Niederschlag und Abfluss im Rhonegebiet oberhalb des Genfersees

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

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **47 (1955)**

Heft 5-7

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921946

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Niederschlag und Abfluß im Rhonegebiet oberhalb des Genfersees

Von dipl. Ing. *E. Walser,* Chef der Sektion Hydrographie im Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern DK 551.48

1. Einleitung

Die Rhone entwässert von ihren Quellen bis zur Mündung in den Genfersee ein Gebiet, das sich durch starke Gegensätze auszeichnet und hierdurch, wie auch durch seine Geschlossenheit, auf den Reisenden nachhaltige Eindrücke ausübt. Es ist ein Land eigener Prägung.

Man fährt durch weite Ebenen und sieht dieselben doch begrenzt durch wilde Felswände; der Hauptfluß durchströmt das Tal auf der Strecke zwischen Brig und dem Genfersee mit einem Gefälle, das streckenweise dasjenige der Aare im Mittelland oder des Rheins beim Durchbruch durch den Jura nicht übertrifft, das aber in Zwischenstrecken demjenigen der Linth, der Simme oder der unteren Maggia gleichkommt; mittelmäßig geneigten südlichen Seitentälern stehen nördliche von außerordentlicher Steilheit gegenüber (Tab. 1) [1][1]. In der Sonnenglut des Haupttales fällt einem die Vorstellung nicht leicht, sich in einem relativ stark vergletscherten Flußgebiet zu befinden.[2] Bei solcher Gegensätzlichkeit ist es nicht verwunderlich, daß auch hinsichtlich der Niederschläge Extreme auftreten: die Niederschlagskarte der Schweiz [4] zeigt in, bzw. an unserem Gebiete die zwei Meßstellen mit der größten (Mönchsgrat 414 cm) und der kleinsten (Staldenried 53 cm) in der Schweiz gemessenen jährlichen Niederschlagsmenge, wobei die genannten zwei Punkte in der Luftlinie keine 40 km voneinander entfernt sind.

Horizontale und vertikale Gliederung unseres Gebietes legen eine Dreiteilung nahe: das östliche Gebiet bis Brig (O), das mittlere Gebiet zwischen Brig und Branson (M) und das westliche Gebiet zwischen Branson und

[1] Die in [...] gesetzten Zahlen verweisen auf die Literaturangaben am Schluß des Aufsatzes.

[2] Durchschnittliche Zahl der «heiteren» Tage pro Jahr seit 1940 in Sitten 92, in Genf 75, Basel 65, Zürich 42 und in Lugano 100; Vergletscherung des Rhonegebietes bis Genfersee 16,2 %, des Aaregebietes bis Thun 10,9 %, des Reußgebietes bis Luzern 5,0 %, des Linthgebietes bis zum Walensee 5,3 %, des Rheingebietes bis zum Bodensee 2,1 %, des Tessingebietes bis Bellinzona 1,1 % und des Inngebietes bis Martinsbruck 5,4 %, nach neuer Landeskarte [3].

Abb. 1 Rhonegebiet oberhalb des Genfersees. Übersichtskarte. Flußsystem und Hauptwasserscheiden. Teilgebiete O, M und W. Wassermeßstationen. Die mit Nummern bezeichneten Orte entsprechen den Streckenbegrenzungen in Tabelle 1.

