

Zur Hydrologie des Hochgebirges der Schweizer Alpen

Autor(en): **Lütschg, O.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **113 (1932)**

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90387>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Zur Hydrologie des Hochgebirges der Schweizer Alpen¹

Von

O. LÜTSCHG, Zürich

„L'expérience est son propre critère.“
Stuart Mill.

Im viel verzweigten Arbeitskreis der Gewässerkunde bildet zweifellos die planmässige Aufstellung der Wasserbilanz von Flussgebieten das Kernstück. Sie erfordert in allererster Linie eine vollständige Klarstellung der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluss und Verdunstung.

Zur Lösung dieser Aufgabe geht man am sichersten von kleinen natürlichen Landschaftsgebieten aus, die in sich möglichst homogen, aber nach ihrer Lage zum Meer, Höhe über Meer, ihrer Gestalt, Beschaffenheit und Bekleidung des Bodens verschieden sind. Jahrzehnte hindurch begnügte man sich damit, nur die Unterschiede zwischen Niederschlag und Abfluss oder die Abflusskoeffizienten festzustellen. Ja eine Zeitlang schien es, als ob die Forschung vor einer zahlenmässigen Erfassung der Vorgänge überhaupt haltzumachen beabsichtige. Führende Geologen zweifelten an der Erfassbarkeit des Wasservorrates im Boden, überhaupt an der Möglichkeit einer genauen Bestimmung von Rücklage und Verbrauch früherer Niederschläge. Gegen solche Argumente wurde aber mit Recht Sturm gelaufen. Die Kluft, die lange Zeit zu bestehen schien, ist heute trotz aller Schwierigkeiten überbrückbar geworden.

Meine Abteilung für Gewässerkunde² führt heute in folgenden Bezirken Einzelforschungen aus:

¹ Vortrag, gehalten am 8. August 1932 an der Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft auf dem Jungfrauoch.

² Zurzeit der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt angegliedert.

Nr.	Gebiet	Mittlere Höhenlage d. Gebietes	Periode 1. X.—30. IX.	Anzahl Jahre	untersucht werden
1	Davosersee . . .	m ü. M. 2003	1927/30	3	Niederschlag
2	Tamina	1800	1929/31	2	„
3	Grimsel	2709	1919/31	12	Niederschlag u. Abfluss
4	Inner Wäggitäl .	1360	1925/31	6	„ „ „
5	Rhonegletscher .	2720	1920/23	3	„ „ „
6	Aletschgletscher .	2918	1915/31	16	„ „ „
7	Oberes Saastal .	2850	1922/31	9	„ „ „
8	Barberine . . .	2329	1926/31	5	„ „ „ ¹
9	Salanfe	2329	1929/31	2	„ „ „
10	Baye de Montreux	1213	1931/32	1	„ „ „ ²
11	Suchet (Jura) . .	—	1927/31	4	Niederschlag

Aus vorstehender Tabelle³ geht recht eindrucksvoll hervor, dass der Charakter dieser Landschaften ein recht ungleicher ist. Für jeden einzelnen dieser Forschungsbezirke ist nun, soweit möglich, eine vollständige Wasserhaushaltsrechnung aufgestellt worden. Ausser Niederschlag und Abfluss wurden also für kürzere Zeitabschnitte auch Rücklage und Aufbrauch früherer Niederschläge, und zwar nach Menge und jahreszeitlicher Verteilung in Rechnung gezogen. Arbeiten dieser Art sind heute noch sehr selten, da die zahlenmässige Erfassung von Rücklage und Aufbrauch mit erheblichen Schwierigkeiten und Kosten verbunden ist. Und mit zunehmender Höhenlage des Forschungsbezirkes wachsen solche naturgemäss noch besonders stark an, nicht nur der Abgelegenheit und schweren Zugänglichkeit der Gebiete wegen, sondern weil sich zu der recht zeitraubenden Ermittlung der unterirdischen Speicherung, der Wasserkapazität des Bodens, noch die Bestimmung der Schnee-, Firn- und Gletschermassen und ihrer Veränderungen, also auch deren Aufbrauch gesellen.

Die Lösung dieser schwierigen Frage setzt selbstverständlich für jede einzelne Landschaft die Einrichtung eines engmaschigen Netzes von Niederschlagsstationen für die Aufstellung einer genauen Niederschlagskarte, sowie den Bau und Betrieb einer erstklassigen Wassermessstation voraus.

¹ Abfluss in Verarbeitung. ² Niederschlag und Abfluss in Verarbeitung.
³ Über die Eigenart der einzelnen Forschungsbezirke sei im weitern auf die Hauptergebnisse S. 273—277 hingewiesen.

Die höheren Regionen speichern in Form von Schnee, Firn und Eis, die sich allmählich in einen Gletschereisstrom umwandeln, den Ueberschuss an Niederschlägen auf (Rücklagen); in den trockenen, warmen Zeiten geben ihn die Gletscher durch Schmelzung (Ablation) an den Bach wieder ab (Aufbrauch früherer Rücklagen). Die ausgleichenden Eigenschaften der Gletscher erstrecken sich aber nicht nur auf Jahreszeiten und Einzeljahre, sondern auch über Zeitabschnitte von zehn, fünfzig und mehr Jahren. Für eine zahlenmässige Erfassung von Rücklage und Verbrauch müssen alle diese Erscheinungen erkannt und auf das genaueste erforscht werden, denn nur auf Grundlage solcher Erkenntnis kann das vorliegende Problem in befriedigender Weise seiner Lösung zugeführt werden.

