

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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 52 (1960)

Heft: 8-10

Artikel: Über die Gletscheränderungen seit 1900 in den Schweizer Alpen : mit Hinweisen auf die Bedeutung für die Wasserwirtschaft

Autor: Kasser, P. / Müller, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921756>

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: 07.02.2026

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

- [27] B. Philbert: Beseitigung radioaktiver Abfallsubstanzen. «Atomkern-Energie», H. 11/12, 1956.
- [28] L. Tschaen: Grönland 1948 – 1949 – 1950. Astronomie. Nivellement géodésique sur l'Inlands-Ice. Nouveau calcul. Expéditions Polaires Françaises, Mission Paul Emile Victor, 1959.
- [29] 25 Jahre hochalpine Forschungsstation Jungfraujoch 1931 bis 1956. Experientia supplementum VI. Birkhäuser-Verlag Basel-Stuttgart, 1957.
- [30] Forel, Muret, Lugeon, Mercanton et Renaud: Les variations des glaciers des Alpes suisses Rapports annuels publiés par le C.A.S. depuis 1881 (80 années).
- [31] Schweiz. Kommission für Schnee- und Lawinenforschung: Bericht über die wissenschaftliche Tätigkeit der Station Davos—Weißfluhjoch in den Jahren 1934—1937. Schweiz. Bauzeitung Bd. 110, Nr. 8 1937.
- [32] Association Internationale d'Hydrologie Scientifique de l'Union Géodésique et Géophysique Int. (UGGI): Symposium de Chamonix, sept. 1958. Physique du mouvement de la glace.
- [33] R. Haefeli: Zur Rheologie von Eisschildern der Arktis und Antarktis. Association Int. d'Hydrologie Scientifique (UGGI) Assemblée Générale de Helsinki 1960.
- [34] Verordnung über die Organisation des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (1960).
- [35] M. de Quervain: Schnee als kristallines Aggregat. Experientia 1, p. 207 (1945), Verlag Birkhäuser AG, Basel.
- [36] Gletscherkommission der SNG: Gletscherschwankung und Gletscherbewegung, Schweiz. Bauzeitung, 73/74. Jg. 1955/56.

Bilder: 1, 4, 12a und b Photos A. Renaud
3 Photo Eidg. Landestopographie

Über die Gletscheränderungen seit 1900 in den Schweizer Alpen

mit Hinweisen auf die Bedeutung für die Wasserwirtschaft

DK 551.3

P. Kasser, dipl. Ing. und Dr. W. Müller,

Abteilung für Hydrologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

1. Einleitung

Die Gletscher der Schweizer Alpen, die 1500 km^2 unseres Landes bedecken, dürften eine Wasserreserve von rund 300 Milliarden m^3 darstellen, die unter der Annahme, daß sie im Mittel über eine Höhendifferenz von 2200 m ausgenützt werden könnte, einem Energiepotential von rund 1800 Milliarden kWh entspricht. Wasserwirtschaftlich interessant sind freilich nur die Änderungen dieser Masse, wobei zwischen den Änderungen während eines Jahres und einer längeren Dauer zu unterscheiden ist. Jeden Winter vergrößert sich die Reserve um einen Betrag in der Größenordnung von 0,5 % der Gesamtmasse. Die Verringerung der Reserve war während des Sommers in diesem Jahrhundert im Durchschnitt um ungefähr $\frac{1}{2} \text{ m}$ pro Jahr größer als die winterliche Massenzunahme. Deshalb hat sich seit dem

Jahre 1900 die gesamte Gletschermasse um rund 10 % verringert. Der Abflußmechanismus der Gletscher wirkt sich für den Kraftwerkbetrieb teils günstig, teils ungünstig aus. Ungünstig ist die Konzentration von fast 90 % der Abflußmenge auf die vier Sommermonate Juni bis September, die uns zum Bau von großen Speicherbecken zwingt. Günstig ist es, daß das Wasserangebot in warmen Sommern, die in der Regel wenig Niederschlag aufweisen, am größten ist, weil im Gegensatz zu den tiefliegenden Gebieten für den Gletscherabfluß nicht der Niederschlag, sondern Strahlung und Temperatur in erster Linie maßgebend sind. Damit ergibt sich ein Ausgleich in der sommerlichen Wasserführung von teilweise vergletscherten Einzugsgebieten. Am wenigsten streuen die Abflußmengen bei einer spezifischen Vergletscherung von etwa 30 bis 40 %.



Bild 1

Kargletscher an der steilen Nordflanke der Jungfrau, vom Eiger aus gesehen, 2. September 1942.

Für eingehendere Angaben über den Wasserhaushalt der Gletscher verweisen wir auf verschiedene in den letzten Jahren erschienene Arbeiten (Volumänderung [3, 5, 6]¹, Arealänderung [6, 8], Einfluß der Gletscheränderungen auf den Abfluß [6]). In der vorliegenden Arbeit sollen einige meteorologische Größen, die für den Gletscherhaushalt wichtig sind, in ihrem zeitlichen Verlauf mit der Massenbilanz, dem Abfluß und den Lageänderungen von 11 Gletscherzungen [4] verglichen werden.

