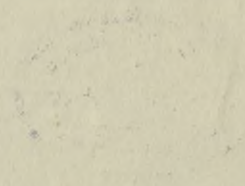


2.50



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300864



X  
927







# Der Märjelensee und seine Abflussverhältnisse

EINE HYDROLOGISCHE STUDIE

unter

Mitberücksichtigung hydrographischer Erscheinungen in anderen Flussgebieten



G. 38  
159

GENÈVE, BUCHDRUCKEREI ALBERT KUNDIG







Phot. O. Lütshg.

Märgelsee (Hintersee) während des Hochwasserstandes am  
27. IX. 1909. — Pegelstand : 55,91 m.

Olmenhorn



Phot. Jullien Frères.

Märgelsee (Vorder- und Hintersee vereinigt) während des Hochwasserstandes im  
Juli 1888. — Pegelstand ungefähr : 70,0 m.

III. 1109/15

SCHWEIZER. DEPARTEMENT DES INNERN



ANNALEN  
DER SCHWEIZ. LANDESHYDROGRAPHIE

herausgegeben durch

Dr. LÉON W. COLLET

Direktor der Abteilung für Wasserwirtschaft.

BAND I

DER MÄRJELEENSEE  
UND SEINE ABFLUSSVERHÄLTNISSSE

EINE HYDROLOGISCHE STUDIE

unter

Mitberücksichtigung hydrographischer Erscheinungen in anderen Flussgebieten

von

Ingr. O. LÜTSCHG

I. Technischer Adjunkt der Abteilung für Wasserwirtschaft.

Mit 52 Tafeln und 27 Figuren im Text.



ZU BEZIEHEN

beim Sekretariat der Abteilung für Wasserwirtschaft in Bern.

PREIS : 15 FR.

1915

G. 38  
159

31/5



IV-301088



~~III 18241~~

BPW 3-224/2018

Akc. Nr. 1863 / 52

## VORWORT.

Mit der vorliegenden Schrift beginnen wir eine neue Serie von Veröffentlichungen, betitelt : « *Annalen der Schweizerischen Landeshydrographie* ». Diese bilden gewissermassen eine Ergänzung zu den seit dem Jahre 1912 erscheinenden « *Mitteilungen* ». Das Format dieser letztern eignete sich nicht wohl für Publikationen von einem gewissen Umfange, denen zahlreiche und grosse Tafeln beigegeben werden müssen.

Gleich wie die « *Mitteilungen* », erscheinen die « *Annalen* » in zwangloser Folge. Die darin veröffentlichten Abhandlungen werden in einer der drei National-sprachen verfasst.

Der erste Band, den wir dem Leser vorzulegen die Ehre haben, « *Der Märjelensee und seine Abflussverhältnisse* », sollte auf die Landesausstellung hin erscheinen. Leider erlitt dessen Herausgabe eine bedeutende Verzögerung, die einerseits ihren Grund hat in der Arbeitsüberhäufung durch die Vollendung der schweizerischen Wasserkraftstatistik und anderseits in der Kriegsmobilmachung der Armee.

Der Band II wird voraussichtlich noch im Laufe dieses Jahres erscheinen und eine Studie bringen, betitelt : « *Le charriage des alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse.* »

Möge diese neue Serie von Publikationen in den technischen und wissenschaftlichen Kreisen die nämliche wohlwollende Aufnahme finden, wie dies bei den « *Mitteilungen* » der Fall war.

*Bern, im Januar 1915.*

Der Direktor  
der Abteilung für Wasserwirtschaft  
im schweizer. Departement des Innern :

Dr. Léon W. COLLET.

---



## INHALT.

	Seite.
VORWORT . . . . .	VII
INHALT . . . . .	IX
LITERATUR . . . . .	XIII

### I. THEIL.

#### Der Märjelensee.

EINLEITUNG . . . . .	1
I. KAPITEL. <i>Die Gletscherseen im allgemeinen</i> . . . . .	3
Die Eis-Seen . . . . .	4
Die Gletscher-Randseen . . . . .	14
II. KAPITEL. <i>Allgemeine geographische und geologische Verhältnisse</i> . . . . .	18
III. KAPITEL. <i>Die Eiswand des Grossen Aletschgletschers gegen den Märjelensee</i> . . . . .	25
Horizontale Linien . . . . .	25
Senkrechte Rillen . . . . .	25
Kalbung . . . . .	26
Eishöhlen . . . . .	28
Schmelzlöcher . . . . .	28
Mulden. . . . .	28
Treppenförmige Ausfressungen . . . . .	28
Lage und Formveränderung der Eisberge . . . . .	29
Spaltenbildung . . . . .	30
Ueberlaufschwelle . . . . .	31
IV. KAPITEL. <i>Pegel-Anlage</i> . . . . .	33
Allgemeines . . . . .	33
Nivellement-Horizont . . . . .	33
Erstellung des Pegels . . . . .	35
V. KAPITEL. <i>Bestimmung der Nullpunktsote des Pegels am Märjelensee in Verbindung mit der Aufnahme der Längenprofile des Fiescher- und Seebaches.</i> . . . .	40
Allgemeines . . . . .	40

	Seite.
Höhenversicherungen in Fiesch, auf der Strecke Fiesch-Fieschertal-Märjelenalp, am Märjelensee und am Aletschgletscher . . . . .	46
VI. KAPITEL. <i>Die Vermessung der Seewanne</i> . . . . .	52
VII. KAPITEL. <i>Morphometrie des Märjelensees</i> . . . . .	54
Isohypsenflächen. Seeinhalte. Zustand 1908, 1913 und 1878. . . . .	54
Die Längen des Sees. . . . .	59
Die Breiten des Sees. . . . .	59
Die Tiefe des Sees . . . . .	60
Die Gliederung des Sees . . . . .	61
Die Uferentwicklung des Sees . . . . .	61
Die Böschungswinkel des Seebeckens in Stufen von 10 zu 10 m. . . . .	62
VIII. KAPITEL. <i>Die Wasserstandsverhältnisse des Märjelensees</i> . . . . .	64
Die Niveauschwankungen des Vordersees . . . . .	65
Zusammenstellung von Aufzeichnungen über die Wasserstände und Ausbrüche des Märjelensees vom Jahre 1813 bis Ende September 1908 . . . . .	66
Die Resultate der Beobachtungen vom 23. September 1908 bis zum 31. Dezember 1913 . . . . .	73
Die täglichen Schwankungen des Sees . . . . .	77
Die aperiodischen Schwankungen des Sees. . . . .	80
IX. KAPITEL. <i>Die Bewegung der Gletscherzunge im Becken des Märjelensees</i> . . . . .	83
X. KAPITEL. <i>Die Verdunstung</i> . . . . .	89
XI. KAPITEL. <i>Die Abflussmengen des Vordersees und die Zuflussmengen des Hintersees</i> . . . . .	95
XII. KAPITEL. <i>Der Märjelensee als natürlicher Niederschlagssammler</i> . . . . .	108
XIII. KAPITEL. <i>Die chemische Zusammensetzung des Wassers</i> . . . . .	115
XIV. KAPITEL. <i>Die Temperaturverhältnisse</i> . . . . .	121
Die Wassertemperaturen an der Oberfläche . . . . .	122
Luft- und Wassertemperaturen des Hintersees . . . . .	123
Luft- und Wassertemperaturen des Vordersees . . . . .	126
Die thermischen Lotungen . . . . .	128
XV. KAPITEL. <i>Die Eis- und Schneeverhältnisse</i> . . . . .	136
Die Eis- und Schneeverhältnisse des Märjelensees . . . . .	137
Einzelbeobachtungen über die Eisdicke hochalpiner Seen . . . . .	150
XVI. KAPITEL. <i>Transparenz und Farbe</i> . . . . .	163
XVII. KAPITEL. <i>Aufzeichnungen über Seeausbrüche und ihr Verhalten im Gebiet des Aletsch- gletschers, im Gebiet der Massa und der Rhoneebene</i> . . . . .	168
XVIII. KAPITEL. <i>Die Abflussquerschnitte im Gletscher bei Seeausbrüchen</i> . . . . .	186
XIX. KAPITEL. <i>Verlauf der Flutwellen in der Massa und Rhone, verursacht durch die Aus- brüche des Märjelensees</i> . . . . .	193
XX. KAPITEL. <i>Die Ursachen der Ausbrüche</i> . . . . .	204
XXI. KAPITEL. <i>Die baulichen Vorkehrungen gegen die Ausbrüche des Sees</i> . . . . .	211
A. Allgemeines . . . . .	211
B. Bauausführung der beiden Kanäle . . . . .	215
C. Zustände des Sees und des Grabens nach dessen Vollendung . . . . .	219
D. Bau des Stollens zur Absenkung der Hochwasserstände des Märjelensees . . . . .	223



## II. TEIL.

## Fiescherbach und Massa.

	Seite.
I. KAPITEL. <i>Allgemeine geographische und geologische Verhältnisse</i> . . . . .	241
A. Der Fiescherbach . . . . .	241
B. Die Massa . . . . .	246
II. KAPITEL. <i>Die Begrenzung der Flussgebiete.</i> . . . . .	249
A. Das Fieschertal . . . . .	249
B. Der Grosse Aletschgletscher und die Massa . . . . .	249
III. KAPITEL. <i>Die Flussgebiete.</i> . . . . .	251
A. Allgemeines . . . . .	251
Orographische Verhältnisse . . . . .	251
Eigentliches Flussgebiet . . . . .	251
Gefällsverhältnisse . . . . .	252
Gestalt des Flusslaufes . . . . .	252
a) Fiescherbach. . . . .	252
b) Massa . . . . .	254
Ausgenutzte Wasserkräfte . . . . .	254
Bewässerung . . . . .	254
B. Die Flächeninhalte . . . . .	257
IV. KAPITEL. <i>Die Pegelstationen im Gebiete des Fieschertales und der Massa</i> . . . . .	263
A. Allgemeines . . . . .	263
B. Bestimmung der Nullpunkthöhe des Pegels an der Massa oberhalb der Gebidem- brücke . . . . .	264
C. Höhenversicherungen in Brig, Naters, Bitsch, und auf der Strasse Naters-Platten- Gebidem . . . . .	267
V. KAPITEL. <i>Die Wasserstandsbeziehung des Fiescherbaches und der Massa</i> . . . . .	270
A. Der Fiescherbach . . . . .	270
B. Die Massa . . . . .	271
VI. KAPITEL. <i>Die Wassermessungen des Fiescherbaches und der Massa</i> . . . . .	273
A. Der Fiescherbach . . . . .	273
Ergebnisse der Wassermessungen . . . . .	274
Tabelle der sekundlichen Abflussmengen des Fiescherbaches in Fiesch in der Periode von 1897-1913 . . . . .	276
B. Die Massa . . . . .	273
Ergebnisse der Wassermessungen . . . . .	278
Tabelle der sekundlichen Abflussmengen der Massa bei Gebidem in der Periode von 1904-1913. . . . .	283
VII. KAPITEL. <i>Die Abflussverhältnisse des Fiescherbaches und der Massa</i> . . . . .	284
VIII. KAPITEL. <i>Die verfügbaren Wasserkräfte des Fiescherbaches und der Massa</i> . . . . .	292
A. Allgemeines . . . . .	292
B. Der Fiescherbach. . . . .	292

	Seite.
C. Die Massa . . . . .	294
Projekt A. Ohne Stausee-Anlage . . . . .	294
Projekt B. Mit Stausee-Anlage . . . . .	294

## III. THEIL.

**Die minimalen Abflussmengen der Gebirgsbäche.**

I. KAPITEL. <i>Die minimalen Abflussmengen im allgemeinen</i> . . . . .	297
A. Einteilung der minimalen Abflussmengen . . . . .	297
B. Besondere Ursachen ausserordentlicher Minima . . . . .	299
a) Starker Schneefall. . . . .	300
b) Eisbildung . . . . .	300
c) Lawinen . . . . .	311
d) Versickerung . . . . .	315
II. KAPITEL. <i>Die winterlichen Abflussmengen der Gletscher</i> . . . . .	322
A. Allgemeines . . . . .	322
B. Die Abflussmengen der Gletscher im Sommer . . . . .	323
C. Die Abflussmengen der Gletscher im Winter . . . . .	329
Verzeichnis der Tafeln . . . . .	341
Autorenverzeichnis . . . . .	344
Geographisches Namenverzeichnis. . . . .	347
Sach-Verzeichnis . . . . .	351
Druckfehlerverzeichnis . . . . .	357

## LITERATUR.

- Aktenmaterial über den Märjelsee.* Dossier I, 1827-1857. Dossier II (Tunnel), 1888-1896. Staatsarchiv Sitten. Zusammengestellt 5. Januar 1910.
- Almanach (Helvetischer)* für das Jahr 1820. Statistischer Versuch über den Kanton Wallis. Zürich, Orell-Füssli.
- AMBERG, B. *Limnologische Untersuchungen des Vierwaldstättersees.* Physikalischer Teil. I. Abteilung : *Optische und thermische Untersuchungen.* Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern. 4. Heft. Luzern, 1904.
- ARNET, X. *Das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz während der Winter 1890/1891 bis 1895/1896.* Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern. 1. Heft. Jahrg. 1895-1896. Luzern, 1897.
- AUFSESS, O., VON U. ZU. *Die physikalischen Eigenschaften der Seen.* « Die Wissenschaft »; Sammlung naturwissenschaftlicher und mathemat. Monographien. Heft 4, 120 S. Braunschweig, 1905.
- BALTZER, A., Zürich. *Die Hochseen der Schweizeralpen.* Humboldt. Monatsschrift für die gesamten Naturwissenschaften. Stuttgart, März 1883.
- BALTZER, A. *Studien am Unter-Grindelwaldgletscher über Glacialerosion, Längen- und Dickenveränderung in den Jahren 1892 bis 1897.* Neue Denkschriften der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften. Band XXXIII. Abt. II. Zürich, 1898.
- BIERMANN, C. *La Vallée de Conches en Valais. Essai sur la vie dans une haute vallée fermée des Alpes suisses sous l'influence de l'altitude, du climat et du relief.* Bulletin des laboratoires de géologie, géographie physique, minéralogie et paléontologie de l'Université de Lausanne. Bulletin N° 8. Lausanne, 1907.
- BLOTNITZKI, L. *Bericht über den Föhn und dessen Einfluss auf die Wasserverheerungen an das eidg. Departement des Innern und des Bauwesens.* Bern, 1869.
- BLÜMCKE, A. und HESS, H. *Tiefbohrungen am Hintereisferner im Sommer 1908.* Zeitschrift für Gletscherkunde. III. Band, 1909.
- BONAPARTE, Prince Roland. *Le glacier de l'Aletsch et le lac de Märjelen.* Paris, 1889.
- BOUCHER, M.-A. *Jaugeages par titrations.* Bulletin technique de la Suisse romande, N° 11, 1910.
- BOURCART, F.-E. *Les lacs alpins suisses.* Etude chimique et physique. Genève, 1906.
- BRÜCKNER, E. *Ueber die Geschwindigkeit der Gebirgsbildung und der Gebirgsabtragung. Himmel und Erde.* VI. Jahrg. Heft 1. Berlin, 1893.
- BRÜCKNER, E. *Untersuchungen über die tägliche Periode der Wasserführung und die Bewegung von Hochfluten in der obern Rhone.* Petermanns Mitteilungen. 41. Band, 1895. Gotha.