Dass mit dem Fortschritt der Forschungen auch in den zur Ausführung gelangten Methoden Verbesserungen erzielt werden konnten, braucht nicht näher erläutert zu werden. Es genügt, wenn auf den grossen Wert terrestrischer und luftphotogrammetrischer Aufnahmen für die zahlenmässige Bestimmung der festen Rücklagen in Form von Schnee, Firn und Eis noch im besondern hingewiesen wird.

Ein abschliessendes Urteil über die Genauigkeit der für die Aufstellung der Wasserbilanzen nötigen Einzelwerte zu geben, ist heute noch nicht möglich; die Flusskunde hat aber einen so hohen Stand erreicht, dass die zahlenmässig genaue Lösung der vorliegenden Probleme in greifbare Nähe gerückt ist.

Über die Hauptergebnisse der Niederschlagsforschungen in unsern Sondergebieten geben die nachfolgenden Tabellen Aufschluss.

1. Davoserseegebiet

Periode: 1. Oktober 1927 bis 30. September 1930

Station	m ü. M.	Mittelwert (3 Jahre)
		cm
Klosters*	1207	124
Davos-Wolfgang*	1650	102
Drusatscha	1770	96
Seehorn	2240	64
Salez Mäder	2000	84
Totalpseeli	2520	161
Schatzalp ob Davos* . .	1868	101
Davos-Platz*	1560	91

* = Normalstationen mit täglicher Beobachtung.

2. *Taminagebiet*

Periode: 1. Oktober 1929 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (2 Jahre)
		cm
Sargans*	507	142
Plantahof*	530	112
Valens*	925	151
Maprak*	823	124
Vättis*	951	116
Vindels	1623	135
Vättnerälpli	1885	146
Gelbberg	2083	168
First	2200	123
St. Martin	1396	154
Panäraalp	2028	178
Reichenau*	604	105
Flims*	1102	130
Elm*	958	166

3. *Grimselgebiet*

Periode: 1. Oktober 1919 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (12 Jahre)
		cm
Guttannen*	1055	172
Gelmersee	2144	202
Grimsel-Hospiz	1900	217
Pavillon Dollfuss	2415	163
Abschwung	2900	218
Oberaarjoch	3310	259
Oberaaralp	2257	142
Kl. Siedelhorn	2430	209
Oberwald*	1370	163
Gletsch	1770	169 ¹
Furka (Galenhütten)*	2406	204
Scheidfluh	2800	229 ¹

¹ Mittelwert 1919/20—1929/30.

4. Inner-Wäggital

Periode: 1. Oktober 1925 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (6 Jahre)
		cm
Innertal (Wärterhaus)*	910	211
Innertal (Schulhaus)*	935	193
Blattli	927	181
Hundsloch	920	225
Grossallmeindwald	1082	245
Rohr	1190	222
Bärlauialp	1380	231
Tannstafelalp	1335	224
Fläschlihöhe	1402	236
Fluhberg	1480	281
Abernalp	1125	295
Oberalp	1585	295
Durchgäng	1920	323
Torberglücke	2061	203
Twärmattli	1958	190
Rädertenalp (Lauibühl)	1515	257
Hohfläschenalp	1510	253

5. Rhonegletschergebiet

Periode: 1. Oktober 1920 bis 30. September 1923

Station	m ü. M.	Mittelwert (3 Jahre)
		cm
Gelmersee	2144	207
Grimsel-Hospiz	1900	193
Kl. Siedelhorn	2430	202
Oberwald*	1370	143
Gletsch	1770	132
Furka*	2406	171
Nägelisgrätli	2393	162
Hühnerboden	2700	307
Ruhstein	2780	132
Scheidfluh	2800	186
Triftlimmi	3130	221

6. Aletschgletschergebiet

Periode: 1. Oktober 1915 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (16 Jahre)
		cm
Interlaken*	592	122
Lauterbrunnen*	810	120
Grindelwald*	1050	129
Eigergletscher*	2323	199
Jungfrauoch	3480	303
Sphinx	3460	249 ¹
Mönchsgrat	3810	376 ²
Trugberg	3530	180 ³
Kranzberg	3180	413 ¹
Konkordia	2850	243
Eggishorn	2250	132 ⁴
Fiesch*	1080	96
Binn*	1450	104

7. Oberes Saastal, Zermeigerngebiet

Periode: 1. Oktober 1922 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (9 Jahre)
		cm
Saas-Fee*	1800	83
Mattmark	2117	81
Plattje	2210	98
Kessjen	2840	131
Weisstal	2270	139
Galmen	2690	120
Galmenhorn	2850	102
Schwarzenbergkopf	2565	188
Allalingletscher	3360	167
Ofentalpass	2800	189
Mondellipass	2800	233
Rothorn	3237	264 ⁵
Seewinenberg	3025	275
Schwarzenberg-Weisstor	3570	289

¹ Mittelwert 1929/30—1930/31. ² 1920/21—1930/31. ³ 1926/27—1930/31.
1915/16—1926/27. ⁵ 1922/23—1924/25.