2. Veränderungen der Gletscher seit dem Jahre 1900

Das Verhalten der Gletscher hängt nicht nur vom Witterungsablauf, sondern in hohem Maße auch von den topographisch-morphologischen Gegebenheiten ab. Die Bilder 1 bis 5 und 10 bis 16 mögen durch einige ausgewählte Beispiele Einblick in die Vielfalt dieser Voraussetzungen geben. So gibt es auf der steilen Nordflanke der Berner Alpen vorwiegend kleine Nährgebiete. Ein bedeutender Anteil der Schnee-, Firn- und Eismassen wird hier nicht durch normale Gletscherbewegung, sondern durch Lawinen in tiefer gelegene Regionen verfrachtet. Diesem Umstand ist es zu verdanken, daß einzelne Gletscher (Bild 1) trotz der kleinen Einzugsgebiete bis auf 2000 m ü. M. und tiefer hinab vordringen können. Auf der wenig geneigten Südseite der Berner Alpen sammeln sich in weiten und hochgelegenen Firngebieten (Bild 4) große Firn- und Eismassen, die einen langen Weg als Eisströme zurücklegen können, bis Strahlung und Temperatur sie aufgezehrt haben (Bilder 2 und 5). Andere Gletscher verfügen auch über gute Nährgebiete (Bild 10), stürzen sich dann aber über steile Flanken in die Tiefe (Bilder 12 und 13). Neben steilen, kurzen Talgletschern und einigen Sonderfällen ist es vor allem dieser Typus, welcher verhältnismäßig rasch auf Klimaänderungen reagiert (z. B. Trient-, Alpen- und Rhonegletscher).

Wir haben nun versucht, mittels einiger für das Verhalten der Gletscher maßgebender Größen die Entwick-

lung der letzten 50 Jahre zu beschreiben. Es war für das Verständnis notwendig, zusätzlich das erste Jahrzehnt einzubeziehen, dessen Wetter für das Verhalten der Gletscher während der Berichtsperiode² mitbestimmend war. Es ist nicht einfach, die meteorologischen Einflußgrößen zahlenmäßig zu den Gletscherveränderungen in Beziehung zu setzen. Wir sind von der Massenbilanz ausgegangen, in der gleichzeitig Faktoren, welche die Ernährung bestimmen, und Einflüsse, die für die Auflösung verantwortlich sind, zur Auswirkung gelangen. Für den Aufbau dürfte in erster Linie der gesamte Niederschlag in fester Form wichtig sein, für den Abbau Strahlung und Temperatur im Sommer. Bild 7 zeigt, daß einer längeren Sonnenscheindauer im allgemeinen auch ein größerer Wert für die Summe der positiven Tagestemperaturen entspricht. Immerhin ist die Streuung recht beträchtlich. Eine gewisse Bedeutung dürfte ferner die Anzahl der Schneetage im Sommer haben [12]. Während eine Eisoberfläche etwa 55 bis 70 % der Strahlung von Sonne und Himmel absorbiert, also nur 45 bis 30 % reflektiert, gehen dem Schmelzprozeß bei einer frischen Neuschneeoberfläche 8 bis 9 Zehntel der eingestrahlten Strahlungsenergie durch Reflexion verloren [2]. Ein noch so kleiner Neuschneefall drosselt deshalb sofort die Gletscherschmelze so lange, bis das Eis wieder zu Tage tritt. Bild 7 zeigt ferner, daß zwischen der Temperatursumme im Sommer und dem Festniederschlag im Jahr eine deutliche negative Regression besteht. Wir haben nun die Massenbilanz der Gletscher zu einem Quotienten R in Beziehung gesetzt, welcher im Zähler die Summe des Festniederschlags von Oktober bis September, im Nenner die Sonnenscheindauer des Sommers in Minuten enthält. Wenn es gelänge, aus der Sonnenscheindauer das Schmelzvermögen der Strahlung in mm zu bestimmen, könnte R als dimensionslose Zahl interpretiert werden, die das Verhältnis des Festniederschlags zu der durch Strahlung im Sommer geschmolzenen Schnee- bzw. Eismenge angibt. Um wenigstens größenordnungsmäßig

¹ [] siehe Literaturnachweis am Schluß der Arbeit.

² «50 Jahre Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, 1910—1960»

Bild 2
Großer Aletschgletscher, vom
Trugberg aus gesehen,
11. September 1942.





Bild 3
Nordflanke der Grindelwaldner Fiescherhörner, vom Mittellegigrat aus gesehen, 2. September 1942.

einen zutreffenden Wert zu erhalten, haben wir den Nenner durch die latente Schmelzwärme von Eis (80 cal.) dividiert. Die große Streuung in der Beziehung zwischen R und der Massenbilanz zeigt allerdings, daß eine Reihe wichtiger Faktoren, wie Variation von Albedo (Verhältnis der reflektierten zur auftreffenden Strahlung), Bewölkung und Temperatur usw. noch nicht berücksichtigt sind. Immerhin gibt uns R ein großes Maß für die Massenbilanz. Es wäre interessant, eine dem Mechanismus des Massenhaushaltes möglichst gut entsprechende Formulierung zu finden. Vorläufig werden wir für praktische Bedürfnisse immer noch weitgehend auf die Beziehung zwischen Schmelzvermögen und positiven Temperatursummen angewiesen sein [6, 14].