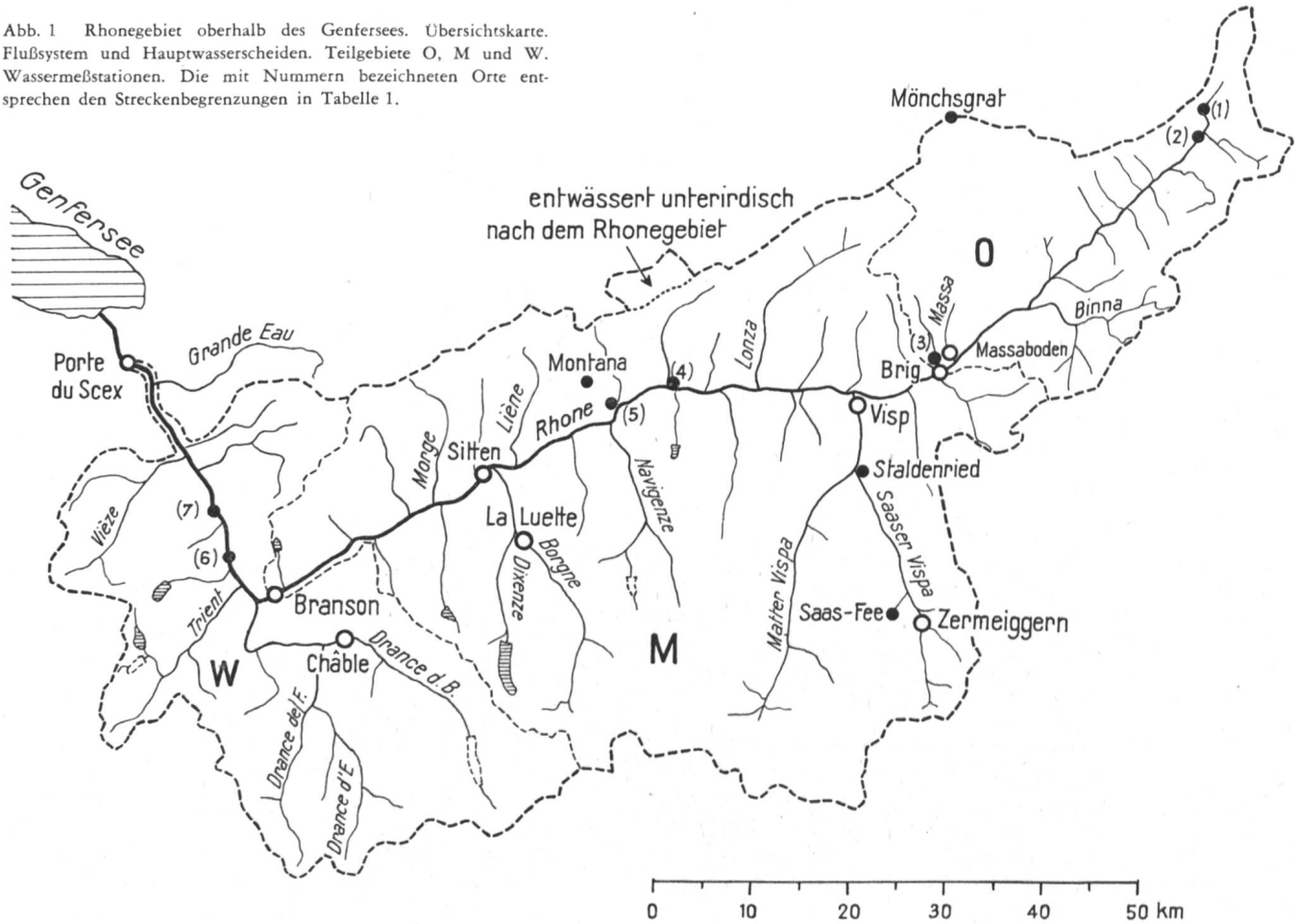


Tabelle 1 **Vergleichende Übersicht über Gefällsverhältnisse**

Fluß	Hauptstrecke			Nebenflüsse			
	Begrenzung	Länge km	mittleres Gefälle ‰	Bezeichnung	Strecke	Länge km	mittleres Gefälle ‰
Rhone	Gletsch(1)–Oberwald(2)	3,4	112				
	Oberwald(2)–Naters(3)	36,9	19,7	Binna	Binn–Mündung	6,9	61,0
				Massa	Gebidem–Mündung	4,5	144
	Naters(3)–Leuk(4)	31,1	1,2	Mattervispa	Kote 1500–Kote 800	20,9	33
	Leuk(4)–Siders(5)	6,6	11,1	Lonza	Kote 1500–Kote 800	11,9	59
				Navisence	Kote 1500–Kote 600	13,9	65
				Lienne	Kote 1500–Kote 600	9,2	98
	Siders(5)–Collonges(6)	53,6	1,7	Borgne	Kote 1500–Kote 600	17,7	51
				Morge	Kote 1500–Kote 600	7,4	121
				Drance de Bagnes	Kote 1500–Kote 500	24,8	20
	Collonges(6)–St. Maurice(7)	5,9	6,9				
	St. Maurice(7)–Genfersee	24,5	1,2	Vièze	Kote 1500–Kote 500	15,5	32
				Grande Eau	Kote 1500–Kote 500	18,5	27
Rhein	Surrhein–Reichenau	42,6	9,5	Valserrhein-Glenner	Kote 1500–Kote 750	20,2	37
	Reichenau–Kriesseren	74,2	2,3	Landquart	Kote 1500–Kote 600	32,4	28
	Waldshut–Basel	62,0	1,2				
Aare	Handegg–Meiringen	17,5	45	Simme	Lenk–Mündung	48,1	12
	Thun–Bern	29,9	1,8				
	Olten–Felsenau	55,4	1,3				
Reuß	Göschenen–Amsteg	14,1	39	Kärstelenbach	Kote 1500–Mündung	12,3	80
Linth	Durnagelbach–Walensee	27,2	8,2				
Ticino	Airolo–Biasca	34,0	23				
	Biasca–Riazzino	32,2	3,1	Moësa	Kote 1500–Kote 500	11,5	87
Maggia	Fusio–Bignasco	15,0	56	Bavona	Kote 1500–San Carlo	2,9	206
	Bignasco–Langensee	29,5	8,1		San Carlo–Bignasco	11,0	42
Inn	Celerina–S-chanf	15,9	3,9	Berninabach	Lago Nero–Pontresina	13,0	36
	S-chanf–Tarasp	39,2	11,9	Spöl	Ova del Fuorn–Zernez	8,8	20
	Tarasp–Martinsbruck	20,9	7,3	Schergenbach	Samnaun–Mündung	11,5	71