8. Barberinegebiet

Periode: 1. Oktober 1926 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (5 Jahre)
		cm
Mont Ruan	2860	374 ¹
Tour Sallière	2975	202 ¹
La Chaux-Derrière	2500	299
Fontanabran	2420	241
La Chaux-Devant	2354	282
Tanneverge	2501	392
Lac de Barberine	1900	252
Lac Vert	2610	260 ¹
Col du Grenairon	2644	93 ¹
Le Vieux Emosson	2170	286
Fenêtre de la Veudale	2470	278 ¹
Pointe de la Feniva	2180	270
Plateau Emosson	1800	209
Châtelard (Wasserschloss)	1850	231
Châtelard-Village*	1123	125
Marécottes*	1090	130
Martigny-Ville*	480	88

9. Salanfegebiet

Periode: 1. Oktober 1929 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (2 Jahre)
		cm
La Tour	2211	299
Mine d'Arsenic	2190	199
Montagne de Salanfe	1973	178
Plan Nevé	2720	174
Gagnerie	2210	198
Savatan*	679	108
Dailly*	1253	150

¹ Mittelwert 1929/30—1930/31.

10. Baye de Montreuxgebiet

Das Niederschlagsnetz des Baye de Montreuxgebietes (Grösse 14,49 km², mittlere Höhe 1213 m ü. M.) umfasst 40 Stationen. Über die Ergebnisse dieser Studien werde ich an anderer Stelle berichten.

11. Suchetgebiet (Jura)

Periode: 1. Oktober 1927 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (4 Jahre)
		cm
Montcherand*	565	99
Baulmes*	634	136
L'Auberson*	1110	151
Mathoulaz	1137	173 ¹
Suchet (Chalet)	1465	205 ¹
Suchet (Sagne)	1535	78
Vallorbe-Reposoir*	930	152
Le Sentier*	1024	166

Über die Frage, ob im Hochgebirge mit unseren Totalisatoren genügend genaue Ergebnisse erzielt werden, habe ich mich in Fachkreisen schon zu wiederholten Malen recht deutlich, und zwar in bejahendem Sinne ausgesprochen.² Wenn man ein Netz von 160 Niederschlagssammlern unter seiner Obhut hat, deren Ergebnisse prüft und verarbeitet und selbst 37 Jahre mit der Scholle des Hochgebirges aufs engste verwachsen ist, ist man wohl berechtigt, ein Urteil abzugeben. In der Beurteilung dieser wichtigen Frage gehe ich — wie so oft — mit meinem Freunde Professor Dr. KARL FISCHER von der Landesanstalt für Gewässerkunde in Berlin einig. FISCHER schreibt über unsere Niederschlagsforschungen im Wäggital wie folgt:³ „Den entscheidenden Beweis dafür, dass die Ermittlungen

¹ Mittelwert 1928/29–1930/31.

² LÜTSCHG, O. Zur Erforschung der Niederschlagsverhältnisse des Hochgebirges. Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Jahrgang 1928. Zürich 1930.

LÜTSCHG, O. Mitteilungen der Hydrologischen Abteilung. Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Jahrgang 1929. Zürich 1931.

LÜTSCHG, O. Zur Wasserwirtschaft des Kraftwerkes Wäggital. Sieben 1930.

³ FISCHER, KARL. Niederschlag, Abfluss und Verdunstung im Wäggital. Meteorologische Zeitschrift, Heft 3, 1931. Braunschweig 1931.

für das Wäggital im wesentlichen zutreffen, liefern meiner Überzeugung nach die Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluss und Verdunstung. Ich bin überhaupt immer mehr zu der Überzeugung gekommen, dass für stark gegliederte Gebirgsländer Gewissheit über die Richtigkeit der Niederschlagskarten nur durch Vergleichung mit den Abflussmengen gewonnen werden kann.“

Über die mittlere Wasserführung der in Untersuchung gezogenen Forschungsgebiete sei auf die nachfolgenden Zusammenstellungen (Seiten 273—277) hingewiesen.

Im Verhalten von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung nimmt das Hochgebirge zweifellos eine Sonderstellung ein.

Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes für die in Untersuchung gezogenen Flussgebiete lauten:

$$\text{für längere Zeiträume: } N = A + V \quad (1),$$

$$\text{für kürzere Zeitabschnitte: } N = A + V + R - B \quad (2),$$

also $V = (N - A) + (B - R)$, wobei $N =$ Niederschlag, $A =$ Abfluss, $V =$ Gebiets- oder Landesverdunstung, $R =$ Höhe der Rücklagen, die sich aus dem Niederschlag des betreffenden Zeitabschnittes bilden, $B =$ die Höhe des Aufbrauches früherer Rücklagen.¹

Setzen wir den Unterschied $N - A = U$, so ergibt sich $R - B = U - V$ (3). Dieses Glied gibt also die Menge an, um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat in der in Untersuchung gezogenen Zeit ändert.

Als Rücklagen fallen namentlich die Schnee- und Eislagerung, die Einsickerung in den Boden, dann aber auch die Aufspeicherung in den Seen in Betracht. Während sich das Mass der Seespeicherungen an Hand der Wasserstandsbeobachtungen und zugehörigen Seeinhalte leicht auf dem Rechnungswege bestimmen lässt, sind für die Erfassung der Schnee- und Eisrücklagen und deren Aufbrauch jährlich wiederkehrende, zeitraubende Untersuchungen notwendig.