In Bild 6 ist die Entwicklung der beschriebenen Einflußgrößen, ferner der Massenbilanz und des Abflusses sowie der Lageänderung von 11 Gletscherenden für die Zeit von 1900/01 bis 1957/58 dargestellt. Vor allem bei der Änderung der Gletscherfronten würde sich bei der Darstellung der Jahreswerte infolge von Nebeneinflüssen, die weitgehend morphologisch bedingt sind, ein sehr unübersichtliches Bild ergeben. Deshalb wurde eine einfache Glättung vorgenommen, indem an Stelle der Jahreswerte für alle Größen die Jahresmittel von übergreifenden fünfjährigen Perioden (Lustrenmittel) aufgetragen wurden. Alle benützten meteorologischen Beobachtungen stammen vom Säntis (2505 m ü. M.) [9, 10]. Wir sind uns bewußt, daß die Übertragung dieser Klimawerte, vor allem des Niederschlages, auf das ganze schweizerische Alpengebiet sehr problematisch ist und nur einen ersten Überblick geben kann. Als Vergleichs-

grundlage seien in der nachstehenden Tabelle 1 vorerst einige Mittelwerte gegeben (siehe Seite 229).

In Bild 6 sind alle Abweichungen der einzelnen Größen vom Mittelwert der 58 Jahre, welche einem Gletscherwachstum günstig sind, eng, alle Abweichungen, die den Gletscherschwund begünstigen, locker und leicht schraffiert. Dabei darf nicht übersehen werden, daß der größte Teil der positiven Abweichungen vom Mittelwert der Massenbilanz immer noch einem Massenschwund entspricht. Nur die Fünfjahresmittel 1908/1920, 1935/1941 und 1952/1958 zeigen eine Vermehrung der Gesamtreserve. Die erste dieser Massenzuwachsperioden ist dadurch charakterisiert, daß alle hier aufgezeichneten Größen mit teilweiser Ausnahme der Sonnenschein-dauer in dem für die Erhaltung der Gletscher günstigen Sinne zusammenwirken. Typisch für diese Erholungsphase der Gletscher sind auch die trotz reichlicher Niederschläge unterdurchschnittlichen Abflußmengen [1]. Eine Ausnahme macht in dieser Zeit nur das Jahr 1910/11, das mit seinem trockenen und warmen Sommer eine gute Wasserführung der Gletscherbäche aufwies und als eines der «Trockenjahre» in die Geschichte der Wasserkirtschaft eingegangen ist. In den Fünfjahresmitteln unseres Bildes ist dieses Sonderjahr nicht zu erkennen. Als Folge des Zusammenwirkens wachstums-günstiger Faktoren stießen zwischen 1914/15 und 1919/20 mehr als die Hälfte der beobachteten Zungen vor. Wie 1910/11 war auch 1920/21 ein Schwundjahr für die Gletscher, ein reiches Jahr dagegen für die Gletscherbäche und ein Trockenjahr für die Mittelland-flüsse. 1921/27 zeigten in unserem Bild nochmals alle Einflußgrößen gleichzeitig Abweichungen, die ein Gletscherwachstum begünstigen.

Bild 4
Fiescherfirn, vom Ochs aus gesehen,
13. April 1942.



schwerwachstum begünstigen. Trotzdem reichte es in den betreffenden Lustrenmitteln zu keinen positiven Massenbilanzen. Die seit der Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute andauernde und nur sporadisch gestörte Tendenz eines allmählichen Anstiegs der Sommertemperaturen setzte sich nun durch, die große Mehrheit der Gletscherfronten begann wieder zurückzuweichen. Erst in den Jahren 1935/41 kam es wieder zu einer wirklichen Massenzunahme der Gletscher, dank einer Reihe von kühlen und sonnenscheinarmen Sommern mit vielen Schneetagen und trotz unterdurchschnittlicher fester Niederschlagssummen. Neben Kälte und Mangel an Sonnenschein, die an sich keine große Abschmelzung zuließen, mögen die relativ zahlreichen Schneetage einen wirk samen Schutz gebildet haben. Mit dem Jahre 1941/42 beginnt ein Jahrzehnt, das sich im wesentlichen durch andauernde, auf eher schlechte Ernährung und vor allem extrem große Abschmelzungen hinwirkende Abweichungen der meteorologischen Größen von ihren Mittelwerten

auszeichnet. In besonderer Erinnerung haften die Jahre 1946/47, 1948/49 und 1949/50 mit großer Wasserführung der Gletscherbäche [13]. Dank des fortschreitenden Ausbaus großer hochgelegener Speicherbecken konnten diese Wasserfrachten nun schon besser für die Energiegewinnung ausgenutzt werden als es bei ähnlichen Verhältnissen in den Jahren 1910/11, 1920/21 und 1927/28 möglich war. In hochgelegenen Firngebieten ab 1950/51 [11], in der Massenbilanz der gesamten Gletscher ab 1954/55, schien sich eine erneute Erholung der Gletscher anzubahnen, die in den Fünfjahresmitteln unseres Bildes deutlich zum Ausdruck kommt. Jedoch waren bereits die Jahre 1957/58 und 1958/59 für die meisten Gletscher wieder defizitär. Wie sich Gletschermassenbilanz und Abfluß in den nächsten Jahren gestalten werden, wissen wir nicht.

Etwas besser steht es mit der Möglichkeit, das zukünftige Verhalten von Gletscherzungen vorherzusehen. Wenn wir die mittleren jährlichen Lageänderungen der

Bild 5
Zunge des Fieschergletschers,
25. Juli 1954.



