenn wir die Abnahme der Temperatur mit der Höhe nicht ins Treffen führen, manche Stützpunkte herausschälen, die für eine *Abnahme* der Verdunstung mit der Höhe sprechen.

Die Differenz $V = N - A$ hat auch eine *wirtschaftliche* Funktion. Sie dient nämlich großenteils zur Aufrechterhaltung der Vegetation und erfüllt somit in den meisten Fällen wichtige, kulturelle Zwecke. Dies gilt auch für das Hochgebirge, wenn auch im Vergleich zum Mittelland in etwas eingeschränkterem Maße. Es liegt also meist nicht im Interesse der Volkswirtschaft, den natürlichen Abfluß einer Land-

[1]) Bei gleichen klimatischen Verhältnissen ändert sich die Landesverdunstung von Gebiet zu Gebiet trotz den verschiedensten Einflüssen nur wenig, im Gegensatz zum Niederschlag und Abfluß: in Mitteleuropa (ohne Hochgebirge) nur etwa zwischen 300 und 600 mm/Jahr; sie steigert sich bis über 1000 mm/Jahr gegen die Tropen zu und sinkt in den Polargegenden auf kleine Beträge. In Mitteleuropa nimmt das Hochgebirge, ähnlich den polaren Gebieten, eine besondere Stellung ein; mit abnehmender Temperatur, d. h. zunehmender Höhenlage, nimmt die Verdunstung ab, sie wird kleiner als 300 mm.

schaft auf Kosten der Verdunstung zu steigern. Im Gegenteil; dabei denke ich, um nur ein Beispiel anzuführen, an die große Bedeutung, die den Bewässerungskanälen im Walliser Rhonegebiet, den sogenannten «Wasserfuhren» (Bisses), für Land und Volk zukommt. Das Wasser für diese Kanäle wird fast ohne Ausnahme den wilden und im Sommer trüben Seitenbächen der Rhone (meist Gletscherwässern) entnommen. Die Entnahme erfolgt auf Kosten des Abflusses, d. h. *zugunsten der Verdunstung,* so daß das Wasser über Wiesen und Felder verteilt und, unterstützt durch seinen befruchtenden Gehalt an Schlamm und feinem Sand, zur Aufrechterhaltung und Entfaltung der Vegetation dient und damit der Landwirtschaft hervorragende Dienste leistet. Das Wallis ist die einzige Gegend der Schweiz, wo die Rebe nur durch Bewässerung gedeiht. Die Kanäle reichen teilweise bis nahe an die Gletscherzungen heran; nur in solch großen Höhen, d. h. in den obern Alpenregionen, ist im Hochsommer mit voller Sicherheit auf das belebende Element zu rechnen, weil die Gletscher auch in Zeiten großer und größter Trockenheit Schmelzwasser spenden.

Auf die klassischen Bezugslinien für Mitteleuropa und für das Festland der Erde von *H. Keller* [1]), sowie auf die neueren grundlegenden Untersuchungen von *W. Wundt* [2]), in denen der Zusammenhang zwischen Niederschlag, Abfluß, Landesverdunstung und Mitteltemperatur für 200 Flußgebiete der *verschiedensten* Klimagebiete geprüft wurde, darf raumeshalber nur soweit eingetreten werden, als es die Arbeit selbst verlangt. Damit soll die große Bedeutung dieser Bezugslinien in keiner Weise geschmälert werden. Diese Bezugslinien erhalten aber erst dann ihren vollen Wert, wenn die ihnen zugrunde gelegten Größen für Niederschlag (N), Abfluß (A), Landesverdunstung (V) und Temperatur (T) eine höhere Genauigkeit erreicht haben. Erst dann wird der Gewässerkundige mit ihrer Hilfe für ein bestimmtes Gebiet aus dem mittleren Niederschlag und der mittleren Lufttemperatur den zugehörigen Abfluß oder aus dem Abfluß und der Temperatur den zugehörigen Niederschlag mit hinreichender Genauigkeit abzuleiten vermögen; erst dann wird er neue Niederschlags- und Abflußwerte auf ihre Richtigkeit zu prüfen vermögen und erst dann unbekannte Sondereigenschaften aufdecken können. Es scheint mir in vielen Fällen ein gewagtes Unternehmen zu sein, heute schon weitgehende Folgerungen aus diesen Bezugslinien zu ziehen, denn die für solche Deutungen erforderliche genaue Ermittlung der drei Bilanzposten der Wasserhaushaltsgleichung N, A und V, wie auch der mittleren Temperatur bereitet viel größere Schwierigkeiten, als oft sogar von Fachleuten angenommen wird.

Abfluß und Verdunstung eines Gebietes hängen aber, wie wir gesehen haben, nicht nur von der Größe des Niederschlages und der mittleren Höhenlage (Temperatur) der Forschungsbezirke, sondern noch von einer ganzen Reihe anderer Faktoren ab. Es hat dies zur Folge, daß die den Bezirken von bestimmter Höhenlage entsprechenden Punkte im Koordinatensystem ungleich um die *Mittellinie,* die das Durchschnittsverhalten darstellt, streuen. Die Größe der senkrechten Abweichung

---

[1]) *Keller H.:* Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands; Besondere Mitteilg., Bd. 1, Nr. 4, Berlin 1906; und

Keller H.: Ursprung und Verbleib des Festlandniederschlages. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands, Besondere Mitteilg., Bd. 2, Nr. 7, Berlin 1914.

[2]) *Wundt W.:* Beziehungen zwischen den Mittelwerten von Niederschlag, Abfluß, Verdunstung und Lufttemperatur für die Landflächen der Erde. Deutsche Wasserwirtschaft 32, 1937, S. 82—88, 104—110.

eines Punktes von dieser Mittellinie gibt uns über die Bedeutung der noch hinzutretenden Sondereigenschaften des Gebietes Auskunft. Solche Sondereigenschaften (Abweichungen vom Durchschnittsverhalten) können klimatischer, geologischer, orographischer und kultureller Natur sein. Für das Hochgebirge fallen in Betracht:

A. Sondereigenschaften klimatischer Natur.

Extreme Lage des Gebietes zu Sonne und Wind. Anormale Frequenz oder Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten: von schwachen Niederschlägen verdunstet prozentisch in der Regel mehr als von starken. Viele und gut verteilte Niederschläge in der warmen Jahreszeit sind der Verdunstung mehr ausgesetzt, als wenige und lokal starke. Extreme Windverhältnisse: feuchte und besonders kühle Luft steigert den Abfluß, weil sie die Verdunstung hemmt, während trockene und warme Luft die gegenteilige Wirkung auf Abfluß und Verdunstung ausüben. Windgeschützte Gebiete ergeben in der Regel kleinere Verdunstungswerte. Die Sondereigenschaften richten sich also nach der Luftdruckverteilung im allgemeinen und der Lage des Gebietes zu den Windrichtungen und zu seiner Höhengliederung im besondern. Sie hängen davon ab, in welchem Maße der aus andern Gebieten durch den Wind vertriebene Wasserdampf das Gebiet bereichert, und in welcher Größe der verdunstete Wasserdampf nicht im Gebiet selbst wieder niedergeschlagen, sondern ihm bei austrocknenden Luftströmungen geraubt wird. Findet die Kondensation *im* Gebiet statt, dann bewirkt die Verdunstung keinen Verlust, sondern nur eine Verzögerung des Abflusses. Verursacht aber die Verdunstung einen Entzug von Wasserdampf durch den Wind, dann trägt sie zu *wirklichen* Verlusten bei.

B. Sondereigenschaften geologisch-orographischer Natur.

Durchlässiger Boden (Schutt- und Steinhalden über dem Muttergestein) vermindert meist die Verdunstung, denn das Regen- und Schmelzwasser vermag leicht und rasch abwärts zu sickern, wodurch es sich wenigstens teilweise der Verdunstung zu entziehen vermag. Dabei spielt natürlich auch die Zusammensetzung des Bodens, sowie Körnung und Lagerung eine wichtige Rolle. Die Milderung des Abflusses ist von Fall zu Fall sehr verschieden. Mit wachsender Schuttüberlagerung des Felsgrundes wird der Abfluß des Gebietes ausgeglichener und die Verdunstungsmöglichkeit beschränkter. Ist das Gelände steil und arm an Schutthalden, dann vermag das Regen- und Schmelzwasser rasch abzufließen. Auch in diesem Falle tritt eine durchschnittlich geringere Verdunstung ein. Das gleiche gilt für Karstlandschaften. Der meist durchlässige Boden verschluckt das Wasser rasch, so daß es der normalen Verdunstung teilweise entzogen wird.

Ueberdurchschnittliche Verdunstung tritt namentlich in flachem, undurchlässigem Gelände ein, wo Regen- und Schmelzwasser schwer oder gar nicht in den Boden einzutreten vermögen.

Reichtum oder Armut an offenen Speicherflächen (Seen, Sümpfe, «Gletscher») kann, namentlich wenn das Gebiet sich in diesem oder jenem Sinne anormal verhält, die Verdunstung fördern. So sind z. B. breite und gefällsarme Gletscher, wie der

Große Aletschgletscher, im Sommer der Verdunstung mehr ausgesetzt, als schmale und gefällsreiche, wie der Fieschergletscher, weil letztere in der Regel ein viel kleineres Retentionsvermögen besitzen (reichlichere Zerklüftung). Ihr Abflußvermögen ist deswegen wesentlich größer. Es kann aber auch der Fall eintreten, daß ein Gebiet durch Uebergang eines Teiles des versickernden Wassers in ein anderes Flußgebiet größere Verluste erleidet, oder umgekehrt durch Zuführung von gebietsfremdem Wasser bereichert wird. In solchen Fällen treten ganz spezielle Verhältnisse ein, die namentlich in geologischer Beziehung eine besondere Untersuchung erfordern. Die Lage des Punktes zur Beziehungsgeraden vermag also wertvolle Auskunft über die Durchlässigkeit des Gebietes zu geben; sie bietet Gewähr, ob das Gebiet, hydrologisch betrachtet, ein geschlossenes oder an Verlusten krankes ist oder ob ihm gebietsfremdes Wasser zufließt. Die Kenntnis der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung ermöglicht also auch in quantitativer Richtung, den Wasserverlusten auf unterirdischem Wege, sowie der Wasserdurchlässigkeit bestimmter geologischer Formationen oder Gruppen solcher, nach Beschaffenheit und Struktur näherzutreten.

Abweichungen vom Durchschnittsverhalten können aber auch dadurch entstehen, daß dem Forschungsgebiet auf *künstlichem* Wege Wasser entnommen oder zugeführt wird. Auch dieser Frage muß heute peinlich genau nachgegangen werden. Als Beispiel erwähne ich nur die Wasserverluste des Flüelabaches in der Davoser Landschaft, die in der Winterperiode 1930/31 mehr als 50 % der natürlichen Abflußmengen ausmachten (vgl. Bd. II, III. Teil, Kap. 6, Abschn. 2, III., B., S. 246 u. ff.).

In Betracht fallen ferner: Farbe und Bedeckung des Bodens, sowie dessen Durchlässigkeit und Lagerung usw.

Zusammenfassend möchte ich folgendes besonders hervorheben: Bei der Gleichung $V = N - A$ hat zweifellos die Verdunstung V die Schlüsselstellung inne, da sich ihre Größe bei gleichen klimatischen Bedingungen, trotz den großen Unterschieden von Gebiet zu Gebiet, im Mittelwert nur wenig ändert.

In zweiter Linie kommt die lineare Abnahme von V mit der Höhe in Betracht. Sie steht a) mit der *Abnahme* der mittleren Temperatur, der Fläche der Vegetationsdecke, der Dauer der Vegetationsperiode, und b) mit der *Zunahme* der Vergletscherung und der Reliefenergie der Gebiete in direktem Zusammenhang.

Bei spätern Untersuchungen wird sich wohl eine Differenzierung in der Weise ergeben, daß Gebiete mit mehr bewachsenen Flächen höhere Verdunstungswerte liefern als solche mit wenigen. Genügt einmal die Zahl der Untersuchungen, dann werden sich Unterschiede einstellen bei der Trennung der Gebiete in gefällsarme und gefällsreiche, in durchlässige und undurchlässige, in gletscherarme und gletscherreiche, in niederschlagsarme und niederschlagsreiche, in windarme und windreiche, usw. Das Maß der Streuung um die Mittellinie im Koordinatensystem wird hierüber manchen wertvollen Aufschluß geben.

In den folgenden Untersuchungen über den Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges handelt es sich um gewässerkundliche Betrachtungen nach zwei Richtungen hin:

1. um Vergleiche *zeitlicher* Art, d. h. um die Kenntnis der Schwankung der einzelnen Faktoren des Wasserhaushaltes *in ein und demselben Forschungsgebiet;*
2. um Vergleiche *räumlicher* Art, d. h. um die Erforschung der Unterschiede *von Forschungsgebiet zu Forschungsgebiet* und um die Zusammenhänge zwischen den vieljährigen Mittelwerten des Niederschlages, des Abflusses und der Verdunstung dieser Forschungsgebiete.

Das eigentliche Ziel der vorliegenden Untersuchungen, das ich vor Augen habe, soll aber sein, *die in Untersuchung gezogenen Hochgebirgslandschaften einzeln zu charakterisieren und sie sodann in Vergleich zueinander zu bringen, um auf diese Weise die gewässerkundlichen Sondereigenschaften unseres Schweizer Hochgebirges kennenzulernen und soweit möglich klarzulegen.*

Ausgehend von der Erwägung, daß für eine, wenn auch bescheidene Zahl von charakteristischen Landschaften der Schweizer Alpen, *verläßliche* Verdunstungsergebnisse vorliegen, habe ich erstmals im Jahre 1932 den Versuch gemacht, diese in Beziehung zur *mittleren Höhenlage der Gebiete* [1]) zu bringen. [2]) Verwendet man hierzu ein Koordinatensystem, in dem für die einzelnen Bezirke als Abszisse die Verdunstungswerte in Millimeter, als Ordinate die mittlere Höhenlage in Meter über Meer eingetragen sind, so ergibt sich als Hauptresultat die gewichtige Tatsache, daß die *Verdunstung mit zunehmender mittlerer Höhenlage der Landschaft abnimmt. Es ist dies ein Ergebnis, das mit den bisherigen Verdunstungsmessungen auf den Seen, am Fuße der Alpen und in hochalpiner Lage harmoniert,* trotzdem — und dies sei hier besonders hervorgehoben — die Begriffe: *Seenverdunstung* (Verdunstung freier Wasserflächen) und *Verdunstung ganzer Landschaften* scharf voneinander zu trennen sind. Es genügt an dieser Stelle, auf die wesentlichsten Unterschiede dieser beiden Begriffe hinzuweisen: ungleicher Wassergehalt des Bodens im Laufe der Jahreszeiten und Jahre, ungleiche Wasserhaltefähigkeit des Bodens im allgemeinen, Verarmung des Bodens an Feuchtigkeit durch Oberflächenverdunstung und durch Transpiration während der Vegetationsperiode usw.