Die in (...) gesetzten Zahlen entsprechen den Ortsbezeichnungen in Abb. 1

dem Genfersee (W), wobei wir beim letzteren die Grande Eau, welche Wasser aus dem Aaregebiet zugeleitet erhält, ausnehmen (Abb. 1 und 2).

2. Niederschlag

Unterlage für die nachfolgenden Angaben über die Niederschläge bildet zur Hauptsache das im Literaturverzeichnis unter [4] aufgeführte Werk. Damit gelten auch die einschränkenden Bemerkungen hinsichtlich der Genauigkeit, die der Verfasser jenes Werkes auf dessen Seiten 2 und 3 gemacht hat. Während wir bei einer früheren Arbeit über das Rheingebiet [5] annehmen konnten, daß die Unsicherheiten bei der Größe jenes Gebietes und der Zahl der in Frage kommenden Stationen

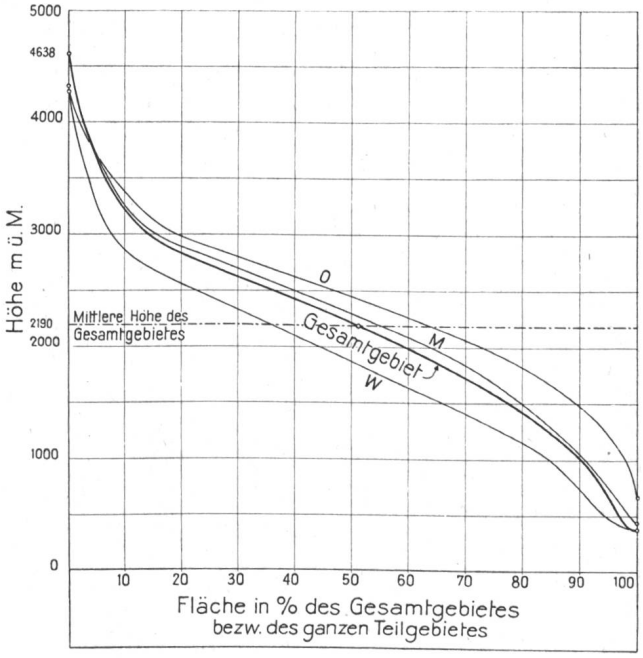


Abb. 2 Rhonegebiet oberhalb des Genfersees (ohne Grande Eau). Hypsographische Kurven für ganzes Gebiet und für Teilgebiete O, M und W gemäß Abb. 1.

Tabelle 2

Relative jährliche Niederschlagshöhen verschiedener, nach Meereshöhe abgestufter Zonen, der drei Teilgebiete gemäß Abb. 1, bestimmt mittels der Niederschlagskarte (4), bezogen auf das Mittel des Totalgebietes = 1,00

Höhenzonen	Teilgebiete								
	oberhalb Brig O			zwischen Brig und Branson M			zwischen Branson und dem Genfersee (ohne Grande Eau) W		
	Fläche km²	Anzahl Regenmeß-stationen	Relative jährliche Nieder-schlagshöhe	Fläche km²	Anzahl Regenmeß-stationen	Relative jährliche Nieder-schlagshöhe	Fläche km²	Anzahl Regenmeß-stationen	Relative jährliche Nieder-schlagshöhe
über 3000 m	162	3	1,84	452	6	1,70	107	1	1,61
zwischen 3000 und 2400 m	265	5	1,29	829	8	1,11	271	7	1,37
zwischen 2400 und 1800 m	232	3	0,89	724	5	0,76	360	10	1,06
zwischen 1800 und 1200 m	131	4	0,69	459	13	0,56	373	3	0,89
zwischen 1200 und 900 m	24	1	0,53	154	1	0,45	113	5	0,71
zwischen 900 und 600 m	11	1	0,46	145	4	0,41	79	1	0,64
unter 600 m	0	—	—	75	4	0,38	108	7	0,57
Summe	825	17		2838	41		1411	34	