- BRÜCKNER, E. *Die schweizerische Landschaft einst und jetzt*. Rektoratsrede 18. XI. 1899. Bern, 1900.
- BRÜCKNER, E. *Zur Thermik der Alpenseen und einiger Seen Nord-Europas*. Geographische Zeitschrift. Band 15, Heft 6. Leipzig, 1909.
- BRUNNER, C. II. *Mitteilung aus einem Briefe von Herrn A. von Morlot in Lausanne*. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem Jahre 1854, N° 310-330. Bern, 1854.
- BÜHRER, C. *Les variations de climat dans les Alpes, spécialement dans le Valais*. Bulletin de la Murithienne, société valaisanne des sciences naturelles. Fascicule XXXIII, 1904, S. 168-203. Sitten, 1905.
- BURNAT, E. et FLEURY, C. *Venez Ignace, Ingénieur. 1788-1859*. S. 131-136. Bulletin de la Murithienne, société valaisanne des sciences naturelles. Fasc. XXXVII, 1911-1912. Sitten, 1911.
- CHAIX-DU BOIS, E. *Quelques documents nouveaux sur les glaciers*. Extrait du « Globe », journal géographique. Tome XLVII. Mémoires. Genève, 1908.
- CHANTRE, D., Ing<sup>r</sup>. *Rapport sur les inondations du haut Valais dans l'année 1860*. 21<sup>e</sup> S. Genève, 1860.
- COAZ, J.-W. *Die Hochwasser im September und Oktober 1868 im bündnerischen Rheingebiet vom naturwissenschaftlichen und hydrotechnisch-forstlichen Standpunkt betrachtet*. W. Engelmann. Leipzig, 1869.
- COLLET, W., MELLET, R. et LÜTSCHG, O. *Jaugeages par titrations et essais comparatifs effectués à l'usine hydro-électrique de l'Ackersand (Valais) simultanément avec une solution salée, un moulinet électrique, un rideau et un déversoir*. Communications du Service de l'Hydrographie Nationale. N° 1. Berne, 1913.
- COLLET, L.-W. *Charriage des alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse*. Archives des Sciences physiques et naturelles, 4<sup>me</sup> période, t. XXXVII. Juin 1914. Genève.
- COLLET, L.-W. *Geschlechtstransport in verschiedenen schweizerischen Flüssen*. Schweizerische Wasserwirtschaft. VII. Jahrgang. N° 6/7, 1915, s. 49.
- DANGER et VIKESNEL, A. *Note sur une géode de glace remplie de liquide et sur quelques-uns des phénomènes que présentent la congélation de l'eau et la fusion de la glace dans des vases de petites dimensions*. Bulletin de la Société géologique de France, t. II, 2<sup>me</sup> série, 1845. Paris.
- DELEBECQUE, A. et RITTER, E. *Note sur les entonnoirs du glacier de Gorner*. Archives des Sciences physiques et naturelles. Troisième période, t. XXVIII. Novembre 1892. Genève, 1892.
- DELEBECQUE, A. *Sur les lacs du Grimsel et du massif du Saint-Gothard*. 28 novembre 1904. Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences. Paris, Gauthier-Villars, 1904.
- Direction de l'Hydraulique et des améliorations agricoles du Ministère de l'Agriculture. Service d'études des grandes forces hydrauliques (région des Alpes)*. Etudes glaciologiques. Tyrol autrichien. Massif des grandes rousses. 112 S., 1909.
- ENGEL, M.-C. *Ueber die Entstehung der Eisberge*. Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. V, 1910/1911.
- FALSAN, A. et CHANTRE, E. *Monographie des anciens glaciers et du terrain erratique de la partie moyenne du bassin du Rhône*. Archives des Sciences phys. et nat. 3<sup>me</sup> pér. Tome IV. Genève, 1880.

- FINSTERWALDER, S. *Der Vernagtferner. Seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888 und 1889.* Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. u. Ö. Alpenvereins. I. Band, I. Heft. Graz, 1897.
- FINSTERWALDER, S. und HESS, H. *Beobachtungen am Vernagt-Guslarferner im Jahre 1897.* Berichte über die wissenschaftlichen Unternehmungen des D. u. O. Alpenvereins. Wien, 1897.
- FINSTERWALDER, S. *Die Gletscherausbrüche des Martell-Thales.* Zeitschrift des Deutschen- und Oesterreichischen Alpenvereins. Jahrg. 1890, Band XXI, S. 21-34. Wien, 1890.
- FINSTERWALDER, S. und LAGALLY, M. *Die Neuvermessung des Suldenferners 1906 und dessen Veränderungen in den letzten Jahrzehnten.* Zeitschrift für Gletscherkunde. Band 7, Heft 3. Berlin, 1913.
- FOREL, F.-A. *Congélations du lac du Grand Saint-Bernard.* Archives des Sciences physiques et naturelles, III<sup>me</sup> période, Tome XXVIII, N<sup>o</sup> 7. 15 Juillet 1892, p. 44. Genève.
- FOREL, F.-A. *Handbuch der Seenkunde. Allgemeine Limnologie.* Bibliothek Geographischer Handbücher. Stuttgart, 1901.
- FORSTER, Ad. *Die Temperatur fließender Gewässer Mitteleuropas.* Geographische Abhandlungen. Band 5, Heft 4. Wien, 1894.
- FURRER, P. *Geschichte, Statistik und Urkunden-Sammlung über Wallis,* 1. Band: Geschichte von Wallis. Sitten, 1850.
- GAUTIER, R. et DUAIME, H. *Les retours du froid en juin à Genève et au Grand Saint-Bernard.* Archives des Sciences physiques et naturelles. 4<sup>me</sup> période, t. 31. Juin 1911 Genève, 1911.
- GEISTBECK, A. *Die Seen der deutschen Alpen.* Eine geographische Monographie. Mitteilungen des Vereins für Erdkunde. Leipzig, Duncker und Humblot, 1885.
- GRAVELIUS, H. *Der Einfluss der Gletscher auf den Wasserhaushalt der Alpenflüsse,* Zeitschrift für Gewässerkunde, Bd. 5, Heft 6, 1903.
- GRAVELIUS, H. *Grundriss der gesamten Gewässerkunde.* 1. Band: Flusskunde. Berlin und Leipzig, 1914.
- GREIM, G. *Studien aus dem Paznaun.* Mit 4 Tafeln. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Bd. V. Heft 4. Leipzig, 1903.
- GROLL, M. *Der Oeschinensee im Berner-Oberland. Inaugural-Dissertation.* Universität Bern. Jahresbericht der Berner Geographischen Gesellschaft. XIX. Bern, 1904.
- GRUNER, G.-S. *Die Eisgebirge des Schweizerlandes.* 1. Teil: Berner- und Walliser Alpen. Bern, 1760.
- GUTZMANN, W. *Der Wasserhaushalt der Lippe.* Zeitschrift für Gewässerkunde, Bd. 11, Heft 3. Dresden.
- HALBFASS, W. *Der Baikalsee.* Morphometrische Bemerkungen. « Globus » Band XCV, N<sup>o</sup> 9. Braunschweig, 1909.
- HALBFASS, W. *Der gegenwärtige Stand der Seenforschung.* I. Topographie, Hydrographie, Geologie der aussereuropäischen Seen. Fortschritte der Naturwissenschaftlichen Forschung. Halle a. S. VI. Band. Berlin und Wien, 1912.
- HALBFASS, W. *Der gegenwärtige Stand der Seenforschung.* II. Topographie, Hydrographie, Geologie der europäischen Seen. Fortschritte der Naturwissenschaftlichen Forschung. Halle a. S. VII. Band. Berlin und Wien, 1912.

- HALBFASS, W. *Der gegenwärtige Stand der Seenforschung*. III. Die Thermik der Seen. Fortschritte der Naturwissenschaftlichen Forschung. Halle a. S. IX. Band. Berlin und Wien, 1913.
- HANN, J. *Lehrbuch der Meteorologie*. Leipzig, 1901.
- HEIM, A. *Lehrbuch der Gletscherkunde*. Stuttgart, 1885.
- HEIM, A. *Geologische Nachlese*. I. Die Entstehung der alpinen Rand-Seen. II. Ueber das absolute Alter der Eiszeit. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. XXXIX. Jahrgang. Zürich, 1894.
- HEIM, A. *Geologische Nachlese*. N° 3. Der Eisgang der Sihl in Zürich am 3. Februar 1893. Vierteljahrsschrift der naturforsch. Gesellschaft in Zürich. XXXIX. Jahrg. 1894.
- HESS, H. *Beobachtungen an den Gletschern der Stubaier Gruppe 1898*. Mitteilungen des D. u. Oe. A. V. Jahrgang 1899, N° 10. Wien, 1899.
- HESS, H. *Einiges über Glätscher*. Centralblatt für Mineralogie etc. 1902, N° 8.
- HESS, H. *Die Gletscher*. Braunschweig, Vieweg F. u. Sohn, 1904.
- HESS, H. *Probleme der Gletscherkunde*. Zeitschrift für Gletscherkunde. I. Band, 1906. Berlin.
- HESS, H. *Ueber die Bedingungen der winterlichen Wasserführung der Gletscherbäche*. Petermanns geographische Mitteilungen. 1906.
- HESS, H. *Ueber den Schuttinhalt der Innenmoränen einiger Oetztaler Gletscher*. Zeitschrift für Gletscherkunde. I. Band, 1906.
- HESS, H. *Gletscherkunde und Glazialrelief*. Geologische Rundschau. Band I. Heft 3. Leipzig, 1910.
- HESS, H. *Ueber die Plastizität des Eises*. Annalen der Physik. 4. Folge. Band 36. Leipzig, 1911.
- HESS, H. *Die präglaziale Alpenoberfläche*. Petermanns Mitteilungen. 59. Jahrg. 1913. Juni-Heft.
- HERZ, N. *Die Eiszeiten und ihre Ursachen*. Leipzig und Wien, 1909.
- HILFIKER, J. *Untersuchung der Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont*. Bern, 1902.
- HILFIKER, J. *Bericht der Abteilung für Landestopographie an die schweiz. geodät. Kommission über die Arbeiten am Präzisionsnivellement der Schweiz in den Jahren 1893-1903*. Zürich, 1905.
- HOFMEISTER. *Chronik der in der Schweiz beobachteten Naturerscheinungen*. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. 1. Jahrgang. Zürich, 1856.
- HÖLDER, C. H. v. *Meine Reise durch das Wallis und Pays de Vaud*. Stuttgart, 1805.
- HORWITZ, L. *Contribution à l'étude des cones de déjections dans la Vallée du Rhône*. Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles. 5° S., Vol. XLVII. Juin 1911, N° 173.
- HORWITZ, L. *Quelques rapprochements entre le climat, la glaciation et l'écoulement dans le bassin du Rhin alpin*. Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles. 5° S. Vol. 48. Juin 1912.

- HORWITZ, L. *Sur une particularité de l'écoulement du Rhin alpin*. Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles. Vol. XLIX. Mars 1913, p. 23-57. Lausanne, 1914.
- HORWITZ, L. *Encore sur l'écoulement du Rhin alpin*. « Sur l'extension du glacier du Rhône dans les Alpes fribourgeoises pendant l'époque glaciaire ». Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles. 5<sup>e</sup> S. Vol. 50. Juin 1914. Lausanne 1914.
- HUGI, Fr. J. *Naturhistorische Alpenreise, vorgelesen der Naturforschenden Gesellschaft in Solothurn*. Solothurn, bei Amiet-Lutiger. Leipzig, Friedrich Fleischer, 1830.
- HUXLEY, T. H. *Beobachtungen über die Struktur des Gletschereises*. Philosophical Magazine v. October 1857 im Auszuge mitgeteilt von R. Clausius. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. 4. Jahrgang. Zürich, 1859.
- IMESCH, D. *Beiträge zur Geschichte und Statistik der Pfarrgemeinde Naters*. Zeitschrift für schweizerische Statistik, Jahrgang 1908. Bern, 1908.
- IMHOF, O. E. *Studien über die Fauna hochalpiner Seen, insbesondere des Kantons Graubünden*. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens. Neue Folge. 30 Jahrg. 1885-1886. Chur, 1887.
- IMHOF, Ed. *Die Waldgrenze in der Schweiz*. Gerland's Beiträge zur Geophysik, Bd. IV, Heft 3. Leipzig, 1900.
- KLEB, M. *Der Schneebeobachtungsdienst in Oesterreich nebst einem Ueberblick über die Schneeverhältnisse des laufenden Winters bis Anfang Februar*. Aus : « Die Wasserwirtschaft ». 6. Jahrg. N° 5. 1913. Wien, München, 1913.
- VON KLEBELSBERG, R. *Die Wasserführung des Suldenbaches*. Zeitschrift für Gletscherkunde. Band 7. Heft 3. Berlin, 1913.
- LÜSCHER, G. *Die Entstehung des Grundeises*. Inaugural- Dissertation. Universität Zürich. 1906.
- LÜTSCHG, O. *Vergleichs-Versuche mit Flügel- und Schirmapparat zur Bestimmung von Wassermengen*. Mitteilungen der Abteilung für Landeshydrographie N° 2. Bern, 1913.
- MARTEL, E. A.; FOREL, F. A.; VALLOT, J. etc. *Les expériences à la fluorescéine et la circulation des eaux sous les glaciers*. Bulletin de la Société de Spéléologie (Octobre-Décembre 1898). Rennes.
- MAURER, J.; BILLWILLER, R. und HESS, C. *Das Klima der Schweiz*. Huber u. C., Frauenfeld, 1909.
- MAURER, J. *Einige Ergebnisse aus Schneemessungen in den Schweizer Hochalpen und ihre Beziehungen zu den Schwankungen der Firnlinie*. Meteorol. Zeitschrift, Heft 7, 1910, Braunschweig.
- MAURER, J. *Die jüngste grosse Rückzugsphase der Schweizer Gletscher im Lichte der Klimaschwankung*. Petermanns Mitteilungen. 60. Jahrg. 1914. Januar-Heft. Gotha.
- MAURER, J. *Die Entwicklung unseres meteorologischen Landesdienstes und seine Beziehungen zur schweizerischen Wasserwirtschaft*. (In : Die Wasserwirtschaft in der Schweiz, herausgegeben vom Komitee der Gruppe 34 : « Wasserwirtschaft » der Schweiz. Landesausstellung in Bern im Jahre 1914). Bern, 1914.
- MAURER J. und COLLET, L. W. *Die Niederschlagsmessung im Hochgebirge*. Schweizerische Wasserwirtschaft, N° 6/7, VII. Jahrgang, 1915.
- MELLET, R. *Application de la titration des chlorures au jaugeage de débits*. Extrait du Bulletin technique de la Suisse romande, N° 11, 1910.

- MEYER, R. und HIERONYMUS. *Reise auf den Jungfraugletscher und Ersteigung seines Gipfels im Jahre 1811*. Miscellen für die neueste Weltkunde, Bd. V. N° 68 u. 69. Aarau, 1811.
- MOUGIN, P. *Les poches intraglaciaires du Glacier de Tête-Rousse*. La Géographie. T. X, Paris, 1904.
- MOUSSON, A. *Die Gletscher der Jetztzeit*. Eine Zusammenstellung und Prüfung ihrer Erscheinungen und Gesetze. Zürich, 1854.
- MOUSSON, A. *Bemerkungen über den gegenwärtigen Standpunkt der Gletscherfrage*. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. 3. Jahrgang. Zürich, 1858.
- MÜLLNER, J. *Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun*. Geographische Abhandlungen. Band VI. Heft 1. Wien, 1896.
- MÜLLNER, J. *Die Vereisung der österreichischen Alpenseen in den Wintern 1894/1895 bis 1900/1901*. Geographische Abhandlungen. Band VII. Heft 2. Leipzig, 1903.
- MURET, E. et MERCANTON, P.-L. *Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses*. Jahrbücher S. A. C. Bern.
- MURET, E. *Les variations périodiques des glaciers, spécialement en ce qui concerne les glaciers du Valais*. Bulletin de la Murithienne, Société valaisanne des sciences naturelles. Fasc. 29 et 30. Années 1900 et 1901. Bex, 1901.
- NUSSBAUM, F. *Die Täler der Schweizeralpen. Eine geographische Studie*. Wissenschaftliche Mitteilungen des Schweizerischen alpinen Museums in Bern. N° 3. Bern, 1910.
- PASSARGE, S. *Physiologische Morphologie*. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg, Band XXVI, Heft 2, Hamburg, 1912.
- PENCK, A. *Morphometrie des Bodensees*. Jahresberichte der geographischen Gesellschaft in München. Bd. XV. S. 119-155. München, 1894.
- PENCK, A. Zur Bestimmung der Abflussmengen aus Flussgebieten. Zeitschrift für Gewässerkunde. 2. Band. Heft 2. 1899.
- PENCK, A. und BRÜCKNER, E. Die Alpen im Eiszeitalter. 2. Band. Die Eiszeiten in den nördlichen Westalpen. Leipzig, 1909.
- PENCK, A. und BRÜCKNER, E. Die Alpen im Eiszeitalter. 3. Band: Die Eiszeiten in den Südalpen und im Bereich der Ostabdachung der Alpen. Leipzig, 1909.
- RABOT, C. Glacial reservoirs and their outbursts. Geographical Journal, Mai, 1905.
- RABOT, C. Les débâcles glaciaires. Bulletin de géographie historique et descriptive. Année 1905. N° 3. Paris.
- RAUCHENSTEIN, F. Die Bewässerungskanäle im Kanton Wallis. Zeitschrift für schweizer. Statistik Jahrg. 1907.
- Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees. 1. Band. Die physische Geographie des Balatonsees und seiner Umgebung, von Dr. E. v. Cholnoky. Herausgegeben von der Balatonsee-Commission der Ung. Geographischen Gesellschaft. Wien, 1906.
- DU RICHE PRELLER, M.-A. The Merjelen Lake (Aletsch Glacier). The Geological Magazine. New series. Decade IV. Vol. III. N° III. March, 1896.
- RICHTER, E. Urkunden über die Ausbrüche des Vernagt- und Gurglergletschers im 17. und 18. Jahrhundert. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. 6. Band. Heft 4. Stuttgart, 1892.



