Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 3

Artikel: Der natürliche Wasserhaushalt im obern Aaregebiet
Autor: Spillmann, Walter G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83242

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Der natürliche Wasserhaushalt im obern Aaregebiet. — Ein Wohnhaus in Rheinfelden. — Zu den Spital-Wettbewerben Chur und Zürich. — Die „Techniker" in der Verwaltung. — Eine 20000 kW Quecksilber-Kraftanlage. — Mitteilungen: Montage-Turmwagen Saurer. Die Hauptversammlung der Vereinigung schweizerischer Strassenfachmänner. Tenderlokomotiven 2D2 der niederländischen Eisenbahnen. Die „sachliche Architektur". Versuche zur Herstellung hellfarbiger bituminöser Strassenbeläge. Die Jahresversammlungen des SEV und VSE. Mechanische Kraftübertragung für Dieselbetriebwagen nach System „S. L. M.-Winterthur". Basler Rheinhafenverkehr. Das Hauptpostgebäude in Bern. Schweiz. Bundesbahnen. — Nekrologe: Julius Ott. Eugen Zeller. — Literatur.

Band 104 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 3

Der natürliche Wasserhaushalt im obern Aaregebiet.

Von Dipl. Ing. E. T. H. WALTER G. SPILLMANN, von Zug in Bern.

Alle Rechte vorbehalten.

[Das umfangreiche Tabellen- und Zahlenmaterial, das dieser Arbei zu Grunde liegt, kann wegen Raummangel an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden; ebenso müssen wir uns in Abb. 2, 3 u. 4 auf beispielsweise Auszüge beschränken. Red.]

In Nr. 5 der „Schweiz. Wasser- und Energiewirtschaft" vom 25. Mai 1934 ist unter dem Titel „Abflussverhältnisse in den Schweizer Alpen" eine Abhandlung von Dipl. Ing. G. Mathys erschienen. Es wird darin auf das Verhältnis zwischen den Abflussmengen in verschiedenen Höhenlagen an einem und demselben Gewässer hingewiesen. In graphischen Darstellungen sind die mittleren Abflusswerte verschiedener Messtationen aus verschieden langen Beobachtungsperioden mit den Meereshöhen dieser Messtationen in Beziehung gebracht worden. Anhand der Ergebnisse soll dem projektierenden Ingenieur ermöglicht werden, für grössere Höhen über Meer Kraftanlagen zu projektieren, auch wenn für diese Gebiete keine direkten Wassermessungen vorliegen. Am Schluss des veröffentlichten ersten Abschnittes ist auf die Wahrscheinlichkeit hingewiesen, dass das Verhältnis der mittleren Abflussmengen zur mittlern Höhe des entsprechenden Einzugsgebietes über Meer eine bessere Uebereinstimmung der einzelnen Gewässer unter sich ergeben könnte.

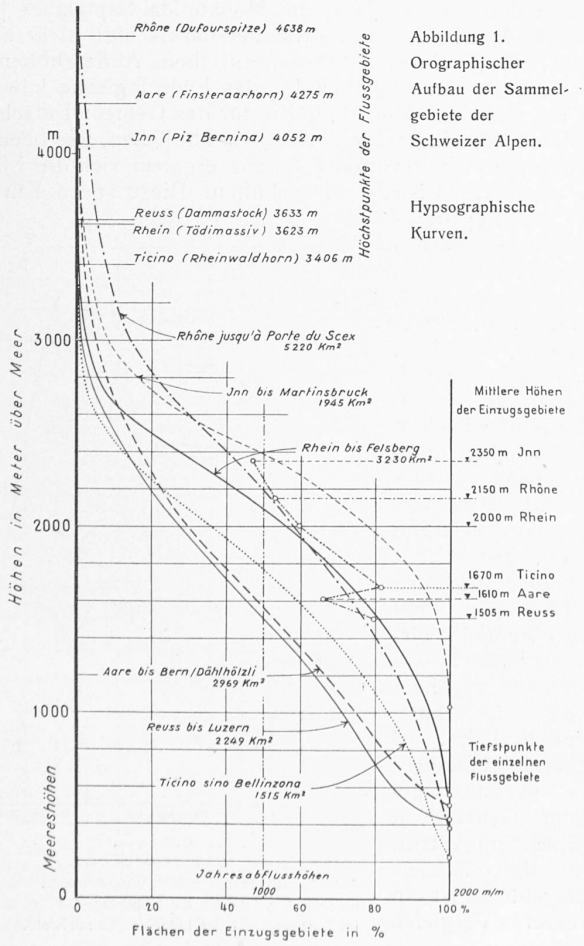

Abbildung 1. Orographischer Aufbau der Sammelgebiete der Schweizer Alpen.