nicht sehr ins Gewicht fallen, wagen wir diese Annahme im vorliegenden Fall nicht mehr zu treffen. Wir werden deshalb weder die Angaben über Niederschlagsmengen bestimmter Teilgebiete, noch die Abflußkoeffizienten (Abfluß in % des Niederschlages) ihrer absoluten Größe nach bringen. Die vorhandenen Unterlagen geben jedoch gleichwohl wertvolle Einsichten in die örtlichen Variationen der Niederschlagsmengen. Um diese trotzdem darstellen zu können, berechnen wir Relativwerte in bezug auf den durchschnittlichen Jahresniederschlag 1901–1940 des ganzen Gebietes, den wir gleich 1,0 setzen. In diesem Sinne wurde in Tabelle 2, deren Ergebnisse in Abb. 3 dargestellt sind, ein Vergleich zwischen Niederschlagsmengen in Funktion der Meereshöhe der drei Teilgebiete angestellt. Tabelle 2 enthält zugleich die flächenmäßige Aufteilung nach Höhenzonen (topographische Einzugsgebiete), also die Unterlagen für die hypsographischen Kurven in Abb. 2 [6].

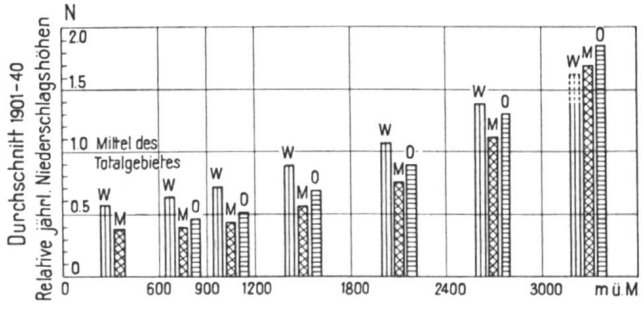


Abb. 3 Rhonegebiet oberhalb des Genfersees (ohne Grande Eau). Relative jährliche Niederschlagshöhen verschiedener, nach Meereshöhe abgestufter Zonen der drei Teilgebiete O, M und W gemäß Abb. 1, Werte aus Tab. 2.

Die Abb. 3 zeigt zunächst die allgemein bekannte Zunahme der jährlichen Niederschlagsmengen mit der Meereshöhe. Es treten aber auch Unterschiede zwischen den drei Teilgebieten hervor: das westliche als niederschlagsreichstes, das mittlere im Gegensatz dazu mit Mengen, die zwischen 600 und 1800 m Meereshöhe nur 63 bis 64% derjenigen des westlichen Gebietes ausmachen. Das östliche Gebiet weist Niederschlagsmengen auf, die größer sind als diejenigen des mittleren, aber nicht die Werte des westlichen erreichen. In großen Höhen treten die Unterschiede zurück.

Die jahreszeitlichen Unterschiede (Abb. 4) sind, was die Niederschläge betrifft, bedeutend geringer als im Rheingebiet [5]. Während im Rheingebiet die Monate Juli und August gegen das Zweifache an Niederschlägen der Monate Januar und Februar erhalten, und zwar, mehr oder weniger in allen Höhenzonen, erhalten wir für die entsprechende Verhältniszahl im Rhonegebiet in Höhen unter 600 m 1,5, zwischen 600 und 1800 m 1,3; in Höhen oberhalb 1800 m ergeben die vorhandenen Unterlagen im Hochsommer weniger Niederschläge als in den beiden ersten Kalendermonaten, so daß dort auf eine Verhältniszahl von 0,7 zu schließen wäre. Außerdem ergeben die meisten Walliser Stationen große Niederschläge im Vorwinter.