- RICHTER, E. Seestudien. Erläuterungen zur zweiten Lieferung des Atlas der österreichischen Alpenseen. Geographische Abhandlungen. Band VI. Heft 2. Wien, 1897.
- RICHTER, E. Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. Ergänzungsheft N° 132 zu Petermanns Mitteilungen. Gotha, 1900.
- RODER, E. Niederschlag und Abfluss im bündnerischen Rheingebiet während der Jahre 1894-1909. Mitteilungen der Abteilung für Landeshydrographie, N° 5. Bern, 1914.
- ROMER, E. Ueber eine einfache Methode der Höhenbestimmung der Gletscherenden. Zeitschrift für Gletscherkunde, Band IV, 1910.
- ROMER, E. Mouvements épeirogéniques dans le haut bassin du Rhône et évolution du paysage glaciaire. Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles. 5<sup>me</sup> S. Vol. 47. Mars 1911.
- RÜBEL, E. Pflanzengeographische Monographie des Berningebietes. Botanische Jahrbücher, Bd. XLVII. Heft 1/4. Leipzig, 1912.
- RUPPEN, P.-J. Die Chronik des Tales Saas. Sitten, 1851.
- VON SALLS, F. Die Gletscher in Graubünden. Jahrbuch des Schweizer Alpenclub. 18. Jahrg. 1882-1883. Bern, 1883.
- Sammlung der Gesetze, Dekrete und Beschlüsse des Kantons Wallis. Staatsarchiv Sitten.
- Schweizerische Landeshydrographie. Wasserverhältnisse der Schweiz. Rhonegebiet von den Quellen bis zum Genfer-See. Erster Teil. Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete, der Höhenstufengebiete von 300 zu 300 m über Meer, der Felshänge, Wälder, Gletscher und Seen. Zweiter Teil. Die Pegelstationen hinsichtlich ihrer Anlage und Versicherung, sowie Darstellung der dazugehörenden Durchflussprofile und relativen Wasserspiegelgefälle. Bern, 1898.
- SIEGER, R. Karstformen d. Gletscher. Geograph. Zeitschrift, herg. von A. Hettner. I. Jahrgang. Leipzig, 1895.
- SMREKER, O., Dipl.-Ing. Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung. Inaugural-Dissertation. Eidg. techn. Hochschule. Zürich. Leipzig u. Berlin, 1914.
- VON SONKLAR, K. Von den Ueberschwemmungen. Enthaltend: Die Ueberschwemmungen im Allgemeinen, Chronik der Ueberschwemmungen und Mittel der Abwehr. Wien, 1883.
- STAHEL, M. Der Märjelensee im Wallis. « Alpina ». Mitteilungen des Schweizer Alpenclub. 16. Jahrg. N° 13. Zürich, 1908.
- STRUVE, H. Einfluss von Niederungen und Eindeichungen auf den Verlauf von Hochwasserquellen, erläutert an Beispielen der unteren Oder. Sammlung wasserwirtschaftlicher Schriften. Band 3. Halle a. S. 1911.
- STUDER, G. Topographische Mitteilungen aus dem Alpengebirge. Eingeführt von Professor Bernhard Studer. I. Die Eiswüsten nur selten betretener Hochalpen und Bergspitzen des Kantons Bern und angrenzender Gegenden. Bern u. St. Gallen 1843. Verlag von Huber und C°. (Körber).
- TARNUZZER, C. Temperaturmessungen unter der Eisdecke des Canova-Sees im Domleschg. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens. Chur, 1907.
- TOLKMITT, G. Grundlagen der Wasserbaukunst. Zweite Auflage. Bearbeitet und herausgegeben von J. F. Bubendey, Hamburg. 323 S. Berlin, 1907.

- TSCHERNEN, M. Walliser-Sagen. 1. Teil. Sitten, 1872.
- TYNDALL, J. In den Alpen. Braunschweig, 1872.
- TYNDALL, J. Die Gletscher der Alpen (1860). Braunschweig. Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1898.
- UTRECHT, E. Die Ablation der Rhone in ihrem Walliser Einzugsgebiete im Jahre 1904/1905. Inaugural-Dissertation. Universität Bern. Bern, 1906.
- VENETZ, M. Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse. Rédigé en 1821. Denkschriften der allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften. Bd. 1, zweite Abteilung. Zürich, Orell-Füssli, 1833.
- WANG, F. Grundriss der Wildbachverbauung, 1. Teil. Leipzig, 1901.
- WANG, F. Grundriss der Wildbachverbauung. 2. Teil. Leipzig, 1903.
- Ueber das Walliserland.* Fäsis Bibliothek der schweizerischen Staatskunde, Erdbeschreibung und Literatur. Band 1. II. Stück, S. 112-131. Zürich, 1796.
- WEHRLI, L. Der ausgelaufene Märjelensee am Grossen Aletschgletscher. Jahresbericht der Sektion Uto des Schweiz. Alpenklubs. 1913. Zürich, 1914.
- WOLF, F.-O. Wallis und Chamonix. I. Band. Von der Furka bis Brig. S. 8-60. Zürich, 1888.
- WORKMAN, W.-H. Nieve Penitente and Allied Formations in Himalaya, or Surface-Forms of Névé and Ice created or modelled by Melting. Zeitschrift für Gletscherkunde. Bd. VIII. Heft 5. Sept. 1914. Berlin, 1914.
- ZSCHOKKE, F. Die Tierwelt der Hochgebirgsseen. Neue Denkschriften der Allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften. Band 37. Zürich, 1900.
- ZUPPINGER, W. Neue Messmethoden zur Bestimmung von Wassermengen, auf Grund von Versuchen der Schweiz. Landeshydrographie. Schweizerische Bauzeitung. Bd. LXII, 1913, N° 4 und 5.



BAND I.

# Der Märjelensee und seine Abflussverhältnisse.

Eine hydrologische Studie unter Mitberücksichtigung hydrographischer  
Erscheinungen in anderen Flussgebieten

VON

**Ingr. O. LÜTSCHG**

I. Technischer Adjunkt der Abteilung für Wasserwirtschaft.

*Mit 52 Tafeln und 27 Figuren im Text.*

---

## EINLEITUNG.

Einer Anregung der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft Folge leistend, unternahm die Landeshydrographie im Jahre 1908 die Erforschung der Niveauschwankungen des Märjelensees. Der Verfasser der vorliegenden Studie errichtete die hiezu notwendige Pegelanlage und entschloss sich damals schon — obwohl eine solche Untersuchung seinem engeren Arbeitsprogramm nicht angehörte — dem Märjelensee und Aletschgletscher ganz besonderes Interesse entgegenzubringen. In Herrn Dr. Léon W. Collet, Direktor der Landeshydrographie, fand der Verfasser einen eifrigen Förderer, dem es wohl zu verdanken ist, wenn die Arbeit auf solch breiter Basis durchgeführt werden konnte.

Die Beobachtung und das Studium der gewaltigen Niveauschwankungen des Märjelensees zog ganz selbstverständlich die Frage nach ihrer Ursache nach sich; die Verfolgung dieser Frage führte zur Messung der Zu- und Abflussmengen. Diese Messungen drängten zur Untersuchung der gesamten hydrologischen und geologischen Verhältnisse des in Betracht fallenden Gebietes, und als endlich nach einer Reihe von Jahren die Sichtung, sowie die theoretische und praktische Verwertung der Beobachtungen, Versuche, Messungen etc. ins Auge gefasst wurden, lag die Versuchung nahe, manch andere Erscheinung in der Alpen- und Gletscher-

welt mitzuerwähnen und bekanntzugeben. Auf diese Weise gab der Märjelensee Anstoss zu einer viel umfassenderen Studie, als sie ursprünglich gedacht war. Der Verfasser hofft aber, dass ihr dies nicht zum Nachteil gereichen werde. Mit Rücksicht auf die betreffende Landesgegend ist Geschichtliches eingeflochten worden, dies trägt aber auch vieles zum bessern Verständnis einiger Verkommnisse bei. Dem praktischen Hydrotechniker will er ganz besonders Mittel an die Hand geben zur Verwertung hochalpiner Seen als Sammel- und Ausgleichsbecken. Unsere Naturkräfte sollen dadurch besser nutzbar, besonders aber auch schadlos gemacht werden.

Es drängt den Verfasser noch, allen Personen, die ihm bei seinen Untersuchungen und bei der Abfassung der vorliegenden Studie ihren Beistand geliehen haben, den wärmsten Dank auszusprechen, so insbesondere seinem Chef, Herrn Direktor Dr. L. W. Collet für die wertvollen Anregungen und die unermüdliche werktätige Mithilfe, den Herren Dr. J. Maurer, Direktor der schweizer. meteorologischen Zentralanstalt und Dr. H. Schardt, Professor an der eidg. technischen Hochschule in Zürich für ihre mündlichen und schriftlichen Auskünfte und Ratschläge, den Herren Dr. H. Seiler, Staatsrat in Sitten, Hw. Dionys Imesch, Pfarrer in Naters, Hw. Dr. L. Meyer, Kantonsbibliothekar in Sitten, Dr. Th. Steck, Bibliothekar der Stadtbibliothek zu Bern, Frau Ph. Gosset in Wabern bei Bern für die Ausleihe von sachbezoglicher Literatur und Urkunden, sowie für ihre Mithilfe bei den Nachforschungen in ihren Archiven und Büchereien, Herrn E. Cathrein, Besitzer des Hotel Jungfrau am Eggishorn und dessen Familie für die grosse Gastfreundschaft während seiner Aufnahmen in dortiger Gegend, der Direktion der Jungfraubahn für die ihm gewährten Transporterleichterungen und endlich dem Personal der Abteilung für Landeshydrographie für seine mannigfaltige Mitarbeit.

Möge das Ganze der Allgemeinheit zum Nutzen gereichen! —

O. LÜTSCHG, Ingr.

*Bern, im Dezember 1914.*

# I. TEIL.

## Der Märjelensee.

### I. KAPITEL.

#### Die Gletscherseen im Allgemeinen.

Die Gletscherseen treten in zwei typischen Formen auf; sie sind entweder eigentliche *Eis-Seen* oder *Rand-Seen*<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Charles RABOT, Präsident der französischen Gletscherkommission, unterscheidet in seiner umfassenden, ausgezeichneten Arbeit über « *Les débâcles glaciaires*, Bulletin de Géographie historique et descriptive, 1905, No 3, Paris », drei Kategorien von Sammelbecken (Réservoirs) :

1. Das auf gewachsenem Boden entstandene Sammelbecken ist die Folge einer *zeitweiligen* Störung normaler Abflussverhältnisse, verursacht durch einen im Wachstum oder im Schwinden begriffenen Gletscher.

2. Das auf gewachsenem Boden entstandene Sammelbecken ist die Folge einer *ständigen* Störung normaler Abflussverhältnisse auf die Dauer der in Frage stehenden Periode, verursacht durch einen Gletscher.

3. Das Sammelbecken ist auf, unter oder im Gletscherkörper selbst gelegen und seine Entstehung, wie seine Speisung, rührt von den physikalischen Eigenschaften des Eises her (Eigentliche Gletscherseen).

In die Kategorie 1 reiht Rabot folgende Fälle ein :

a) Ein in der Zunahme begriffener Gletscher versperrt ein offenes Tal in senkrechter oder schräger Richtung zum Talweg und hält zeitweilig den Abfluss einer Strömung auf, wodurch das Wasser oberhalb des auf diese Weise geschaffenen Stauwehres einen See bilden muss.

b) Die natürliche Talsperre ist verursacht durch Abstürze von einem nahen, in der Zunahme begriffenen Gletscher. Diese Abstürze verursachen eine Stauung, die die ganze Breite des Tales einnimmt.

c) Die natürliche Talsperre ist die Folge eines Gletscherrückganges. Von zwei sich an ihrem untern Ende zu einem gemeinsamen Strome vereinigenden Gletschern hat sich der eine langsamer als der andere zurückgezogen; er versperrt dem Abflusse des andern Gletschers den Durchgang.

d) Zwei im Wachsen begriffene Gletscher vereinigen sich in ihrem untern Teil am Fusse eines Felsriegels und in diesem Raum zwischen Eis und Felsriegel sammelt sich das Schmelz- und Bachwasser zu einem See.

Bei der Kategorie 2 ist ins Auge zu fassen :

a) Die Abdämmung eines offenen Tales in senkrechter Richtung zum Talweg eines Gletschers.

b) Die Abdämmung eines Seitentales und Bildung eines Randsees.

### Die Eis-Seen.

Die Eis-Seen sind meist völlig auf oder im Eis gebettet. Ihre Ausdehnung (Oberfläche und Tiefe) wird durch die Gestaltung der Gletscheroberfläche und der Spalten und Gänge im Gletscher bestimmt.

Je nach der örtlichen Lage unterscheidet man Eis-Seen auf dem Gletscher (superglaziale Seen), im Gletscher (interglaziale Seen) und unter dem Gletscher (subglaziale Seen). Während die superglazialen Seen in mehr oder weniger grosser Zahl bei jedem Gletscher beobachtet werden können, verhält es sich mit den eigentlichen inter- und subglazialen Seen ganz anders. Dass solche Seen im Innern des Gletschers vorhanden sind, ist gewiss, doch sind sie, soweit dem Verfasser bekannt, noch selten direkt nachgewiesen worden. Die Beweisführung der Existenz solcher Seen, die ihre Entstehung in erster Linie der tektonischen Beschaffenheit der Gletscher verdankt, ist eine mehr indirekte.

Plötzliche Anschwellungen bei Gletscherbächen, die mit klimatischen und meteorologischen Vorgängen in keinem direkten Zusammenhange stehen, liefern uns hiefür genügendes Beweismaterial. Dem Hydrotechniker, der sich viel mit der Messung von Gletscherbächen abgibt, sind solche Erscheinungen nichts ungewöhnliches. Sie können einmal oder mehrmals im Jahre, oft nur in ungleichen längeren Intervallen auftreten.

Durch die Bewegung des Gletschers, durch die erodierende Tätigkeit des Schmelzwassers oder seine auflösende Wirkung, vermag sich eine solche « Wasserkammer », wie Heim sie nennt, je nach der Lage und Grösse der Abflussöffnung, mehr oder weniger rasch zu entleeren und dadurch eine stärkere oder schwächere Anschwellung des dem Gletscher entströmenden Baches herbeizuführen.

Natürlich ist es oft schwer, den einwandfreien Nachweis zu erbringen, dass wirklich der Ausbruch eines inter- oder subglazialen Sees die Ursache der Anschwellung bildet, doch bleibt dann keine andere Wahrscheinlichkeit mehr übrig, als diese Annahme.

---

Die Kategorie 3 der eigentlichen Gletscherseen umfasst folgende Arten :

1. Das Schmelzwasser vereinigt sich in einer Mulde der Gletscheroberfläche; es bildet in Verbindung mit Moränenmaterial und meteorologischen Faktoren einen superglazialen See.
2. Unter dem Gletscher oder zum Teil im Gletscher bildet sich eine Wasseransammlung, mit oder ohne Kontakt mit der Gletschersohle.
3. Innerhalb des Gletschers selbst bestehen Wasserstuben oder es finden wenigstens Wasserzirkulationen statt. Ist die Existenz solcher interglazialer Kammern in den Alpen auch nicht unbedingt erwiesen, so finden sich solche doch unzweifelhaft in den arktischen Regionen und in den Gletschern des Himalaya-Gebirges.

Rabot gliedert seinen interessanten Studien über diesen Gegenstand eine reichhaltige Sammlung von Aufzeichnungen über Gletscherkatastrophen an, die sich in den Alpen, Norwegen, Island, Spitzbergen, Novaia-Zemlia, Grönland, Alaska, Himalaya und Neu-Seeland ereignet haben. Eine Anzahl dieser Beispiele, die das Alpengebiet betreffen, sind vorliegender Arbeit einverleibt worden; im übrigen empfiehlt der Verfasser Interessenten die umfassende Arbeit Rabots zum eingehenden Studium.

*Die superglazialen Seen.* — Die Oberflächengestaltung der Gletscher ist eine ungemein reichhaltige und wechselvolle. Einerseits sind es tektonische Veränderungen, anderseits abtragende Kräfte, hauptsächlich Wasser, Luft und Sonnenstrahlung, denen jeder Gletscher unterworfen ist und die hauptsächlich die Mannigfaltigkeit der Oberfläche hervorrufen. Die Bildung superglazialer Seen wird natürlicherweise in erster Linie an solchen Stellen ermöglicht, wo sich die Bewegung und die Spaltenbildung weniger spürbar machen oder wo sich der Untergrund des Gletschers hierfür besonders eignet. Diese Bedingungen können von den Gletschern in unsern Alpen infolge der verhältnismässig geringen Dimensionen und der Veränderlichkeit — gegenüber den arktischen Gletschern — nur teilweise erfüllt werden, deshalb ist auch die Existenz solcher Eis-Seen im allgemeinen von beschränkter Dauer.