Hypsographische Kurven.

Der Verfasser dieser Zeilen ist nun in der Lage, den Beweis für die Richtigkeit der ausgesprochenen Vermutung in den nachstehenden Ausführungen zu erbringen.

Aus langer Erfahrung auf dem Gebiete der Wasserwirtschaft und auf Grund von Studien in der einschlägigen Literatur suchten wir das Problem der Berechnung von Abflussmengen zu lösen, um Wassermessungen im Hochgebirge u. a. zu ersetzen. Die zeitraubenden Studien sind heute zum Abschluss gebracht und es liegt im Interesse der Sache, vor der Veröffentlichung der druckbereiten wissenschaftlichen Arbeit, deren Inhalt und Ergebnisse hier in knapper Zusammenfassung bekannt zu geben.

Allgemein gültig ist das Gesetz, dass die Niederschlagsmengen mit der Höhe des Gebietes über Meer zunehmen. Es muss folgerichtig ein ähnliches Verhalten der Abflussmengen vorhanden sein, und diese Ueberlegung führte zu Untersuchungen über die Beziehungen der gemessenen Abflussmengen zu den mittleren Höhen der den Messtationen entsprechenden Einzugsgebiete.

In Abb. 1 sind die orographischen Verhältnisse der Haupteinzugsgebiete der Schweizeralpen dargestellt. Ausgehend von den Isohypsen (Verbindungskurven der Punkte gleicher Meereshöhen) wurden die hypsographischen Kurven für folgende Flussgebiete bis zu den Wassermess-Stationen am Austritt aus dem eigentlichen Gebirge gezeichnet und die mittleren Höhen berechnet: Inn/Martinsbruck, Rhône/Porte du Scex, Rhein/Felsberg, Tessin/Bellinzona, Aare/Bern-Dählhölzli und Reuss/Luzern. Die Höchst- und Tiefstpunkte der einzelnen Gebiete sind besonders vermerkt.

Aus der Gegenüberstellung der hypsographischen Kurven geht klar hervor, wie verschiedenartig der Gebirgsaufbau in den einzelnen Flussgebieten ist und dass demzufolge auch bei angenommen gleicher Niederschlagsverteilung starke Unterschiede in den Abflussmengen auftreten müssen. Nun sind ja bekanntermassen die Niederschlagsverhältnisse sehr mannigfaltig, je nach geographischer Lage des Sammelgebietes und dessen Exposition gegen die regenbringenden Winde. In der Darstellung sind die mittleren Jahresabflussmengen, ausgedrückt in mm Abflusshöhen in Funktion der mittleren Höhen der entsprechenden Einzugsgebiete eingetragen.

Interessanterweise nimmt nun hier die Grösse dieser Jahresabflussmengen mit der grösseren Höhe über Meer ab, im Gegensatz zu den Ergebnissen der Untersuchungen für die einzelnen, einheitlichen Flussgebiete. Die Erscheinung der Abnahme der Abflussmengen mit der wachsenden Höhe über Meer in Abb. 1 ist auf die ungleichen Niederschlagsverhältnisse zurückzuführen und gut verständlich bei Kenntnis der Tatsache, dass grosse Teilflächen der Flussgebiete des Inn, der Rhône und des Rheins sehr niederschlagsarm sind. Es geht hieraus eindeutig hervor, dass die Abflussverhältnisse in den Schweizeralpen nicht auf eine allgemeine Formel gebracht werden können, sondern dass dieses Problem nach Flussgebieten und, wie wir weiter sehen werden, sogar nach einzelnen Talschaften eines vermeintlich einheitlichen Flussgebietes zu lösen ist.

Zur Erhärtung dieser Folgerung sind in Abb. 2 für drei unter den sechs vorerwähnten Hauptflussgebieten der Schweizeralpen vergleichsweise die berechneten hypsographischen, hyetographischen und hydrographischen Kurven dargestellt.

Die *hyetographische Kurve* (nur für Aare- und Reussgebiet mitgeteilt) ist abgeleitet von den Isohyeten, d. h. von den Kurven, die in Regenkarten Geländepunkte gleicher Niederschlagshöhen verbinden. Sie zeigt in ihrem Verlauf die Verteilung des Niederschlages über das Einzugsgebiet.