Bemerkenswert ist ferner, daß sich die bisherigen, *mittleren* Landesverdunstungswerte nur in bescheidenem Maße um die Eigenart der Bezirke zu kümmern scheinen. Die Ursache dieser Erscheinung ist vor allem dem *ausgleichenden* Charakter der Mittelwerte zuzuschreiben. Folgende Faktoren, die ausgleichend auf die Mittelwerte der Landesverdunstung einwirken, sollen hier noch besonders erwähnt werden.

In warmen und trockenen Jahren ist die Verdunstungskraft größer, der verfügbare Wasservorrat aber in der Regel kleiner als in kühlen und nassen. Soweit der Verdunstungsapparat durch die Gesamtheit der Pflanzen gebildet wird, bleibt er in trockenen Jahren zwar kleiner als in feuchten. Die Pflanzen können sich aber nur bis zu einem gewissen Grade gegen eine übermäßige Verdunstung wehren. Solange noch ein genügender Wasservorrat im Boden und in den Pflanzen vorhanden

[1]) Um den Schwierigkeiten zu begegnen, die einer genauen Ermittlung der mittleren Temperatur einer Hochgebirgslandschaft meist begegnen — in der Regel reicht das bestehende Stationsnetz nicht aus, um der Eigenart der Landschaft gerecht zu werden —, habe ich an ihre Stelle die mittlere Höhe des Gebietes (m ü. M.) eingesetzt. Sie hat für Zusammenhänge von Wärme und Verdunstung noch den Vorteil, daß mit ihr auch der Strahlungseffekt zum Ausdruck gelangt.

[2]) *Lütschg O.:* Zur Hydrologie des Hochgebirges der Schweizer Alpen. Verhandlg. der Schweiz. Naturforsch. Gesellsch. 1932, II. Teil, S. 263—281, Bern 1933.

ist, verbrauchen sie bei trockenem und warmem Wetter viel Wasser, und erst wenn bei beiden der Vorrat im Boden knapp wird, läßt ihre Verdunstung nach. Bei der Pflanzenverdunstung wirken also zwei Vorgänge einander entgegen: mit einer geringeren Entfaltung des Gesamtapparates ist eine zunächst stärkere Verdunstung der Masseneinheit verbunden, mit einer durch feuchtes Wetter begünstigten reicheren Entfaltung, dagegen, — eine schwächere Einheitsverdunstung. Selbstverständlich steht das Maß dieses Ausgleichs mit der Eigenart des Gebietes (Vegetation inbegriffen) in enger Beziehung.

Auf einen Umstand, der für die relative Unveränderlichkeit der Landesverdunstung spricht, soll an dieser Stelle noch kurz aufmerksam gemacht werden. Er betrifft die Rolle, die die Wurzeln und Stämme für die Transpiration der Pflanzen, wenigstens unter bestimmten Verhältnissen, einnehmen. In *trockenen* Jahren greift die *Vegetation* die Grundwasservorräte energisch an — sie arbeitet sogar auf Vorrat —, die Gesamtverdunstung bleibt aber meist noch hinter dem langjährigen Durchschnitt zurück. In *feuchten* Jahren ist dies nicht der Fall, die Pflanzendecke läßt im Gegenteil oft dem Grundwasser etwas von dem Ueberschuß des Niederschlages zukommen. Daraus darf, wenn auch nur teilweise und beschränkt, der Schluß gezogen werden, daß sich die Extreme des Niederschlages infolge des Einflusses der Vegetation in der Verdunstung nur abgeschwächt widerspiegeln. Niedrige Werte aus Regionen mit tiefliegendem Grundwasser vermögen sich mit hohen Werten anderer Gegenden zu einem Mittelwert auszugleichen. Dies trifft namentlich für große, weite Gebiete zu. [1]) Je größer das Forschungsgebiet, desto größer ist in der Regel auch sein Ausgleichsvermögen. In nach Gestalt, Boden und Vegetation monotonen, d. h. wenig wechselnden Landschaften — meist handelt es sich dabei nur um kleinere Bezirke oder um Gebiete, die für besondere Untersuchungen ausgesucht wurden, wie z. B. die forstlichen Studien im Sperbel- und Rappengraben im Emmental [2]) — vollzieht sich natürlich ein Ausgleich nur in beschränktem Maße. Es hat dies zur Folge, daß ihre Punkte im Koordinatennetz wesentlich mehr um die Mittellinie streuen, ja sich sogar überhaupt nicht mehr um sie zu kümmern scheinen (sic!).

Eine besondere Bedeutung kommt natürlich den Seen und den Sumpfgebieten zu, wenn auch ihr prozentischer Anteil an der Gesamtfläche der Hochgebirgsgebiete in der Regel bescheiden ist. [3]) Ihre Verdunstung ist in warmen und trockenen Jahren am stärksten, wogegen der Landesverdunstung in solchen Perioden meist kleine Werte zufallen. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse kürzerer Zeitspannen (Einzeljahre): das Ausmaß der Auswirkung jedes einzelnen Faktors kann von Fall zu Fall sehr verschieden sein, m. a. W., die Werte der Landesverdunstung für kürzere Zeiträume sind unter sich *erheblichen* Schwankungen unterworfen.

---

[1]) Vgl. *Wundt W.*: Pflanzenbedeckung und Wasserkreislauf. Der Kulturtechniker, 42. Jahrg., Heft Nr. 7 und 8, Berlin 1939.

[2]) *Burger Hans:* Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1915/16 bis 1926/27. Mitteilg. d. Eidg. Anstalt für das forstl. Versuchswesen, XVIII. Bd., 2. Heft, Zürich 1934. In einem besondern Abschnitt des II. Teiles des Werkes (III. Band) werde ich den Ergebnissen dieser Untersuchungen nähertreten.

[3]) Es gibt im Hochgebirge Böden — ich denke dabei namentlich an Rundhöckerlandschaften, wo sich in den rings umschlossenen Vertiefungen (Hohlformen) des Felsbodens das abfließende Regen- oder Schmelzwasser sammelt und diese vorübergehend zu kleinen Regen- oder Schmelzwasserseen machen —, wo die mögliche, die potentielle Verdunstung besonders im ersten Teil einer Trockenperiode sehr hohe Werte zu erreichen vermag.

Zu weitergehenden Schlußfolgerungen reichten damals die Reihe der Sonderstudien und die Dauer der Untersuchungsjahre nicht aus, weshalb ich von einer ausführlichen Diskussion dieser Ergebnisse absah.

Der nächste Schritt zur genaueren Bestimmung und Sicherstellung der Lage der Relationskurve ergab sich von selbst: a) Es sind die bereits begonnenen Studien so lange fortzusetzen, bis langjährige und einwandfreie *Mittelwerte* vorliegen. b) Es sind weitere Untersuchungen für kurze Zeitspannen auszuführen, und zwar auf experimentellem Wege (direkte Ermittlung der Vorratsschwankungen in unsern Forschungsgebieten) in verschieden vergletscherten, orographisch, bodenkundlich und botanisch ungleichen Gebieten. c) Es sind neue Gebiete zu erschließen.

Soweit möglich sind nun seit 1932 solche Schritte unternommen worden. Bevor ich im einzelnen darauf eingehe, sollen erst der Verdunstungskraft des Hochgebirges im allgemeinen einige Worte gewidmet werden.

Da muß vor allem auf die unerhörte Vielgestaltigkeit des Hochgebirges hingewiesen werden. Ihre Charakterisierung ist nur durch Bewertung aller Sondereigenschaften möglich. Erst auf der Synthese so gewonnener Ergebnisse darf dann der Versuch gemacht werden, allgemeine Resultate aufzubauen. Wir dürfen uns also bei der Behandlung der einzelnen Landschaften nicht auf allgemeine Schilderungen beschränken, sondern müssen auf Einzelheiten eintreten, wenn wir zu einem Verständnis der großen Fragen gelangen wollen, die sich an die Geschichte der Natur knüpfen.

Als ich seinerzeit mit den Hauptergebnissen meiner damaligen Studien vor die Oeffentlichkeit trat, vor allem mit dem Resultat, daß *die Gebietsverdunstung mit zunehmender mittlerer Höhenlage der Landschaft abnehme,* stieß ich in gewissen Fachkreisen auf einen nicht geringen Widerstand. Die Ansicht, die austrocknenden Kräfte des Hochgebirges seien allgemein denen des Mittel- und Tieflandes stark überlegen, ist heute noch, selbst in Fachkreisen, so stark verbreitet, daß es ganz gesunder Grundlagen bedurfte, um wenigstens eine Einschränkung dieser These zu erzielen. Der weitverbreitete Gedanke, die Verdunstung im Hochgebirge sei sehr groß, stützt sich vor allem darauf, daß die Verdunstungskraft der Atmosphäre in großen Höhen wegen des verminderten Luftdruckes und der stärkeren Luftbewegung, eine größere sein müsse als im Mittelland. «Selbst bei der gleichen relativen Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Windstärke ist doch infolge des *verminderten Luftdruckes* die Verdunstung eine viel stärkere», schreibt *C. Schröter* in seinem Pflanzenleben der Alpen (S. 99). Dabei wird aber vergessen, oder unterschätzt, daß abnehmende Temperatur diesen Effekt zum mindesten teilweise ausgleicht, da ja, wie bekannt, die Temperatur sich auch auf den Dampfdruck auswirkt, und zwar um so mehr, als dieser sich im allgemeinen nicht allzuweit vom Sättigungsdruck entfernen dürfte, wobei es sich um die mittelbare Umgebung der verdunstenden oder kondensierenden Oberfläche handelt. *Schröter* stützt sich hierbei namentlich auf *Hann.* [1])

[1]) Ich zitiere hier noch den Brief von *Schröter* an *Maurer* vom 30. Januar 1925 auf unsere Schrift, *Maurer J.* und *Lütschg O.*: «Einige Ergebnisse über die Verdunstungsgröße freier Wasserflächen im schweizerischen Hochgebirge». Annalen d. Schweiz. Meteorol. Zentralanstalt 1923. 60. Jahrg., Zürich 1924.

«Auf die Temperatur führst Du ja auch die *geringere* Verdunstung der *hoch*gelegenen Seen zurück: das ist mir biologisch ein sehr unwillkommenes Resultat, das mit der biologisch ja zweifellos nachgewiesenen starken Verdunstungskraft der Höhenluft nicht stimmt. Nun: die Pflanzen erwärmen sich ja an der Sonne viel stärker als das Wasser der kleinen Seen und verdunsten deshalb wohl auch stärker.»

Eine andere Stellung nimmt *G. Huber* [1]) ein. Seine bisherigen Studien und Erfahrungen deuten mit großer Wahrscheinlichkeit darauf hin, daß die Verdunstung im Hochgebirge im allgemeinen und in der Summe *kleiner* ist als in Tieflagen. Daß im Hochgebirge Extremwerte vorkommen, die solchen in trockenen Tallagen gleichkommen, ja solche sogar übertreffen, bezweifelt der erfahrene Forscher nicht. Lokale Ursachen beeinflussen oft in hohem Maße die meteorologischen Faktoren.

Wir müssen wohl unterscheiden, ob es sich in der vorliegenden Frage um Jahresmittel-, Jahres-, Monats-, Tages-, Stunden- oder sogar um Extremwerte handelt, und ob es örtlich begrenzte Flächen oder ganze Gebiete betrifft. Klima, Vegetation, Bodenart, Bodenzustand usw. spielen eine große Rolle. In unserm Fall handelt es sich um den Vergleich von *mittleren* Verdunstungswerten *ganzer* Gebirgslandschaften in verschiedener mittlerer Höhenlage, bezogen auf *längere* Zeiträume (Jahre und Jahresreihen) und nicht etwa um die Verdunstung von freien Wasserflächen oder bestimmter Pflanzenassoziationen.

Im weitern ist zu berücksichtigen, daß mit zunehmender Höhe in der Regel auch die Ausdehnung der Gletscherflächen wächst und die Dauer der winterlichen Schneebedeckung zunimmt. Das sind zwei wichtige Faktoren, die für abnehmende Verdunstung mit zunehmender Höhe sprechen. Nicht minder wichtig ist aber die Abnahme der Vegetationsfläche, der Wechsel der Vegetationsart mit der Höhe und die Abnahme der Vegetationsdauer überhaupt.

V. Conrad [2]) zieht zu einer qualitativen Beantwortung der Frage, ob die Verdunstung mit der Erhebung im Gebirge, hauptsächlich in Gebirgstälern, *zu-* oder *ab*nimmt, die *Wagner*sche Verdunstungsformel heran [3]), und kommt dabei zum Schluß, daß die Formel, soweit sie prinzipiell anwendbar ist — was kaum bezweifelt werden kann —, unter plausiblen Voraussetzungen mit zunehmender Höhenlage zu Verdunstungs*abnahmen* führt. Dabei setzt allerdings *Conrad* unten wie oben *gleiche* Windgeschwindigkeitsverhältnisse voraus. Dies trifft natürlich in keiner Hochgebirgslandschaft zu und gerade dieser Umstand erschwert die zahlenmäßige Erfassung des Windfaktors außerordentlich, so daß bis auf den heutigen Tag das Windproblem nach vielen Seiten hin noch ungelöst geblieben ist.

Solange es sich also um die Abhängigkeit der Verdunstung vom Druck, von der absoluten Temperatur, vom Dampfdruck und vom Wind handelt, kann man nach diesen, wenn auch noch nicht zureichenden theoretischen Ueberlegungen, wie *Conrad* richtig folgert, von einer überragenden Verdunstungskraft des Hochgebirges *allgemein* nicht sprechen. Es wird überhaupt noch sehr lange dauern, bis wir zu allgemein gültigen Schlußfolgerungen in der Verdunstungsfrage gelangen werden [4]), denn der allzu stark ausgeprägte, individuelle Charakter jedes einzelnen Forschungsgebietes setzt solchen Folgerungen beinahe unüberwindliche Schranken.

Noch verwickelter wird die Verdunstungsfrage, wenn wir den Faktor *Strahlung* in Rechnung stellen. Aus der Stärke der Strahlung auf die Höchstmaße der Ver-

---

[1]) *Huber G.:* Die Beurteilung des Wasserhaushaltes der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. 64, 1924.

[2]) *Conrad V.:* Die Evaporationskraft des Hochgebirges. Zeitschr. f. angewandte Meteorologie: Das Wetter, 53. Jahrg., Heft 4, April 1936, Leipzig 1936, S. 111—115.

[3]) *Wagner A.:* Zur Frage der Verdunstung. Gerl. Beitr. d. Geophys. 34 (1931), S. 101.

[4]) Hierzu sind nicht nur langjährige Mittelwerte, sondern auch Werte für kürzere Zeiträume (Jahre, Monate) notwendig.

dunstung im Hochgebirge zu schließen, ist ein Problem, an das ich mich einstweilen nicht herangewagt habe.