Erhebliche Rücklagen vermochten sich für die in Rechnung gezogenen Zeitabschnitte nur in den obersten Lagen der Gebiete, namentlich in den Firn- und Gletscherfeldern zu bilden. Die Rücklagen und Aufbrauchvorgänge, die die vorübergehende Schneelagerung und die Wasserkapazität des Bodens betreffen, sind, wo notwendig, in Rechnung gestellt worden. Der von Jahr zu Jahr wechselnde Witterungscharakter stellt naturgemäss einer genauen Ermittlung

¹ Vgl.: FISCHER, KARL. Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes eines Flussgebietes. Zentralblatt der Bauverwaltung, Heft 18, Jahrgang 1925. Berlin 1925.

dieser Beträge auf den Beginn der hydrographischen Jahre gewisse Schwierigkeiten in den Weg. Der Genauigkeitsgrad der Wasserbilanz wird dadurch leicht in Mitleidenschaft gezogen.

Ähnlich verhält es sich mit der Bestimmung von Rücklage und Verbrauch in den Sammel- und Abschmelzgebieten der Gletscher. Grosse Gletscher gleichen sämtliche klimatische Schwankungen mehr-, ja vieljährig aus. Die Ausgleichung vollzieht sich durch ihre Grössenschwankungen (Dicken- und Längenausdehnung). Der Niederschlag sammelnde Gletscher wächst, der aufgespeicherten Vorrat abgebende schwindet. Ein Wechsel in der Gletscherzu- und abnahme vollzieht sich in recht ungleichen Zeiträumen. Eine Gesetzmässigkeit besteht nicht. Entsprechend der Ausdehnung, Lage, Höhe und Gestalt der Gletscher, kann die jährliche Zu- oder Abnahme an Eis, je nach der Witterung, Beträge von vielen Millionen m^3 erreichen.¹

Daraus erhellt, was für eine Bedeutung den Gletschern im Wasserhaushalte eines Gebietes, speziell bei der Aufstellung der Wasserbilanz zukommt, und dass es keine so leichte Aufgabe ist, aus der jeweiligen Abflussmenge vergletschter Gebiete die wahre Niederschlagsmenge zu bestimmen. Die Zahl der Forschungsjahre für die in Untersuchung gezogenen Gebiete reicht leider zu normalen Werten noch nicht aus. Die Studien können aber, dank der Opferwilligkeit der Elektrizitätswirtschaft, fortgesetzt werden, so dass in einem späteren Zeitpunkte darüber Bericht erstattet werden kann.

Ich beschränke mich heute auf die Bekanntgabe weniger, aber grundlegender Ergebnisse.

¹ Hiezu folgendes Beispiel: Um den Einfluss der Sonnenstrahlung allein auf die Schmelztätigkeit der Gletscher bei heiterem, beinahe windstillem Wetter zu bestimmen, habe ich am 28. Juli 1925 auf dem Allalingsletscher (ca. 2100 m ü. M.) in die Gletscheroberfläche Gletschereisplatten von $30 \times 30 \times 10$ cm Grösse, bestrahlte Fläche $0,09 m^2$, an besonnener und beschatteter Stelle eingefügt. Die Eisstücke wurden bündig zur Gletscheroberfläche gebracht, so dass die Bestrahlung durch die Sonne den natürlichen Verhältnissen beinahe vollständig entsprach.

Ergebnisse: Sonnenscheindauer = 10 Stunden und 20 Minuten.

An Sonne bestrahltes Eisstück
Abschmelzung = $34,50 \text{ kg/m}^2$
= $34,50 \text{ mm}$,

Im Schatten bestrahltes Eisstück
Abschmelzung = $5,30 \text{ kg/m}^2$
= $5,30 \text{ mm}$,

somit durch die Wirkung der Sonnenstrahlen allein, d. h. als Betrag für die Schmelzkraft der Sonnenstrahlung: $(34,50 - 5,30) \text{ kg/m}^2 = 29,20 \text{ mm}$ in total 10 Stunden 20 Minuten.

Das Grimselgebiet in der Finsteraarhorngruppe

Abflußstation: Aare, Rätherichsboden. Ostexposition. Grösse: 98,29 km², davon Gletscher: 52,02 km² = 52,9 % der totalen. Mittlere Höhe: 2709 m ü. M. Tiefster Punkt: 1707 m ü. M. (Rätherichsboden), höchster Punkt: 4275 m ü. M. (Finsteraarhorn), Differenz: 2568 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 9.

Bilanz für die 9jährige Untersuchungsperiode 1919/20—1927/28: Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2415$ mm.-Ozeanitätswinkel¹: 41°43'.

(aus Isohyetenkarte)

Mittlere Abflusshöhe $A_h = \underline{2195}$ mm $\left\{ \begin{array}{l} A_{min.} \text{ 1924/25} = 1852 \text{ mm} \\ A_{max.} \text{ 1919/20} = 2403 \text{ mm} \end{array} \right.$
 Differenz $N_h - A_h = \underline{220}$ mm

Dieser Unterschied von 220 mm darf unter Berücksichtigung der Gletscherschwankungen und der Rücklagen und Aufbrauchvorgänge in der Untersuchungsperiode fast genau gleich der Gebietsverdunstung gesetzt werden. Der gewaltige Unteraargletscher gehört, seiner Ausdehnung und seines geringen Gefälles wegen, zu den trägsten Gletschern der Alpenwelt. Er reagiert deshalb nur wenig, sowie mit starker Verzögerung auf meteorologisch abnorme Perioden und zählt mithin zu den wirksamsten und langfristigen Abflussausgleichern.