Die *hydrographische Kurve,* vom Verfasser so bezeichnet, wird gebildet, indem man die Kurve der spezifischen Abflusswerte in Funktion der Meereshöhe mit der Geländekurve (hypsographischen Kurve) des Einzugsgebietes in Beziehung bringt. Der jeder Geländehöhe zukommende Abflusswert wird über der auf der Abszissenaxe in 100 % Teilen dargestellten Fläche des Einzugsgebietes in Richtung der Ordinatenaxe aufgetragen. Die Verbindungslinie aller dieser Werte stellt den Verlauf der Abfluss-Spende über das gesamte betrachtete Einzugsgebiet dar. Die vom Koordinatensystem und der hydrographischen Kurve eingeschlossene Fläche veranschaulicht die Jahres-Abflussmenge des Sammelgebietes.

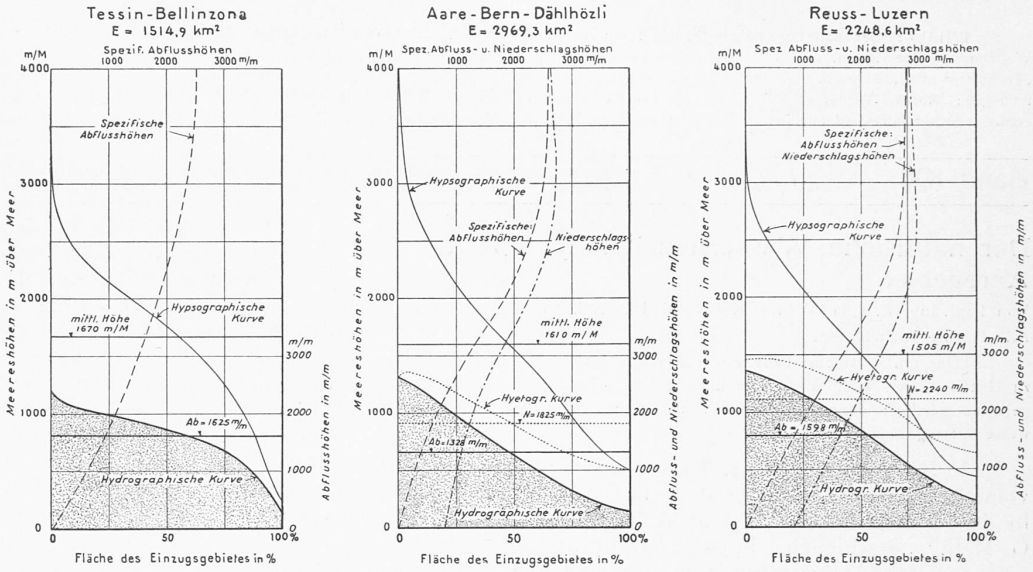

Abb. 2. Vergleichende Darstellung der mittlern Jahresabflussverhältnisse des Tessin, der Aare und der Reuss.

Zufolge der Wahl der Darstellungsart geben die horizontalen Flächen-Ausgleichenden ohne Umrechnung direkt die Jahres-Niederschlags- bezw. Abflusshöhen in mm an, als Mittelwerte der untersuchten Periode 1917 bis 1928.

Die hydrographische Kurve kann man sich abgeleitet denken von *Isohydren,* d. h. von Kurven, die in einer topographischen Karte die Geländepunkte mit gleicher Abflusshöhe verbinden würden.

Die dargestellten hydrographischen Kurven dürfen hier nur als Mittelwerte der Gebiete aufgefasst und als solche mit einander verglichen werden. Die Differenzen zwischen den hyetographischen und hydrographischen Kurvenwerten sind Verdunstungshöhen.

Die weiteren Studien beschränken sich auf das Aaregebiet bis zur Messtelle Aare/Bern-Dählhölzli. Tabelle I enthält Angaben über die Grösse der Einzugsgebiete und deren mittlere Höhenlagen über Meer. Die Nummern vor den Namen der Messtationen dienen zur Auffindung der zugehörenden Werte in den weitern graphischen Darstellungen.