Als weiterer Faktor, der unbedingt vermehrte Aufmerksamkeit verdient, fällt der elektrische Einfluß in Betracht (elektromotorische Kraft, atmosphärische Leitfähigkeit).[1])

Wohl die überraschendste Eigentümlichkeit, die uns das Studium der Verdunstungsfrage bisher gebracht hat, ist die geringe Schwankungsgröße der *langjährigen* Mittelwerte von Gebiet zu Gebiet. Die Ursache dieses bedeutsamen Verhaltens — wohlverstanden, es zeigt sich nur in den *langjährigen* Mittelwerten — dürfte vor allem eine Folge der *Mannigfaltigkeit der Erscheinungen (Faktoren) sein, die auf das Maß der Verdunstung in positivem wie negativem Sinne einzuwirken vermögen.* Die Verdunstung erweist sich demnach als *Resultierende verschiedener, gleich- und entgegenwirkender Kräfte, die in Wechselbeziehung von Zeit und Raum einander vielgestaltig beeinflussen.* Wenn wir erwägen, daß es sich bei ihrer Ermittlung nur um Mittelwerte handelt, hervorgegangen aus Ergebnissen einer ganzen Reihe von Jahren, so ist eine solche Auslegung viel leichter zu verstehen. Für das Hochgebirge erhält sie ihre volle Gültigkeit erst dann, wenn eine wesentlich größere Zahl von Ergebnissen aus topographisch-geologisch geschlossenen Gebieten vorliegt, die auf wirklich ganz einwandfreien Grundlagen aufgebaut werden konnten. Dann wird es aber auch möglich werden, aus der mittleren Abflußmenge umgekehrt die wahre mittlere Niederschlagsmenge eines Gebietes zu bestimmen (vgl. Band 2, Kap. 5, Abschn. 5, S. 142 u. ff.).

Es ist klar und bedarf keiner weitern Begründung, daß bei allgemein gleichbleibenden klimatischen Verhältnissen die hydrologisch-meteorologischen Bedingungen, mögen sie auch für verschiedene Bezirke ein und desselben Gewässers verschieden sein, in ihrem Wesen gleich bleiben. Die Veränderungen dieser Eigenarten von Jahr zu Jahr, seien sie nun groß oder klein, kommen aus bestimmten, für jedes Forschungsgebiet bekannten Grenzen nicht heraus. Diese Grenzen, bestimmend für die Größe der jährlichen Verdunstung, wie auch für längere Perioden, sind gebunden an die klimatischen, geomorphologischen, boden- und pflanzenkundlichen Bedingungen, die die einzelnen Landschaften charakterisieren, wobei der Einwirkungs*dauer* bestimmter meteorologischer, geomorphologischer und noch anderer Faktoren *große* Bedeutung zufällt. Bei der Entfaltung der Verdunstung darf nicht vergessen werden, daß ihre Größe sehr von der Verteilung der Niederschläge abhängt. Wo die Niederschläge gleichmäßig verteilt auftreten, sind die Ausmaße der Verdunstung auch bei gleicher Niederschlagshöhe in der Regel größer. Wo während des ganzen Jahres, oder zu bestimmten Jahreszeiten eine besondere Armut an Niederschlägen herrscht, sind die Vorbedingungen für eine rege Verdunstung in der Regel ungünstiger, namentlich dann, wenn es an Feuchtigkeit mangelt. Auch in dieser Frage sind viele Kombinationen möglich. *In der freien Natur besteht nirgends ein so einfacher Zusammenhang, daß man von einem gewissermaßen linearen Nacheinander von Ursache und Wirkung des Geschehens reden könnte.* Um ein Bild über die bestehenden Verhältnisse zu erhalten, sehe man sich die Tab. 2—5 (nach S. 56 und auf S. 58) an, sie

[1]) *Vlès F.:* Revue des données actuelles sur le comportement des organismes électriquement connectés, ou non, au sol. — Estratto dagli Atti del I° Congresso Internazionale di Elettro-radio-biologia, vol. II, pag. 1312—1315, Venezia, 10—15 settembre 1934 - XII, Bologna 1935 - XIII.

reden eine deutliche Sprache. Das Bild der bestimmten Abhängigkeiten kann also unmöglich erschöpfende Auskunft vermitteln, dafür aber zeigen, daß eine Beziehung im Bereiche der Möglichkeit liegt und diese durch weitere Forschung auf dem begangenen Weg gefördert werden kann. Daß die daraus resultierenden Schlüsse, sofern sie richtig gezogen sind, nur für das untersuchte Gebiet, oft sogar nur für den betreffenden Beobachtungsstandort Gültigkeit haben, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden, ebenso gelten sie auch nur für den bodenzugehörigen gebietseigenen Luftbereich.

Zur allgemeinen Orientierung möge noch folgendes festgelegt sein. Die Erkenntnis der theoretischen Seite des Verdunstungsproblems in seiner ganzen Ausdehnung wird auch ohne Mathematik dem Verständnis zugänglich. Dazu gehört nur ein klarer Blick und ein längerer Aufenthalt im Gebiete selbst, und zwar bei ruhiger und stürmischer Wetterlage.

Temperatur und relative Feuchtigkeit sind vor allem abhängig vom *täglichen* Gang der Sonne, die absolute Feuchtigkeit, dagegen, — vom Sonnenstand mit *jährlicher* Amplitude. [1]) Jene sind eine Funktion des Wechsels von Tag und Nacht, diese werden beeinflußt durch den Gang der Jahreszeiten. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß sich diese drei Elemente grundsätzlich verschieden verhalten, ohne zugleich voneinander unabhängig zu sein. Die absolute Feuchtigkeit ist nicht nur im Verlauf des Tages nahezu stetig, sondern auch in Beziehung auf die *Höhenlage*. Ganz anders verhalten sich Temperatur und relative Feuchtigkeit. Die relative Feuchtigkeit ist, wie bekannt, unter den drei Elementen das veränderlichste, denn sie ist nicht nur abhängig von der absoluten Feuchtigkeit, vielmehr auch von der momentan herrschenden Lufttemperatur. Die Lufttemperatur ihrerseits ist gebunden an die Insolation und die Erwärmung des Bodens, wobei deren Abhängigkeit von der Bodenwärme besonders ins Gewicht fällt.

Verallgemeinern wir diese Erscheinungen, so bestimmen sie in erster Linie das Klima eines Ortes und die Witterung zu einem bestimmten Zeitpunkt und am gegebenen Ort. In der Atmosphäre besteht überall das Bestreben zur Erhaltung und Wiederherstellung des Gleichgewichtszustandes. Störungen entstehen durch recht verschiedenartige Einflüsse und Auswirkungen. In ihrem Zusammenspiel mit der Verdunstung vermögen sie sich gegenseitig zu fördern, im Gegenspiel aber ebensooft zu hemmen, d. h., ihre Größe zu vermehren oder zu vermindern. Sobald aber verschiedene Bedingungen kollektiven Geschehens aufeinander einwirken, erfordert die Abwicklung der Vorgänge, ebenso wie die Auswirkung des Ausgleichs, — *Zeit*, und zwar für den einen Vorgang mehr, für den andern weniger. Das Zeitmaß der Abwicklung der einzelnen Vorgänge ist natürlich recht ungleich, deshalb ist auch die resultierende Wirkung aller Vorgänge auf dieses oder jenes Phänomen recht verschiedenartig und ungleich, und deshalb ist auch die Streuung der Punkte im Koordinatensystem so groß, sobald wir einen dieser Faktoren im *Tages*mittelwert mit der Verdunstung in Beziehung bringen (vgl. Kap. 13). [2]) Die Kräfte, die die Verdunstungsgröße regeln, sind so gegeneinander abgestimmt, daß eine kleine Veränderung ihrer gegenseitigen Stellung sich sofort in der Größe der Verdunstung

[1]) Eine wesentliche Rolle fällt auch der Regenverteilung zu.

[2]) Kapitel 13: «Ueber die Verdunstungsgröße freier Wasserflächen im Hochgebirge.»

geltend macht. Die Landesverdunstungswerte für kürzere Zeiträume sind auch deshalb unter sich so verschieden, weil die zum Ausgleich nötige Zeit dazu nicht ausreicht. Zahl und Mannigfaltigkeit der Vorgänge machen es oft schwer, ja unmöglich, die Größe dieser oder jener Verdunstungsart einwandfrei klarzulegen und zu begründen.

C. Zusammenfassung.

Bei der Betrachtung der Rolle der maßgebenden Faktoren im Wasserhaushalt einer Hochgebirgslandschaft, besonders was die Verdunstung betrifft, kann zusammenfassend folgendes gesagt werden.

Grundbedingung für die Verdunstung ist *Bodenfeuchtigkeit;* ausschlaggebend für ihre Größe ist vor allem die *Zeitdauer* der Bodenfeuchtigkeit.

Maßgebend für ihre Menge sind ferner folgende hervorstechende Eigenschaften:

1. Die meteorologischen (klimatischen) Charakteristiken:

Witterungsverhältnisse des vorangegangenen Zeitabschnittes, Art und Weise des *Niederschlages, Temperatur, relative und absolute Feuchtigkeit* und *Wind.* Mit der Temperatur und Feuchtigkeit eng verbunden ist das *Sättigungsdefizit der Luft,* ihm fällt wohl in der Gruppe der meteorologischen Faktoren die wichtigste Rolle zu.

2. Die hydrologischen Charakteristiken:

In Betracht fallen namentlich: der prozentische Anteil der Wald-, Seen- und Gletscherflächen im Forschungsgebiet, die Flußdichte, die Benetzungsmöglichkeit des Bodens, das Regime der Gewässer, die Niederschlagsverhältnisse, die Höhenlage des Grundwasserstandes, der Wasserkreislauf im allgemeinen. Zustand des Bodens: ob trocken, wassergesättigt oder gefroren.

3. Die geomorphologischen Charakteristiken:

Die geologischen Verhältnisse im allgemeinen. Die Gestalt des Gebietes, namentlich die Neigung des Geländes. Je steiler die Hänge sind, um so größer ist meistens die Geschwindigkeit des abfließenden Wassers, desto rascher wird das Wasser seinem Gebiet und damit auch der Verdunstung entzogen. Mit der Zunahme der Geschwindigkeit des Wassers nimmt in der Regel auch sein Eindringen in den Boden ab, damit wird der Erhaltung des Niederschlagswassers im Gebiet selbst ein Riegel vorgeschoben. Es findet in der Regel eine Verkürzung der Abflußstrecken des Wassers statt. So erklärt es sich, daß mit zunehmendem Gefälle (zunehmender Reliefenergie) die Verdunstung meist kleiner wird.[1]) Dies gilt auch, wenn die steilen Gehänge mit ausgedehnten Schuttmassen überlagert sind (rasches Eindringen des Niederschlagswassers, geringe Verdunstungsmöglichkeit; in solchen Fällen wird der Abfluß, weil er sich unterirdisch vollzieht, ein ausgeglichener). Bodenart und Bodenzustand im allgemeinen.

4. Die vegetativen Charakteristiken:

Beschaffenheit, Art und Zustand der Pflanzenbedeckung. Bewirtschaftung des Bodens. Größe des Einflusses der Vegetation auf die Grundwasservorräte. Transpirationsvermögen der Pflanzendecke. Schutzwirkung der Vegetation gegen zu raschen Wasserabfluß und gegen Erosion. Ungleiches Ausmaß dieser Wirkung bei verschiedenen Vegetationsarten. Waldeinfluß; hier fällt namentlich die Bodenauflockerung in Betracht, die sich auf 2 m und mehr Tiefe erstreckt und insbesondere auch auf schwer durchlässigem Boden die Versickerung begünstigt. Bodenbestockung; sie hemmt den oberflächlichen Abfluß.

---

[1]) Im allgemeinen muß mit zunehmender Höhenlage im Hochgebirge von einem hohen Niederschlag mehr abfließen, weil die Möglichkeit der Speicherung erschöpft wird, und die wachsende Reliefenergie zum rascheren Abfluß Gelegenheit bietet; zudem nimmt die Vegetation ab.

5. Die pedologischen (bodenkundlichen) Charakteristiken:

Die Verdunstung ändert mit der Bodenart. Maßgebend sind: Mächtigkeit des Bodens über dem Grundgestein. Zustand des Grundgesteins. Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Davon hängt ab das Verhalten des Bodens zum Wasser. Allgemein läßt sich sagen, daß er dieses um so leichter in sich aufnimmt, je größer sein Porenvolumen, d. h. je grobporiger der Boden ist. Eine wesentliche Veränderung erfahren die physikalischen Eigenschaften vieler Böden dadurch, daß die einzelnen mechanischen Elemente Strukturform annehmen. Durch diese wird das Verhalten des Bodens zum Wasser entscheidend beeinflußt. Eine gute Struktur ermöglicht in der Regel ein rasches Eindringen des Niederschlagswassers in den Boden, wodurch der oberflächliche Wasserabfluß herabgesetzt, d. h. das Wasserspeicherungsvermögen des Bodens erhöht wird.

Eine nicht minder wichtige Rolle in der Verdunstungsfrage kommt den chemischen Eigenschaften der Böden zu. Die bodenkundliche Forschung der letzten Jahre zeigt in eindrucksvoller Weise, welch enge Beziehungen zwischen den Charakterzügen der physikalischen und chemischen Eigenarten des Bodens bestehen.

6. Umwandlung der Naturlandschaft in eine Kulturlandschaft durch menschliche Eingriffe:

Verlegung von Wasserläufen (Bau von Kanalisationen). Entwässerungen. Stauung und Absenkung von Seen. Bau von Stauseen für Energiezwecke. Zuführung von gebietsfremdem Wasser. Ableitung. Quell- und Grundwasserfassungen und deren Ableitung. Bau von Bewässerungskanälen.

Mit andern Worten: der Hauptfaktor setzt sich aus einem Sigma zusammen, das dann zu einem Maximum anwächst, wenn «zufällig» *alle* Nebenfaktoren in einer zum Endresultat günstigen Konstellation stehen.

D. Schluß.

Ich habe versucht, in allgemeiner Weise die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren, die die Verdunstung im Wasserhaushalt unseres Hochgebirges bedingen, klarzulegen. Dabei ist deutlich zutage getreten, daß das System der Wechselwirkungen dieser Faktoren sehr verwickelt ist. Eine befriedigende Lösung dieses Problems ist bis heute noch nicht gefunden worden. Es soll daher in dieser Arbeit auf weitere Einzelheiten dieser für die Gewässerkunde so bedeutsamen Frage, soweit solche aus Beobachtung und Messung hervorgehen, eingetreten werden.

In Tabelle 2 sind für das *unvergletscherte* voralpine Inner Wäggital, das *wenig vergletscherte* Salanfegebiet und das *stark vergletscherte* Obere Saastal die Jahres- und Jahresreihen-Mittelwerte des Niederschlages und Abflusses und ihrer Unterschiede, die Differenzwerte zwischen den Maxima und Minima, sowie ihre Verhältniswerte $\frac{\text{Maximum}}{\text{Minimum}}$ übersichtlich vereinigt. Die Tabellen 3, 4 und 5 gewähren einen Einblick in die Zusammengehörigkeit einerseits von Niederschlag, Abfluß und Verdunstung, anderseits in die Beziehung der mittleren Höhenlage der Forschungsgebiete *Inner Wäggital, Davosersee, Salanfegebiet* zur Landesverdunstung.

Bei der Behandlung des Wasserhaushaltes der einzelnen Forschungsgebiete werde ich diesem Thema vermehrte Aufmerksamkeit schenken. An dieser Stelle beschränke ich mich auf das Notwendige.

Im langjährigen Mittelwert entspricht der Unterschied (N—A) der Größe der mittleren Landesverdunstung, sofern es sich um Gebiete ohne Gletscher handelt.