*Das voralpine Inner-Wägital in den Schwyzer Alpen*²

Nordexposition. Grösse: 42,36 km². Felsen und Schutthalden: 8,84 km² (20,9 %), Wälder: 8,08 km² (19,1 %), Firn und Gletscher: —, Seen: 4,15 km² (9,8 %) bei Höchststand, übriges Gebiet: 21,29 km² (50,2 %). Mittlere Höhe: 1360 m ü. M. Tiefster Punkt: 900 m ü. M. (Stausee Innertal), höchster Punkt: 2297 m ü. M. (Muttristock), Differenz: 1397 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet: 18.

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

vgl.: GAMS, H. Von den Follatères zur Dent de Morcles. Pflanzengeographische Kommission der S. N. G. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme, 15. Bern 1927. S. 82 u. f.

² Vgl.: LÜTSCHG, O. Zur Wasserwirtschaft des Kraftwerkes Wägital. Siebnen 1930.

Bilanz für die 6jährige Untersuchungsperiode 1925/26—1930/31:
Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2462$ mm. - Ozeanitätswinkel: $61^{\circ}05'$.
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe	$A_h = \underline{2146}$ mm	}	$A_{min.}$ 1928/29 = 1711 mm ¹
			$A_{max.}$ 1926/27 = 2598 mm
Differenz	$N_h - A_h = \underline{316}$ mm		

Das Total der Rücklagen auf 1. Oktober 1925 und 1. Oktober 1931 hält sich, unter Berücksichtigung der im Gebiete ausgeführten Erhebungen, die Waage, weshalb die Differenz $N_h - A_h$ gleich der mittleren Verdunstung des ganzen Gebietes gesetzt werden darf.

Das Rhonegletschergebiet in der Dammagruppe

Abflußstation: Rhone, Gletsch. Südexposition. Grösse: $38,87$ km², davon Gletscher: $24,19$ km² = $62,2$ ‰. Felsen und Schutthalden: $8,74$ km² ($22,5$ ‰), Wälder: $0,22$ km² ($0,6$ ‰), Firn und Gletscher: $24,19$ km² ($62,2$ ‰), Seen: —, übrige Gebiete: $5,72$ km² ($14,7$ ‰). Mittlere Höhe: 2720 m ü. M. Tiefster Punkt: 1760 m ü. M. (Gletsch), höchster Punkt: 3634 m ü. M. (Dammastock), Differenz: 1874 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: *10*.

Bilanz für die 3jährige Untersuchungsperiode 1920/21—1922/23:
Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2042$ mm. - Ozeanitätswinkel: $36^{\circ}54'$.
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe	$A_h = \underline{2337}$ mm
Differenz	$N_h - A_h = \underline{-295}$ mm

Die vorliegende Untersuchungsperiode wird namentlich durch den aussergewöhnlich warmen und niederschlagsarmen Sommer und Herbst 1921 (Juli—Oktober) gekennzeichnet. Für das Wallis sind die Niederschlagssummen seit Bestehen des Stationsnetzes (68 Jahre) überhaupt die kleinsten. Die Niederschlagsarmut 1921 und des vorangegangenen Winters 1919/20 (sic) war eine nie dagewesene; bis zum 22. Oktober 1921 herrschte eine sommerliche Wärme. Der Verbrauch früherer Rücklagen (Ablationsbetrag der Gletscher) erreichte enorme Beträge. Um hierüber Anhaltspunkte zu erhalten, habe ich als Verdunstungsgrösse für das ganze Gebiet einen Be-

¹ Für die 13jährige Abflussperiode 1918/19—1930/31 ergeben sich folgende Minimal-, Maximal- und Mittelwerte:
 $A_{min.} = 1201$ mm (1920/21), $A_{max.} = 2689$ mm (1921/22), $A_m = 2092$ mm.

trag von 220 mm eingesetzt. Wenn wir die Rücklagen praktisch gleich Null setzen (gegenüber dem Aufbrauch kommt ihnen keine Bedeutung zu), so ergibt sich für den Aufbrauch

$$B = A + V - N = 515 \text{ mm,}$$

auf die totale Gletscherfläche bezogen, ein mittlerer Ablationsbeitrag von 830 mm Wasserhöhe, was einer Ablationsmasse von total rund 20 Millionen m³ entspricht.

Noch interessanter gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir nur das Wärmejahr 1920/21 ins Auge fassen:

Ergebnisse:	N_h (aus Karte) =	1571 mm.	- Ozeanitätswinkel:	30°01'.
	A_h	=	<u>2410 mm</u>	
Differenz	$N_h - A_h$	=	<u>- 839 mm</u>	

In diesem aussergewöhnlichen Trockenjahr vermochten sich keine Rücklagen von Belang zu bilden, deshalb $R = 0$. Setzen wir für die Gesamtverdunstung des Gebietes einen Betrag von 300 mm ein (ein grösserer Wert darf entsprechend Gestalt und Bekleidung nicht in Rechnung gestellt werden), so ergibt sich für den Aufbrauch, bezogen auf das ganze Gebiet, $B = 1139$ mm. Dieser Wert entspricht einer Wassersäule über der Gesamtoberfläche der Gletscher des Einzugsgebietes von 1830 mm oder einer totalen Abflussmasse von 44,3 Millionen m³.