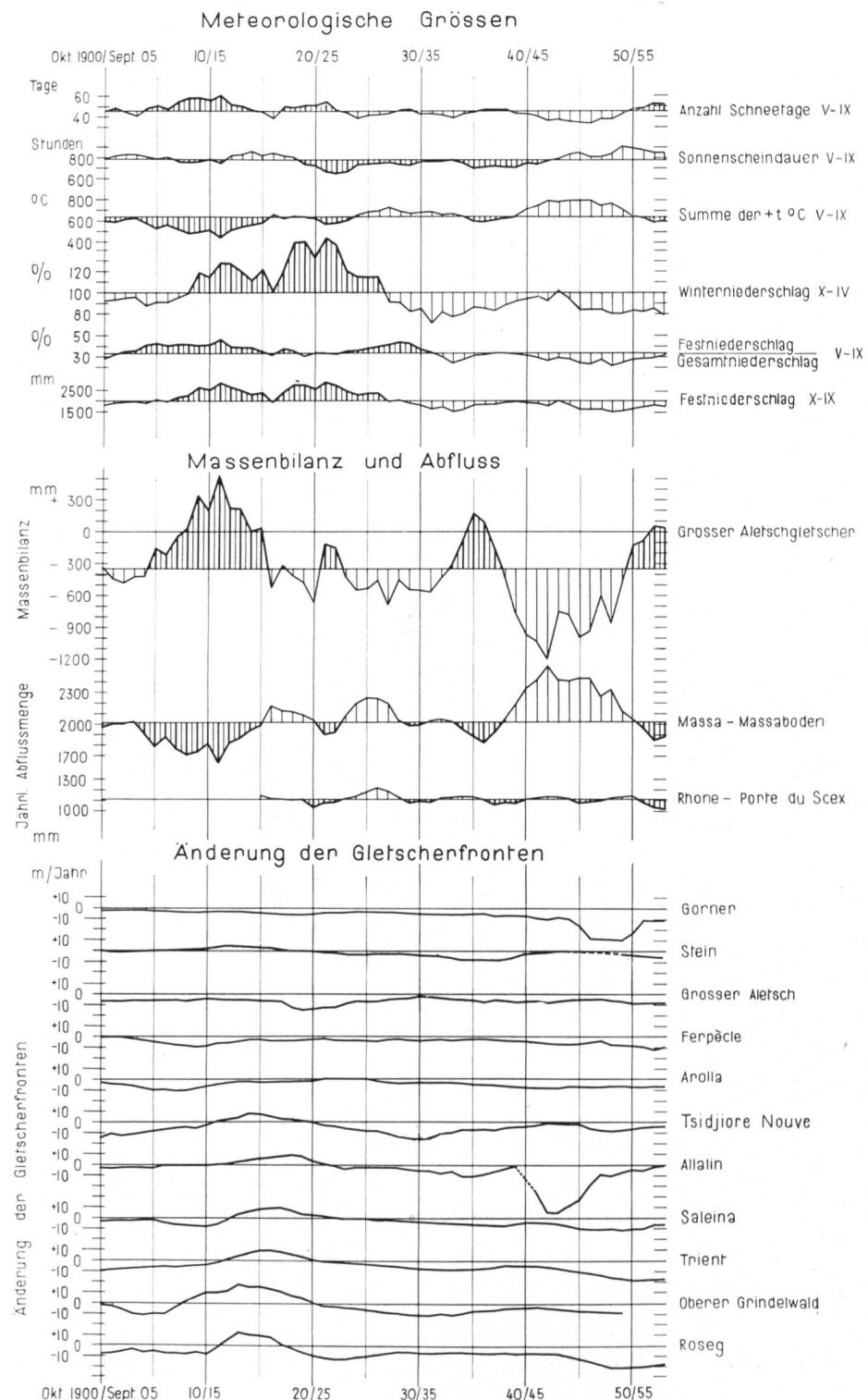


Bild 6
Übergreifende Fünfjahresmittel einiger Klimawerte des Säntis (2505 m ü. M.), der Massenbilanzen am Grossen Aletschgletscher (bezogen auf die vergletscherte Fläche), der Abflußmengen der Massa in Massaboden (Vergletscherung 67%) und der Rhone in Porte du Scex (Vergletscherung 16%) sowie der Lageänderung von 11 Gletscherfronten.

Gletscherfronten in Bild 4 verfolgen, lassen sich deutlich träge und rasch reagierende Gletscher unterscheiden. Die sehr heterogenen und nur wenig ins 19. Jahrhundert zurückreichenden Messungen [4] genügen zwar nicht für eine Periodenanalyse. Wir möchten lieber von Phasenverschiebungen sprechen, mit denen sich die verschiedenen Ursachen an den Gletscherzungen auswirken. Ein Gletscher kann deshalb an seinem Ende etwas früher oder später, stärker oder schwächer reagieren, je nachdem die nach verschieden langer Zeitdauer wirk-

sam werdenden Einflüsse gleichzeitig und gleichsinnig am Zungenende zusammenspielen oder nicht. Diesen vorwiegend meteorologischen Einflüssen überlagern sich die durch Untergrundrelief und Gestalt des Gletscherkörpers bedingten Störungen. Zudem sind Vorstoß- und Rückzugsmechanismus verschieden. In jedem Einzelfall ist deshalb eine sorgfältige Analyse aller erfaßbaren Einflüsse notwendig, wenn das zukünftige wahrscheinliche Verhalten einer Gletscherzung abgeschätzt werden soll.