Der mittlere Niederschlag nimmt vom Davosersee-Gebiet mit 108 cm bis zum Inner-Wäggital-Gebiet mit 243 cm um 135 cm zu, fast ebensoviel der mittlere Ab-

Tabelle 2

Jahres-, Jahresreihenmittelwerte, Extremwerte des Niederschlages, des Abflusses und ihrer Unterschiede für das Inner Wäggital-, Salanfegebiet und Obere Saastal. Zeitraum: 1925/26 bis 1941/42.

Nr.	Hydrologisches Jahr	Inner Wäggital E = 43.54 km²			Salanfegebiet E = 18.43 km²			Oberes Saastal E = 65.25 km²		
		N Niederschlag	A Abfluß	N-A Unterschied	N Niederschlag	A Abfluß	N-A Unterschied	N Niederschlag	A Abfluß	N-A Unterschied
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	1929/30	2593	2179	**414**	2130	1860	270	1920	1560	+ 360
2	1930/31	2788	2486	302	**2640**	**2400**	240	1980	1640	+ 340
3	1931/32	2133	1812	321	1730	1398	332	1570	1410	+ 160
4	1932/33	2383	2100	283	1760	1553	207	*1360*	*1210*	+ *150*
5	1933/34	*2088*	*1682*	406	*1480*	*1263*	217	2090	1670	+ 420
6	1934/35	2407	2098	309	1855	1660	195	189	1690	+ 200
7	1935/36	**2942**	**2662**	*280*	2240	1830	**410**	**2720**	**1750**	+ **970**
8	1936/37	2781	2429	352	2155	1921	234	1840	1650	+ 190
9	1937/38	2291	1908	383	1730	1412	318	2030	1430	+ 600
10	1938/39	2372	2026	346	1640	1446	*194*	2340	1480	+ 860
Mittelwerte										
1-10	**1929/30 - 1938/39** (10 Jahre)	**2478**	**2138**	**340**	**1936**	**1674**	**262**	**1974**	**1549**	**425**
Differenz Max.-Min.		854	980	134	1160	1137	216	1360	540	820
in % des Mittelwertes		— 34,5	— 45,8	— 39,4	— 59,9	— 67,9	— 82,4	— 68,9	— 34,9	+ 192,9
Verhältnis Maximum/Minimum		1,4	1,6	1,5	1,8	1,9	2,1	2,0	1,4	6,5
Mittelwerte längerer Zeiträume										
1925/26 — 1938/39 (14 Jahre)		**2433**	**2107**	**326**	—	—	—	—	—	—
1929/30 — 1941/42 (13 Jahre)		—	—	—	**1948**	**1670**	278	—	—	—
1922/23 — 1941/42 (20 Jahre)		—	—	—	—	—	—	**1910**	**1622**	**288**
Differenz Max.-Min.		1044	1111	219	1160	1137	285	1490	780	1405
in % des Mittelwertes		— 42,9	— 52,7	— 67,2	— 59,6	— 68,1	+ 102,5	— 78,0	— 48,1	+ 487,8
Verhältnis Maximum/Minimum		1,5	1,7	2,1	1,8	1,9	2,5	1,8	1,6	+1050[1] / — 355

[1]) Die Jahre 1922/23, 1927/28 und 1928/29 ergeben negative Unterschiedswerte N-A:

	N	A	N-A
1922/23	1530 mm	1610 mm	— 80 mm
1927/28	1750 mm	1990 mm	— 240 mm
1928/29	1510 mm	1865 mm	— 355 mm

fluß, nämlich um 129 cm. In starkem Gegensatz dazu stehen die Verdunstungswerte: sie schwanken zwischen 25,4 cm (Saastal) und 32,7 cm (Wäggital), also in bescheidenen Grenzen. Das Wachsen des Niederschlages im Durchschnittsverhalten um mehr als das Doppelte kommt vor allem dem Abflusse und nur in bescheidenem Maße der Verdunstung zugute. Mit andern Worten: Niederschlag und Abfluß ändern sich auch im Hochgebirge ungefähr gleich stark. Im Gesamtmittel aller Gebiete folgen die Schwankungen von Jahr zu Jahr der Gleichung $A = N - 265$.

Fassen wir die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Forschungslandschaften, die einerseits durch die Gestalt, Höhenlage und die klimatische Eigenart, anderseits durch die geologischen, bodenkundlichen und botanischen (vegetativen) Verhältnisse bedingt sind, ins Auge, dann überrascht vor allem die bescheidene Schwankung der Verdunstungswerte. *Axel Wallén*[1]) gelangte für seine elf südschwedischen Flußgebiete ungefähr zum gleichen Ergebnis. Der Niederschlag seiner Gebiete nimmt *vom trockensten bis zum nassesten* Gebiet um 33 cm zu und kommt, wie im Schweizer Hochgebirge, trotz den bedeutend geringern Niederschlägen nur dem Abfluß und nicht der Verdunstung zugute. Niederschlag und Abfluß seiner elf Gebiete gehen in solchem Maße parallel, daß ihr Korrelationsfaktor, jedes Gebiet mit demselben Gewicht gerechnet, = 0,996 wird. Da die Gerade durch den Schwerpunkt (N = 735 mm, A = 380 mm) gehen muß, ist ihre Gleichung $A = 1{,}06\,N - 400$. Wenn wir die erreichbare Genauigkeit für N und A berücksichtigen, dann darf der Korrelationsfaktor ohne weiteres gleich 1 gesetzt werden.

Die Zahl unserer Forschungsgebiete und die Dauer der einzelnen Untersuchungen reicht noch nicht zu so weitgehenden Schlußfolgerungen aus, wie sie mein verstorbener Freund *Axel Wallén*[2]) zu ziehen berechtigt war. Die Lage der einzelnen Punkte für N und A im Koordinatensystem dürfte sich mit zunehmender Dauer der Forschungsarbeiten noch etwas ändern, die der Bezugslinie aber ungefähr die nämliche bleiben, wenigstens solange, als nicht neue Gebiete grundverschiedenen Charakters erschlossen werden, über deren Forschungsergebnisse wir heute noch im unklaren sind.

Das Gegenstück zu den Aenderungen von Gebiet zu Gebiet bilden die in den einzelnen Landschaften vor sich gehenden Schwankungen von Jahr zu Jahr. In einem einzelnen Zeitabschnitt ist die Verdunstung nicht mehr gleich N — A, sondern $N = A + V + (R - B)$, also $V = U - (R - B)$. Hierin bezeichnen wir, wie bekannt, U = Unterschied N — A, R = die Rücklagen, die sich aus dem Niederschlag des betrachteten Zeitabschnittes in diesem bilden, B = gleichzeitiger Aufbrauch früherer Rücklagen; das Glied $R - B = U - V$, gibt also die Menge an, um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat in der betrachteten Zeit ändert.

Aus vorstehendem geht schon eindeutig hervor, daß die Jahreswerte (N — A) bei veränderlicher Speicherung stärker streuen müssen als die Mittelwerte. Ueber die Größe dieser Jahresschwankungen gibt Tabelle Nr. 2 ein getreues Bild.

---

[1]) *Wallén Axel:* Eau tombée, débit et évaporation dans la Suède méridionale. Geografiska Annaler 1927, H. 3, S. 181—208; und

Fischer Karl: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung südschwedischer Flußgebiete. Meteorolog. Zeitschrift, Heft 11, 1928.

[2]) *Wallén Axel:* Eau tombée, débit et évaporation dans la Suède méridionale. Geografiska Annaler 1927, H. 3, S. 181—208.

Inner Wäggital
Jahreswerte der Landesverdunstung, 1925/26—1938/39.

Tabelle 3

Nr.	Hydrologisches Jahr (1. Okt. bis 30. Sept.)	V Landesverdunstung
		mm
1	1925/26	291
2	1926/27	239
3	1927/28	397
4	1928/29	324
5	1929/30	323
6	1930/31	347
7	1931/32	370
8	1932/33	246
9	1933/34	361
10	1934/35	362
11	1935/36	187
12	1936/37	370
13	1937/38	**426**
14	1938/39	330
1—14	**Mittelwert 1925/26—1938/39 (14 Jahre)**	**327**
Differenz Max.—Min.		239
In % des Mittelwertes		73,1
Verhältnis $\frac{\text{Maximum}}{\text{Minimum}}$		2,3

Davoserseegebiet[1])
Zusammengehörigkeit von «Niederschlag und Abfluß» und «Niederschlag und Verdunstung».

Tabelle 4

Jahr	N	A	V
	mm	mm	mm
1920/21	861	542	**306**
1921/22	**1419**	**1144**	270
1931/32	1022	761	265
1932/33	1073	841	229
1933/34	1051	778	304
Mittelwerte 1920/22 und 1931/34	1085	813	**275**

[1]) Vgl. Band II, III. Teil, Kap. 7, S. 456 u. ff.

Differenz Max.-Min. = 77
In % des Mittelwertes = 28,0
Verhältnis $\frac{\text{Maximum}}{\text{Minimum}}$ = 1,3

Zusammenhang zwischen der mittleren Höhenlage der Gebiete und ihrer Verdunstung.

Tabelle 5

Nr. in Karte	Forschungsgebiet	Fläche	Vergletscherung		Landesverdunstung Vm	Auf gleiche Höhenlage[1]) reduzierte Werte Vm'
		km²	km²	%	mm	mm
12	**Saaser Visp, Zermeiggern** . . . . Mittlere Höhe Hm = 2850 m ü. M.	65,25	29,1	44,6	254	324
14	**Salanfe, Salanfe** . . . . . Hm = 2329 m	18,43	1,3	7,0	270	315
7	**Davoser See, Davos-Dorf** . . . Hm = 1930 m	9,47	—	—	275	302
10	**Stausee Innertal, Wäggital** . . . Hm = 1360 m	42,36	—	—	327	**327**
	Mittelwert	—	—	—	—	**317**
	Differenz Maximum—Minimum	—	—	—	—	25
	In % des Mittelwertes	—	—	—	—	7,9
	Verhältnis $\frac{\text{Maximum}}{\text{Minimum}}$	—	—	—	—	1,1

[1]) Hierfür wurde die nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelte Gleichung der Geraden **Vm = 380,80 – 0,0469 Hm** verwendet.

Die Tabellenwerte Nr. 3 bis Nr. 5 bedürfen keiner weitern Auslegung, die Zahlen sprechen für sich selbst. Einwandfrei geht aus den Ergebnissen hervor, daß die Gebietsverdunstung kürzerer Zeiträume, d. h. von Jahr zu Jahr, *erheblichen* Schwankungen unterworfen ist. Sehr instruktiv sind die Ergebnisse unserer Untersuchungen im Inner-Wäggital.[1]) Die Verdunstung erreicht im trockenen und warmen Jahre 1937/38 mit 426 mm ihren größten Wert, im nassen, wenig über dem Wärmedurchschnitt stehenden Jahre 1935/36 mit rund 187 mm ihren kleinsten Wert, sie steigt somit vom nassen Jahr 1935/36 zum trockenen Jahr 1937/38 um volle 239 mm, d. h. um 73 % des Mittelwertes der 14jährigen Periode mit 327 mm.

Vorstehende Ergebnisse legen mit aller nur wünschbaren Klarheit Zeugnis ab, daß die Schwankung der Verdunstung im Alpengebiet, von Jahr zu Jahr, wie übrigens zu erwarten war, recht erheblich ist. Ein Ausgleich der die Verdunstung bestimmenden Faktoren vermag sich nur in bescheidenem Rahmen zu bilden. Natürlich fällt auch in diesem Falle die Eigenart des Gebietes ins Gewicht.

Bei meiner langjährigen Beschäftigung mit dem Verdunstungsproblem drängte sich mir immer mehr die Ueberzeugung auf, daß in der Behandlungsweise dieses naturwissenschaftlichen Problems viel zu wenig Gewicht auf *kurze* Zeiträume gelegt wird. Diese Meinung kam in mir lange nur gefühlsmäßig auf. Erst nachdem die Ergebnisse der Untersuchungen in unsern Forschungsgebieten in vollem Umfang vor mir lagen, war jeder Zweifel überwunden. Das Ergebnis überraschte mich so, daß ich beschloß, es auf seine Richtigkeit weiter zu prüfen, indem wir die Untersuchungen über viele Einzeljahre weiter ausdehnten. Die Gegenüberstellung dieser Ergebnisse stellte sich als überaus dankbar heraus, denn sie lieferte uns, ich möchte sagen, den Schlüssel zur Lösung des gesamten Landesverdunstungsproblems, soweit es das schweizerische Hochgebirge betrifft.

Es berührt den Verfasser seltsam, daß die Vertreter der Gewässerkunde bisher der überaus wichtigen Frage der direkten experimentellen Bestimmung der Vorratsänderungen kürzerer Zeiträume, d. h. der Bestimmung der Glieder R und B in der Bilanzgleichung $N = A + V + (R - B)$, nicht mehr Aufmerksamkeit geschenkt haben.[2]) Für das Hochgebirge sind die Schwierigkeiten, die solchen Untersuchungen begegnen, überwindbar. Wir dürfen heute feststellen, daß in unserm Alpengebiet sowohl die Beträge für Niederschlag und Abfluß als für die Vorratsänderung auf direktem Wege, wenigstens annäherungsweise gemessen werden können. Ob es sich dabei um flüssige oder feste Niederschläge (Regen, Schnee u. dgl.), die auf den Boden fallen, oder um Wasservorräte im oder auf dem Boden (Regen, Schnee und Eis) handelt, ist gleichgültig, sie sind praktisch meßbar, erfordern aber für ihre zahlenmäßige Feststellung Zeit und Geld. Ueber die Frage der quantitativen Erfassung des Taues, Reifes, Rauhreifes usw. berichte ich in Kap. 9.

Schwieriger gestaltet sich die Frage der Aenderung der Wasservorräte im Erdboden von Monat zu Monat. Ihre Lösung im allgemeinen Sinne durch direkte Versuche begegnet, schon der finanziellen Aufwendungen wegen, größeren Schwierigkeiten, ist aber dennoch erreichbar, zumindest auf dem Annäherungswege, sofern

---

[1]) Vgl. auch Zusammenstellung Nr. 10 c im Anhang und *Lütschg O.:* Zur Wasserwirtschaft des Kraftwerkes Wäggital. Wissenschaftl. Beitrag zum Bericht der Bauleitung: «Das Kraftwerk Wäggital», Siebnen (Schweiz) 1930.

[2]) Offenbar der Unsicherheiten wegen, die an diesen Gliedern haften.

die hierfür notwendigen Unterlagen, vor allem die Installationen für die Erfassung des Regimes der stehenden und fließenden Gewässer und der Wasservorräte, auf und im Boden vorhanden sind. Solche Untersuchungen verlangen eigentliche Naturlaboratorien.