Die Oberfläche des Gletschers weist verschiedene Arten von Hohlformen auf, die die Bildung eines See ermöglichen. Hiebei denken wir nur nebenher an die sogenannten Wasserlöcher oder Baignoires, die Mittagslöcher, Vertiefungen in runder Form, die mehrheitlich senkrechte Wände aufweisen und ihre Entstehung anfänglich dem Einschmelzen von Moränenmaterial, später den Zirkulationsströmen im Wasser zu verdanken haben. Die Entleerung solcher Wasserlöcher erfolgt durch die Haarspalten. Doch kann sie durch Moränenmaterial zeitweise oder ganz verhindert werden.

Neben diesen Wasserlöchern, die sich meist alle Jahre wieder neu bilden, gibt es aber noch grössere Vertiefungen, Wannen von kleinem rundlichem Umfang, die man seit der bedeutenden Arbeit von Dr. Sieger in Wien mit dem allgemeinen Namen Gletscher-Dolinen<sup>1</sup> bezeichnen kann (Sieger bedient sich in seiner Arbeit für die Erscheinungen der typischen Karstformen der Gletscher im allgemeinen der von Cvijic<sup>2</sup> angewendeten Namen).

Den vorhin besprochenen Wasserlöchern stehen die brunnenförmigen Dolinen, die sich auch mehrere Jahre zu erhalten vermögen, am nächsten<sup>3</sup>. Es sind entweder echte Dolinen ohne Verbindung mit einer Spalte oder ehemalige Gletschermühlen, die durch die Bewegung der Gletscher nach unten geschlossen worden sind. Am Grossen Aletschgletscher konnte der Verfasser beide Arten oft beobachten. Eine weitere Art von Hohlform sind die von Agassiz zuerst am Gorner- und Unteraargletscher beobachteten trichterförmigen Einsenkungen. Solche Formen sind in den Alpen nicht nur an diesen beiden Gletschern, sondern auch am Fieschergletscher<sup>4</sup>,

---

<sup>1</sup> SIEGER, R. *Karstformen der Gletscher*. Geographische Zeitschrift, herausgegeben von A. Hettner. I. Jahrgang, 1895, Leipzig.

<sup>2</sup> CVIJIC, J. *Das Karstphänomen*. Geographische Abhandlungen, herausgegeben von A. Penk. Band V, Heft 3, Wien, 1898.

<sup>3</sup> Die Schlote sind steilrandige, tiefe Dolinen, welche entweder in eine blind endende, kurze Höhle führen oder mit inter- oder subglazialen Abflusskanälen in Verbindung stehen.

<sup>4</sup> Mündliche Mitteilung des Ciprian Bircher an den Verfasser, 1914.

am Glacier du Géant<sup>1</sup>, am Mer de Glace<sup>2</sup>, am Kuhalpgletscher in Sertig bei Davos<sup>3</sup>, am Hintereisferner<sup>4</sup>, am Guslarferner<sup>5</sup>, am Schwarzensteinkees<sup>6</sup> und so weiter nachgewiesen worden. Die Einsenkungen haben runde oder elliptische Querschnitte. Ihre Grösse ist eine sehr verschiedene, im Gegensatz zu der Neigung der Wandungen, die nur zwischen 40 und 45° variiert.

Die Entstehungsweise der Trichter wird auf verschiedene Arten erklärt. Sieger unterscheidet drei Theorien, die jede, nach der Bildungsweise der Trichter an dem betreffenden Ort, ihre Berechtigung hat, nämlich :

1. Die Erosionstheorie.
2. Die Einsturztheorie.
3. Die Gletschermühlentheorie.

Die *Erosionstheorie* (Agassiz, Desor, Russel). Die Bildung der Trichter wird auf die nämliche Weise erklärt, wie diejenige der Wasserlöcher.

Die *Einsturztheorie* (Höfer, Heim, Toula, Hess). Die Einsenkung an der Oberfläche wird auf Unterschmelzungen durch Quell- oder Meerwasser zurückgeführt.

Die *Gletschermühlentheorie* (Heim, Delebecque, Lendenfeld). Heim und Delebecque sehen einzelne Trichter für Gletschermühlen an, die durch die Bewegung des Gletschers verquetscht, mit andern Worten, umgestaltet wurden. Lindenfeld dagegen betrachtet die Trichter als ehemalige Mühlen, deren Zuflussgebiet *verkleinert* worden ist. Seine Anschauung stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Bewegung des Gletschers eine sehr langsame ist. Die Trichterform wird durch die erodierende Wirksamkeit der zufließenden Wasser nach und nach geschaffen. Namentlich sind es die schmalen, zwischen den Zuflüssen sich bildenden Eisrippen, die hauptsächlich an ihren oberen Teilen durch atmosphärische Einflüsse erweitert werden und deren Gesamtwirkung die Bildung der Trichterform ermöglicht.

Jede Theorie ist für gewisse Fälle anwendbar, eine allgemein gültige wird sich wohl kaum aufstellen lassen. Mit folgendem Beispiel hofft der Verfasser die Existenz und Entstehungsweise solcher Eis-Seen etwas klarer vor Augen zu führen.

Heim<sup>7</sup> berichtet uns über trichterförmige Einsenkungen an der Oberfläche des Gornergletschers, die oft Wasser enthalten, oft aber auch leer sind. Manche derselben wiesen 50 bis 130 m Durchmesser bei 20 bis 30 m Tiefe auf. Ingenieur Imfeld hat in seine topographische Aufnahme vom Jahre 1878: 26 solcher Trichter eingezeichnet. M. A. Delebecque hat mit seinem Freunde Etienne Ritter am

<sup>1</sup> FORBES, J. D. IN SIEGER, R. *Die Karstformen der Gletscher.*

<sup>2</sup> DELEBECQUE, A.                     "                     "

<sup>3</sup> HEIM, A.                         "                     "

<sup>4</sup> BLÜMCKE, A. und HESS, H. IN SIEGER, R. *Die Karstformen der Gletscher.*

<sup>5</sup> HESS, H.                         "                     "

<sup>6</sup> REHM.                             "                     "

<sup>7</sup> HEIM, A. *Handbuch der Gletscherkunde.* Stuttgart, 1885, S. 246.



26. August 1892 diese kleinen Gornerseen aufgesucht, fand aber nur noch einen einzigen vor, die anderen waren verschwunden. Delebecque gibt nun folgende interessante Einzelheiten über seine Beobachtungen<sup>1</sup>:

« Dieser kleine See befand sich auf dem Grund eines Trichters mit steil abfallenden und etwa 15 m hohen Wänden. Er war vollständig zugefroren und wir vermochten unsern Kahn nur nordwärts zu bewegen, indem wir das Eis durch Hammerschläge zertrümmerten.

Wir fanden, dass die Tiefe 5-6 m betrug, mit Ausnahme einer Öffnung, in der mein Senklot bis auf 21 m herabgelassen werden konnte. Die Speisung des kleinen Sees erfolgte durch 2 oder 3 Gletscherbäche; doch war ein Abfluss nirgends sichtbar. Es musste hieraus geschlossen werden, dass die bemerkte Öffnung nichts anderes als eine Mühle ist, deren tiefste Stelle zu ermitteln mir infolge ihrer Krümmungen nicht möglich war. Nach diesem ist es leicht begreiflich, warum diese sog. Trichter sich leeren: nach und nach wird die Mühle durch das Wasser erweitert, der Zufluss bleibt immer derselbe, der Abfluss vollzieht sich leichter, der Wasserspiegel sinkt, bis der See zuletzt verschwindet.

Ich erwartete, das Wasser dieses Sees auffallend blau und durchsichtig zu finden; zu meiner nicht geringen Ueberraschung erschien es mir aber als grünlich und wenig klar. Die Farbe war zwischen Nr. 4 und 5 der Forel'schen Skala und die mit der Secchi'schen Dichtigkeitsscheibe gemessene Durchsichtigkeit betrug nur 5.50 m. Daraus ist zu schliessen, dass selbst auf einem so reinen Gletscher wie der Gornergletscher, die Bäche verhältnismässig viel Geschiebe mit sich führen.

Welches ist der Ursprung dieser Trichter?

Dieser Ursprung ist noch recht wenig ermittelt, doch ist nach der, mit dem Verlauf des Gletschers korrespondierenden Lage dieser « Trichter » ohne Weiteres anzunehmen, dass es sich um ehemalige, durch die Gletscherbewegung umgewandelte Mühlen handelt. Die schwache Neigung des Abhanges zwischen dem Fusse des Monte Rosa und dem Riffelhorn schützt sie vor allzustarker Missgestaltung. Vom Fusse des Riffelhornes weg, wo der Abhang steiler abfällt, verschwinden sie vollständig. »

*Die interglazialen und subglazialen Seen.* — Die Entstehungsursache, Bildung und Formation dieser Seen ist, wie wir bereits erwähnten, schwer festzustellen, indem uns im allgemeinen erst der Zerstörungsprozess Anhaltspunkte gibt, diesen Erscheinungen nachzuspüren. Darüber allgemeine Theorien aufzustellen, bietet sozusagen keinen Wert, da uns doch die Gelegenheit fehlt, sie an den einzelnen Fällen nachzuprüfen. Wir beschränken uns deshalb darauf, eine Reihe von Vorkommnissen und Erscheinungen zu geben, die sich logischerweise auf solche interglaziale und subglaziale Seen zurückführen lassen. Dabei ist die Ausscheidung beider Arten von Seen nicht möglich, spielen doch oft noch superglaziale Seen dabei mit, von deren Vorhandensein ebenfalls nichts bekannt war.

Die gewaltige Gletscherkatastrophe von St. Gervais in der Nacht vom 11./12. Juli 1892, die den untern Teil des Tales von St. Gervais zerstörte, wurde nach dem gemeinsamen Berichte von A. Delebecque, Duparc und J. Vallot<sup>2</sup>, durch den Ausbruch eines Sees am Grunde des Gletschers verursacht.

<sup>1</sup> Archives des Sciences physiques et naturelles. 3<sup>me</sup> Pér., tome XXVIII, n<sup>o</sup> 11, 15 nov. 1892. Genève, 1901.

<sup>2</sup> DELEBECQUE, DUPARC und VALLOT. *Sur la catastrophe de St. Gervais.* Archives de Genève, sept. 1892.

Wir behandeln diesen Fall etwas eingehender, weil er unseres Wissens der einzige ist, der gründlich verfolgt und beschrieben wurde.

Die Oberfläche des Gletschers betrug nach P. Mougin <sup>1</sup> 0.103 Quadratkilometer. Seine Höhe variierte zwischen 3133 m (Westfront) und 3314 m (Fuss des nördlichsten von der « Aiguille du Goûter » abfallenden Couloirs). Er hatte ungefähr die Form einer Ellipse, deren grosse Axe 570 m und die kleine 480 m betrug. Im Jahre 1892 bildete sich in der Westfront des Gletschers, inmitten einer vertikalen Wand eine etwa 20 m hohe und 38 m breite Vertiefung, durch die sich die Wassermasse ergoss, welche früher in einem cylindrischen ellipsenförmigen, sich schliesslich in der Mitte des Gletschers weit öffnenden Schacht eingeschlossen war. Dieser Schacht (Oberfläche 3970 m<sup>2</sup>, Tiefe 35 m) war am untern Teil der Vertiefung mit einer ziemlich unregelmässigen, 85 m langen Galerie verbunden, deren mittlere Neigung 0.356 m pro Meter betrug. Nach Mougin betrug die vom Gletscher eingeschlossene Wassermenge, die die Katastrophe herbeigeführt hatte, 200000 m<sup>3</sup>.

Nach Vallot und Delebecque sind die Höhlungen durch Grundspalten entstanden, die sich im Eise des Gletschers da bilden konnten, wo es über eine kleine Schwelle im Gestein bewegt wurde. Das Schmelzwasser fand an dieser Stelle ein Abflusshindernis, die Grundspalten wurden infolge der schmelzenden Tätigkeit des Wassers immer grösser, die Zwischenwände wurden zerstört und es konnte sich ein kleiner, sich mehr und mehr erweiternder See unter dem Eise bilden, dessen Druck schliesslich stark genug war, um auch das letzte Hindernis zu durchbrechen.

Hess hält diese Erklärung für wenig wahrscheinlich, weil die Fortführung von Grundspalten bis an die Gletscheroberfläche kaum angenommen werden dürfe. Seiner Ansicht nach handelte es sich eher um eine Gletschermühle, deren Oeffnung durch die Abschmelzung stark erweitert wurde. Sobald der Abfluss unter dem Eise durch irgend eine Ursache gehemmt war, konnten sich die Schmelzwassermengen sammeln, die Kammer erweitern und einen kleinen See bilden, dessen Druck schliesslich genügte, um sich einen neuen Weg zu verschaffen. Wir haben also hier beim « Tête Rousse » einen ähnlichen, wenn auch nicht ganz gleichen Fall, wie am Gornergletscher. Die eine der Aushöhlungen, angefüllt mit mehreren 10000 m<sup>3</sup> Wasser, war vor dem am 12. Juli 1892 erfolgten Einsturz mit einer Wölbung vom kaum 10 m Dicke überdeckt; auf der Gletscheroberfläche war nichts zu bemerken, was das Vorhandensein einer so beträchtlichen Wassermenge hätte vermuten lassen.

Die Ansichten über die Bildung dieser interglazialen Höhlen sind, wie bereits bemerkt, grundverschiedene. Einigkeit herrschte nur darin, dass die Möglichkeit einer neuen Katastrophe nicht in Abrede gestellt werden könne und dass es notwendig sei, Massnahmen zu treffen, um einer Wiederholung nach Möglichkeit vorzubeugen. Die Folge hievon war, dass die « Direction générale des Eaux et

---

<sup>1</sup> MOUGIN, P. *Les poches intraglaciales du Glacier de Tête-Rousse*. La Géographie. Bulletin de la Société de Géographie. T. X, Paris, 1904.

Forêts du Ministère de l'Agriculture de la France » den ausgezeichneten Gletscherforscher P. Mougin mit der Führung einer eingehenden Untersuchung dieses gefährlichen Gletschers betraute. Die Resultate dieser Untersuchung sind so interessant und für die Erklärung über die Bildung von interglazialen Höhlen von solcher Bedeutung, dass wir sie gerne, allerdings in etwas abgekürzter Form, wiedergeben.

1893 bildet die untere Kammer des Reservoirs, welche im vorangegangenen Jahre den Ausbruch verursacht hatte, ein einfaches, 1 m tiefes Loch, in das man eindringen kann und aus dem noch etwas Wasser herausquillt. Der Schnee hat sich an der Verbindungswand angehäuft. Eine leichte Schneedecke bedeckt den Grund der oberen Kammer.

1894 ist die Oeffnung der unteren Kammer verstopft und in der Kammer findet sich am 1. August ein See von 3,75 m, am 18. September ein solcher von 8 m mittlerer Tiefe vor. An letzterem Tage ist das Wasser mit einer 30 cm dicken Eisschicht bedeckt.

1895 bemerkt man, dass der Schnee die frontale Einsenkung mehr und mehr überzieht und den Schacht etwa zu  $\frac{3}{4}$  ausfüllt. Im letzteren sind durch die Schneedecke einige Spalten zu erkennen, der See aber ist nicht mehr sichtbar.

Am 19. August 1896 ist die Stelle des Schachtes durch ein Schneebecken erkennbar, während die Verbindungswand immer mehr verschwindet.

1898 hat die « Tête Rousse » ihr gewohntes, normales Aussehen. Die Lage der oberen Einsenkung ist noch an der Farbe des sie ausfüllenden Schnees erkennbar.

1899 ist eine erste, sehr kleine Spalte sichtbar, die jedoch im folgenden Jahre verschwindet. Im August 1901 öffnet sich eine zweite, bedeutend grössere Spalte in einer Entfernung von nur 60 m von der Gletscherzunge, 3 m unter der Oberfläche des Gletschers bildet diese Spalte einen etwa 4 m breiten Eisboden, währenddem die Ränder nur 1 m voneinander entfernt sind. Lotungen ergeben das Vorhandensein einer 38 bis 41 m tiefen Wasserkammer. Die Spaltenlänge beträgt mehr als 50 m. Von 1901 bis 1905 verbreitert sich die Spalte, doch wird sie später durch Schneefall unsichtbar.