3. Abfluß

Ein ganz anderes Bild als die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung ergibt die entsprechende Verteilung des Abflusses (Abb. 4). In der Porte du Scex, wo das ganze betrachtete Gebiet entwässert wird, beträgt der Abfluß in

Tabelle 3

Abflußmengen der Rhone in der Porte du Scex

Monatsmittel längerer Jahresreihen

Jahresreihe	Im Mittel der Jahresreihe vorhandener nutzbarer Stauinhalt	Abflußmengen, Monatsfrachten in % der Jahresfracht, für Einheitsmonate von 30,44 Tagen berechnet											
		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1914—34	28 Mio m³	2,5	2,2	2,6	4,1	10,5	17,6	19,9	17,3	10,9	5,6	3,8	3,0
1935—53	99 Mio m³	2,6	2,5	3,0	4,8	9,1	18,1	20,0	16,6	10,8	5,4	4,1	3,0

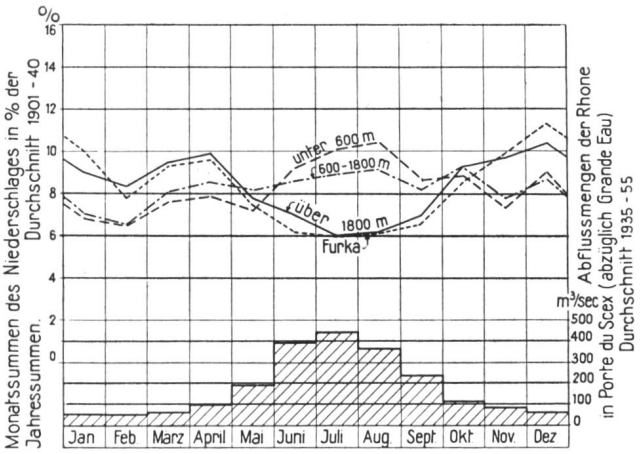


Abb. 4 Rhonegebiet oberhalb des Genfersees (ohne Grande Eau). Jahresreihe 1901—1940. Mittlerer Monatsniederschlag in Prozent des mittleren Jahresniederschlages. Arithmetische Mittel der Stationswerte, auf Einheitsmonate von 365,24 : 12 = 30,44 Tagen umgerechnet, für die Höhenzonen: unter 600 m, 600—1800 m, über 1800 m sowie für die Station Furka-Galenhütten separat (2406 m).
Abflußmengen der Rhone in der Porte du Scex (abzüglich Grande Eau), Monatsdurchschnitte 1935—1953.

den Monaten Juli und August das 7,4fache desjenigen der Monate Januar und Februar. Diese Verhältniszahl wird noch größer, wenn man die weiter oben gelegenen Stationen betrachtet: für Sitten (Vergletscherung des Gebiets auf Grund der neuen Landeskarte G = 21,4%) ergibt sich 11,0, für Brig (G = 29,0%) 14,6; in den Seitentälern: Borgne in La Luette (G = 25,0%) 14,6, Drance de Bagnes in Châble (G = 31,6%) 22,5, Vispa in Visp (G = 32,7%) 21,4, Saaser Vispa in Zermeiggern (G = 41,5%) 45,5 und Massa in Massaboden (G = 67,6%) 130. Dieser große Unterschied zwischen Niederschlags- und Abflußregime weist darauf hin, daß der Abflußvorgang neben dem Niederschlag durch einen weiteren Faktor entscheidend beeinflußt wird; bekanntlich ist dies die Temperatur. Weil bei einer Temperatur unter null Grad das Wasser in den festen Aggregatszustand übergeht und damit sein Fließvermögen verliert, bleibt den Winter über ein Großteil des Niederschlages liegen. Einem ungeheuren Reservoir von einem Inhalt der Größenordnung 2000 Mio m³ ähnlich, speichert unser Gebiet im Winter Wasser in fester Form auf, das im Sommer, sobald es die Wärmezufuhr erlaubt, zum Abfluß kommt. Diese Abflußverschiebung und -konzentration auf die Sommermonate sucht man bekanntlich durch Erstellen künstlicher Seen, welche eine Aufbewahrung des Wassers in flüssigem Aggregatszustand und damit eine nochmalige Verschiebung des Abflusses auf den folgenden Winter erlauben, teilweise auszugleichen. Daß dies bis jetzt, im Verhältnis zum Ganzen gesehen, noch in kleinem Ausmaß geschieht, zeigt Tabelle 3.

Das Abschmelzen in den Sommermonaten erfolgt nicht gleichmäßig, sondern, da ja die Temperatur einen ausgesprochenen Tagesrhythmus aufweist, in täglichen Schwankungen. Dabei spielt auch die Sonnenstrahlung eine bedeutende Rolle. An Tagen mit bedecktem Himmel sind die Tagesschwankungen kleiner oder bleiben ganz aus (Abb. 5). An sonnigen Tagen jedoch treten sie an jedem Gletscherabfluß auf, pflanzen sich flußabwärts fort, geben dem Tagesregime des Hauptflusses das