Abb. 3 enthält die Monatsabflusshöhen und deren relative Werte, sowie die Jahresabflusshöhen der verwendeten Wassermesstationen[1]) in Funktion der mittleren Meereshöhe der zugehörenden Einzugsgebiete. Die relativen Werte ergeben sich aus der Gegenüberstellung der einzelnen Monatsmittel mit dem Jahresdurchschnitt der Monate (= 1 gesetzt). Die Kenntnis des Verlaufes der relativen Linien ermöglichte die einzelnen, jeder Talschaft eigenen, spezifischen Abflusshöhen-Kurven auch über die vorhandenen Werte der Punktscharen hinaus, nach grösserer Höhe und gegen den Meereshorizont (Höhe = 0 m gesetzt) beinahe zwangläufig zu ziehen. Es ist einleuchtend, dass auf Höhe 0 m, wo kein Gefälle mehr vorhanden ist, die Abflusshöhe auch den Wert Null annehmen muss. Durch die Punktscharen sind die Mittelwerte der relativen Linien und der spezifischen Abflusshöhen-Linien (entsprechend Bern/Dählhölzli) gezogen. Ferner sind die dem Einzugsgebiet der Lütschine bis Messtation Grindelwald zukommenden Kurven der spezifischen Abflusshöhen in den Figuren eingetragen. Wir werden im Nachstehenden sehen, dass der Verlauf der Kurven kein willkürlicher, sondern ein erwiesener ist.

Wir machen hier besonders darauf aufmerksam, dass die Kurve der spezifischen *Jahres*abflusshöhen für jede Talschaft etwas anders verläuft, je nach der verschieden starken Niederschlags-Spende in den einzelnen Talgebieten. Die grössten Unterschiede stellen sich ein auf Höhen über 2000 und unter 1000 m.

Im allgemeinen ist eine überraschende Einordnung der Punkte festzustellen. Man darf dabei nicht ausser Acht lassen, dass geologische Verhältnisse, sowie hydrologische Besonderheiten hineinspielen und verschiedene, praktisch nicht zu vermeidende Fehlerquellen in der direkten Abflussmengen-Messung sich geltend machen können. Die vorliegende Methode ermöglichte immerhin schon die Aufdeckung von Fehlern in der Statistik.

Abb. 4 zeigt nun die Erprobung des Verfahrens.

Die Masstäbe für die Angaben in Millimeter-Werten sind in den Abbildungen 3 und 4 aus Gründen des Genauigkeitsnachweises und aus praktischen Erwägungen verschieden für das Jahr, die Monate Mai-September [und Oktober-April, die wegen Raumersparnis hier nicht abgebildet sind]. Es sind die spezifischen Abflusshöhen in Funktion der Meereshöhen für das hydrologische Jahr und für die einzelnen Monate, gültig für das Gebiet: Lütschine/Grindelwald, eingetragen. Aus dem ähnlichen, wie oben geschilderten Arbeitsvorgang heraus ergaben sich die Linien der spezifischen Niederschlagshöhen. Diese spezif. Kurven, mit der hypsographischen Kurve des Einzugsgebietes in Beziehung gebracht, ermöglichen, wie schon dargelegt, die hyetographischen und hydrographischen Kurven für das Jahr und die einzelnen Monate zu bestimmen. Ist das Verfahren richtig, so müssen hier die erhaltenen Abflusshöhen mit den [hier nicht wiedergegebenen] Angaben für die Messtation Lütschine-Grindelwald in Tab. I übereinstimmen, was mit kaum geahnter Genauigkeit in Erscheinung tritt. Für die Niederschlagshöhen ist ein direkter Vergleich

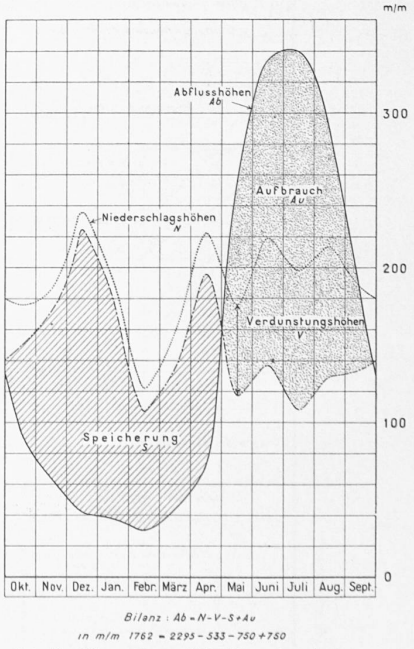

Abb. 5. Bilanz des natürl. Wasserhaushaltes im hydrolog. Jahr für die Höhenlage 2000 m ü. M. im Einzugsgebiet der Lütschine/Grindelwald.