Diese verschiedenen Feststellungen lassen Befürchtungen aufkommen, es könnte eine ähnliche Katastrophe wie im Jahre 1892 eintreten. Die Direktion der « Eaux et Forêts » entschliesst sich deshalb, der Sache vollständig auf den Grund zu kommen. Sie lässt in dem, den « Tête-Rousse » - Gletscher vom Bionnassay-Gletscher trennenden Felsgrat eine Galerie erstellen, welche bis in die alte Gletscherkammer eindringt und dort in sieben fächerartige Abzweigungen verläuft, die in verschiedenen Höhenstufen liegen.

25 Vertikal-Lotungen von 20 m maximaler Tiefe, welche 28 m unter der Oberfläche vorgenommen wurden, lieferten den Beweis, dass der ehemalige, 1894 bemerkte See nicht mehr existierte. Diese im Jahre 1900 vollendeten Galerien übernahmen seither in der Schmelzperiode die Funktion eines Entwässerungskanals. Sollte eine neue Katastrophe das Tal von St. Gervais heimsuchen, so kann dies wohl kaum mehr von der Bildung eines Sees an der alten Stelle herrühren. Die Entdeckung der Einsenkung im Jahre 1901 veranlasst neue Erhebungen. 50 m tiefer als die früheren wird eine neue Galerie durch den südlichen Grat erstellt, um direkt auf die Sohle der Kammer zu gelangen.

1902 und 1904 durchgeführte Lotungen lassen stets das Vorhandensein von Wasser erkennen. Am 19. Juli 1904 gehen die Arbeiten vom Felsen in das Eis über und am 28. Juli 3 h 15 a stürzt sich das Wasser in den ihm zugewiesenen unterirdischen Weg. Am Ausgang des Tunnels bildet es einen Wasserfall und verliert sich alsdann, ohne den geringsten Schaden zu verursachen, in den Spalten des Bionnassay-Gletschers.

Das an der Gletscheroberfläche sich bildende Schmelzwasser steht in der Temperatur noch einige Zehntelsgrade über 0, weil es sich durch seine Berührung mit Moränenmaterial, das infolge seiner dunkeln Farbe durch die Sonnenstrahlung Wärme aufzunehmen vermag, erwärmt. Ein Teil dieses Schmelzwassers stürzt sich in die Gletscherspalte. Mittelst eines Spezialthermometers kann beobachtet werden, dass die Temperatur des Wassers in der

Spalte von 10 bis 30 m Tiefe zunimmt und über 0° beträgt, um alsdann wieder abzunehmen, doch ohne 0° zu erreichen. Ferner ist das Wasser in der Spalte nirgends mit Luft gesättigt. Der Gehalt an entwichenem Gas nimmt im Verhältnis zur Tiefe ab. Diese Beobachtungen veranschaulichen die Bildung von interglazialen Wasserkammern im « Tête-Rousse »-Gletscher. Solche Spalten bilden sich inmitten des Eises an solchen Stellen, wo der Gletscher steil abfällt, dem darunterliegenden Fels hang folgend. Entsprechend der äusserst verminderten Geschwindigkeit des Gletschers kann sich aber das, den untern Rand der Spalte bildende Eis, vermöge seiner Plastizität, höchstens etwas umformen. Die auf diese Weise gebildete Spalte füllt sich mit Schmelzwasser, welches hernach vermöge seines Wärmegehaltes die Wände angreift, gleichzeitig wird der, der Gletscherzunge zunächst liegende Rand in eine leichte, schaukelnde Bewegung versetzt, seine Geschwindigkeit ist etwas grösser, als diejenige des obern Randes, von dem er sich entfernt. Die Spalte ist also im Begriffe, sich zu vergrössern.

Vom ersten Jahre ab, wird das nach der Oberfläche des Gletschers kommende Wasser mit einer leichten Eisdecke überzogen. Auf diese legt sich der Winterschnee, welcher in seiner Eigenschaft als schlechter Wärmeleiter die ganze flüssige Masse vor dem Gefrieren schützt. Er bildet von einem Rande zum andern eine Art Pfropfen und entzieht dem Auge auf diese Weise das Vorhandensein einer Wasserkammer. Da die Ursachen, die die Entstehung solcher Spalten herbeiführen, andauernd sind, ist es notwendig, diesen kleinen Tête-Rousse-Gletscher einer beständigen Ueberwachung zu unterziehen. Sobald Anzeichen da sind über das Vorhandensein einer neuen Spalte, wird es genügen, vom äussern Ende der offenen Galerie im Felsen aus durch den Gletscher einen neuen Vortoss durchzuführen, um dem angesammelten Wasser einen gefahrlosen Abfluss zu verschaffen. Man wird aber gleichzeitig daran denken müssen, die Untersuchung des Gletschers, namentlich hinsichtlich der Gestaltung seiner Sohle, weiterzuführen.

*Fieschergletscher.* — Ciprian Bircher, einer der weitbekanntesten Strahler des Oberwallis, erzählte dem Verfasser im September 1914 vom Ausbruch eines bedeutenden Eis-Sees auf dem Fieschergletscher im Jahre 1860. Der See soll sich fast in der Mitte des Gletschers, mehr gegen Bellwald zugekehrt, oberhalb des Felsriegels zwischen Stock und Cote 2517 bei der Obfuh befunden und trichter förmige Gestalt gehabt haben. Eine nähere Untersuchung des Sees wurde leider nicht durchgeführt.

Heim<sup>1</sup> berichtet uns über den Puntaiglas-Gletscher folgendes:

*Puntaiglas-Gletscher.* — « Der Puntaiglas-Gletscher an der Südseite der Tödi-gruppe oberhalb Truns im Kanton Graubünden liegt in einem flachen Becken, nachher wird das Thal sehr steil. Die Ferrera, der Ausfluss dieses Gletschers, führt stets viel klareres Wasser als alle anderen Gletscherbäche, niemals eigentliche « Gletschermilch ». Ferner fliesst sie fast immer sehr regelmässig, bei Gewittern hat sie nur sehr unbedeutende Anschwellungen. Hingegen schwillt die Ferrera jedes Jahr einmal zur heissesten Jahreszeit, gewöhnlich in der zweiten Hälfte Juli, fast plötzlich für bloss 24 Stunden bis höchstens 2 Tage an. Nach dem kalten, nassen Frühling und Frühsommer von 1879 verspätete sich ausnahmsweise die

<sup>1</sup> HEIM, A. *Handbuch der Gletscherkunde*. Stuttgart, 1885, S. 258.

Anschwellung bis auf den 7. und 8. August. Dieselbe beginnt gleich da, wo der Bach aus dem Gletscher tritt; 1876 fiel sie auf den 25. Juli, 1877 genau auf den gleichen Tag. In den ersten 12 Stunden steigt das Wasser und führt dann grössere Geschiebe, hernach nimmt es ebenso gleichmässig ab, wie es gestiegen ist. Nachdem der Bach wieder auf den gewöhnlichen Stand zurückgesunken ist, dauert die Trübung noch einige Zeit lang fort. Wenn die Anschwellung auf Zeiten sonst kleinen Wasserstandes und trockener Witterung trifft, soll sie viel bedeutender sein, als wenn sie mit kühlem Wetter zusammenfällt. Kein anderer Bach der Umgebungen zeigt solche Verhältnisse. Schon der alte Pater Spescha erwähnt der periodischen Fluten der Ferrera. Ob der flache Gletscher eine Art Seebecken überdeckt, in welcher die Wasser sich klären?

Ob dieser See den Gletscher allmählich hebt und dann zum teilweisen Ausbruch gelangt? Wir wissen es nicht. »

*Glacier de la Réchasse* <sup>1</sup>. (Massiv der Vanoise, Savoyen). — Der diesem Gletscher entströmende Wasserlauf verlegte plötzlich, in der Nacht vom 5./6. September 1899, seinen Austritt um 300 m weiter nach unten. Es ist anzunehmen, dass eine Anzahl subglazialer Kanäle existierten; der Bruch einer Zwischenwand hat das Wasser vermutlich zunächst aufgestaut und ihm hernach einen andern Ausgang verschafft.

*Glacier des Bossons* <sup>2</sup>. (Mont-Blanc). — Am 11. August 1892 führte der « ravin des Pélerins », der dem « Glacier des Bossons » entspringt, eine grosse Masse Kies und Blöcke, nebst einer ganz aussergewöhnlichen Menge Wasser aus dem Gletscher, ohne dass ein äusseres Zeichen dieses plötzliche Anwachsens hätte rechtfertigen können. Dieses Phänomen ereignet sich all 4-5 Jahre einmal.

*Glacier des Pélerins* <sup>3</sup>. (Mont-Blanc). — Die östliche Abzweigung dieses Gletschers, d. h. der direkt unter der « Aiguille du Midi », obenher « Pierre Pointue » liegende Teil hat im Jahre 1893 grosse Wassermassen ausgestossen, die an mehreren Orten den Weg von « Pierre Pointue » durchschnitten. Auf dem ganzen Weg führte das Wasser die Vegetation weg und legte den Felsen bloss.

*Glacier de la Neuvaz* <sup>4</sup>. (Val Ferret). — Dieser Gletscher hat am 22. Juni 1898 eine enorme Wassermenge zu Tage gefördert, die aller Wahrscheinlichkeit nach einem innern Becken entstammte.

<sup>1</sup> Revue alpine, juillet 1900, p. 198.

<sup>2</sup> Küss, M. *Les torrents glaciaires*. Ministère de l'Agriculture, Administration des Eaux et Forêts, Exposition universelle de 1900, à Paris. Restauration et conservation des terrains en montagne. Paris, 1900, p. 42.

<sup>3</sup> RABOT, Ch. *Les débâcles glaciaires*. Bulletin de géographie historique et descriptive, 1905, n° 3. Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Paris, 1905, p. 433.

<sup>4</sup> BRUN, A. Archives des Sciences phys. et nat. de Genève, VI, nov. 1898.

Hr. Brun aus Genf berichtet darüber: Der Gletscher von Neuvaz liegt auf einem sehr steilen Abhänge, der unten fast flach ausmündet, wo sich Wald und Geröll befindet, sodass die Gewalt des Wassers fast plötzlich gebrochen wurde. Der Waldboden wurde mit Erde und Sand überfüllt, da die grossen Blöcke am Waldrande aufgehalten wurden. Da das Wasser infolge Ausbreitung sukzessive an Höhe und Schnelligkeit abnahm, trat im Tale nur eine gefahrlose Erhöhung des Wasserstandes ein, die mehrere Tage andauerte.

*Festi-Gletscher bei Randa*<sup>1</sup>. — Am 1. August 1899 brach ein inneres Wasserbecken in diesen, oberhalb Randa gelegenen Gletscher aus und verursachte ein Ansteigen des ihm entströmenden Baches, sodass die Brücke der Visp-Zermatt-Bahn weggerissen wurde.

Die gewaltige freigewordene Wassermasse führte grosse Felsblöcke mit.

Sir Martin Conway war 1875 Zeuge eines solchen plötzlichen Wasserausbruches aus diesem Gletscher, welches Phänomen wahrscheinlich auch der plötzlichen Entleerung eines innern Wasserbeckens zuzuschreiben ist.

*Zmutt-Gletscher bei Zermatt*<sup>2</sup>. — Im Oktober 1899 entleerte sich aus diesem Gletscher eine beträchtliche Wassermenge, die in Sitten das Niveau der Rhone um 50 cm zu heben vermochte.

*Hohberg-Gletscher bei Randa*<sup>3</sup>. — Am 21. August 1898 brach aus diesem, oberhalb Randa gelegenen Gletscher ein inneres Wasserbecken aus.

Die Wassermasse führte Moränenmaterial und Blöcke von 50-60 m<sup>3</sup> Inhalt mit sich. Bei der Ausmündung des Birchbaches in das Vispertal verstopfte dieses Material das Bachbett, das Wasser trat seitwärts aus, bahnte sich einen neuen Weg zur Visp, nachdem es an zwei Stellen die Eisenbahnlinie Visp-Zermatt durchbrochen hatte. Im Vispertal vermochte das Wasser stellenweise eine 2,50 m hohe, mit Blöcken von 2-3 m<sup>3</sup> Inhalt besäte Schuttschicht abzulagern. 20 km weiter unten konnte man noch das Vorrücken der schwarzen Flutwelle des Birchbaches vom reinen Wasser der Visp unterscheiden.

*Schwenser-Ferner*<sup>4</sup>. (Südseite des Oetztalmassivs). — Der Schwenser-Ferner hat am 27. Juli 1891 eine Katastrophe verursacht, die durch Prof. Greim genau untersucht worden ist.

Dieser Gletscher zeigte auf einer Verflachung seines obern Teiles grosse Aushöhungen, die sich als erweiterte Spalten erwiesen. Im Jahre 1893, zwei Jahre

<sup>1</sup> FOREL, F. A., LUGEON, M. et MURET, E. *Les variations périodiques des glaciers des Alpes*. XX<sup>e</sup> rapport, 1899. Jahrbuch S. A. C., XXXV.

<sup>2</sup> Id. *Ibid.*

<sup>3</sup> FOREL, F. A., LUGEON, M. et MURET, E. *Ibid.* XIX<sup>e</sup> rapport, 1898. Jahrbuch S. A. C., XXXIV.

<sup>4</sup> GREIM, G. *Der Ausbruch des Schwenser-Ferners am 9. Juli 1891*. Globus, LXVI, n<sup>o</sup> 15.

nach der Katastrophe, hatte eines dieser Löcher eine Länge von 25-30 m und eine Breite von 8-10 m; da es mit Schnee ausgefüllt war, konnte seine Tiefe nicht gemessen werden. Ein anderes Loch hatte eine Länge von 35-40 m und einen Durchmesser von ca. 20 m. Diese Aushöhlungen bildeten Reservoirs; ihr Ausbruch, der durch das Bersten einer Eiswand veranlasst wurde, erfolgte durch das Innere des Gletschers.

Obwohl das Wasservolumen nicht sehr gross war, richtete das Wasser im obern Langgrubtal und im Schwalsertal grosse Verheerungen an, weil das Terrain sehr steil ist. Auf eine Distanz von 3500 m hat sich der Talweg um 1 m vertieft. Die Verwüstung dehnte sich wenig über das nächstgelegene Dorf « Kurzras » hinaus. Im nächsten Dorfe, « Unsere Frau », richtete der Strom keine Verwüstungen mehr an.

Die Anschwellung des Stromes war nur von kurzer Dauer, so z. B. in Kurzras von 3 h - 7 h 30 abends und betrug dort 1,50 m.

*Macugnana-Gletscher*<sup>1</sup>. (Monte Rosa). — Dieser Gletscher verursachte im Jahre 1866 eine Ueberschwemmung. Nach einem sehr regnerischen August hatte der Gletscher, der bedeutend zurückgegangen war, eine enorme Wassermasse angesammelt. Das Wasser durchbrach schliesslich die Moräne seitlich und überdeckte die untenherliegenden Weidgebiete mit einer hohen Schicht Geröll und Sand.

Die Aufzeichnungen lassen nicht deutlich genug erkennen, ob es sich um den Bruch eines interglazialen Beckens oder um einen Randsee handelt.

*Weingarten-Gletscher bei Zermatt*<sup>2</sup>. — Im Jahre 1892 verursachte dieser Gletscher eine Ueberschwemmung unter beinahe ähnlichen Verhältnissen. Der Treschbach, der den aus dem Weingarten-Gletscher entspringenden Rothenbach aufnimmt, überschwemmte am 15., 16. und 17. August das Dorf Tresch und die anstossenden Weiden, bedeckte 1 1/2 ha Kulturland und bedrohte die Häuser. Der Fluss führte eine Unmasse Material mit.

Nach Forel, der einen Augenschein vornahm, war das Gletscherwasser abgelenkt worden und trat unter der linkseitigen Moräne aus, zerfrass diese und führte sie schliesslich weg.

Wahrscheinlich war die Ueberschwemmung dadurch entstanden, dass der Wasserlauf im Innern des Gletschers sein Bett wechselte und sich längs der Moräne ein See gebildet hatte, die dann dem Drucke nachgegeben hat.

<sup>1</sup> GIORDANO, F. *Escursioni dal 1866 e 1868*. Boll. del Club Alpino Italiano. Turin, 1868, 2<sup>e</sup> sem., n<sup>o</sup> 13, p. 282.

<sup>2</sup> FOREL, F. A. *Les variations périodiques des glaciers des Alpes*. XIII<sup>e</sup> rapport, 1892. Jahrbuch S. A. C., XXVIII, p. 6.