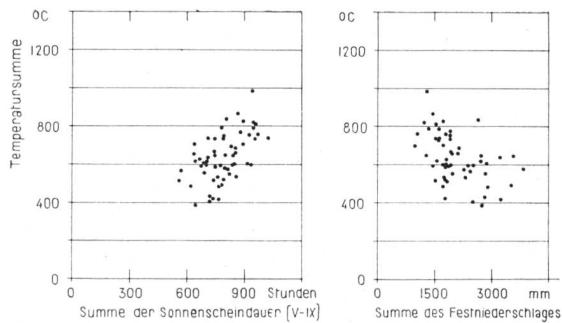


Bild 7 Beziehung zwischen der Summe der positiven Tagestemperaturen Mai—September (V—IX) und der Sonnenscheindauer (V—IX), beziehungsweise der gesamten Festniederschlagssumme (X—IX) auf dem Säntis (2505 m ü. M.).

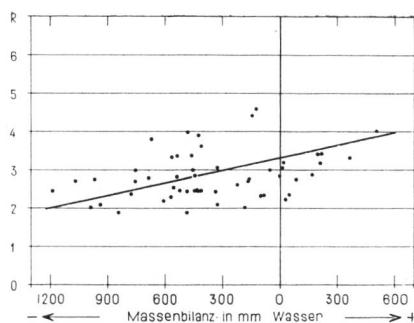
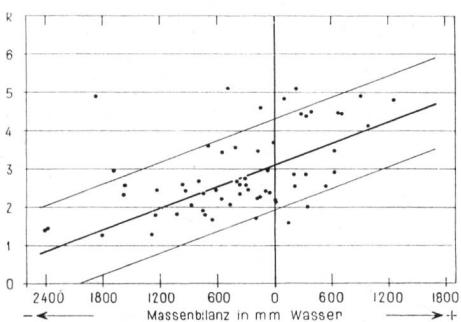


Bild 9 Zusammenhang von Bild 8 für Fünfjahresmittel.



► Bild 8 Zusammenhang zwischen R und der Massenbilanz des Großen Aletschgletschers in mm Wasser, bezogen auf die vergletscherte Fläche, für Jahreswerte (X—IX), wobei

$$R = \frac{1}{80} \cdot \text{Sonnenscheindauer (V—IX) in Minuten, auf dem Säntis}$$

Der Bereich innerhalb der beiden äußern Geraden umfaßt 84,5 % der 58 Wertepaare.

Mittelwerte bzw. mittlere Summen glazial-meteorologischer Größen, der Eisbilanz und Abflußwerte sowie der Lageänderung von Gletscherfronten

Tabelle 1

Größe	Dimension	Zeitintervall			
		1900/01 bis 1957/58 (58 J.)	1900/01 bis 1909/10 (10 J.)	1910/11 bis 1933/34 (24 J.)	1934/35 bis 1957/58 (24 J.)
a) Glazial-meteorologische Größen:					
1. mittl. Zahl der Schneetage im Sommer [V—IX] (Säntis)	Anzahl Tage	45	47	47	42
2. mittl. Sonnenscheindauer im Sommer [V—IX] (Säntis)	Stunden	790	784	768	817
3. mittl. pos. Temperatursummen des Sommers [V—IX] (Säntis)	° C	637	562	615	686
4. Abweichung der Winterniederschläge [X—IV] in % des Mittelwertes 1900/01—1957/58 (Säntis)	%	0	-8.5	+16.2	-12.7
5. fester Sommerniederschlag in % des gesamten Sommerniederschlags [V—IX] (Säntis)	%	43	44	47	38
6. mittl. fester Jahresniederschlag [X—IX] (Säntis)	mm	2057	1912	2390	1785
b) Eisbilanz und Abfluß:	mm Wasser/ 138 km ²	-342	-246	-325	-400
1. mittl. jährl. Eismassenbilanz des Gr. Aletschgletschers	mm/205 km ²	2011	1885	2017	2058
2. mittl. Jahresabfluß Massa in Massaboden	mm/5220 km ²	—	—	1111 ¹	1104
3. mittl. Jahresabfluß Rhone in Porte du Scex					
c) Mittl. jährl. Änderung der Zungenenden der folgenden Gletscher:					
Gorner	m	-17.3	-6.5	-9.4	-29.8
Stein	m	-7.0	-2.5	-8.7	-8.2
Gr. Aletsch	m	-16.1	-14.0	-16.5	-16.6 ³
Ferpècle	m	-11.9	-7.0	-10.7	-15.2
Arolla	m	-11.8	-16.3 ³	-6.6 ⁴	-15.2
Tsidjiore Nouve	m	-12.5	-26.7 ⁵	-8.7	-10.3
Allalin	m	-15.5	-7.7	-2.3 ⁶	-32.0 ⁷
Saleina	m	-8.5	-6.9	+ 0.1	-17.7
Trent	m	-16.8	-18.0 ⁸	-7.1 ⁹	-26.0
Ob. Grindelwald	m	-10.8	-14.9	-3.2 ¹⁰	-16.7 ¹¹
Roseg	m	-19.0	-18.6	-9.4 ¹²	-28.7 ¹³

¹ 1916—1934 (19 J.)