[1]) Berechnet anhand der Angaben der „Hydrographischen Jahrbücher der Schweiz", herausgegeben vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft.

DER NATÜRLICHE WASSERHAUSHALT IM OBERN AAREGEBIET von DIPL. ING. WALTER SPILLMANN, BERN.

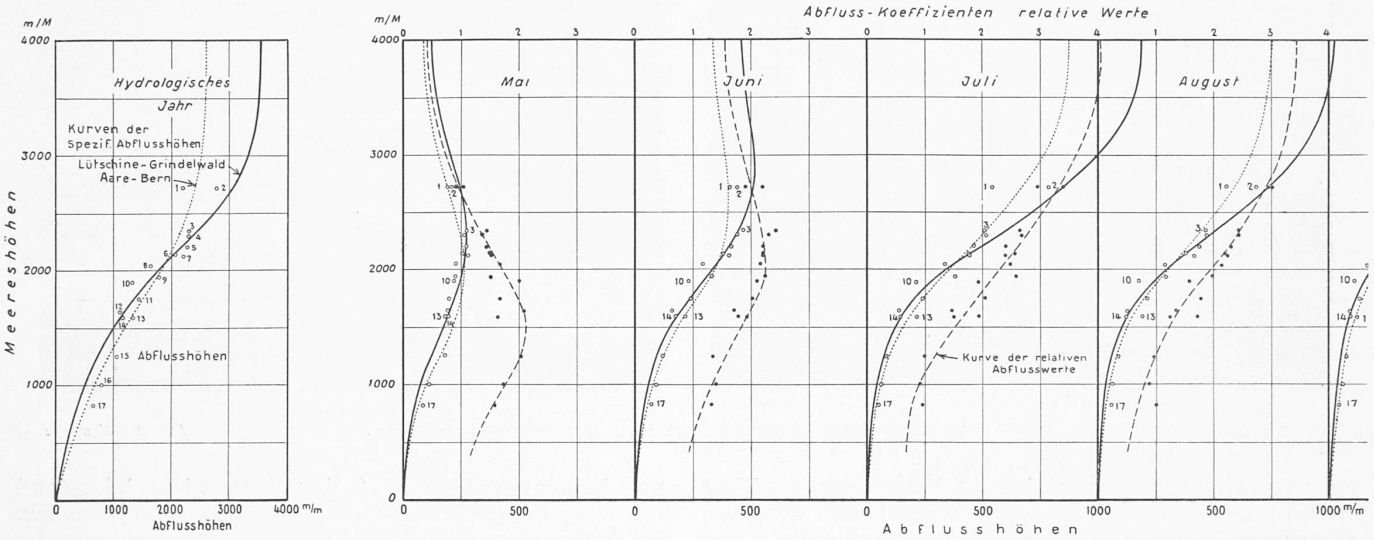

Abb. 3. Abflusswerte der Teileinzugsgebiete der Aare bis Bern, in Funktion der mittlern Höhe der Sammelgebiete (Abszissen-Masstäbe links und rechts verschieden).

Tabelle I. Einzugsgebiet der Aare. Abflussmengen, Relativwerte und Prozentanteile wegen Raummangel weggelassen.

Messtationen Gewässer und Messort	Einzugsgebiet	Mittlere Höhe des Einzugsgebietes	Messtationen Gewässer und Messort	Einzugsgebiet	Mittlere Höhe des Einzugsgebietes	Messtationen Gewässer und Messort	Einzugsgebiet	Mittlere Höhe des Einzugsgebietes
	km²	m ü. M.		km²	m ü. M.		km²	m ü. M.
1. Aare Rätherichsboden	98,3	2725	7. Unterwasser-Innertkirchen	169,1	2115	13. Aare-Bern/Dählhölzli	2969,3	1610
2. Lütschine-Grindelwald	44,5	2720	8. Lütschine-Gsteig	378,7	2045	14. Simme-Erlenbach	427,7	1590
3. Aare-Innertkirchen	275,9	2345	9. Aare-Unterseen/Interlaken	1139,9	1940	15. Saane-Freiburg	1271,5	1245
4. Urbachwasser-Unterstock	68,5	2305	10. Kander-Hondrich	520,5	1895	16. Sense-Neuenegg	412,4	1005
5. Gadmerwasser-Hopflauenen	119,7	2200	11. Aare-Thun/Schwäbis	2489,7	1750	17. Gürbe-Belp	125,5	825
6. Aare-Brienzwiler	553,5	2140	12. Simme-Oberwil	344,0	1640			

nicht möglich, da bis heute Niederschlagsangaben für ganze Gebiete fehlten. Der Verfasser hat solche schon anhand der Niederschlagskarten konstruiert. Dass jedoch die hier berechneten Niederschlagshöhen der Wirklichkeit sehr nahe kommen müssen, wird im Nachstehenden bewiesen.