### Die Gletscher-Randseen.

Die Gletscher-Randseen bilden sich auf verschiedene Weise. *Zunächst seien die vielen kleinen Seen erwähnt, die sich namentlich im Winkel zweier sich vereiniger Gletscher zu bilden vermögen.* Die rechte Seitenmoräne des einen Gletschers bildet mit der linken Seitenmoräne des andern Gletschers je eine Uferwand des meist einer Dreieckform ähnlichen Sees. Solche Seen treten zeitweise fast an allen grösseren Gletschern auf. Als Beispiele erwähnen wir die beiden, alle Jahre wiederkehrenden kleinen Seen am Fusse des Olmenhornes bei der Vereinigung des Grossen Aletschgletschers mit dem Mittel-Aletschgletscher und an der Grünegg gegenüber der Konkordiahütte. Diesen letzteren See hat der Verfasser noch am 23. Juli 1914 vorgefunden.

Ein kleiner See hat sich am Rande des *Valsorey-Gletschers*, im Entremont-Tal gebildet. De Saussure sagt 1778 darüber: « Dieser dreieckförmige Raum ist von einer Seite vom Mont Noir eingeschlossen und von den zwei anderen Seiten von den zwei Gletschern, die sich untenher dieses Berges vereinigen<sup>1</sup>. »

Ende des 18. Jahrhunderts brach dieses Seelein bisweilen aus und richtete im Drance-Tal bis zur Rhone arge Verwüstungen an.

Infolge Rückganges des Valsorey-Gletschers ist dieses Seelein seit 1879 verschwunden.

Bei der Vereinigung des *Lechaal-Gletschers* und *Tacul-Gletschers*, am nördlichen Fusse des « Pic du Tacul », liegt ein kleiner See, der nach Delebecque heute verschwunden sein soll. Bei seinen Entleerungen zeigte sich am unteren Ende des « Mer de Glace » ein Wasserausfluss und 1819 soll das Chamonix-Tal überschwemmt worden sein<sup>2</sup>.

Beim Zusammentreffen des Gornergletschers und des Monte-Rosa-Gletschers, am Fusse des Ausläufers des Nord-End, findet sich der *Gornersee*. Er entleert sich zuweilen plötzlich und verursacht dann ein starkes Ansteigen der Visp, die beispielsweise am 23. August 1900 eine Brücke zerstörte und Weid- und Ackerland überschwemmte<sup>3</sup>.

In den letzten Jahren hat er sich, ohne bedeutenden Schaden anzurichten, fast jährlich entleert.

*Andere kleine Seen bilden sich zwischen dem Gletscherrande und den Seitenmoränen oder den Talwandungen.* Sie treten namentlich im Frühjahr häufig auf.

Eine besondere Stellung in der Gruppierung der Gletscherrandseen nehmen die sogenannten *Gratseen* ein. *Es sind kleine Randseen, zwischen dem Gletscher und*

<sup>1</sup> DE SAUSSURE. *Voyage dans les Alpes*. Edition de 1786, II, p. 466 et 1013.

<sup>2</sup> DELEBECQUE, A. *Les lacs français*. Paris, 1898, p. 250, n° 4.

<sup>3</sup> FOREL, F. A., LUGNON, M. et MURET, E. *Les variations périodiques des glaciers des Alpes*. XXI<sup>e</sup> rapport, 1900. Jahrbuch S. A. C., XXXVI, p. 16.



dem Sattel eines Grates liegend, der den Uebergang zweier Bergmassive bildet. Die eigenartige Gestaltung des obersten, gewöhnlich steil abfallenden Teiles solcher Gletscher ermöglicht die Bildung eines kleinen Sees. Sie legen Zeugnis ab, wie dicht das Gletschereis sich den Gebirgswandungen anschliesst. F. von Salis erwähnt in seiner interessanten Arbeit über die Gletscher Graubündens im Jahrbuch des S. A. C. 1882-1883 zwei *Gratseen*: der eine im obersten Teile des *Beverser-Tales*, der andere auf der « *Fuorcla-Pischa* » zwischen dem « *Val Plazbi* » (Val Tuors) und dem Val d'Eschia (Ober-Engadin).

Im Hintergrunde des Beverser-Tales entwickelt sich ein Gletscher zwischen der Cima da Flex (3287 m) und dem « *Piz d'Agnelli* » (3206 m) bis an den Felsgrat hinauf (Siegfriedkarte 517, Cote 3053 m). Dasselbst fand von Salis einen kleinen See von 20 m Breite, 30 m Länge und 2 m Tiefe vor. Sobald der See die Passhöhe des Grates erreicht hatte, ergoss sich sein Wasser in einen Seitenbach der Julia im Oberhalbstein. Ein ähnlicher kleiner See bestand auf der « *Fuorcla-Pischa* » am Fusse des « *Piz Blaison* » (Siegfriedkarte 427, Cote 2803). Seine Länge betrug 15, die Breite 10 m. Infolge der Ablation des Eschia-Gletschers hat dieser auch in seinem obersten Teile abgenommen und sich vom Grate zurückgezogen. Das Wasserbecken, « *Laiet* » genannt, ist ausgelaufen.

Andere Gletscherseen werden dadurch gebildet, dass ein seitlich liegender Gletscher seine Eismasse bis auf die Sohle des Haupttales vorschiebt und dem Bache daselbst den Abfluss versperrt. Als typisches Beispiel erwähnen wir den zeitweise sich bildenden *Rofener-See* (oberer Zweig des Oetztals). Er bildet sich zu Zeiten hohen Standes des *Vernagtferners*, wenn dessen Eismasse ins Rofental hinausgeschoben wird und den Abflüssen des Hochjoch- und Hintereisferners den Durchfluss versagt. Seit dem Jahre 1600 sind 8 Ausbrüche dieses Stausees erfolgt, die zum Teil grosse Verheerungen angerichtet haben. Die Geschichte des *Vernagtferners* und seiner Vermessung hat eine eingehende Bearbeitung gefunden in der klassischen Arbeit von Prof. Dr. Finsterwalder<sup>1</sup>: « *Der Vernagtferner* ».

Auf ähnliche Weise bildeten sich im *Marteltale*<sup>2</sup> und im *Ridnauntale* (Stubai) solche Seen. Am ersterem Orte staut der vorrückende *Zufallferner* den Abfluss des *Langenferners*, im *Ridnauntale* wird der *Sennregertenbach* durch den *Uebeltalferner* zurückgehalten.

Ein kleiner Gletschersee hat sich auch am Fusse des *Mont-Dolent-Gletschers* gebildet, dessen Abfluss durch eine Abzweigung des *Triolet-Gletschers* verhindert wurde. Im Jahre 1717 brach der See aus, indem er die Moräne durchstiess, und ein schönes untenherliegendes Weidegebiet verwüstete<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> FINSTERWALDER, S. *Der Vernagtferner*. Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins. 1. Band.

<sup>2</sup> FINSTERWALDER, S. *Die Gletscherausbrüche des Martel-Tales*. Graz, 1897. Zeitschrift des D. Oe. Alpenvereins. Jahrbuch 1890, Bd. XXI.

<sup>3</sup> VIRGILIO. *Sui recenti studi circa le variazioni periodiche dei ghiacciai*. Boll. del Club Alp. Italiano, 1883.

Nicht immer ist es der Gletscher selbst, der das Haupttal durch seine Eismassen absperrt, sondern *es sind Eisabbrüche, die eine Anstauung eines Talwassers verursachen können*. Die furchtbare Flut des Bagnetales im Jahre 1818, die mehr als 500 Häuser vernichtete, wurde durch den Niedersturz eines Teiles des *Glétrozgletschers* in das Tal der Drance veranlasst. Gewaltige Eismassen stürzten sich über steile, felsige Wände in das tiefeingeschnittene Tal der Drance hinunter und bildeten einen Eisdamm, der das Tal abspernte. Der regenerierte Gletscher vermochte nun einen See anzustauen.

Capt. Godwin-Austen berichtet uns im « Journ. of the R. G. S. XXXIV. 24 » in einem Aufsatz: « On the glaciers of the Mustakh Range » über den Ausbruch eines mächtigen Stausees, der nahe der Quelle des Shayok am Südhange des Karakorum durch das Herabwachsen des *Biafo-Gletschers* entstanden ist. Der See hatte vor seinem Ausbruche eine Länge von 18,5 km, eine mittlere Breite von 3,7 km und eine durchschnittliche Tiefe von 61 m, was einer Wassermasse von rund 4175 Millionen m<sup>3</sup> gleichkommt. Sein Ausbruch erfolgte plötzlich. Die Flutwelle stürzte sich bei Iskardo aus dem Shayok in das Indus-Tal hinein, zerstörte das ganze Tal auf das Schrecklichste und riss, mehr als 500 km talabwärts, bei Ottok, einen Teil der Sikh-Armee des Gholab Singh, die am Ufer des Flusses lagerte, mit sich fort <sup>1</sup>.

*Andere Stauseen zeichnen sich dadurch aus, dass sie nicht nur von den Eismassen der Gletscher, sondern auch von deren Seitenmoränen aufgestaut werden*. Als Beispiel erwähnen wir den Mattmarksee zuhinterst im Saastale. Dieser nimmt beinahe die ganze Breite der Talniederung ein. Schiebt nun der Allalngletscher beim Hochstande seine mächtigen Eismauern soweit vor, dass ein hoher Querriegel das Tal absperrt, so wächst der See bedeutend an. Ein Durchbruch des Sees verursacht bedeutende Ueberschwemmungen im Visper- und Rhonetal, wie dies in den Jahren 1633, 1680, 1772 und 1818 geschah. Kantonsingenieur Venetz hat im Jahre 1818 einen Stollen durch das Eis schlagen lassen, um auf diese Weise eine geregelte Entleerung herbeizuführen.

*Auch bei nicht wachsenden oder gar bei schwindenden Gletschern vermögen sich Stauseen zu bilden*. Zwischen dem *Otemma- und Crête-Sèche-Gletscher* im *Bagnetal* bildete sich im Jahre 1894 ein See. Infolge des gewaltigen Rückganges der beiden Gletscher nahm deren Mächtigkeit dermassen ab, dass die zwischen beiden Gletschern liegende Moräne den Eingang in das Tal der « Crête-Sèche » so vollständig abschloss, dass sich hinter diesem Moränenendamm ein See bilden konnte, dessen Schmelzwasser jedes Frühjahr durch einen Einschnitt zum Abfluss gelangen konnte. Infolge des stetigen Rückganges des Crête-Sèche-Gletschers vergrösserte sich das Wasserbecken mehr und mehr. Der wachsende Druck und die auflösende Tätigkeit des Wassers verschaffte dem See einen unterirdischen Abfluss. Am

<sup>1</sup> SONKLAR, C. Edlen von Innstaedten C. *Von den Ueberschwemmungen*. Wien, 1883.

28. Juni 1894, am 18. Juni 1895 und am 15.-17. Juli 1898 erfolgten Ausbrüche, von denen namentlich der erstere und letztere grossen Schaden verursachten. Eine Untersuchung des Gletschers nach dem letzten Ausbruche im Jahre 1898 durch Ingenieur E. Rod, Adjunkt des eidg. Oberbauinspektorates und durch das Kantonale Baudepartement stellte fest, dass neben einem unterirdischen Abflusse auch ein Ueberströmen des Eisriegels, der das Sammelbecken abschliesst, stattgefunden hat <sup>1</sup>.

Die erodierende Tätigkeit des Wassers formte im Moränendamm einen eigentlichen Kanal. Durch künstliche Vertiefung der Erosionsrinne hat man diesem Uebelstande zu begegnen gesucht.

*Gletscherseen entstehen schliesslich auch dadurch, dass sich der Körper des Gletschers im Haupttale quer vor die Mündung eines Seitentales legt und die Zuflüsse zu einem See aufstaut.* Selbstverständlich vermag der Druck des Sees, wie gross er auch sein mag, kaum je etwas auszurichten. Das Wasser des Sees fliesst entweder über den tiefsten Punkt der Gletscheroberfläche ab oder es findet infolge seines Wärmegehaltes und der durch die Bewegung des Gletschers verursachten Spaltenbildung einen Abflussweg durch oder unter dem Gletscher.

Der grosse *Rutorgletscher* im Thuilletal sperrt bei hohem Gletscherstande das kleine Seitental « Val des Oselettes » ab, sodass sich an dessen Ausgang ein See bilden kann. Sobald dieser die Höhe der Ueberlaufstelle an der rechten Talseite erreicht hat, findet ein natürlicher Abfluss statt. Auch Entleerungen unter und durch den Gletscher haben stattgefunden. Bei niedrigen Seeständen verschwindet der See fast vollständig. Dieser Stausee hat eine äusserst wertvolle Bearbeitung gefunden durch M. Baretti <sup>2</sup>. Aehnlich wie der Rutorsee im Thuilletal verhält sich der Langtaler Eissee im Gurgler Tal.

Der schönste Gletscherrandsee der Alpen ist aber der **Märjelensee** am Grossen Aletschgletscher, den wir in der Nachfolge sowohl in naturwissenschaftlicher als auch in historischer Hinsicht einer eingehenden Bearbeitung unterzogen haben.

---

<sup>1</sup> Eidg. Oberbauinspektorat, *Wildbachverbauungen und Gewässerkorrekationen*. Bern, 1914.

<sup>2</sup> BARETTI, M. *Il lago del Rutor*. Bolletino C. A. J. 1880, S. 43-98.

## II. KAPITEL.

### Allgemeine geographische und geologische Verhältnisse.

Am südlichen Fusse des Jungfrau-Massifs, der mächtigsten Hochgebirgspartie der ganzen Nordalpen, verbrüdern sich auf dem Concordia-Platze in einer Höhe von rund 2780 m die grossen Firnfelder von der Lötschenlücke, vom Jungfraujoche, vom Mönchjoche und von der Grünhorn-Lücke und bilden den gewaltigsten und zugleich edelsten aller Gletscher der europäischen Alpenwelt, den *Grossen Aletsch-gletscher*.

Der ungeheure Eisstrom, der hier seinen Anfang nimmt, fliesst in südöstlicher Richtung, in einer Breite von ungefähr 1.5 km, gegen den schmalen mit Triften und Waldungen geschmückten Höhenzug zu, der keinen gemeinschaftlichen Namen trägt, aber an dessen Nordwestende sich das in seiner Aussicht unvergleichliche, pyramidenförmige Eggishorn erhebt. Am rechten Ufer dieses Stromes zieht sich die Kette hin, die das Dreieckhorn mit dem Olmenhorn verbindet und am linken Ufer steigen die Walliser-Fiescherhörner an. Nördlich des Eggishornes, ungefähr 8 km talabwärts des Concordia-Platzes, bei der Wendung des Gletschers nach Süd-Westen, versucht der Gletscher vergebens, in das kleine tief eingeschnittene Seitental der Märjelenalp einzudringen, das in ungefähr rechtem Winkel zum Haupttale steht und die Kette der Walliser-Fiescherhörner von der Kette des Eggishornes trennt. Dagegen verbaut er durch seine gewaltigen Eismassen den Ausgang dieses Seitentales und legt sich dabei so dicht an den felsigen Untergrund und die Seitenwände des Strahl- und Eggishornes an, dass sich das von den nahen Abhängen niedersickernde Schmelz- und Quellwasser in diesem Felsenkessel sammeln und einen See bilden kann. Dieser See trägt nach der dortigen Alp den Namen: *Märjelensee*. Früher nannte man ihn Aletschsee, Merjelensee, fälschlich oft auch Mörilsee, obwohl derselbe mit dem Walliserdorfe Mörel am rechten Rhoneufer, 1  $\frac{1}{2}$  Stunden oberhalb Brig, in keinen Beziehungen stand.

Der Märjelensee wird also dadurch gebildet, dass der Grosse Aletschgletscher das Haupttal anfüllt, und damit den Ausgang des Seitentales zeitweise vollständig verschliesst.

Aehnliche Gletscherstauseen findet man, wie wir bereits einleitend bemerkt haben, in der Schweiz und auch anderswo oft vor. An Grossartigkeit und Erhabenheit kommt ihm aber keiner gleich, und er darf wohl als der schönste und interessanteste Gletscherstausee der Alpen bezeichnet werden. Hier schwimmen, wie im nordischen Eismeer, gewaltige Eisblöcke, im tiefgrün gefärbten Wasser des Sees; Eisblöcke, herrührend von herabgestürzten Gletschermassen.

Die geographische Lage<sup>1</sup> des Märjelensees wird bestimmt in ihrer östlichen Länge von Greenwich durch den westlichen Punkt, den Steilrand des Grossen Aletschgletschers mit dem  $5^{\circ} 46' 16''$  und dem östlichen, die niedere Einsattlung, die zugleich die Wasserscheide zwischen den Flussgebieten der Massa und des Fiescherbaches bildet, mit dem  $5^{\circ} 46' 26''$ . In ihrer nördlichen Breite wird sie bestimmt durch den südlichen Punkt, nämlich das Eggishorn und den Thälligrat, mit  $46^{\circ} 26' 15''$  und durch den nördlichen Punkt, das Strahlhorn mit  $46^{\circ} 26' 32''$ .