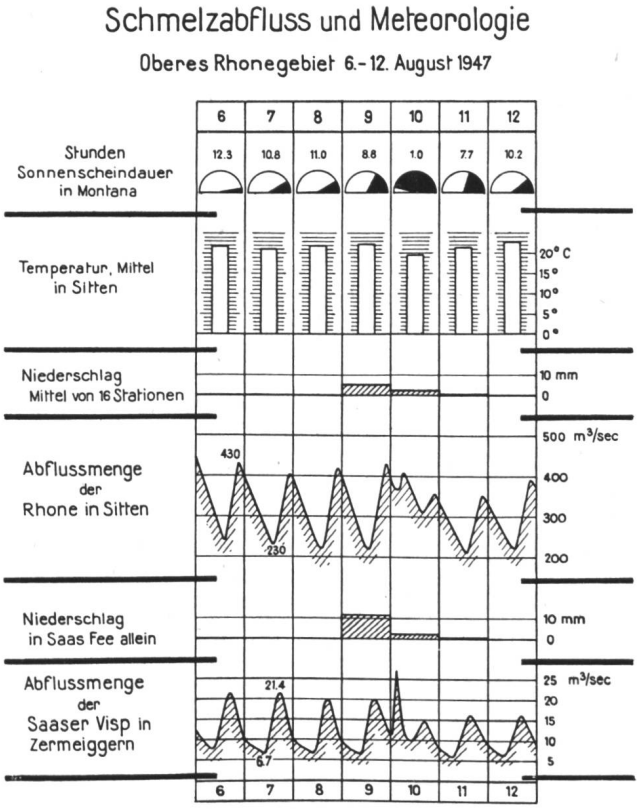


Abb. 5 Schmelzabfluß und Meteorologie, oberes Rhonegebiet 6. bis 12. August 1947. Sonnenscheindauer, Temperatur, Niederschlag, Abfluß.

Gepräge, wobei sich eine zeitliche Verschiebung, der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Anschwellungen im Fluß entsprechend, einstellt. Unmittelbar am Gletscher tritt das Abflußmaximum kurz nach Mittag auf, in Brig bzw, Visp um 18 bis 19 Uhr, in Sitten um etwa 22 Uhr, bei Branson um etwa 1 Uhr nachts und bei der Mündung in den Genfersee um 3 bis 4 Uhr morgens (Abb. 6).

Mitunter wird beim Gletscher das Wasser durch Moränen oder Eisbarrieren zurückgestaut, die dann, wenn der Wasserdruck bzw. das Abschmelzen einen kritischen Punkt erreicht hat, bersten und verheerenden Fluten den Weg ins Tal plötzlich freigeben. [6, S. 16, 26, 50 und 64], ferner [7], [8] und [9].

Solche Anschwellungen übertreffen dann oft die «ordentlichen», durch Niederschläge verursachten Hochwasser bei weitem. So erreichte die Flutwelle der Borgne am 4. August 1952 bei Les Haudères eine Maximalabflußmenge von 250 m³/s, während sonst die größte bisher an jener Stelle beobachtete Abflußmenge 38 m³/s (605 l/s km² bei einem Einzugsgebiet von 62,9 km²) beträgt; bis La Luette, 12 km weiter flußabwärts, war der Wellenberg auf 150 m³/s zurückgegangen; er betrug dort immer noch das 2½fache der größten sonst an jener Stelle aufgetretenen Abflußmenge.

Je weiter flußabwärts der betrachtete Punkt im Gewässersystem liegt, um so mehr treten solche lokale Ereignisse in ihrer Bedeutung gegenüber den durch Niederschläge verursachten Hochwassern zurück. So trat das größte seit dem Jahre 1914 an der Rhone bei der Porte du Scex beobachtete Hochwasser im September 1948 als Folge ausgiebiger Niederschläge auf; es wurde damals bei Sitten — auch für diese Station die größte in der mit dem Jahre 1916 beginnenden Beobachtungsreihe — eine Abflußmenge von 870—950 m³/s oder 265—290 l/s km² bei einem Einzugsgebiet von rund 3300 km² festgestellt. Die Spitze bei der Porte du Scex betrug 1010 bis 1090 m³/s; sie wäre höher gewesen, wenn nicht oberhalb Branson ein Dammbruch erfolgt wäre.