Stellen wir für den mittleren Wasserwert von Firn und Gletscher 0,6 in Rechnung, so erreicht der Gletscherschwund, bezogen auf die totale Gletscheroberfläche, eine Höhe von mindestens 3 Metern.

*Das Aletschgletschergebiet in der Finsteraarhorngruppe*¹

Abflußstation: Massa, Massaboden (Naters). Exposition: Süd-Südwest. Grösse: 205,01 km², davon Gletscher: 146,05 km² = 71,2% des totalen. Felsen und Schutthalden: 39,58 km² (19,3%). Wälder: 3,75 km² (1,8%). Firn und Gletscher: 146,1 (71,2%). Seen: 0,32 km² (0,2%). Übriges Gebiet: 15,40 km² (7,5%). Mittlere Höhe: 2918 m ü. M. Tiefster Punkt: 690 m ü. M. (Massaboden). Höchster Punkt: 4182 m ü. M. (Aletschhorn). Differenz: 3492 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 9.

¹ Vgl.: LÛTSCHEG, O. Der Märjelsee und seine Abflussverhältnisse. Annalen der Schweiz. Landeshydrographie. Bd. I. Bern 1915.

Für die Grösse des Gebietes ist die Zahl der Niederschlagsstationen eine unzureichende, die grosse Fläche der Aletschhorngruppe ist mit gar keiner Station belegt. Der Genauigkeitsgrad der konstruierten Niederschlagskarte ist deshalb ein beschränkter.

Bilanz für die 5jährige Untersuchungsperiode 1923/24—1927/28:
Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2844$ mm. - Ozeanitätswinkel: $44^\circ 16'$.
(aus Karte)

$$\begin{array}{l} \text{Mittlere Abflusshöhe} \quad A_h = \underline{2083} \text{ mm} \\ \text{Differenz} \quad N_h - A_h = \underline{761} \text{ mm} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} A_{min.} \text{ 1924/25} = 1806 \text{ mm} \\ A_{max.} \text{ 1927/28} = 2773 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Setzen wir für die mittlere Verdunstung des Gebietes $V = 200$ mm und für den Verbrauch früherer Rücklagen $B = 200$ mm (Wärmesommer 1928) ein, so ergibt die Bilanzgleichung, bezogen auf das ganze Gebiet, $R = 760$ mm, auf die Gletscheroberflächen allein, eine Wassersäule von 1 Meter. Diese Akkumulation in den oberen und obersten Lagen des Gebietes entspricht den wirklichen Erscheinungen.¹

*Das obere Saastal in den Walliser Alpen (Penninen)*²

Abflußstation: Saaser Visp, Zermeiggern. Nordexposition. Grösse: $65,25 \text{ km}^2$, davon Gletscher: $29,09 \text{ km}^2 = 44,6 \%$ der totalen. Felsen und Schutthalden: $21,60 \text{ km}^2$ ($33,1 \%$). Wälder: $0,69 \text{ km}^2$ ($1,1 \%$). Firn und Gletscher: $29,09 \text{ km}^2$ ($44,6 \%$). Seen: $0,15 \text{ km}^2$ ($0,2 \%$). Übriges Gebiet: $13,72 \text{ km}^2$ ($21,0 \%$). Mittlere Höhe: 2850 m ü. M. Tiefster Punkt: 1729 m ü. M. (Zermeiggern). Höchster Punkt: 4203 m ü. M. (Rimpfischhorn). Differenz: 2474 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 20.

Bilanz für die 9 jährige Periode 1922/23—1930/31:

Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 1904$ mm. - Ozeanitätswinkel: $43^\circ 51'$.
(aus Karte)

$$\begin{array}{l} \text{Mittlere Abflusshöhe} \quad A_h = \underline{1692} \text{ mm} \\ \text{Differenz} \quad N_h - A_h = \underline{212} \text{ mm} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} A_{min.} \text{ 1924/25} = 1519 \text{ mm} \\ A_{max.} \text{ 1926/27} = 1990 \text{ mm} \end{array} \right.$$

¹ Vgl.: MAURER, J., u LÜTSCHG, O. Zur Meteorologie und Hydrologie des Jungfraugebietes. Festschrift zur Eröffnung der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch, S. 33—44, Zürich, Juni 1931.

² Vgl.: LÜTSCHG, O. Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge. Zürich 1926.

Die Beträge für Rücklage und Aufbrauch heben sich nahezu auf. Der Differenzbetrag von 212 mm darf deshalb gleich der Gesamtverdunstung des Gebietes gesetzt werden.

Das Salanfegebiet in der Gruppe der Dent du Midi (Savoyer Alpen)

Abflußstation: Salanfe, Montagne de Salanfe. Nordostexposition. Grösse: 18,43 km², davon Gletscher: 1,28 km² = 6,9 % der totalen. Felsen und Schutthalden: 10,72 km² (58,2 %). Wälder: —. Firn und Gletscher: 1,28 km² (6,9 %). Seen: 0,012 km² (0,1 %). Übriges Gebiet: 6,42 km² (34,8 %). Mittlere Höhe: 2329 m ü. M. Tiefster Punkt: 1880 m ü. M. (Montagne de Salanfe). Höchster Punkt: 3222 m ü. M. (Tour Sallière). Differenz: 1342 m. Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet: 6.

Bilanz für die 2jährige Periode 1929/30 und 1930/31:

(Für jedes einzelne Jahr wurden Niederschlagskarten angefertigt.)