⁴ ohne 1927

⁷ ohne 1940/43, 44

¹⁰ ohne 1911, 15, 18

² ohne 1939, 1940

⁵ ohne 1903

⁸ ohne 1901, 1902

¹¹ ohne 1944, 45, 55—58

³ ohne 1904

⁶ ohne 1913, 14, 34

⁹ ohne 1912

¹² ohne 1913, 15, 32, 33

¹³ ohne 1944



Bild 10 Einzugsgebiet des Allalingletschers, von Britannia aus gesehen; im Mittelgrund der Abbruch des Hohlaubgletschers, 11. April 1949.

Betrachten wir beispielsweise den Allalingletscher, so stellen wir vorerst fest, daß er über ein hochgelegenes weiträumiges Nährgebiet verfügt (Bild 10) und das Zungenende auf steilem Hang gegen die Visp hinunter-

fließt (Bilder 12 und 13). Aus der Gletscherchronik von Lütschg [7] wissen wir, daß die Zunge in den letzten Jahrhunderten mehrmals die Visp überflutet (Bild 11) und damit Anlaß zur Bildung des Mattmarksees gegeben hat, der oft verheerende Seeausbrüche folgten. Ein Blick auf Bild 6 sagt uns, daß die Allalinzunge sowohl auf die Rücklagejahre im zweiten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts, wie auch Ende der dreißiger und Mitte der fünfziger Jahre, rasch reagiert hat, im ersten Fall mit einem kräftigen Vorstoß, der auch in den Fünfjahresmitteln zum Ausdruck kommt, in den beiden andern Fällen mit kleineren Vorstößen. Der Vergleich der photogrammetrischen Aufnahmen aus den Jahren 1932, 1946 und 1956 zeigt, daß der Gletscher oberhalb der Firmlinie seit 1932 nur unwe sentlich dünner geworden ist und stellenweise sogar etwas an Mächtigkeit gewonnen hat. Zudem dürfte sich der Allalin heute soweit zurückgezogen haben, daß seine Ausdehnung einigermaßen einem Gleichgewichtszustand auf höherem Temperaturniveau entspricht. Es sind also eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt, die es als wahrscheinlich erscheinen lassen, daß die Zunge schon nach etwa zwei bis drei schneereichen Jahren mit kühlen Sommern vorstoßen wird. Allerdings ist der Aufbau einer längeren Zunge dadurch erschwert, daß auf den steilen Felsplatten wesentliche Eisverluste durch Lawinen zu erwarten sind. Vielleicht würde sich bei einem großen Vorstoß der Vorgang so abspielen, daß durch die Eislawinen am Hangfuß vorerst ein regenerierter kleiner Gletscher entsteht, der sich schließlich mit der von oben herabgleitenden Zunge zusammenschließt.

Zwei weitere Bilder (14 und 15) zeigen Ferpècle- und Mt. Minégletscher, die sich 1933 noch zu einer gemeinsamen Zunge vereinigten, heute aber zwei voneinander unabhängige Gletscher geworden sind.

Bild 6 zeigt, daß die rasch reagierenden Gletscher innerhalb von etwa sechs Jahren auf Klimaänderungen

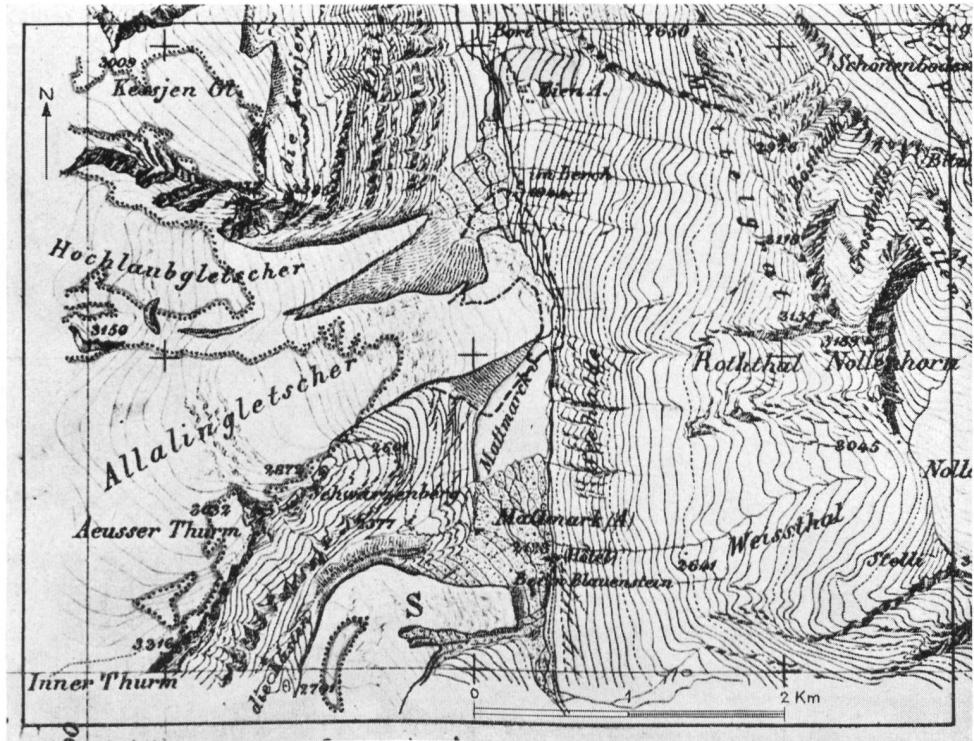


Bild 11
Reproduktion der Originalaufnahme Ing. Bétemps aus dem Jahre 1860.