Aus dem gegenseitigen Verlauf der hydrographischen und hyetographischen Kurven in den einzelnen Monaten, unter Abzug der anderweitig berechneten Verdunstungshöhen von den hyetographischen Kurvenwerten, ergeben sich die Grössen der *Speicherung* (Firn, Schnee, Sickerung) und des *Aufbrauches* (Schneeschmelze, Quellenerguss).

Die Bilanz für das hydrologische Jahr aus den Flächengrössen: Niederschlagshöhen (N), Abflusshöhen (Ab), Verdunstungshöhen (V), Speicherungen (S) und Aufbrauch (Au) ergibt sich aus der Formel:

$$N - V - S + Au = Ab$$

im vorliegenden Falle, anhand der Flächen-Planimetrierung zu 3105 — 312 — 1642 + 1637 = 2788 mm Abflusshöhe

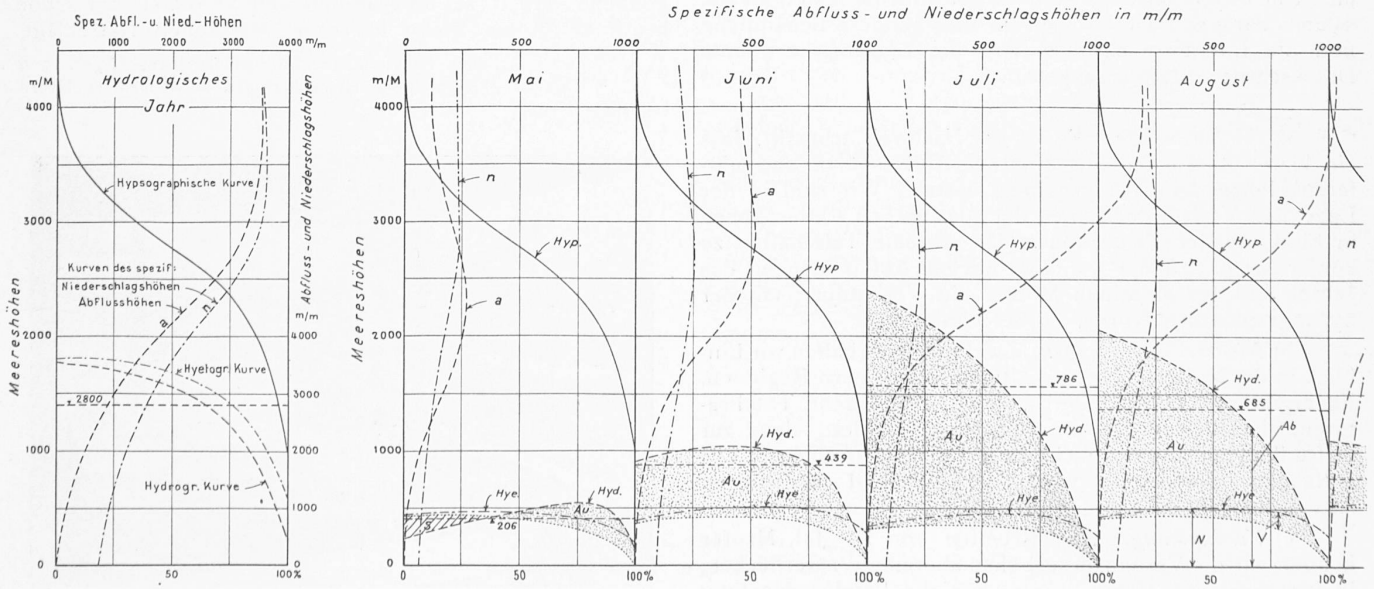

Abb. 4. Einzugsgebiet der Lütschine bis Messtation Grindelwald. — *Ab* Abflusshöhen, *N* Niederschlagshöhen, *V* Verdunstungshöhen, *S* Speicherung, *Au* Aufbrauch. Verschiedene mm-Masstäbe links und rechts! In den Monatsfiguren Masstab der spezifischen Abflusshöhen 1000 mm = 2000 m ü. M.