Zur Lösung dieser und verwandter Fragen wurde auf Vorschlag von Geheimrat *Soldan,* des verdienten ehemaligen Vorstehers der *Anstalt für Gewässerkunde in Berlin,* auf dem Versuchsfelde des Meteorologischen Institutes der Forstlichen Hochschule Eberswalde auf dem Eberswalder Drachenkopf die bekannte Versuchsanlage erbaut, über die ich in Kap. 6, II., A. [1]) berichten werde und die für die dortigen Verhältnisse wertvolle Dienste leistet. Die Aenderungen im Wasservorrat des Erdbodens werden durch diese Versuchsanlage nicht auf direktem Wege, sondern über die Verdunstung ermittelt. Allgemein beurteilt, hat man sich also zu entscheiden, ob man aus den Aenderungen des Wasservorrates im Erdboden die Verdunstung bestimmen will, oder besser tut, umgekehrt vorzugehen. Für unser Hochgebirge ist der Weg klar vorgezeichnet, er führt über die Bestimmung der Vorratsänderungen im und auf dem Erdboden durch direkte Messungen deshalb zum besten Ergebnis, weil die Versuchsanordnungen *weitgehend den natürlichen Verhältnissen jedes einzelnen Forschungsgebietes angepaßt werden können.* Schon eine Uebertragung der in Eberswalde gewonnenen Ergebnisse auf verwandte Gebiete erfordert peinliche Sorgfalt, geschweige denn eine solche auf Hochgebirgsverhältnisse, wie die unsrigen. Damit soll der große Wert der Eberswalder Anlage nicht geschmälert werden und auch nicht gesagt sein, daß unseren direkten Verfahren nicht Mängel anhaften. So umfassen die Untersuchungen über die Vorratsänderungen (Wassergehalt, Wasserkapazität und Durchlässigkeit der Wald- und Freilandböden), die in unsern Forschungsgebieten, namentlich durch die *Eidg. Forstliche Versuchsanstalt* (Direktor Prof. Dr. *Hans Burger)* ausgeführt werden, nur den obersten Teil der Bodenschicht. Was in den tiefgründigen Schichten vor sich geht, darüber sind wir, wenn wir von unserm Quellverfahren [2]) absehen, noch nicht genügend orientiert. Der wünschenswerte Fortschritt wird sich auch in dieser Frage nur stufenweise, von Einzelheit zu Einzelheit vollziehen.

---

[1]) Kapitel 6: «Boden und Vegetation im Wasserhaushalt des Hochgebirges. Zusammenhang zwischen Niederschlag, Vegetation, Boden, Versickerung und Verdunstung.»

[2]) Im zweiten Teil des Werkes: «Die Forschungsarbeiten in unseren Naturlaboratorien, Forschungsgebiet Baye de Montreux» (15), werde ich auf diese Frage eintreten.

ANHANG

Tabellenwerk

Ergebnisse der Niederschlagsmessungen in unsern Forschungsgebieten im Schweizer Hochgebirge

(Hierzu die Tafeln 1 bis 15 und die Zusammenstellungen Nr. 1 bis 16.)

Einleitung.

Die Einordnung der Niederschlagsergebnisse in den Schweizer Alpenkomplex erfolgt nach Forschungsgebieten, und zwar gestalte ich die Unterteilung so, wie ich sie in Band II, III. Teil — Forschungsgebiet Nr. 7 — Davosersee, Tabelle 1, nach Seite XXIV, angegeben habe.

In die Lage der einzelnen Forschungsgebiete im Schweizer Hochgebirge gewährt die Uebersichtskarte, ebenfalls in Band II, Tafel 1, nach Seite XXIV, einen nähern Einblick.

Den einzelnen Zusammenstellungen der Niederschlagsergebnisse sind Uebersichtskarten in Reliefform, nach Forschungsgebieten getrennt, beigefügt worden. Sie ermöglichen eine genaue Orientierung über die Lage jeder einzelnen Station.

Nach diesen Gesichtspunkten geordnet ergibt sich die nun folgende Gruppierung der umfangreichen Ergebnisse der Niederschlagsmessungen in unsern Forschungsgebieten.

Forschungsgebiet Nr. 1: Somvixer Rheingebiet, dem östlichen Teil der Rhätischen Alpen zugehörig.

Tafel 1: Uebersichtskarte des Somvixer Rheingebietes.

Zusammenstellung Nr. 1: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Somvixergebiet und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1937 bis 30. September 1943.

Nr. 1[a]. Somvixer Rhein, A. Sutglatscher.

Nr. 1[b]. Somvixer Rhein, Val, Acla Mulin.

Nr. 1[c]. Außerhalb des Forschungsgebietes.

Forschungsgebiet Nr. 2 bis Nr. 6: Hinterrheingebiet, dem östlichen Teil der Rhätischen Alpen zugehörig.

Tafel 2/6: Uebersichtskarte des Hinterrheingebietes und seiner Umgebung.

Zusammenstellung Nr. 2 bis Nr. 6: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Hinterrheingebiet und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1918 bis 30. September 1943.

Forschungsgebiet Nr. 2: Hinterrhein, Sufers.
Nr. 3: Averser Rhein, Campsut.
Nr. 4: Averser Rhein, Innerferrera.
Nr. 5: Hinterrhein, Andeer-Bad.
Nr. 6 Fundognbach, Donat (Schams).
Außerhalb der Forschungsgebiete.

Forschungsgebiet Nr. 7[1]*:* Davoserseegebiet, dem östlichen Teil der Rhätischen Alpen zugehörig.

Tafel 7: Uebersichtskarte der Landschaft Davos.[1])

Zusammenstellung Nr. 7: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Davoserseegebiet und seiner Umgebung. Periode: 1. November 1927 bis 31. Oktober 1937.
Im Forschungsgebiet.
Außerhalb des Forschungsgebietes.[1])

Forschungsgebiet Nr. 8: Grimselgebiet, dem westlichen Teil der Berner Alpen zugehörig.

Tafel 8: Uebersichtskarte des Aaregebietes: Grimsel und Umgebung.

Zusammenstellung Nr. 8: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Grimselgebiet und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1919 bis 30. September 1928.
Im Forschungsgebiet.
Außerhalb des Forschungsgebietes.

Forschungsgebiet Nr. 9: Melchseegebiet, dem westlichen Teil der Berner Alpen zugehörig.

Tafel 9: Hydrographische Uebersichtskarte des Melchseegebietes und seiner Umgebung.

Zusammenstellung Nr. 9: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Melchseegebiet und seiner Umgebung. Mittelwerte der Periode: 1. Oktober 1932 bis 30. September 1938.
Im Forschungsgebiet.
Außerhalb des Forschungsgebietes.

Zusammenstellung Nr. 9 a: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen der Station Melchsee Frutt, 1910 m ü. M. Hydrographische Jahre 1932/33 bis 1937/38.

Forschungsgebiet Nr. 10: Voralpines Wäggital in den Schwyzer Alpen, dem östlichen Teil der Tödi-Sardona-Gruppe zugehörig.

Tafel 10: Uebersichtskarte des Wäggitalgebietes und seiner Umgebung.

Zusammenstellung Nr. 10 und Nr. 10 a: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Wäggital und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1925 bis 30. September 1939.
Im Forschungsgebiet.
a) Inner Wäggital.
b) Vorder Wäggital.
c) Trebsental.
Außerhalb des Forschungsgebietes.

Zusammenstellung Nr. 10 b: Mittlere Niederschlagshöhen im Wäggital nach Isohyetenkarten ermittelt. Periode 1. Oktober 1925 bis 30. September 1939.
Für das Inner Wäggital, Vorder Wäggital, Trebsental, für das Inner und Vorder Wägigtal und das Trebsental zusammen.

---

[1]) Die Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im *Davoserseegebiet und seiner Umgebung* sind dem II. Band, III. Teil — Forschungsgebiet Nr. 7 — Davosersee: «Zur Hydrologie der Landschaft Davos», nach Seite 122, eingeordnet worden, ebenso die Uebersichtskarte der Landschaft Davos, Tafel 2, vor Seite 1.

Zusammenstellung Nr. 10 c: Mittlere Niederschlags- und Abflußhöhen und Unterschiede, Inner Wäggital, Periode 1. Oktober 1925 bis 30. September 1939.

Zusammenstellung Nr. 10 d: Mittelwerte der monatlichen und jährlichen Niederschlagshöhen der Stationen im Bereich des Stausees Innertal für die hydrographische Jahresreihe 1929/30 bis 1936/37.
Stationen: 1. Innertal (Wärterhaus). — 2. Innertal (Schulhaus). — 3. Blattli. — 4. Hundsloch. — 5. Großallmeindwald, und — 6. Rohr.

Forschungsgebiet Nr. 11: Rhonegletschergebiet, dem westlichen Teil der Berner Alpen zugehörig.

Tafel 11: Uebersichtskarte des Rhonegletschers und seiner Umgebung.

Zusammenstellung Nr. 11: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Rhonegletschergebiet und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1920 bis 30. September 1923.
Im Forschungsgebiet.
Außerhalb des Forschungsgebietes.

Forschungsgebiet Nr. 12: Oberes Saastal in der Monte Rosa-Gruppe, dem westlichen Teil der Penninischen Alpen zugehörig.

Tafel 12: Uebersichtskarte des Saaser Vispgebietes Zermeiggern (Almagel).

Zusammenstellung Nr. 12: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Obern Saastal und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1922 bis 30. September 1939.
Im Forschungsgebiet.
Außerhalb des Forschungsgebietes.

Ergänzungstabelle zu Nr. 12: Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Obern Saastal und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1939 bis 30. September 1943 und Mittelwerte 1922/43.
Im Forschungsgebiet.
Außerhalb des Forschungsgebietes.

Forschungsgebiet Nr. 13: «Bassin de Barberine» in der Gruppe der Dent du Midi, dem westlichen Teil der Berner Alpen zugehörig.

Planche 13/14: Carte synoptique du Bassin de Barberine et de Salanfe.

Tableau N° 13: Résultats des mesures de précipitations des stations dans le bassin de Barberine et environs. Période: 1er octobre 1926 jusqu'au 30 septembre 1939.
Dans le bassin.
Hors du bassin.

Tableau complémentaire relatif à N° 13: Résultats des mesures de précipitations des stations dans le bassin de Barberine et environs. Périodes: 1er octobre 1939 jusqu'au 30 septembre 1943 et 1926/43.
Dans le bassin.
Hors du bassin.

Forschungsgebiet Nr. 14: «Bassin de Salanfe» in der Gruppe der Dent du Midi, dem westlichen Teil der Berner Alpen zugehörig.

Planche 13/14: Même carte synoptique comme pour le Bassin de Barberine.

Tableau N° 14: Résultats des mesures de précipitations des stations dans le bassin de Salanfe et environs. Période: 1er octobre 1929 jusqu'au 30 septembre 1939.
Dans le bassin.
Hors du bassin.

Tableau complémentaire relatif à N° 14: Résultats des mesures de précipitations des stations dans le bassin de Salanfe et environs. Périodes: 1er octobre 1939 jusqu'au 30 septembre 1943 et 1929/43.
Dans le bassin.
Hors du bassin.

Forschungsgebiet Nr. 15: «Bassin de la Baye de Montreux» an der Nordwestecke der Rochers de Naye, dem westlichen Teil der Berner Alpen zugehörig.

Planche 15: Carte synoptique du Bassin de la Baye de Montreux.

Tableau N° 15: Valeurs annuelles de précipitations des stations dans le bassin de la Baye de Montreux et environs. Période: 1er octobre 1931 jusqu'au 30 septembre 1940.
Dans le bassin.
Hors du bassin.

Tableau N° 15 a: Valeurs moyennes, maxima et minima absolus de précipitations des stations dans le bassin de la Baye de Montreux et environs. Période: 1er octobre 1931 jusqu'au 30 septembre 1940.
Dans le bassin.
Hors du bassin.

Forschungsgebiete Nr. 1 bis Nr. 16 [1]*:* Zusammenstellung der Maxima und Minima der Jahreswerte[2]) aus den Zusammenstellungen Nr. 1 bis Nr. 15.

Uebersicht der größten und kleinsten gemessenen Jahresniederschläge in unsern Forschungsgebieten im Schweizer Hochgebirge.

Die einzelnen Forschungsperioden verteilen sich über den Zeitraum vom 1. Oktober 1918 bis 31. Dezember 1944.

---

[1]) Dieser Zusammenstellung habe ich noch die Extremwerte der Jahresniederschläge im Magliasinagebiet *) beigefügt, einer Landschaft, die den Südalpen zugehört, im westlichen Quertalzug des Sottoceneri (Kanton Tessin) liegt und einen Bestandteil des Einzugsgebietes des Luganersees bildet. Diese Ergebnisse sind mir in verdankenswerter Weise von meinem Mitarbeiter Herrn Dr. *F. Gygax* in Bern zur Verfügung gestellt worden. Die Ergebnisse der von *F. Gygax* in diesem geologisch und topographisch geschlossenen Gebiet mit vollem Erfolg in den Jahren 1939 bis 1944 ausgeführten Studien gewähren einen klaren Einblick in die Eigenart dieses, insubrischen Einschlag tragenden Alpenkomplexes, zugleich füllen sie auch die bestehende Lücke aus, die in der Reihe der zu einer Charakterisierung des Wasserhaushaltes des Schweizer Hochgebirges absolut notwendigen Unterlagen bestanden hat.

*) Forschungsgebiet Nr. 16.

[2]) Die Tagesmaxima der Niederschlagsstationen mit täglicher Beobachtung sind den Zusammenstellungen der Ergebnisse der Niederschlagsmessungen in den einzelnen Forschungsgebieten beigegeben worden.