4. Niederschlag und Abfluß

Unter den geschilderten Umständen treten unmittelbare Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß sichtbar in Erscheinung, vor allem bei lokalen, gewittrigen Niederschlägen oder Landregen im tieferen Teil des Gebietes einerseits oder beim Vergleich von Mittelwerten größerer Zeitabschnitte anderseits. Bei der Betrachtung der letzteren muß der Reservenänderung in den Gletschern Rechnung getragen werden, ein Umstand, zu dessen Berücksichtigung wir für die vorliegende Arbeit die Zahlenunterlagen der Abteilung Hydrologie der

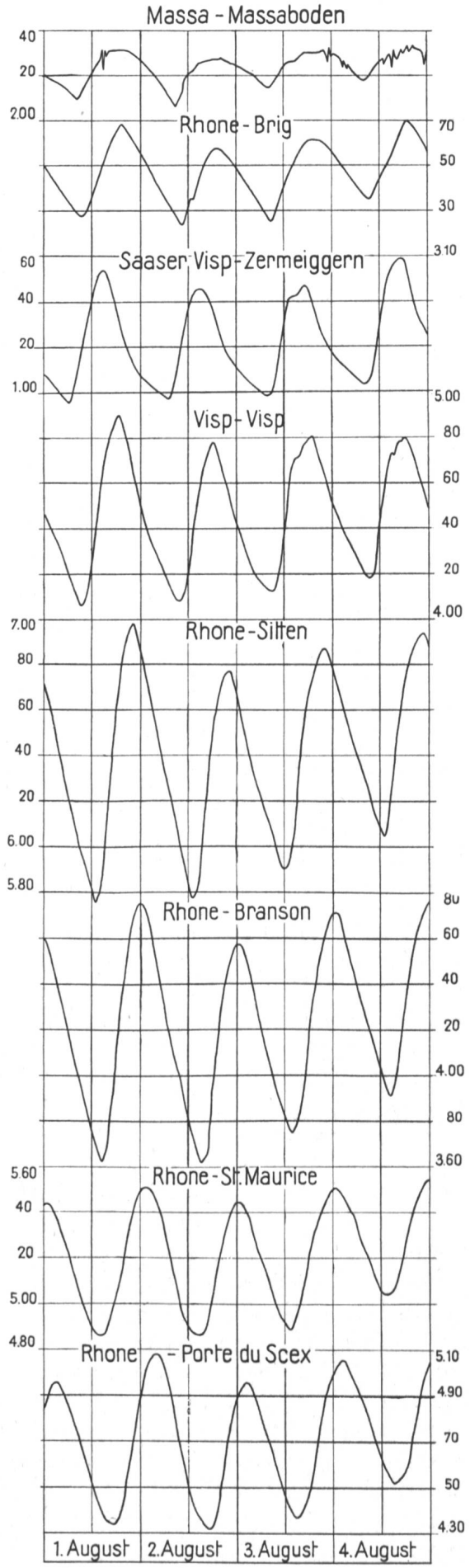


Abb. 6 Rhonegebiet. Ganglinien der Pegelstände an verschiedenen Stationen, Tagesschwankungen infolge Abschmelzens. 1.—4. August 1947.

Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH verdanken. Es hat sich gezeigt, daß in der Jahresreihe 1941–1953 rund 12% der gesamten bei der Porte du Scex abgeflossenen Wasserfracht dem Gletscherrückgang zuzuschreiben sind, in den Jahren 1923—1940 war dieser Anteil rund 5%.

Wir haben Berechnungen angestellt zwecks Ermittlung des prozentualen Anteils der Abflußmengen (unter Ausschluß des dem Gletscherrückgang zuzuschreibenden Teiles) an den Niederschlagsmengen (Abflußkoeffizienten). Dabei machen sich indessen, wie schon im Abschnitt 2 erwähnt, die Unsicherheiten der Niederschlagsbestimmung geltend. Um das Wesentliche der gefundenen Resultate trotzdem mitteilen zu können, setzen wir den Abflußkoeffizienten für das gesamte Gebiet und für die Jahresreihe 1941—1953 gleich $1{,}0 \cdot \psi$. Im Verhältnis hiezu ergeben sich folgende Werte:

ganzes Gebiet der Rhone oberhalb des Genfersees (ohne Grande Eau):

Jahresreihe 1904—1922 : $0{,}98 \cdot \psi$
Jahresreihe 1923—1940 : $1{,}04 \cdot \psi$
Jahresreihe 1941—1953 : $1{,}00 \cdot \psi$

Rhonegebiet oberh. Brig (O), Jahre 1941—1953: $1{,}28 \cdot \psi$
zwischen Brig und Branson (M), Jahre 1941—1953 $0{,}90 \cdot \psi$
zwischen Branson und dem Genfersee (W) (ohne Grande Eau), Jahre 1941—1953: $0{,}99 \cdot \psi$

Als Abfluß wurde hierbei das effektiv aus dem Gebiet herausgeflossene Wasser gerechnet. Wasser, das wohl innerhalb des Gebietes zum Abfluß gelangte, aber dort für Bewässerungszwecke dem Wasserlauf entnommen wurde, figuriert in der Rechnung nicht als abgeflossen, sondern als verdunstet. Hieraus erklärt sich wohl zum großen Teil der verhältnismäßig niedrige Abflußkoeffizient des mittleren Teilgebietes M.