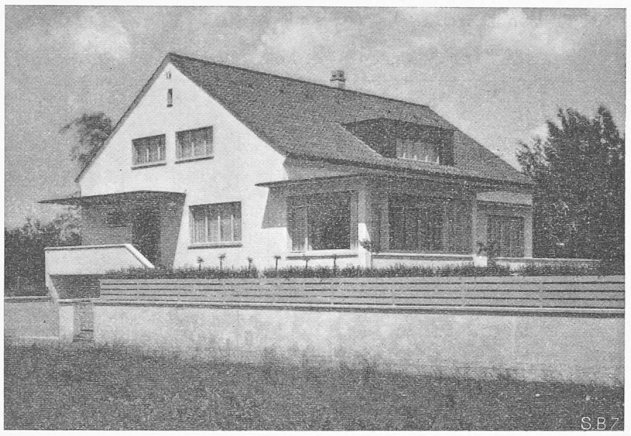

Abb. 3. Südwestansicht.

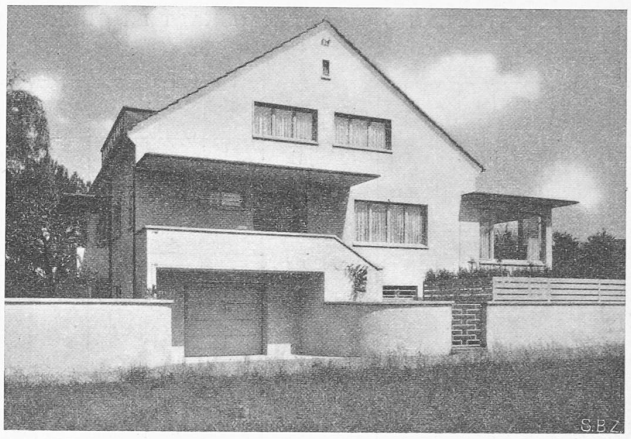

Abb. 4. Westseite.

Die dunkle Tönung des Dachaufbaues lässt ihn optisch möglichst zurücktreten.

oder für 44,5 km² = 124 Mill. m³ Wassermenge. Diese Abflusshöhe entspricht dem in Tabelle I mit 2776 mm enthaltenen Wert bei einem Fehler von $\pm$ 0,43 %.

Es ist klar, dass im Mittel aus einer längeren Periode, wenn man vom Einfluss der Gletscherbewegung absieht, für das hydrologische Jahr Speicherung und Aufbrauch sich praktisch ausgleichen müssen.

In Abb. 5 kommt die Jahresbilanz des natürlichen Wasserhaushaltes in der Höhe von 2000 m ü. M., im Einzugsgebiet der Lütschine bis Grindelwald, zur Darstellung. Die Werte sind aus dem Horizontalschnitt durch die Figuren in Abb. 4 entnommen. Die Bilanz ergibt sich hier ebenfalls aus der Flächen-Planimetrierung und nach der Formel: $N - V - S + Au = Ab$ und wir erhalten für die Höhenlage von 2000 m folgende Werte in mm ausgedrückt: $2295 - 533 - 750 + 750 = 1762$ mm Abflusshöhe. Die Abbildung erhellt den zeitlichen Eintritt von Speicherung und Aufbrauch sowie die Dauer dieser Perioden für die bezeichnete Höhenlage. Dieser Wasserhaushalt lässt sich für jede beliebige Höhenstufe darstellen.

ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.

1. Grundgedanke. Der Verfasser setzte sich das Ziel, die gemessenen Abfluss- und Niederschlagsmengen mit einander in Beziehung zu bringen, um hieraus in die weniger bekannten Verhältnisse, die in den höhern Lagen der schweizerischen Alpen herrschen, Einblick zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurden die Ergebnisse der Wasser- und Niederschlagsmessungen der Periode 1917 bis 1928 (12 Jahre) mit dem orographischen Aufbau der Einzugsgebiete in Zusammenhang gebracht. Ueber die eingehendere Behandlung und die Literaturnachweise wird die Eingangs erwähnte Druckschrift Aufschlüsse geben.