Tafel 7:

Uebersichtskarte der Landschaft Davos (7)

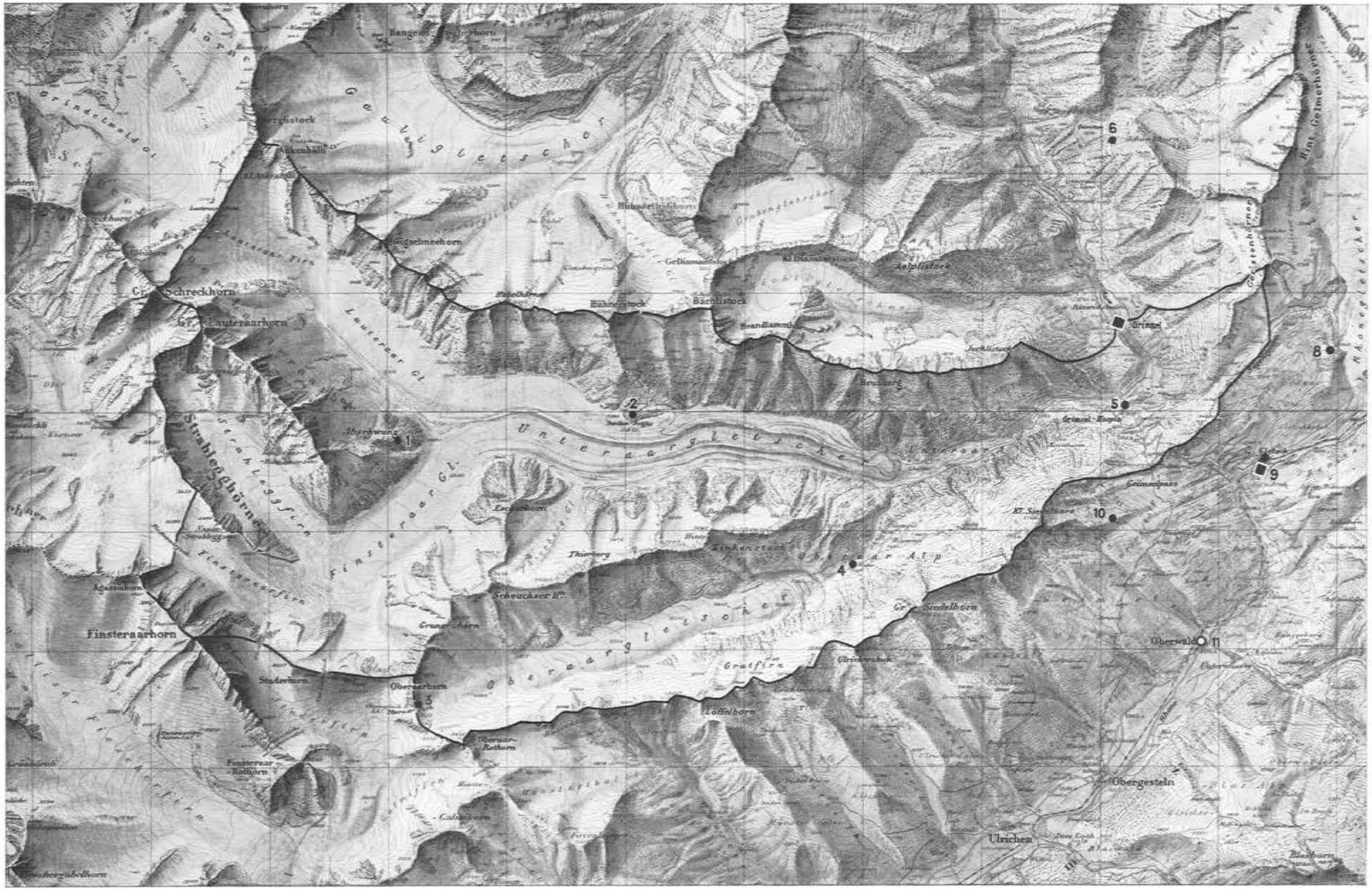
und

Zusammenstellung Nr. 7

Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Davoserseegebiet und seiner Umgebung

Periode: 1. November 1927 bis 31. Oktober 1937

sind dem bereits 1944 erschienenen II. Band, III. Teil — Forschungsgebiet Nr. 7 — Davosersee: „Zur Hydrologie der Landschaft Davos", eingeordnet worden (Tafel 7 vor Seite 1, Zusammenstellung Nr. 7 nach Seite 122).



Relief von Ernst Huber, Vermessungsingenieur E. T. H.

Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie.

○ Niederschlagsstation mit täglicher Beobachtung
● Niederschlagssammler mit Windschutz
◆ Abflußstation mit Limnigraph

1:100000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km

Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Grimselgebiet und seiner Umgebung.

Periode 1. Oktober 1919 bis 30. September 1928 (9 Jahre).

Forschungsgebiet Nr. 8: Aare, Grimsel (98,29 km²). Zusammenstellung Nr. 8

Nr. in Karte	Station	m ü. M. (a. H.)	1919/20	1920/21	1921/22	1922/23	1923/24	1924/25	1925/26	1926/27	1927/28	Mittelwert 1919/28 (9 Jahre)	Ozeanitätswinkel ω *)
			cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
	Im Forschungsgebiet:												
1	**Abschwung**	2900	**292**	*132*	242	207	224	178	244	258	170	**216**	36° 41'
2	**Pavillon Dollfuß**	2415	**229**	*111*	189	148	198	136	158	178	118	**163**	34° 1'
3	**Oberaarjoch**	3310	**366**	*165*	286	243	295	201	318	266	188	**259**	38° 3'
4	**Oberaaralp**	2257	**203**	*92*	155	132	178	113	149	140	*92*	***139***	31° 38'
5	**Grimsel-Hospiz**	1900	**288**	*121*	237	222	237	169	235	239	180	**214**	48° 24'
	Mittelwerte der Stationen Nr. 1—5		**276**	***124***	**222**	**190**	**226**	**159**	**221**	**216**	**150**	**198**	—
	In % des Normalwertes (9 Jahre)		139	63	112	96	114	80	112	109	76	100	—
	Außerhalb des Forschungsgebietes:												
6	**Gelmersee**	2144	209	143	**248**	231	240	168	192	241	*117*	**199**	42° 52'
6a	**Scheidiluh**	2800	**347**	*140*	232	194	245	152	250	205	260 +	**225**	38° 47'
7	*Furka (Galenhütten)* *	2406	**313**	*123*	220	171	221	165	225	266	130	**204** [1]	40° 18'
8	**Nägelisgrätli**	2393	187	*107*	190	166	186 +	145 +	173 +	**206** +	125 +	**165**	34° 35'
9	**Gletsch**	1770	**202**	*103*	180	126	183	150 +	157	197	124	**158**	41° 45'
10	**Kl. Siedelhorn**	2430	260	*145*	173	**292**	159	176	244	210	174	**204**	40° 1'
11	*Oberwald* *	1370	**212**	115	172	141	168	136	165	190	*107*	**156** [2]	48° 43'
12	*Reckingen* *	1349	**142**	*61*	123	104	115	102	122	141	88	***111*** [3]	39° 27'
13	**Konkordia**	2890	286	*194* +	231	200	262	248	239	**291**	*222*	**241**	39° 50'
14	**Mönchsgrat**	3810	480 +	*275*	334	399	352	339	371 +	**577**	402	**392**	45° 49'
15	**Jungfraujoch**	3480	374	*178*	266 +	286	279 +	194	261	**453**	367	**295**	40° 17'
16	*Eigergletscher* *	2323	**228**	*148*	196	197	226	175	198	215	164	**194** [4]	39° 52'
17	*Grindelwald* *	1050	139	*77*	**153**	121	135	118	129	139	116	**125** [5]	49° 58'
18	*Guttannen* *	1055	196	*116*	**204**	166	187	145	174	199	140	**170** [6]	58° 11'

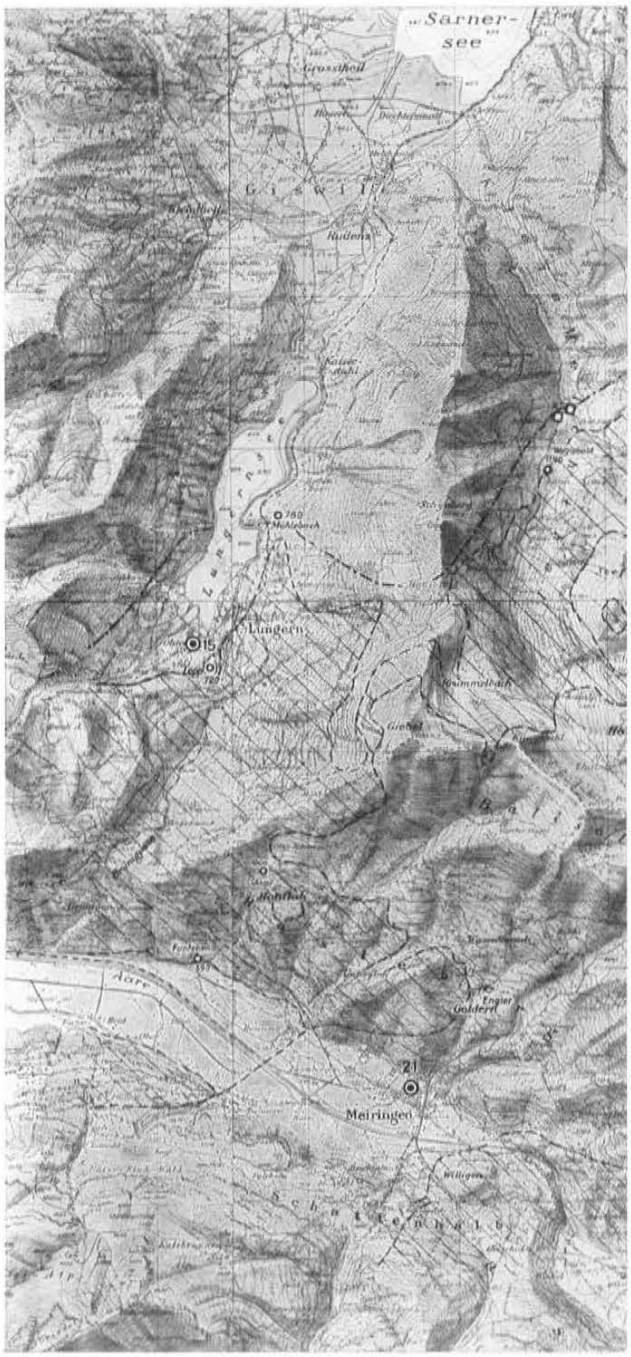
Tagesmaxima (1919/28):

[1]) **98 mm** 26. Dezember 1925.
[2]) **96 mm** 29. Mai 1923.
[3]) **90 mm** 15. Mai 1926.
[4]) **98 mm** 15. Februar 1925.
[5]) **70 mm** 15. Februar 1925.
[6]) **101 mm** 15. Februar 1925.

* = Niederschlagsstationen mit täglicher Beobachtung.
\+ = Nach den Nachbarstationen interpoliert.

*) $tg\ \omega = \frac{\text{Jahressumme der Niederschläge in mm}}{\text{Meereshöhe in m}}$

Hydrographische Uebersichtskart



Relief von Ernst Huber, Vermessungsingenieur E.T.H.

- ⊙ Meteorologische Station
- ○ Niederschlagsstation mit täglicher Beobacht
- ● Niederschlagssammler mit Windschutz
- ∘ Quellen } beim Färbeversuch 1936 geprol
- □ Bäche }

0 1 2 3

Forschungsgebiet Nr. 9: Melchsee.

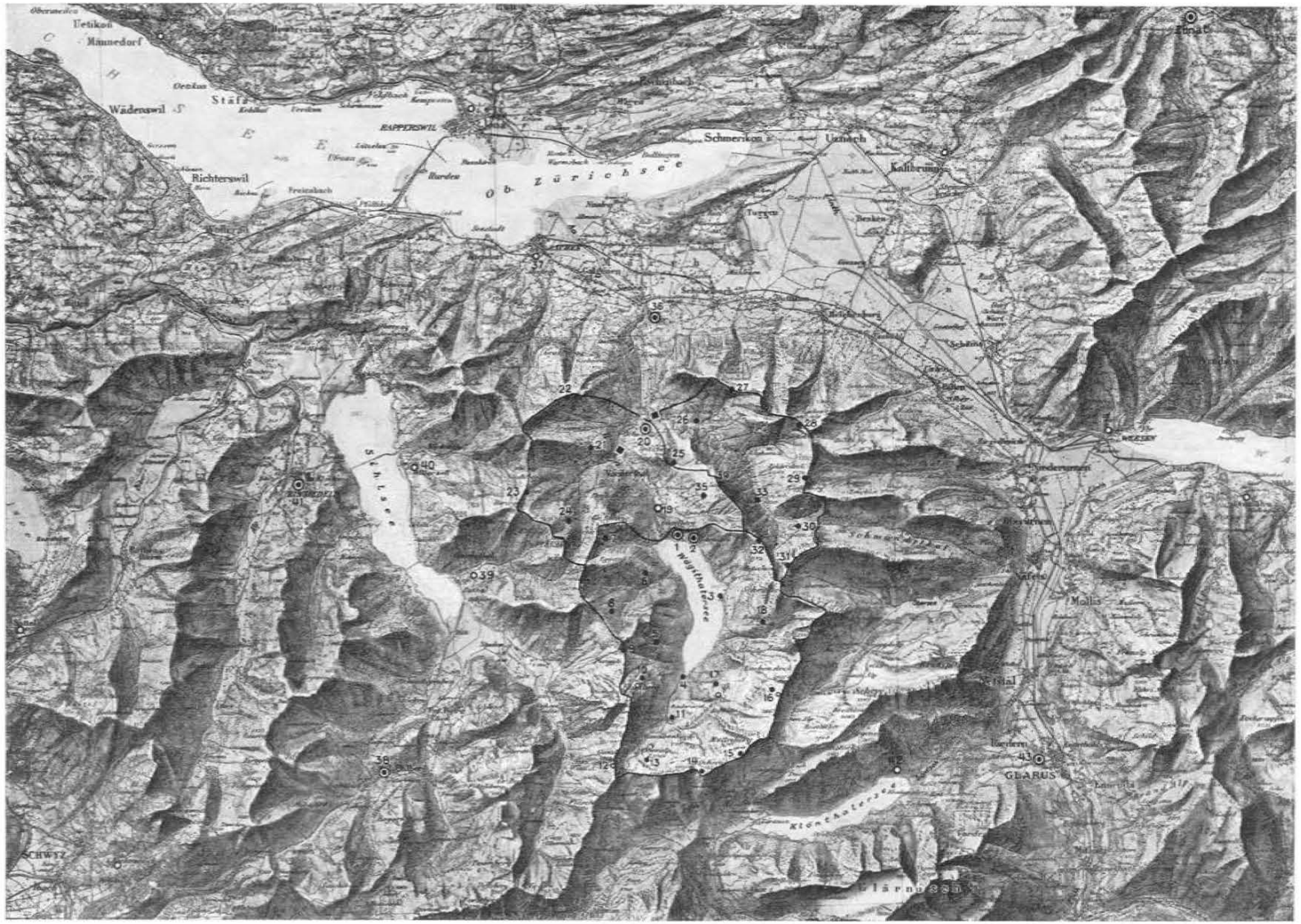
Nr. in Karte	Station
	Im Forschungsge
	Mittel 1932/33—1937/38 (6
1	**Fachshubel** . . . . .
	In % der Jahre
2	**Kringenband** . . . .
4	**Erzegg** . . . . .
5	**Melchseestöckli** . . .
6	**Stöckhubel** . . . . .
7	**Balmeregg** . . . . .
9	**Wärisfluh** . . . . .
10	**Glockhaus** . . . . .
11	*Melchsee-Frutt* * . . .
	Mittelwerte der 9
	(Nr. 1—2, 4—7 un
	In % des Normalwerte
	Mittel 1934/35—1937/38 (4
8	**Rothorn** . . . . .
12	**Blausee** . . . . .

Ergebnisse der Niederschlagsmessungen der Station Melchsee-Frutt, 1910 m ü. M.
Hydrographische Jahre 1932/33 — 1937/38 (6 Jahre).