Literatur

[1] Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (bzw. damals: Abteilung für Wasserwirtschaft): Die Wasserkräfte der Schweiz (Band 3), I. Teil: Die Wasserverhältnisse, C. Die Längenprofile, Bern, 1916.

[2] Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt in Zürich: Annalen.

[3] Eidg. Amt für Wasserwirtschaft in Bern: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz.

[4] Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt: Die Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901 bis 1940, von H. Uttinger, mit Niederschlagskarte der Schweiz 1 : 500 000, herausgegeben vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband, Zürich, 1949.

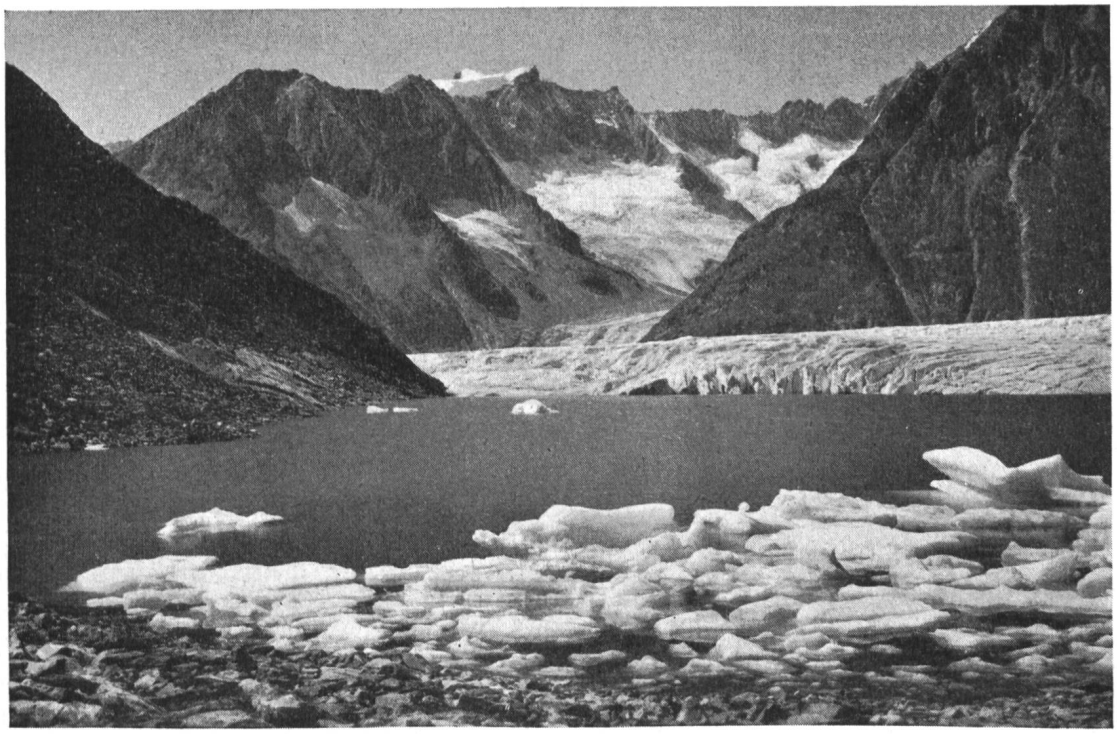
[5] Walser E.: Die Niederschlags- und Abflußverhältnisse im Einzugsgebiet des Rheins oberhalb Basel. «Wasser- und Energiewirtschaft», Nr. 5—7, 1954, Zürich.

[6] Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (bzw. damals: Hydrometrische Abteilung des eidg. Oberbauinspektorates): Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete, Rhonegebiet von den Quellen bis zum Genfersee, Bern, 1898.

[7] Lütschg O.: Der Märjelensee und seine Abflußverhältnisse. Annalen der schweizerischen Landeshydrographie, Band I.

[8] Mercanton P.-L.: La débâcle glaciaire du Giétroz au Val de Bagnes, 16 juin 1818. «La Famille», 5. Juni 1918, Lausanne.

[9] Service fédéral des eaux, E. Walser: La crue de la Borgne le 4 août 1952. «Wasser- und Energiewirtschaft», 1952, Nr. 9, Zürich.



Märjelensee am Großen Aletschgletscher (Photo E. Gyger, Adelboden)