2. Ergebnisse.

a) *Abflussmengen.* Es ist der Nachweis erbracht, dass ein klarer Zusammenhang zwischen Abflusshöhen und mittleren Höhen der Einzugsgebiete besteht. Wir sind in der Lage, den Verlauf der Linien der spezifischen Abflusshöhen in Funktion der Meereshöhen für einzelne Talschaften zu konstruieren und die wahrscheinlichen Abflussmengen des Jahres und der einzelnen Monate, in Verbindung mit der hypsographischen Kurve, zu berechnen.

b) *Niederschlagsmengen.* Zwangläufig erhalten wir Einblick in die Niederschlagsverhältnisse der höhern Regionen. Es ergibt sich ohne weiteres, dass verschiedene Totalisatoren, die in den letzten zehn Jahren in den Alpen zur Aufstellung gelangten, nicht die ganze Niederschlagsmenge auffangen. Anderseits wird die auffallend bedeutende Niederschlagshöhe auf dem Säntisgipfel verständlich.

c) *Verdunstung.* Aus Arbeiten von Dr. Jul. Maurer kennen wir die Verdunstungshöhen ab freien Wasserflächen, in verschiedenen Meereshöhen. Für die Landverdunstung ist der spezifische Verlauf in Funktion der Meereshöhe noch nicht bekannt gewesen. Dr. O. Lütschg[2]) und Dr. J. Lugeon[3]) haben die Probleme der Verdunstung eingehend behandelt. Die Verdunstungswerte konnten bei Neueinführung des Begriffes „Wärmegradtage" in Funktion der Meereshöhe genau berechnet werden, was durch die graphische Bilanzbildung nachgewiesen ist.

3. Nutzanwendungen. Sowohl für den Flussbau, die Verbauungen der Gebirgsbäche und im Hinblick auf die Nutzbarmachung der Wasserkräfte ermöglicht das Verfahren, innert kurzer Zeit die Abflussmengen für Gebiete, die noch keine Messtationen aufweisen, zu berechnen. Insbesondere können die Bilanzen, die Aufschluss über Grösse und Verlauf von Speicherung und Aufbrauch verschaffen, bei Entwurf und Bemessung von Speicheranlagen wertvolle Grundlagen bilden. Die im Winter natürlich aufgespeicherten Niederschlagsmengen, die zum grössten Teil in den Sommermonaten Mai-September zum Aufbrauch und Abfluss gelangen, werden in Staubecken zurückbehalten; sie kommen dann im nächsten Winter als regulierte Abflussmengen zur Verwertung. Der natürliche Wasserhaushalt wird durch den künstlichen Wasserhaushalt ergänzt. Die graphischen Bilanzen geben hier Aufschluss über die der Natur anzupassende Betriebsgestaltung, hinsichtlich der Stauräume. Vor allem geht hervor, welch' ausschlaggebende Bedeutung die Grösse der Niederschlagshöhen in den Monaten Oktober-April, nicht nur für den folgenden Sommer, sondern auch für den nächsten Winter in sich birgt.

Der Verfasser hatte Gelegenheit, im Dezember 1932 Herrn Prof. Dr. E. Meyer-Peter seine im Jahre 1929 begonnene Arbeit zu unterbreiten und er dankt ihm schon heute an dieser Stelle für seine wertvollen Ratschläge.

[2]) *Lütschg:* „Ueber Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge", 1926.

[3]) *Lugeon:* „Précipitations atmosphériques, Ecoulement et Hydro-électricité", 1928.

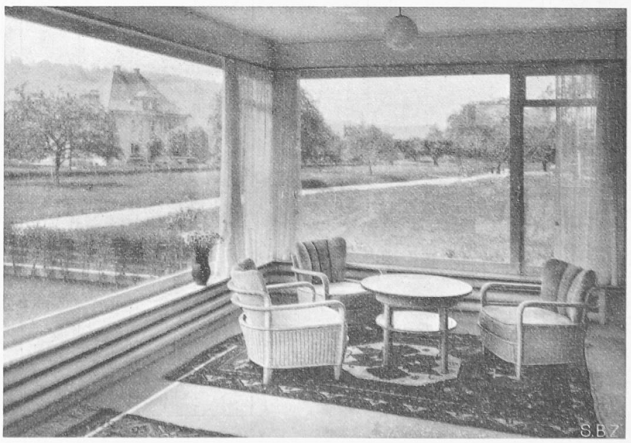

Abb. 5. Die grossen festen Fenster der Veranda, mit kleinern Lüftungsflügeln.