Gletschergrenzen:
gestrichelt:
Maximaler Hochstand
1822–1825
ganzer Strich:
Aufnahme Bétemps 1860
strichpunktiert:
Hochstand 1920
(Aufnahme O. Lütschg)
punktiert:
Luftphotogrammetrische
Aufnahme 1956
(Büro Helbling)

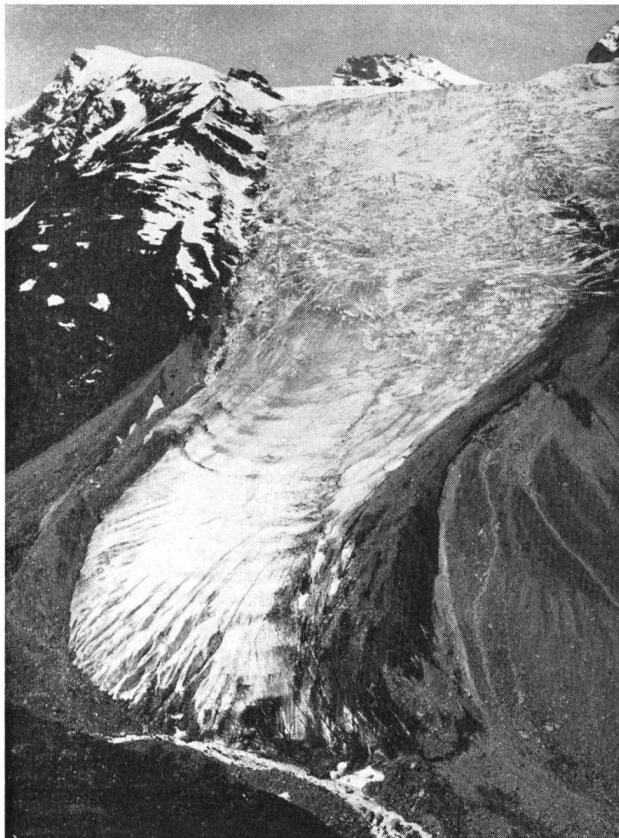


Bild 12 Zunge des Allalingletschers am 1. Juli 1916. Auf seinem Vorstoß um 1920 (Höchststand 1923) hat das Eis vorübergehend die unten im Bild sichtbare Visp überflutet.



Bild 13 Zunge des Allalingletschers am 24. September 1955; dieser Stand entspricht ungefähr demjenigen im Herbst 1957.

ansprechen, die tragen nach wesentlich längerer Zeit. Zwischen den wachstumsgünstigen und -ungünstigen Jahresgruppen gibt es einen häufigen Wechsel, die Zeitintervalle zwischen den Mitten dieser Jahresgruppen sind aber von recht unterschiedlicher Dauer.

3. Schlußbemerkungen

Im Juniheft 1959 der «Wasser- und Energiewirtschaft» wurde «der Einfluß von Gletscherrückgang und Gletschervorstoß auf den Wasserhaushalt» [6] eingehender besprochen. Die vorliegende Arbeit stellt als Ergänzung die übergreifenden Fünfjahresmittel einzelner Größen dar, welche die Tendenz während der Berichtsperiode 1900/01 — 1957/58 übersichtlicher wiedergeben als dies mit Einzelwerten möglich ist (vgl. Bild 4). Es ging den Autoren dabei mehr um eine anschauliche Schilderung der Entwicklung als um eine Analyse der Erscheinungen.

Abschließend soll auf einige Beziehungen zwischen Gletscheränderungen und Wasserwirtschaft hingewiesen werden. Diese Änderungen lassen sich weitgehend durch die Massenbilanz, die Arealänderung und die Lageänderungen der Gletscherfronten beschreiben.

Bei positiven Massenbilanzen vergrößert der Gletscher seine Gesamtmasse, die Abflußmengen sind in der Regel klein, während bei negativen Bilanzen die Abflußmengen auf Kosten der Eisreserve groß sind. In diesem Fall wird der Gletscher kleiner. Damit werden die Eisoberflächen, welche dem Schmelzvorgang ausgesetzt sind, und als Folge auch die Abflußmengen, geringer.

Der Gletscher strebt einem neuen Gleichgewichtszustand, die Abflußmengen dem Betrag Niederschlag minus Verdunstung zu. Bei dieser Arealverminderung wird viel lockeres Gesteinsmaterial, das vorher vom Eise gefangen war, freigelegt und vermehrter Erosion ausgesetzt. Die Folge davon dürfte eine vorübergehende Erhöhung der Schwebstoff- und Geschiebefracht im Gletscherbach sein.