Forschungsgebiet Nr. 9: Melchsee, Frutt (7,74 km²). Zusammenstellung Nr. 9a

Hydrogr. Jahr	Winter						Sommer						Winter	Sommer	Jahr
	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.-März	April-Sept.	Okt.-Sept.
1932/33	230	80	*35*	65	135	90	130	282	**333**	253	165	230	635	**1393**	2028
%	11,3	4,0	1,7	3,2	6,7	4,4	6,4	13,9	16,4	12,5	8,1	11,4	31,3	68,7	100
1933/34	154	153	*9*	165	16	124	80	76	**341**	174	260	135	*621*	*1066*	*1687* [1]
%	9,1	9,1	0,5	9,8	0,9	7,4	4,8	4,5	20,2	10,3	15,4	8,0	36,8	63,2	100
1934/35	159	*66*	142	152	216	169	**275**	175	116	147	258	121	904	1092	1996 [2]
%	8,0	3,3	7,1	7,6	10,8	8,5	13,8	8,8	5,8	7,4	12,9	6,0	45,3	54,7	100
1935/36	**333**	83	244	150	157	*69*	106	224	236	285	214	293	**1036**	1358	**2394** [3]
%	13,9	3,5	10,2	6,3	6,5	2,9	4,4	9,4	9,9	11,9	8,9	12,2	43,3	56,7	100
1936/37	147	*45*	124	111	247	228	166	112	226	208	**305**	214	902	1231	2133 [4]
%	6,9	2,1	5,8	5,2	11,6	10,7	7,8	5,2	10,6	9,8	14,3	10,0	42,3	57,7	100
1937/38	*89*	92	132	198	105	92	100	185	194	275	**342**	137	708	1233	1941 [5]
%	4,6	4,7	6,8	10,2	5,5	4,7	5,1	9,5	10,0	14,2	17,6	7,1	36,5	63,5	100
Mittelwert 1932/33—1937/38	**185**	**87**	**114**	**140**	**146**	**129**	**143**	**176**	**241**	**224**	**257**	**188**	**801**	**1229**	**2030**
%	9,1	4,3	5,6	6,9	7,2	6,4	7,0	8,7	11,9	11,0	12,6	9,3	39,5	60,5	100

Tagesmaxima: [1]) = **74 mm**, 16. Juli 1934. — [2]) = **62 mm**, 16. Oktober 1934. — [3]) = **138 mm**, 30. Oktober 1935. — [4]) = **58 mm**, 2. August 1937. — [5]) = **112 mm**, 14. August 1938.



Relief von Ernst Huber, Vermessungsingenieur E.T.H.

Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie.

⊙ Meteorologische Station

○ Niederschlagsstation mit täglicher Beobachtung

• Niederschlagssammler mit Windschutz

◆ Abflußstation mit Limnigraph

1 : 200000

0 2 4 6 8 10 12 14 16 km

Tafel 10

Mittlere Niederschlagshöhen im Wäggital [1]), Periode 1. Oktober 1925 bis 30. September 1939 (14 Jahre).

Zusammenstellung Nr. 10b

Hydrographisches Jahr	Inner Wäggital 43,54 km² *)			Vorder Wäggital 22,52 km² ^)			Trebsental 17,27 km² ^)			Inner-, Vorder Wäggital und Trebsental 83,33 km²		
	Winter Okt.-März	Sommer April-Sept.	Jahr Okt.-Sept.	Winter Okt.-März	Sommer April-Sept.	Jahr Okt.-Sept.	Winter Okt.-März	Sommer April-Sept.	Jahr Okt.-Sept.	Winter Okt.-März	Sommer April-Sept.	Jahr Okt.-Sept.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1925/26	960	1496	2456	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1926/27	1193	1750	**2943**	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1927/28	*658*	1241	*1899*	543	1047	*1590*	*482*	1003	*1485*	591	1139	*1730*
1928/29	807	*1178*	1985	659	*1017*	1676	600	*940*	1540	724	*1085*	1809
1929/30	858	1735	2593	658	**1440**	2098	656	1483	2139	762	1603	2365
1930/31	**1365**	1423	2788	**1117**	1163	2280	**1032**	1182	2214	**1229**	1303	2532
1931/32	664	1469	**2133**	*520*	1240	1760	487	1335	1822	*589*	1379	1968
1932/33	788	1595	2383	568	1356	1924	560	1312	1872	681	1472	2153
1933/34	690	1398	2088	550	1137	1687	522	1227	1749	617	1292	1909
1934/35	1112	1295	2407	856	1118	1974	797	1120	1917	977	1211	2188
1935/36	1137	**1805**	**2942**	949	1385	**2334**	849	**1526**	**2375**	1026	**1634**	**2660**
1936/37	1024	1757	2781	807	1343	2150	690	1467	2157	896	1585	2481
1937/38	879	1412	2291	668	1201	1869	589	1208	1797	762	1313	2075
1938/39	881	1491	2372	668	1281	1949	628	1268	1896	771	1388	2159
Mittelwerte												
1927/39 (12 Jahre)	**905**	**1483**	**2388**	**714**	**1227**	**1941**	**658**	**1256**	**1914**	**802**	**1367**	**2169**
1925/39 (14 Jahre)	**930**	**1503**	**2433**	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[1]) Nach Kartenwerten.
*) Geologisches Einzugsgebiet. ^) Topographisches Einzugsgebiet.

Mittlere Niederschlags-[1]), Abflußhöhen und Unterschiede, Inner Wäggital, Periode 1. Oktober 1925 bis 30. September 1939 (14 Jahre).

Geologisches Einzugsgebiet: 43,54 km².

Zusammenstellung Nr. 10c

Hydrographisches Jahr	Winter (Okt.-März)			Sommer (April-Sept.)			Jahr (Okt.-Sept.)		
	Niederschlag N	Abfluß A	Unterschied N—A	Niederschlag N	Abfluß A	Unterschied N—A	Niederschlag N	Abfluß A	Unterschied N—A
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1925/26	960	591	369	1496	1670	— 174	2456	2261	*195*
1926/27	1193	453	**740**	1750	**2144**	— *394*	**2943**	2597	346
1927/28	*658*	412	*246*	1241	*1139*	**102**	*1899*	*1551*	348
1928/29	807	484	323	*1178*	1228	— 50	1985	1712	273
1929/30	858	466	392	1735	1713	22	2593	2179	**414**
1930/31	**1365**	735	630	1423	1751	— 328	2788	2486	302
1931/32	664	*312*	352	1469	1500	— 31	2133	1812	321
1932/33	788	516	272	1595	1584	11	2383	2100	283
1933/34	690	338	352	1398	1344	54	2088	1682	406
1934/35	1112	487	625	1295	1611	— 316	2407	2098	309
1935/36	1137	**847**	290	**1805**	1815	— 10	2942	**2662**	280
1936/37	1024	424	600	1757	2005	— 248	2781	2429	352
1937/38	879	429	450	1412	1479	— 67	2291	1908	383
1938/39	881	355	526	1491	1671	— 180	2372	2026	346
Mittelwerte 1925/26—1938/39 (14 Jahre)	**930**	**489**	**441**	**1503**	**1618**	**— 115**	**2433**	**2107**	**326**

[1]) Nach Kartenwerten.

Mittelwerte der monatlichen und jährlichen Niederschlagshöhen im Gebiete des Stausees Innertal für die hydrographische Jahresreihe 1929/30—1936/37 (8 Jahre).

Zusammenstellung Nr. 10 d

Nr. in Karte	Station	m ü. M.	Winter						Sommer						Winter	Sommer	Jahr
			Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.-März	Apr.-Sept.	Okt.-Sept.
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	**Innertal (Wärterhaus)***	910															
	Mittelwert . . .		**196**	*83*	**112**	**136**	**129**	**116**	**170**	**212**	**264**	**310**	**251**	**186**	**772**	**1393**	**2165**
	In % der Jahressumme		9,1	3,8	5,2	6,3	6,0	5,3	7,8	9,8	12,2	14,3	11,6	8,6	35,7	64,3	100
	Maximalwert . . .		323	194	230	207	277	154	258	356	385	**428**	353	271	1096	1594	2563
	Minimalwert . . .		95	35	19	49	*12*	69	46	101	161	202	97	121	509	1168	1768
2	**Innertal (Schulhaus)***	935															
	Mittelwert . . .		**180**	*77*	**100**	**119**	**108**	**105**	**150**	**190**	**247**	**290**	**238**	**176**	**689**	**1291**	**1980**
	In % der Jahressumme		9,1	3,9	5,0	6,0	5,5	5,3	7,6	9,6	12,5	14,6	12,0	8,9	34,8	65,2	100
	Maximalwert . . .		296	169	193	173	219	142	217	340	368	**397**	331	240	982	1504	2320
	Minimalwert . . .		88	31	22	43	*14*	69	42	90	144	183	94	118	450	1067	1697
3	**Blattli**	927															
	Mittelwert . . .		**161**	*78*	**89**	**109**	**108**	**125**	**151**	**192**	**229**	**283**	**230**	**187**	*670*	*1272*	*1942*
	In % der Jahressumme		8,3	4,0	4,6	5,6	5,6	6,4	7,8	9,9	11,8	14,6	11,8	9,6	34,5	65,5	100
	Maximalwert . . .		295	182	189	158	209	161	224	**395**	349	358	302	252	902	1523	2286
	Minimalwert . . .		84	29	21	64	*11*	79	94	77	125	191	150	114	490	1047	1636
4	**Hundsloch**	920															
	Mittelwert . . .		**212**	*99*	**117**	**140**	**148**	**145**	**191**	**239**	**295**	**341**	**270**	**222**	**861**	**1558**	**2419**
	In % der Jahressumme		8,8	4,1	4,8	5,8	6,1	6,0	7,9	9,9	12,2	14,1	11,1	9,2	35,6	64,4	100
	Maximalwert . . .		398	204	272	214	291	176	382	389	402	**467**	372	269	1152	1838	2983
	Minimalwert . . .		113	29	23	51	*21*	77	50	148	173	205	176	158	549	1379	2008
5	**Großallmeindwald**	1082															
	Mittelwert . . .		**212**	*104*	**127**	**165**	**168**	**168**	**204**	**243**	**290**	**336**	**265**	**212**	**944**	**1550**	**2494**
	In % der Jahressumme		8,5	4,2	5,1	6,6	6,7	6,7	8,2	9,7	11,6	13,5	10,7	8,5	37,8	62,2	100
	Maximalwert . . .		370	*204*	311	269	343	270	316	421	443	**455**	362	289	1364	1823	2992
	Minimalwert . . .		117	*32*	*20*	67	28	88	52	143	172	211	179	125	632	1310	2036
6	**Rohr**	1190															
	Mittelwert . . .		**201**	*100*	**114**	**160**	**162**	**156**	**191**	**218**	**282**	**300**	**269**	**206**	**893**	**1466**	**2359**
	In % der Jahressumme		8,5	4,2	4,8	6,8	6,9	6,7	8,2	9,2	11,9	12,7	11,4	8,7	37,9	62,1	100
	Maximalwert . . .		366	215	273	242	342	215	328	392	**396**	375	333	343	1222	1874	2973
	Minimalwert . . .		108	39	*17*	77	21	78	67	70	160	185	160	145	614	1205	1819

* Normalstationen mit täglicher Beobachtung.

Ergänzung zu Zusammenstellung Nr. 10 b.

Für die Ermittlung der mittleren Winter-, Sommer- und Jahresniederschlagshöhen der in voranstehender Zusammenstellung Nr. 10 b enthaltenen Ergebnisse, wurden für jeden einzelnen Zeitraum Isohyetenkarten konstruiert, total 44 Karten. Für die Mittelwerte erfolgte die Auswertung der Karten nach dem Planimeterverfahren, für die Winter-, Sommer- und Jahreswerte nach der Interpolationsmethode von Professor *W. Meinardus* (vgl. Kap. 1, S. 21 u. ff.).

Ergänzung zu Zusammenstellung Nr. 10 d.

Die vorstehende Zusammenstellung Nr. 10 d ermöglicht nicht nur einen tieferen Einblick in den jährlichen Gang des Niederschlagsgeschehens, sondern sie gibt auch Aufschluß über die Niederschlagsverhältnisse im Bereiche des Ufergeländes am Stausee Innertal.

Uebersichtskarte des Rhonegletschers (11).

Relief von Ernst Huber, Vermessungsingenieur E. T. H.

Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie.

○ Niederschlagsstation mit täglicher Beobachtung (Nr. 6. u. 9)

● Niederschlagssammler mit Windschutz

◆ Abflußstation mit Limnigraph

1 : 100 000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 km

Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Rhonegletschergebiet und seiner Umgebung

Periode 1. Oktober 1920 bis 30. September 1923 (3 Jahre).

Forschungsgebiet Nr. 11: Rhonegletscher, Gletsch (38,87 km²). Zusammenstellung Nr. 11

Nr. in Karte	Station	m ü. M. (a. H.)	1920/21	1921/22	1922/23	Mittelwert 1920/23 (3 Jahre)	Ozeanitätswinkel ω [1])
	Im Forschungsgebiet:		cm	cm	cm	cm	
1	**Triftlimmi**	3130	163	268	229	**220**	35° 6'
2	**Scheidfluh**	2800	140	232	194	**189**	33° 59'
3	**Ruhstein**	2780	106	*166*	129	*134*	25° 41'
4	**Hühnerboden**	2700	**220**	**343**	**349**	**304**	48° 23'
5	**Nägelisgrätli**	2393	107	190	166	**154**	32° 49'
6	*Furka (Galenhütten)* *	2406	123	220	171	**171** [1])	35° 27'
7	**Gletsch**	1770	*103*	180	*126*	**136**	37° 36'
	Mittelwerte der 7 Stationen (Nr. 1—7)		*137*	**228**	**195**	**187**	—
	Außerhalb des Forschungsgebietes:						
8	**Kl. Siedelhorn**	2430	145	173	292	**203**	39° 55'
9	*Oberwald* *	1370	115	172	141	**143** [2])	46° 10'
10	**Grimsel-Hospitz**	1900	121	237	222	**193**	45° 30'
11	**Gelmersee**	2144	143	248	231	**207**	44° 2'
12	*Guttannen* *	1055	116	204	166	**162** [3])	56° 56'

Tagesmaxima (1920/23):
[1]) **70 mm** 11. August 1921 und 29. Mai 1923.
[2]) **96 mm** 29. Mai 1923.
[3]) **78 mm** 7. November 1923.

* = Niederschlagsstationen mit täglicher Beobachtung.

[1]) $tg\ \omega = \frac{\text{Jahressumme der Niederschläge in mm}}{\text{Meereshöhe in m}}$

Uebersichtskarte des Saaser Vispgebietes Zermeiggern (Almagel) (12).

Relief von Ernst Huber, Vermessungsingenieur E. T. H.

Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie.