Ergebnisse 1929/30: Mittlere Niederschlagshöhe $N_{h1} = 2137$ mm
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe $A_{h1} = 1860$ mm

Differenz $N_{h1} - A_{h1} = \underline{277}$ mm

Ergebnisse 1930/31: Mittlere Niederschlagshöhe $N_{h2} = 2611$ mm
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe $A_{h2} = 2396$ mm

Differenz $N_{h2} - A_{h2} = \underline{215}$ mm

Mittelwerte für 1929/30—1930/31:

$$\frac{N_{h1} + N_{h2}}{2} = 2374 \text{ mm. -Ozeanitätswinkel: } 45^{\circ}33'.$$

$$\frac{A_{h1} + A_{h2}}{2} = \underline{2128} \text{ mm}$$

Differenz $N_h - A_h = \underline{246} \text{ mm}$

Die Rücklagen und Aufbrauchbeträge halten sich auch in diesem Bezirke annähernd das Gleichgewicht, weshalb die Differenz dem Mittelwert der Gesamtverdunstung gleichgestellt werden darf.

Ausgehend von der Erwägung, dass für eine wenn auch bescheidene Zahl von charakteristischen Landschaften der Schweizer Alpen verlässliche Werte vorliegen, habe ich den Versuch

gewagt, ihre Verdunstungsgrößen in Beziehung zur mittleren Höhenlage der Gebiete zu bringen. Verwenden wir hierzu ein Koordinatensystem, in welchem für die einzelnen Bezirke als Abszisse die Verdunstungswerte in Millimetern, als Ordinate die mittlere Höhenlage über Meer eingetragen wird, so ergibt sich als Hauptresultat die gewichtige Tatsache, dass die Gebietsverdunstung mit zunehmender mittlerer Höhenlage der Landschaft abnimmt, ein Ergebnis, welches

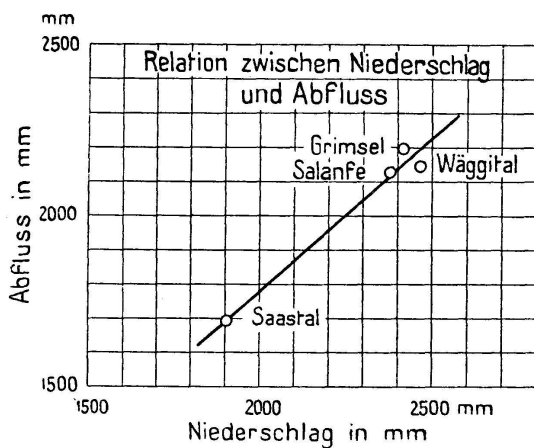


Fig. 1

Relation zwischen der mittleren Höhenlage der Gebiete und der Verdunstung

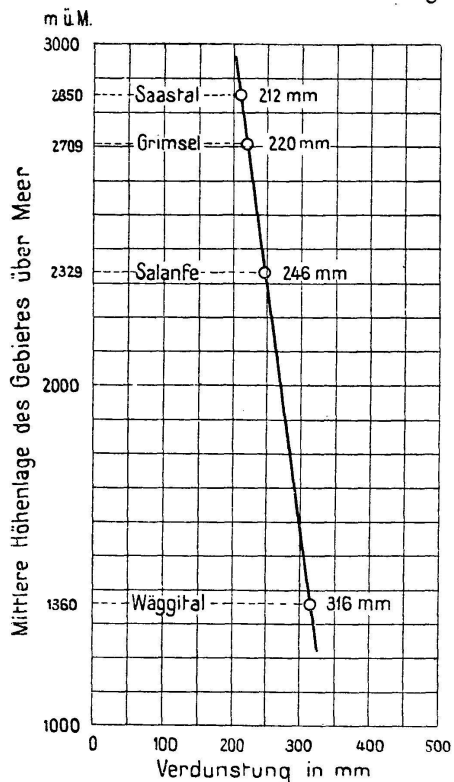


Fig. 2

übrigens mit unseren bisherigen Untersuchungen auf den Seen am Fusse der Alpen und in hochalpiner Lage harmoniert, trotzdem die Begriffe Landesverdunstung und Seeverdunstung scharf voneinander zu trennen sind (vgl. Fig. 1 und 2).

Bemerkenswert ist, dass sich die Landesverdunstung nur in recht bescheidenem Masse um die Eigenart der Bezirke zu kümmern scheint. Eine Erklärung für diese Erscheinung ist nicht leicht zu geben, weshalb es ratsamer sein dürfte, erst weitere Ergebnisse abzuwarten.

Die vier Punkte für Wäggitäl (316 mm), Salanfe (246 mm), Grimsel (220 m) und Saastal (212 mm) liegen genau auf einer Geraden, die Abnahme der Verdunstung mit der Höhe erreicht danach pro 100 m einen Betrag von rund 7 mm. Die geringe Streuung der Punkte (vgl. Fig. 2) beruht meines Erachtens nicht auf Zufälligkeiten, sondern es handelt sich dabei um Sonder-eigenschaften, teils der Jahresreihen, teils der Gebiete.