Der Märjelensee hat wie viele andere Gletscherseen bei seinem Hochwasserstande die Form eines unregelmässigen Dreiecks. Seine grösste Länge beträgt rund 1600 m, und seine grösste Breite ungefähr 500 m. Bei niedrigem Stande wird er durch einen Felsrücken in ein östliches Becken, den Vordersee und in ein westliches Becken den Hintersee getrennt. Wenn wir im weitem Verlaufe vom Hintersee sprechen, so bezeichnen wir damit das Seebecken, das an der Westseite vom Gletscher begrenzt wird. Es sei übrigens, um jedem Missverständnis vorzubeugen, hier gleich weiter bemerkt, dass die Bewohner des Fieschertales und seiner Umgebung für den Hintersee häufig den Ausdruck Gletschersee verwenden.

Gegen Norden grenzt der Märjelensee an die Felshänge der Strahlhörner, gegen Süden an die steile, zerrissene Felswand des Eggishornes. Im Osten bildet die etwas oberhalb der Semnhütten der Märjelenalp gelegene, niedere Einsattlung die Grenze. Das westliche Ende des Sees wird, wie bereits erwähnt durch den Eiswall des Grossen Aletschgletschers gebildet, der 500 m lang und je nach dem Gletscherstande eine grösste Höhe von 60—80 m besitzt.

Das ganze Tal der Märjelenalp liegt in der Gneisformation. Längs des Berganges der Strahlhörner hat das ehemalige Eis des Aletschgletschers eine heute noch deutlich sichtbare Moräne aufgeschüttet, die sich bis über die Einsattlung an der Ostgrenze des Sees verfolgen lässt. Die Oberflächen der Felshänge und der Querriegel zeigen eine deutliche Bearbeitung. Die Schliiffgrenze<sup>2</sup> am Eggishorn erreicht eine Höhe von 2700 m. Dies sind alles Erscheinungen, die beweisen, dass in den Zeiten ausgedehnterer Vergletscherung der Grosse Aletschgletscher einen Ausläufer nach dem Fieschergletscher hatte. Bei der heutigen Gletschergestaltung ist er unfähig weiter in das Becken einzudringen und den See zu verdrängen. Was

<sup>1</sup> Dufourkarte der Schweiz 1 : 100000, Blatt XVIII. — Sigfriedkarte 1 : 50000, Blatt 493.

<sup>2</sup> Vgl. RICHTER. *Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen*. Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft N<sup>o</sup> 132, Seite 37.

für ungeheure Dimensionen dazu notwendig sind, geht aus den Aufnahmen des Gletscherrandes vom Jahre 1878 und 1913 hervor. Darüber werden wir später noch berichten.

Mit dem Schwinden des Gletschers sind die seebildenden Faktoren entstanden. Je mehr sich die Gletscherzunge gegen das Haupttal zurückzog, desto grösser wurde die Seewanne. Ein weiterer seebildender Faktor ist das « Kalben » des Gletschers, das auf die Einwirkung des Seewassers und auf die Bewegung des Gletschers zurückzuführen ist. Ueber Ursache und Wirkung dieses Vorganges wird noch in einem spätern Kapitel ausführlich berichtet. Der See ist in der Hauptsache auf das meteorische Wasser angewiesen, das innerhalb seines Einzugsgebietes fällt. Da der grössere Teil des Einzugsgebietes aus Schutthalden besteht, die eine Menge von Wasser zurückhalten, ist sowohl der Betrag der Versickerung als auch der der Verdunstung ein verhältnissmässig grosser.

Quellen, Niederschläge, und namentlich das Wasser, das zur Zeit der Schneeschmelze von den Hängen der Strahlhörner und vom Eggishorn herkommt, ferner das Ablationswasser des Gletschers speisen den See. Bemerkenswert ist auch noch, dass die Endmoräne eines ehemaligen im Jahre 1820 noch existierenden kleinen Gletschers am Fusse der Felspyramide der Strahlhörner in östlicher Richtung in einer Höhe von 2605 m einen kleinen See verursacht hat, dessen Abfluss dem Märjelensee zufliesst.

Es ist hier der Ort zu erwähnen, dass im Jahre 1828 an der Ostseite des Sees erst ein Graben von 3.6 m Tiefe und ungefähr 80 m Länge, hernach ein Stollen von rund 550 m Länge und einem Querschnitte von  $1.85 \times 1.20$  m erstellt wurden, durch welche das Wasser des Sees abfliessen konnte. Hieraus resultierte eine bedeutende Senkung des Wasserspiegels und zwar durch den Graben um 3.60 m, durch den Stollen um 12.5 m gegenüber dem höchst bekannten Wasserstande (1878).

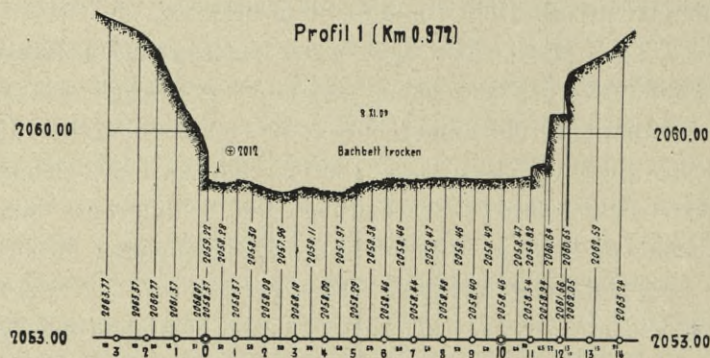


FIG. 1. (Seebach, siehe Tafel 2.)

Der natürliche Abfluss des Sees findet durch den Aletschgletscher selbst oder längs seines Südrandes statt. Fand jedoch vor dem Bau des erwähnten Grabens

kein Abfluss nach der Gletscherseite statt, bevor der Seespiegel die Höhe der Einsattelung im Westen erreichte, so stellte sich ein natürlicher Ueberlauf nach der Seite des Fieschertales ein. Der See weist also die Eigentümlichkeit zweier Abläufe in entgegengesetzten Richtungen auf. Unter gewissen Umständen ist er im Stande zur nämlichen Zeit zwei sonst voneinander vollständig getrennte Flussgebiete, nämlich dasjenige der Massa (Grosse Aletschgletscher) und dasjenige des Fiescherbaches (Fieschergletscher) zu speisen. Die Abflussmenge nach der Fieschertal-Seite war natürlich eine sehr verschiedene. Sie änderte sich namentlich während der Schneeschmelze, wenn beispielsweise der Föhn die Eisdecke des Sees durchbrochen hatte und der Wind mit deren Schollen spielte. Es ist häufig vorgekommen, das sich diese Schollen zu Pyramiden auftürmten und den Abflusszeitweise unmöglich machten.

Das abfliessende Wasser des Sees nimmt alsdann unter dem Namen Seebach<sup>1</sup> seinen Weg durch das Märjelental. Es fliesst zunächst bei den steinernen Sennhütten

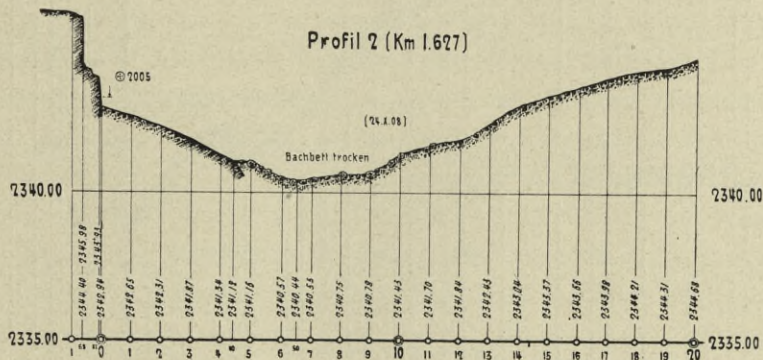


FIG. 2. (Seebach, siehe Tafel 2.)

der gleichnamigen Alp, in denen so viele berühmte Naturforscher, wie Agassiz, Escher von der Linth, Gottlieb Studer, Carl Vogt, Unterkunft fanden, vorbei und eilt in muntern Sprüngen dem um mehr als 500 m tiefer gelegenen Fieschertal zu.

Der Märjelensee besitzt die weitere Eigentümlichkeit, sich in unregelmässigen Zwischenräumen, binnen wenigen Stunden oder Tagen ganz oder teilweise zu entleeren, wobei sich das Wasser längs, durch oder unter dem Gletscher gewaltsam Bahn bricht. Ein eigentlicher Durchbruch des Eiswalles geschieht selbstverständlich niemals. Gegen die gewaltige Masse des Hauptgletschers vermag der Druck des Sees, wie gross er auch sein mag, niemals etwas auszurichten. Das Wasser des Sees muss entweder über den niedrigsten Punkt des Gletschers am Fusse des Eggis-

<sup>1</sup> Das Längenprofil des Seebaches findet sich auf Tafel 2 vor; zwei zugehörige Querprofile sind in Fig. 1 und 2 enthalten.

horns abfließen oder aber die Bewegung des Gletschers ruft die Bildung einer Spalte hervor, die dem Wasser freien Abzug gewährt.

Das ausbrechende Wasser erodiert bis zu einem gewissen Grade das Bett des Aletschgletschers und namentlich dasjenige der Massa, die dem Gletscher entströmt. Vor der Vollendung der Rhonekorrektur ergoss sich jeweilen die plötzliche Flutwelle in die Ebene des Rhonetales und verursachte ausgedehnte Ueberschwem-

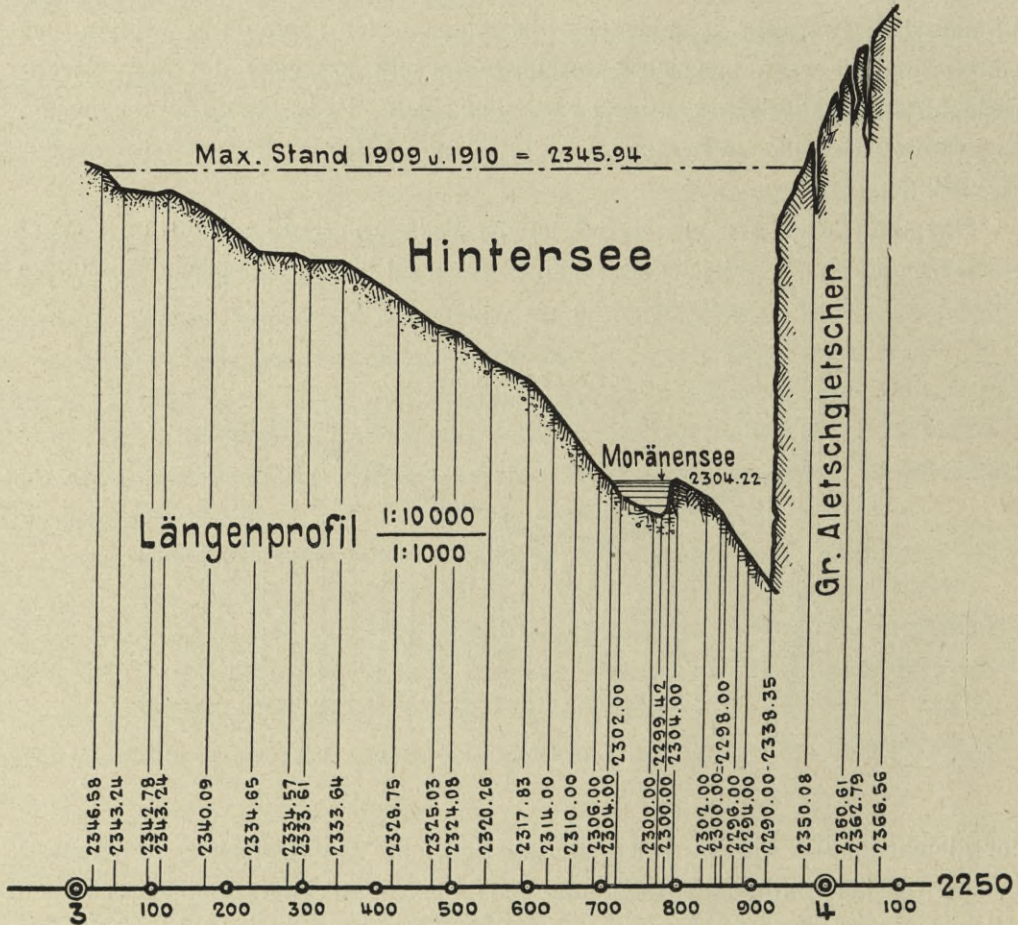


FIG. 3.

mungen, der einstige Schrecken und die grosse Plage des Walliservolkes. Nach dem vollständigen Ausbruche des Sees am 30.-31. August 1913 nahm namentlich die zu Tage tretende, durch ihre frontale Ausdehnung und Mächtigkeit imponierende Endmoräne<sup>1</sup> des letzten Gletschervorstosses unsere Aufmerksamkeit in

<sup>1</sup> Prof. Dr. Leo WEHRLI nennt sie « unterseeische Obermoräne ». (Siehe: *Der ausgelaufene Märjelensee am Grossen Aletschgletscher*. Sonderabzug aus dem Jahresbericht der Sektion Uto des Schweizer Alpenklub pro 1913. Juni 1914.



hohem Masse in Anspruch. Der wallartige Aufbau dieser End- und Seitenmoräne ist oft von hervorragender Schönheit. Vorgelagert dieser Endmoräne ruht ein kleiner See, dessen Nord- und Südufer malerische Felspartien schmücken. Gespiesen wird er durch den Abfluss des Vordersees. (Ein Längenprofil des Abflusses des Vordersees nach dem vollständigen Ausbruche des Sees im Jahre 1913 stellt Fig. 3 dar.) Am untern Ende des Sees vermochte der Abfluss die Moräne zu durchbrechen; am Ostende tritt das durch den Ausbruch des Sees (1913) entstandene kleine Seebach-Delta deutlich hervor. (Siehe Tafel 44.) Die maximale Schlammsandschicht erreicht eine Höhe von 1.68 m. Die Ablagerung von Sedimenten ist deshalb eine verhältnismässig sehr grosse, weil das alte Bett des Seebaches durch vieljährige Schlammablagerungen teilweise zugedeckt war. Ein Teil des Schlammes vermochte der Bach mitzureissen, musste ihn aber beim Seeanfang, wo die Bewegung aufhört, wieder liegen lassen.

Sowohl der Vordersee als der Moränensee sind Rundhöckerseen. Die abtragende Einwirkung des Gletschers (Vor- und Rückwärtsbewegung) auf den Boden hat die beiden kleinen Becken des Moränen- und Vordersees entstehen lassen. Als der Gletscher zum Stillstand kam, liess er das von ihm bis dahin vorgeschobene Material liegen. Die Entstehung der einzelnen Tümpel zwischen dem Vordersee und dem Hintersee sind dem reichlichen Absatz von Alluvion zuzuschreiben.

Leider sind alle Querriegel, die diesen See charakterisieren, ebenso die zwischen denselben liegenden Becken, die meist in ihrem Kern aus anstehendem Fels bestehen, mit Moränenschutt und Verwitterungsprodukten mehr oder weniger zugedeckt. Auch der Märjelsee wird nach und nach, wenigstens solange kein kräftiger Vorstoss des Gletschers das Material wieder vorwärts schiebt, einer teilweisen Zuschüttung anheim fallen. Die ganze Oberfläche dieses Talkessels, soweit sie mit der Luft und mit Wasser in Berührung kommt, ist den grössten Temperaturschwankungen ausgesetzt. Verwitterungs- und Abspülungsprozesse wirken ausgleichend. Das kompakte Urgestein wird mit den Verwitterungs- und Ab- und Anschwemmungsprodukten überdeckt.

Denken wir uns aber den Zustand so, wie er gleich nach dem Schwinden des Eises bestanden hatte, so würde der felsige Charakter des Untergrundes deutlich zu Tage treten.

Fragen wir nach der Entstehung dieser Talriegel und der mit diesen in Beziehung stehenden einzelnen Becken, so beweisen uns die vielen im Becken des Sees und im Bereiche seiner Umgebung sich vorfindenden Gletscherschliffe zur Genüge, was wir übrigens eingangs schon erwähnt haben, dass das Becken, das den See auffüllt, in frühern Zeiten von einem Arm des Grossen Aletschgletschers ausgehöhlt worden ist.