⊙ Meteorologische Station

• Niederschlagsstation mit täglicher Beobachtung (Nr. 18)

• Niederschlagssammler mit Windschutz

◆ Abflußstation mit Limnigraph

1 : 100 000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 km

Forschu

Nr. in Karte
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
15a
17
19
20
21
22
23

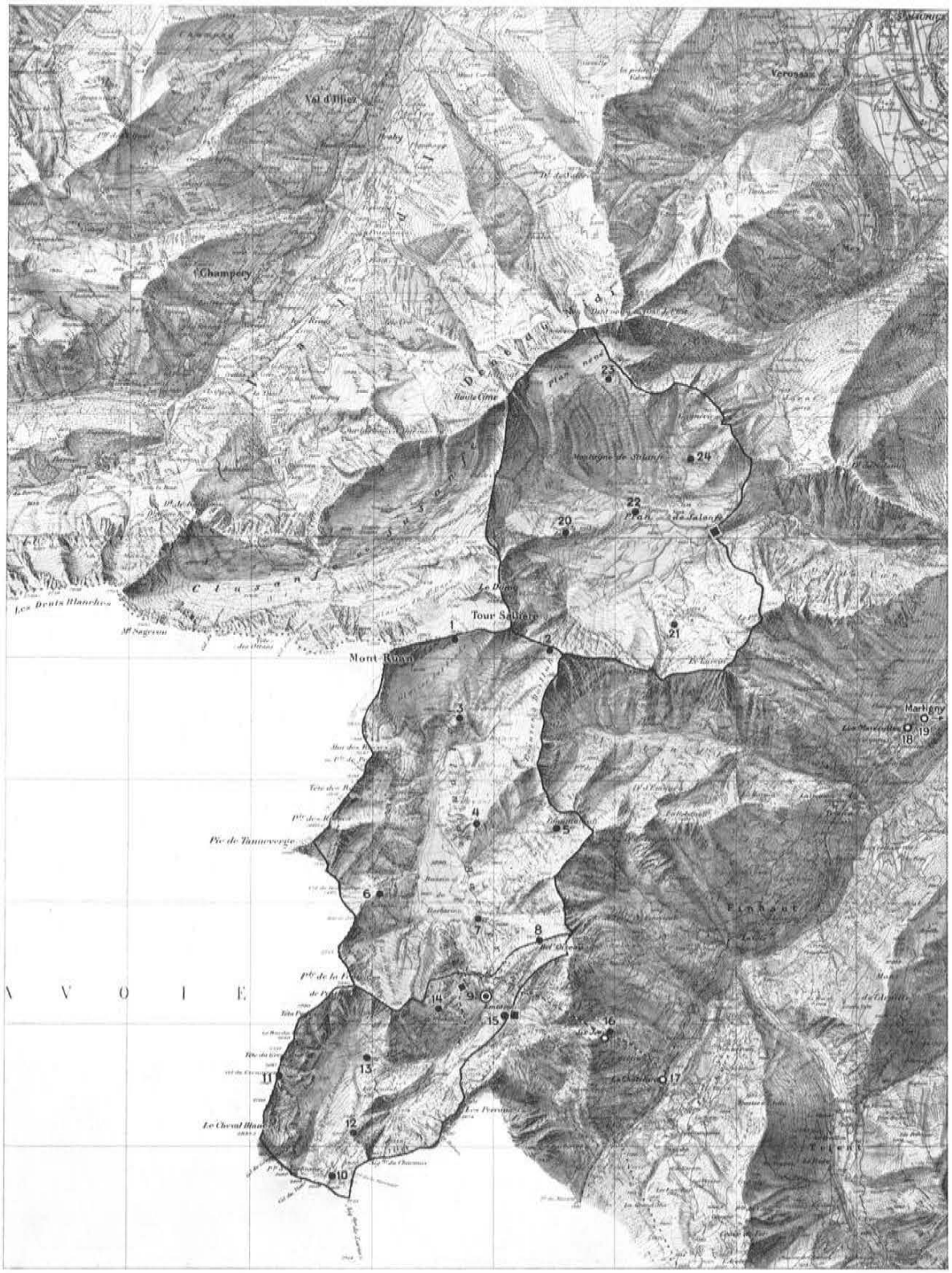
Ergebnisse der Niederschlagsmessungen im Obern Saastal und seiner Umgebung. Periode: 1. Oktober 1939 bis 30. September 1943 und Mittelwerte 1922/43 (21 Jahre).

Forschungsgebiet Nr. 12: Saaser Visp, Zermeiggern (65,25 km²). Ergänzungstabelle zu Nr. 12.

Nr. in Karte	Station	m ü. M. (a. H.)	1939/40	1940/41	1941/42	1942/43	Mittelwerte 1922/42 (20 Jahre)	Mittelwerte 1922/43 (21 Jahre)
			cm	cm	cm	cm	cm	cm
	Im Forschungsgebiet:							
1	**Mondellipaß**	2800	209	221	197	184	230	**228**
2	**Thälliboden**	2485	150	139	152	129	154	**153**
3	**Galmen**	2690	122	98	117	109	122	**122**
4	**Seewinenberg**	3025	316	310	327	265	286	**285**
5	**Galmenhorn**	2850	102+	82+	98+	92+	102+	**102+**
6	**Ofentalpaß**	2800	190	181	147	169	200	**199**
7	**Stelli-Weißtal**	2620	149	202	154	148	189	**187**
8	**Schwarzenberg-Weißtor**	3570	333+	327+	345+	280+	**301+**	**300+**
9	**Schwarzenberggletscher** (Fuß Fluchthorn)	2968	158	155	132	125	156	**155**
10	**Weißtal**	2270	89+	121+	92+	102+	130+	**129+**
11	**Schwarzenbergkopf**	2565	156	228	157	147	191	**189**
12	**Mattmark**	2117	75	83	73	91	*78*	*79*
13	**Allalingletscher**	3369	327	182	158	164	196	**194**
14	**Kessjen**	2840	129	135	100	110	127	**126**
15	**Plattje-A.B.C.-Guffer**	2210	75+	81+	*60+*	73+	91+	**90+**
15a	**Plattje**	2228	125	135	*100*	119	153	**151**
	Mittelwerte der 16 Stationen Nr. 1—15a		**169**	**168**	**151**	**144**	**169**	**168**
	In % des Normalwertes (21 Jahre)		101	100	90	86	101	100
	Außerhalb des Forschungsgebietes:							
17	*Saas-Fee* *	1800	95	95	71	*70*	85	**84**
19	**Furgghorn** (Breuiljoch-Theodulhorn)	3390	402	323	273	355	**316**	**318**
20	**Gornergrat**	3100	125	117	101	117	121	**121**
21	*Zermatt* *	1610	87	66	55	52	67	**66**
22	*Visp* *	648	73	71	56	*44*	*64*	*63*
23	*St. Bernhard* *	2475	257	239	185	204	216	**216**

* = Niederschlagsstationen mit täglicher Beobachtung. + = Nach den Nachbarstationen interpoliert.

Carte synoptique du Bassin de Barberine et de Salanfe (13 et 14).



Relief de Ernst Huber, ingénieur topographe E. T. H.

Reproduction avec l'autorisation du Service topographique fédéral.

⊙ Station météorologique

o Station pluviométrique avec observation journalière

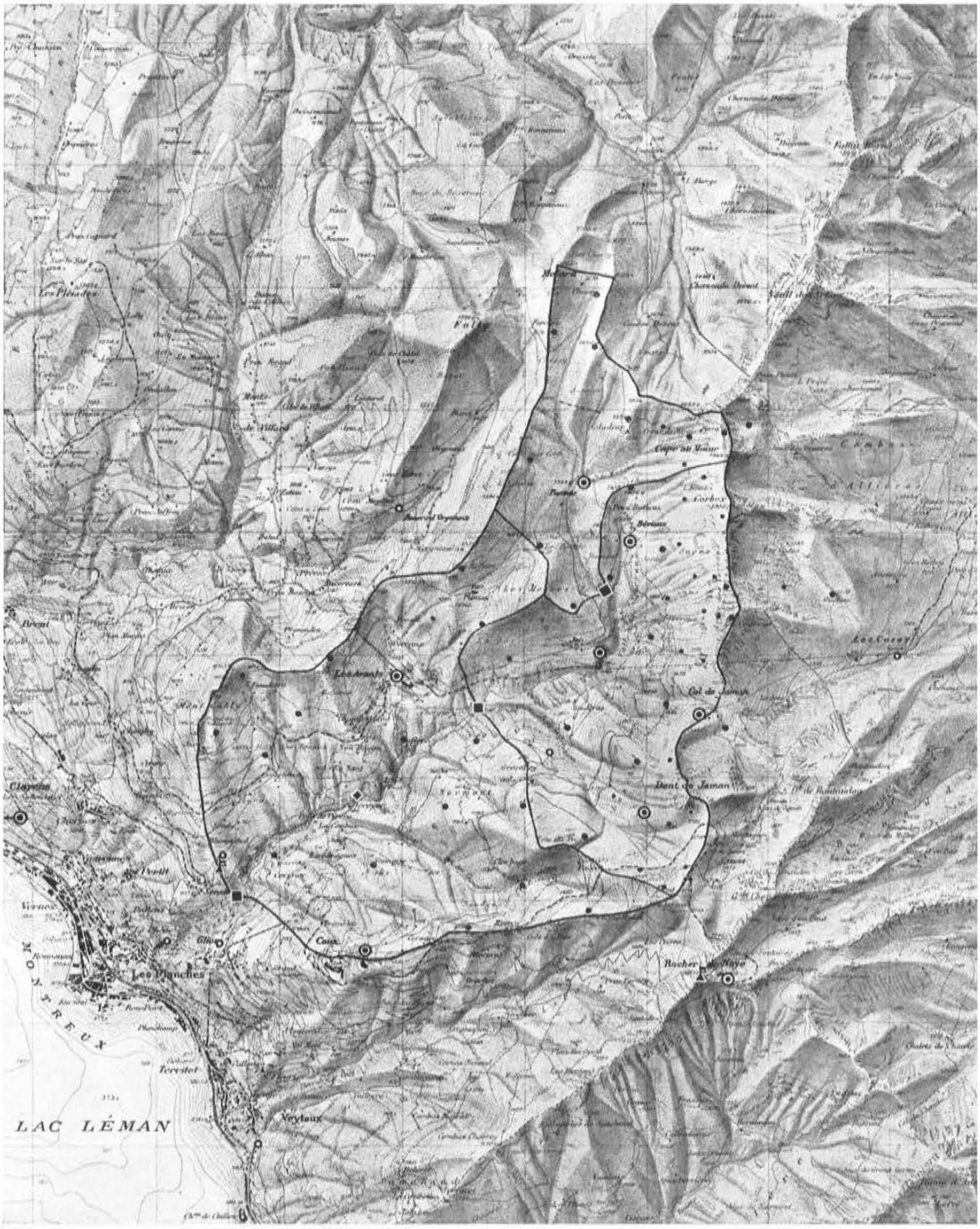
• Totalisateur avec cercle protecteur

◆ Station de jaugeage avec limnigraphe

1 : 100 000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 km

Carte synoptique du Bassin de la Baye de Montreux (15).



Relief de Ernst Huber, ingénieur topographe E. T. H.

Reproduction avec l'autorisation du Service topographique fédéral.

- ⊙ Station météorologique
- ○ Station pluviométrique avec observation journalière
- • Totalisateur avec cercle protecteur
- · Totalisateur sans cercle protecteur
- ◆ Station de jaugeage avec limnigraphe
- Station anémométrique et anémographique

1 : 50000

0 1 2 3 4 km

Größte und kleinste gemessene Jahreswerte des Niederschlages in unseren Forschungsgebieten im Hochgebirge.[1])

Zeitraum der Forschungsarbeiten: 1. Oktober 1918 bis 31. Dezember 1944.

Zusammenstellung Nr. 1/16

Nr.	Forschungsgebiet	Forschungsperiode	Station	Höhenlage	Maximale Niederschlagshöhe	Station	Höhenlage	Minimale Niederschlagshöhe	Verhältnis: Maximum[2]) / Minimum
				m ü. M.	cm		m ü. M.	cm	
1	Somvixer Rhein, Val	1. Okt. 1937 — 30. Sept. 1943	Medelser Hütte	2480	275 1938/39	Alp Nadels	1880	98 1941/42	2.8
1a	Somvixer Rhein, A. Sutglatschèr	1. Okt. 1937 — 30. Sept. 1943	Greinaboden West	2327	231 1939/40	Greinaboden Ost	2327	100 1937/38	2.3
2	Hinterrhein, Sufers	1. Okt. 1918 — 30. Sept. 1943	Bernhardinpaß	2073	393 1926/27	Splügen-Dorf	1500	78 1920/21	5.0
3	Averser Rhein, Campsut	1. Okt. 1918 — 30. Sept. 1943	Piz Scalotta	2970	395 1919/20	Avers am Bach	1955	67 1920/21	5.9
4	Averser Rhein, Innerferrera	1. Okt. 1923 — 30. Sept. 1943	Innerferrera	1480	193 1926/27	Innerferrera	1480	100 1941/42	1.9
5	Hinterrhein, Andeer-Bad	1. Okt. 1918 — 1. Okt. 1923 — 30. Sept. 1943	Piz Curvèr	2810	182 1926/27	Andeer	980	55 1920/21	3.3
6	Fundognbach, Donat	1. Okt. 1923 — 30. Sept. 1943	Muotaulta-Annarosa	2800	202 1926/27	Muotaulta-Annarosa	2800	121 1940/41	1.7
7	Davosersee, Davos-Dorf	1. Nov. 1927 — 31. Okt. 1937	Totalpsee	2510	206 1934/35	*Seehorn-Hörnli*	2252	53 1928/29	3.9
8	Aare, Grimsel	1. Okt. 1919 — 30. Sept. 1928	Oberaarjoch	3310	366 1919/20	Oberaaralp	2257	92 1920/21 u. 1927/28	4.0
9	Melchsee, Frutt	1. Okt. 1932 — 30. Sept. 1938	Glockhaus	2440	247 1935/36	Stöckhubel	1925	106 1933/34	2.3
10a	Stausee Innertal, Wäggital	1. Okt. 1925 — 30. Sept. 1939	Oberalp	1585	408 1936/37	Torberglücke	2061	143 1928/29	2.9
10b	Vorder Wäggital, Rempen	1. Okt. 1925 — 30. Sept. 1939	Unteralten	1295	251 1930/31	Pfiffegg	1255	139 1927/28	1.8
10c	Trebsental	1. Okt. 1925 — 30. Sept. 1939	Bockmattli	1810	302 1930/31	Gelbberg	1390	114 1928/29	2.6
11	Rhonegletscher, Gletsch	1. Okt. 1920 — 30. Sept. 1923	Hühnerboden	2700	349 1922/23	Gletsch	1770	103 1920/21	3.4
12	Saaser Visp, Zermeiggern	1. Okt. 1922 — 30. Sept. 1943	Ofentalpaß Schwarzenberg-Weißtor	2800 3570	404 406 1935/36	Plattje-A.B.C.-Guffer	2210	64 1932/33	6.3
13	Barberine, Emosson	1. Okt. 1926 — 30. Sept. 1943	**Col de Tanneverge**	2501	**445** 1926/27	Col du Grenairon	2650	70 1942/43	**6.4**
14	Salanfe, Salanfe	1. Okt. 1929 — 30. Sept. 1943	La Tour	2214	340 1930/31	Plan Nevé Gagnerie	2720 2208	108 1932/33 1934/35	3.1
15	Baye de Montreux, Montreux	1. Okt. 1931 — 30. Sept. 1940	Goille aux Cerfs	1550	314 1939/40	Cape au Moine	1878	84 1932/33	3.7
16	Magliasina, Aranno[3])	1. Jan. 1939 — 31. Dez. 1944	Sedi	1200	360 (1939)	Lema (Gipfelstation)	1580	120 (1943)	3.0

[1]) Die größten und kleinsten gemessenen Monats- und Tageswerte sind, soweit vorhanden, den jeweiligen Zusammenstellungen (Nr. 1 bis 15) beigeordnet worden.

[2]) Die Verhältniswerte dieser Kolonne beziehen sich auf *ungleiche* Zeiträume, weshalb im Vergleich Vorsicht geboten ist.

[3]) Ergebnisse der Untersuchungen von Dr. *F. Gygax* über den Wasserhaushalt des Magliasinagebietes (Kanton Tessin).