Auch die Lageänderung der Gletscherfronten birgt allerlei technische Probleme. Aus Seitentälern vorstoßende Gletscher können das Haupttal abriegeln, seinen Fluß stauen und damit die Voraussetzung für Seeausbrüche schaffen. In einzelnen Fällen sollte schon bei der Projektierung daran gedacht werden, daß ein vorstoßender Gletscher Wasserfassungen überflutet und eventuell sogar in Kontakt mit anderen Bauwerken wie Staumauern oder Erddämmen kommen könnte. Auch ein sich zurückziehender Gletscher könnte Schwierigkeiten verursachen, wenn er eine subglazial erstellte Fassung freigibt und Material der Oberflächenmoränen in die Fassung fällt. Heute dürften einige Gletscher bereits einen Stand erreicht haben, welcher dem Gleichgewichtszustand bei mittleren Witterungsbedingungen etwa der letzten 50 Jahre entspricht, während andere noch weit von diesem Gleichgewichtszustand entfernt sind. Wenn auch die weitere klimatische Entwicklung für die Zukunft unserer Gletscher entscheidend sein wird, ist doch das Verhalten der Gletscher in nächster Zeit durch die Witterungs- und Gletschergeschichte der letzten Jahrzehnte schon bis zu einem gewissen Grade vorausbestimmt.



Bild 14 Der Glacier de Ferrière (im Bild links) vereinigte sich im Herbst 1933 mit dem Glacier du Mt-Miné zu einer gemeinsamen Zunge (Aufnahme der Eidg. Landestopographie).



Bild 15

Der Glacier de Ferrière hat sich bis zum 3. Juli 1959 so weit in sein Tal zurückgezogen, daß er sich vollständig vom Glacier du Mt-Miné losgelöst hat (Aufnahme der Eidg. Landestopographie).

Literaturnachweis

- [1] A+W: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz, herausgegeben vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, zuletzt erschienen Jg. 1958, Bern 1959.
- [2] Eckel O. und Thams Chr.: Untersuchungen über Dichte-, Temperatur- und Strahlungsverhältnisse der Schneedecke in Davos, in: Der Schnee und seine Metamorphose. Beiträge zur Geologie der Schweiz — Geotechnische Serie — Hydrologie, Lieferung 3, Bern 1939.
- [3] Finsterwalder R.: Die zahlenmäßige Erfassung des Gletscherrückganges an Ostalpengletschern. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. II, Heft 2, Innsbruck 1953.
- [4] Forel F. A., Mercanton P.-L. und Renaud A.: Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses, Hauptautoren: Forel, 1880—1911, Mercanton, 1912—1949, Mercanton und Renaud, 1950—1954, Renaud, seit 1955; 1880 und 1881 in l'Echo des Alpes, Genève, 1882—1926 in Jahrbuch des SAC, seit 1927 in Die Alpen, zuletzt erschienen 79. Rapport für 1958, Bern 1959.
- [5] Haefeli R.: Gletscherschwankung und Gletscherbewegung. Schweiz. Bauzeitung, 73/74. Jg., Nrn. 42, 44, Zürich 1956.
- [6] Kasser P.: Der Einfluß von Gletscherrückgang und Gletschervorstoß auf den Wasserhaushalt. Wasser- und Energiewirtschaft, 1959, Nr. 6, Zürich (mit zahlreichen Literaturangaben).
- [7] Lütschg O.: Über Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. — Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes. Verbandsschrift Nr. 14 des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, Zürich 1926.
- [8] Mercanton P.-L.: Aires englacées et cotes frontales des glaciers suisses. Leurs changements de 1876 à 1934 d'après l'Atlas Siegfried et la Carte Nationale et quelques indications sur les variations de 1934 à 1957. Cours d'eau et énergie, No 12, Zürich 1958.
- [9] MZA: Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt, Jahrgänge 1—95, 95. Jg., 1958, Zürich 1959.
- [10] MZA: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen, herausgegeben von der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt, zuletzt erschienen Jg. 1958, Zürich 1959.
- [11] Rutgers F., Billwiler R. und Kuhn W.: Der Firnzuwachs in einigen schweiz. Firngebieten, Jahre 1914 bis 1916 als Bericht der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft, Zürich, Jahre 1913/14—1919/20 in Jahrbuch «Ski» (Autoren Rutgers und Billwiler), seit 1920/21 in der Vierteljahrschrift der Naturf. Ges. Zürich (Autoren Billwiler bis XXXIII. Bericht für 1945/46, ab XXXIV. Bericht Kuhn), zuletzt erschienen XLVI. Bericht für 1958/59, Dez. 1959.
- [12] Tollner H.: Bericht über die Eisstände der Gletscher der Großglockner- und Sonnblickgruppe im Frühherbst 1954, 1955 und 1956, in: 51.—53. Jahresbericht des Sonnblickvereins für die Jahre 1953—1955, Kommissionsverlag von Springer-Verlag, Wien 1957, S. 33—38.
- [13] Tollner H.: Die Folgen des Rückganges österreichischer Gletscher auf die Wasserspeicherung hochalpiner Kraftwerksanlagen. Gleichenorts, S. 38—42.
- [14] Zingg Th.: Beitrag zur Kenntnis des Schmelzwasserabflusses der Schneedecke. Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1949/50. Winterbericht des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weißfluhjoch/Davos, Nr. 14, Davos 1951.



Bild 16 Luftbild mit Blick Saastal aufwärts auf den Boden von Mattmark; am rechten Bildrand die Zunge des Allalingletschers.
(Aufnahme Militärflugdienst, 5. November 1954.)