Zu weitergehenden Schlussfolgerungen reicht die Reihe der Sonderstudien und namentlich der Untersuchungsjahre noch nicht aus, weshalb ich von einer ausführlichen Kritik dieser Beziehungen absehe. Nehmen wir aber an — und dies dürfte in absehbarer Zeit auch der Fall sein — der Verlauf dieser Kurve (Fig. 2) sei durch eine hinreichende Zahl von Untersuchungen in absolut eindeutiger Weise festgelegt, ferner es lägen für sämtliche Forschungsbezirke für eine ganze Reihe von charakteristischen Einzeljahren auf dem Versuchswege ermittelte genaue Verdunstungswerte vor, dann kommt solchen Diagrammen in wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Hinsicht — man denke dabei nur an die Sicherung eines geregelten ökonomischen Abflusses unserer Staubecken für die Energiewirtschaft — hohe Bedeutung zu, denn sie ermöglichen auf denkbar einfachste Weise eine zahlenmässige Erfassung des Gliedes ($R - B$), d. h. der Menge, um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat im vorangegangenen Jahr, in unserem Falle auf den jeweiligen Beginn des hydrographischen Jahres geändert hat.

Soll nämlich aus der Höhe des Niederschlages und des Abflusses zahlenmässig auf die Grösse von Rücklage weniger Aufbrauch ($R - B$) für bestimmte kurze Zeiträume geschlossen werden, so genügt es, anhand der Ergebnisse der ausgeführten Sonderstudien und der meteorologischen Verhältnisse die Gebietsverdunstung für den fraglichen Zeitraum festzustellen. Sie kann, sobald eine genügende Zahl von Sonderuntersuchungen für charakteristische Einzeljahre vorliegen, mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden.

Setzen wir die Differenzgrösse aus Niederschlag und Abfluss (U), sowie den ermittelten Betrag für die Gebietsverdunstung (V) in die Formel (3): $R - B = U - V$ ein, so entspricht eben dem Differenzbetrag ($U - V$) die Menge ($R - B$), um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat in der in Frage stehenden Zeit geändert hat.

Der nächste Schritt zu einer vermehrten Sicherstellung der Lage der Relationskurve (Fig. 2) besteht also darin, weitere Untersuchungen zur direkten Bestimmung der Verdunstung durch experimentelle Ermittlung der Rücklagen- und Aufbrauchbeträge für kurze Zeiträume, vorwiegend in verschiedenen vergletscherten Gebieten, auszuführen. Solche Studien sind im obern Saastale bereits an Hand genommen worden. Sämtliche Gletscher dieses eingehend erforschten Gebietes wurden nun auf den Beginn des hydrographischen Jahres (1. Oktober) auf photogrammetrische Weise durch das Geodätische Institut der Eidg. Techn. Hochschule, dank der lebhaften Unterstützung durch Herrn Schulratspräsident Prof. Dr. h. c. A. ROHN und den Herren Prof. Dr. h. c. BÄSCHLIN und Dr. ZELLER, vollständig neu vermessen (Firn- und Zungengebiet) und daraus die Flächen- und Massenvermehrung oder Verminderung, unter Berücksichtigung der Wasserwerte für Schnee und Firn, zahlenmässig genau ermittelt. Selbstverständlich ist es notwendig, auch die begonnenen Studien solange fortzusetzen, bis langjährige und einwandfreie Mittelwerte vorliegen, und nicht zuletzt muss dafür gesorgt werden, dass neue Gebiete erschlossen werden können.

Ausnahmefälle werden nicht ausbleiben. Die Art der Arbeit wechselt mit jeder Landschaft, weil jede letzten Endes ein Individuum ist. Ihre Charakterisierung kann nur durch Bewertung aller direkter und indirekter Beeinflussungen erfolgen. Erst auf der Synthese so gewonnener Ergebnisse darf der Versuch gemacht werden, „allgemeine“ Resultate aufzubauen.

Es wird also noch geraume Zeit vergehen, bis eine endgültige Lösung dieser für Wissenschaft und Wirtschaft gleich bedeutsamen Frage möglich ist. Das mögen sich oberflächliche Kritiker wohl merken!

Meine kurzen Ausführungen reden in überzeugender Weise, dass bei gründlicher Prüfung der Sachlage die restlose Lösung des vorliegenden Problems heute wohl möglich, aber noch dauernde Bemühung und unermüdliche Arbeit verlangt. Die Zukunft solcher Arbeiten wird davon abhängen, ob es meinem Institute wie bisher gelingt, seine Unabhängigkeit und Bewegungsfreiheit zu bewahren gegenüber den starken Faktoren, von denen sie getragen wird, sowohl gegenüber der Wirtschaft, wie gegenüber dem Staat. Für die Erreichung des festgelegten Zieles ist die

Freiheit von bürokratischen Hemmungen ein Erfordernis allerersten Ranges.

Zur Abklärung aller Fragen reicht wohl die Kraft des einzelnen Forschers nicht aus, nur kollektive Arbeit kann zum Ziele führen. Für den Einzelforscher gilt das eindrucksvolle Wort meines verstorbenen Freundes Prof. Dr. HANS STRASSER, Bern, mit welchem ich meine Uebersicht schliessen möchte:

„Der Einzelforscher muss einsehen, dass er nur Streckenarbeiter ist, der früher oder später auf der Strecke liegen bleiben wird. Aber das Bewusstsein, wenn auch noch so wenig, am Bau des Weges zu besserer Erkenntnis gearbeitet zu haben, befriedigt ihn, ist ihm genügend, ist sein Optimismus, sein Idealismus, sein Trost.“