Das Tal der Märjelenalp verdankt seine heutige Gestalt in erster Linie der Erosion des fliessenden Wassers und der Verwitterung vor der Eiszeit, hernach der abwechselnden Erosion durch Wasser und Eis in den einzelnen Glazial- und Inter-

glazialzeiten. Selbstverständlich muss man sich, um die erodierende Wirkung des Wassers, sei es nun in flüssiger oder fester Form, zu verstehen, genügend lange Perioden vorstellen und namentlich in Erwägung ziehen, dass mächtige Ströme und Gletscher ihren Untergrund viel intensiver angreifen als die kleinen der Gegenwart. Die Terrassierung auf der rechten Seite des Fieschertales bis hinauf zum Eggishorn, ebenso die korrespondierende an der gegenüberliegenden Talseite hat Prof. Dr. Hans Hess<sup>1</sup> einer genauen Prüfung unterzogen.

Er vertritt hiebei die Ansicht, dass die Entstehung der vier nachweisbaren, ineinander liegenden Tröge mit aller Bestimmtheit dartun, dass mit dem gleichen Rechte, mit dem die Ausbildung des untersten Taltroges als Produkt glazialer Erosion betrachtet wird, auch die höher gelegenen Tröge als glaziale Bildungen angesehen werden dürfen. Da die Talbildung genau in der Höhe der Schlifffgrenze einsetzt, so zieht Hess als notwendige Folge den Schluss, dass die präglaziale Alpenoberfläche in der obern Eisstromgrenze liegt. Der Verfasser hat die Talformen des Fiescher- und Märjelen-Tales genau verfolgt. Seine Anschauungen sind nur eine Bestätigung dessen, was Hess gesehen.

Was für ein Aussehen das Tal der Märjelenalp in den einzelnen Glazial- und Interglazialzeiten hatte, soll hier nicht näher untersucht werden.

---

<sup>1</sup> 1. *Die präglaziale Alpenoberfläche*. Dr. A. PETERMANN'S Mitteilungen, 59. Jahrgang, 1913, Juni-Heft.  
2. PENCK und BRÜCKNER. *Die Alpen im Eiszeitalter*.

### III. KAPITEL.

## Die Eiswand des Grossen Aletschgletschers gegen den Märjelensee.

Der Märjelensee bildet mit seiner imposanten, mehr als 500 m langen Eisbarriere und seinen schwimmenden Eisbergen, die vom Winde hin und her bewegt werden, ein kleines schweizerisches Grönland.

Formen, die ihre Entstehung in erster Linie den abtragenden Kräften, also vornehmlich der Auflösung durch Wasser, Luft und dem Einflusse der direkten Sonnenstrahlung verdanken, entfalten sich an der Absturzwand des Grossen Aletschgletschers gegen den See in glanzvollster Weise. Die Arbeit des Wassers wird, sobald sich der See entleert, unterstützt durch die auflösende Wirkung der Luft. Die durch sie ausgeschmolzenen Eisflächen zeigen immer konkave, glatte Vertiefungen, die in Kanten wellenförmig aneinanderstossen. Viele vom Wasser gebildete Formen werden durch sie erweitert, andere zerstört, wieder andere neu gebildet.

#### Horizontale Linien.

Betrachten wir den Steilrand des Aletschgletschers gegen den Märjelensee (siehe Tafel 42), wie er sich dem Auge 4 Tage nach dem vollständigen Ausbruche des Sees Ende August 1913 darbot, etwas genauer, so fallen uns in erster Reihe zwei deutliche horizontale Linien auf. Die obere Linie repräsentiert den maximalen Stand des Sees im Jahre 1913 (Pegelstand 56,87 m 21. Juli 1913), die untere den minimalen im Winter 1912/1913 (Pegelstand 40,79 m 16. Januar 1913). Die Entstehung dieser fussbreiten Furchen ist der Wasserbewegung und dem Einflusse der zugeführten Wärme zuzuschreiben.

#### Senkrechte Rillen.

Die senkrechten, deutlich hervortretenden Rillen, die ihren Anfang am obersten Rand des unter Wasser liegenden Teils nehmen, sind dem niederrieselnden

Schmelzwasser des Gletschers zuzuschreiben. Der Verfasser hat diese Rinnen oftmals entstehen sehen. Finsterwalder und Lagally<sup>1</sup> beobachteten solche kannelierte Eisflächen im Jahre 1890 im abgelaufenen Staubecken hinter dem Zufallferner im Martelltal. Sie führen die Entstehung dieser Rillen auf Zirkulationsströmungen an den Wänden des Sees zurück. J. P. Koch und A. Wegener haben die nämliche Erscheinung allerdings in zehnfachem Masstabe (mit Rillen bis zu 1 m Breite) am Imer-Nuatak in Ostgrönland ebenfalls in einem abgelaufenen Eissee entdeckt, jedoch der Faltung der Eiswand durch seitliches Zusammenpressen gedeutet. *Die Entstehung der Rillen am Märjelensee durch Wassererosion ist dagegen unumstössliche Tatsache.* (Siehe Tafeln 32, 36 und 38.)

### Kalbung.

Die Zunge des Gletschers schreitet ständig in das Becken des Sees vor. Das Wasser des Sees bearbeitet, unterspült infolge seines Wärmegehaltes und der durch den Wind und die Gletschereinbrüche verursachten Wellenbildung fast ununterbrochen die stellenweise bis 80 m hohe Gletscherstirne. Sie stösst deshalb von Zeit zu Zeit kleinere und grössere Eisstücke von sich. Das Lostrennen solcher Eisblöcke wird « Kalbung » genannt; man sagt « der Gletscher kalbt ». Die Ursachen des Niedersturzes und der Trennung sind verschiedene. Der Verfasser hat am Märjelensee 2 verschiedene Arten von Kalbungen beobachten können.

#### 1. Kalbung durch Niedersturz.

Die Hauptursache des Loslösens der Eisberge ist der Schmelztätigkeit des Seewassers zuzuschreiben. Das Wasser des Sees löst den Fuss der Eiswand hauptsächlich in der Wärmeperiode auf, so dass nach und nach ein Teil der Gletscherwand überhängend wird. Wird der Druck des überhängenden Eisteiles so gross, dass seine Stützpunkte ihn nicht mehr zu tragen vermögen, so fällt er unter Krachen in den See und verursacht eine Unmasse von kleineren Nachstürzen. Die Lostrennung wird häufig durch Auslösung von Spannungen, die durch die Bewegung des Gletschers hervorgerufen werden, unterstützt. Das Niederstürzen von Eisbergen erfolgt gewöhnlich längs einer Spalte. Am häufigsten findet dies in den frühen Morgenstunden statt, was in erster Linie der reinen Sonnenstrahlung, zu welcher noch die durch die Berghänge reflektierte hinzukommt, zuzuschreiben ist. Sie wirkt infolge der geringen Absorption in den höheren Luftschichten viel intensiver. Ein allmähliches Neigen der Gletscherteile vor ihrem Einsturze gegen den See hin

<sup>1</sup> FINSTERWALDER UND LAGALLI, M. *Die Neuvermessung des Südfeners 1906 und dessen Veränderungen in den letzten Jahrzehnten.* S. 175, in Zeitschrift für Gletscherkunde, Band VII, Heft 3, 1913, Berlin, 1913.

tritt häufig ein. Als Beispiel dieser Art von Kalbung sei der am 25. August 1909 von der Mitte der Eiswand gegen das Eggishorn zu sich auf einmal lösende Eisberg von mehr als 80 m Länge und circa 3 m Tiefe und durchschnittlich 4 m Höhe erwähnt.

## 2. *Kalbung durch Auftrieb.*

Währenddessen die Kalbung durch Niedersturz in den Sommermonaten jeden Tag oftmals beobachtet werden kann, ist diejenige durch Auftrieb eine seltenere. Die Wirkung des Wärmegehaltes des Wassers auf die ungleiche Struktur der einzelnen Eisschichten ist eine sehr ungleiche (treppenförmige Ausfressungen). Die Auswaschungen verursachen deshalb in verschiedener Höhenlage Abbrüche und zwar in der Weise, dass der untere Teil des betreffenden Gletscherteiles nicht völlig losbricht, sondern sich vom Hauptkörper nur etwas lockert. Auftrieb und Bewegung lösen schliesslich auch diesen Eisfuss aus seinem Zusammenhange mit der Gletscherzunge auf und urplötzlich präsentiert sich ein solcher Eisblock in tiefblauem Kleide unserm Auge.

Eine ähnliche Kalbung durch Auftrieb ist diejenige, wie sie uns die photographische Reproduktion auf Tafel 28 deutlich vor Augen führt. Am Fusse des Strahlhornes hat sich am 28. September 1909 eine gewaltige Eismasse von circa 60 m Länge, begleitet von donnerähnlichem Getöse vom Gletscher gelöst. Die Oberfläche des Seespiegels vor dem Abbruche ist auf Tafel 28 noch gut sichtbar. Die Ursache dieser Kalbung ist in erster Linie dem Auftriebe zuzuschreiben. In zweiter Linie spielt auch die Vorwärtsbewegung des Gletschers eine Rolle. Wie aus der photographischen Aufnahme deutlich hervorgeht, befindet sich das abgestossene Eisstück in unmittelbarer Nähe des steilen Felshanges des Strahlhornes. Der schon bedeutend unterfressene Gletscherteil stösst vermöge der Vorwärtsbewegung des Gletschers an die steile Felswand an und hilft der auftreibenden Kraft, die Trennung vom Hauptgletscher zu beschleunigen.

## *Durch Kalbung verursachte Wellenbildung.*

Je nach der Grösse des Eisberges und der Lage der Abbruchstelle verursacht die Kalbung mehr oder weniger bedeutende Wellen, die, an Hand der durchgeführten Beobachtungen, eine maximale Höhe von 4.85 m (22. X. 1908) über dem Seeniveau erreichten. Am 25. Juli 1911 wurde der Verfasser mit seinem Führer von einer solchen Flutwelle, am Ufer des Sees bei der Pegelgruppe arbeitend, überrascht. Da es aussichtslos schien dieser Flutwelle zu entgehen, legten wir uns flach auf den Boden. Die Welle ging hoch über uns her, glücklicherweise nur leichte Schürfungen an Händen und Füßen verursachend.

### Eishölen.

Die Eiswand wird fortwährend unterwaschen. Das Wasser dringt in jede Spalte ein und erweitert sie. Diese Erscheinung, die nach jedem Ausbruche durch das Vorhandensein gewaltiger und tiefer Höhlen in der Eiswand in teilweise wirksamster Weise zum Ausdrucke kommt (siehe Tafel 36), erklärt sich durch Zirkulationsströmungen an den Wänden des Sees. Das bei 0° leichtere Schmelzwasser steigt in die Höhe, erwärmt sich an der Oberfläche durch die Sonnenstrahlung und durch das in die einzelnen Spalten eindringende Ablationswasser u. s. w. um dann schwerer geworden wieder in die Tiefe zu sinken.

### Schmelzlöcher.

Die Schmelzlöcher unterscheiden sich von den Eishölen durch ihre Form und die Art ihrer Entstehung.

Durch die Bewegung und das Kalben des Gletschers und durch den Wind, wird von Zeit zu Zeit Moränenmaterial (Seiten-Mittel- und Innenmoränen) auf die Absturzwand befördert. Infolge der stärkern Absorption der Sonnenstrahlen vermögen die einzelnen, gewöhnlich dunkler als das Eis gefärbten Partikelchen, kleineren und grösseren Steine Schmelzwannen in allen Dimensionen zu bilden, die ihre Tiefe ständig wechseln. Durch die Ablation treten die versunkenen Steine wieder ans Sonnenlicht, um aufs neue an der Vertiefung zu arbeiten.

### Mulden.

Eine weitere Erscheinung ist das Auftreten der über sämtliche Eisflächen in reichlicher Zahl verteilten kleineren und grösseren Mulden, die ihre Entstehung der Sonnenstrahlung und dem Winde verdanken, welche die ungleichmässige geschichtete Anhäufung überlagernden Eismassen<sup>1</sup>, die schwimmenden oder am Strande liegen gebliebenen Eisberge in verschieden starker Weise angreift.

### Treppenförmige Ausfressungen.

In der Mitte der Gletscherwand (1913) präsentieren sich in geradezu glänzender Gestalt treppenförmige Ausfressungen. Sie bilden die Form eines Kreises.

<sup>1</sup> WORKMAN, W. H. misst, an Hand seiner interessanten Studien: « *Nieve Penitente and Allied Formations in Himalaya, or Surface-Forms of Nève and Ice created or modelled by Melting* », Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. VIII, Heft 5, Sept. 1914, Berlin, bei der Bildung solcher Mulden, die unter sich oft von einem mehr oder weniger deutlichen Netz von Kämmen umrahmt sind, den Druckwirkungen, denen die Firn- und Gletschermassen fortwährend ausgesetzt sind, grosse Bedeutung bei.

Ihre Entstehung verdanken sie wieder dem Wärmegehalt des Wassers und seiner Einwirkung auf die verschiedene Struktur der einzelnen Eisschichten. Der Druck der überlagernden Schneeflächen kompromittiert die untere, treibt die Luft in den Poren des Schnees teilweise heraus und vergrößert so die Dichte derselben.

Es ist klar, dass die einzelnen Schichten schon im Firngebiet entstehen. Niederschlagsreiche Tage wechseln mit niederschlagsarmen ab. Namentlich bei schöner, warmer Witterung findet eine teilweise Schmelzung der Schneeoberfläche statt. Die Schneekristalle verkleinern sich und es entsteht, je nach der Dauer der niederschlagslosen Zeit, eine mehr oder weniger feste Eiskruste. Der Wind setzt häufig noch eine ganz dünne Schicht von feinem Verwitterungsstaub hinzu, so dass die einzelnen Schnee- und Eisschichten häufig durch eine solche von Staub von einander getrennt werden (siehe Tafel 42). Auf die oberste Schicht lagern sich die nachfolgenden Schneemassen. Sie bilden je nach der Intensität und der Dauer der



FIG. 4.

Niederschläge eine verschieden mächtige, neue Schicht. Die horizontale Schichtung dieser Eismassen ändert sich bei der Abwärtsbewegung nur wenig. Durch den ungleichen Druck, dem die verschieden tief gelagerten Eisschichten ausgesetzt sind, wird auch eine ungleiche Struktur der einzelnen Schichten herbeigeführt. Infolgedessen muss auch die Wirkung des an der Zerstörung des Eises arbeitenden Seewassers eine verschiedene sein und es entstehen unter Mitwirkung von thermischen Zirkulationsströmungen treppenförmige Ausfressungen (siehe Tafeln 36 und 42).

#### Lage und Formveränderung der Eisberge.

Der neu entstandene Eisberg schwankt oft lange hin und her, bis er sein Gleichgewicht gefunden hat. Vom Winde fortbewegt, wird er von den Wellen, von der

Sonne und der Luft angegriffen. Die Formenfülle der Eisberge ist infolge dessen eine unerschöpfliche (siehe Titelblatt und Tafeln 30, 36, 37 und 41). Nur in den seltensten Fällen bleibt der Eisberg in seiner ursprünglichen Lage stehen, meistens legt er sich auf die Seite. Schwimmt er schon längere Zeit auf dem See, so hat er seine ursprüngliche Gestalt vollständig gewechselt. Häufig kommt es vor, dass sich das Eisstück plötzlich nach der Seite neigt oder in tausende von kleinen Stücken zerfällt.

Betrachten wir ein Beispiel wie diese zerstörenden Kräfte ihre Aufgabe erfüllen (Fig. 4) und beleuchten kurz die Entstehungsweise dieses Eisberges. Der Niedersturz des Eisblockes sei durch Auflösung des Fusses hervorgerufen worden. Der neugebildete Eisberg legt sich nach und nach in seine Gleichgewichtslage, d. h. so, dass sich in der Regel der kleinste Durchmesser vertikal einstellt. Die allmähliche Schmelzung in Luft und Wasser beginnt. Der über Wasser befindliche Teil verhält sich vermöge des spez. Gewichtes des Wassers zu dem untergetauchten (je nach dem Luftgehalt des Eises) wie 1 : 9. Der Angriffspunkt der zerstörenden Kräfte ist infolge des Wellenschlages, welcher zur Bildung der vorliegenden Gestalt hauptsächlich ausschlaggebend ist, an der Oberfläche des Sees am grössten. Infolgedessen entstehen rings um den Eisberg herum Hohlkehlen. Die ungleiche Beschaffenheit (Struktur) des Eises ermöglicht eine Trennung des über Wasser liegenden Teiles in 3 Stücke. Dadurch wird die Angriffsfläche für den Wellenschlag vergrössert. Gleichzeitig sorgt der Wärmegehalt des Seewassers dafür, dass auch der unterseeische Teil an Volumen verliert, jedoch nicht in dem Masse, wie der über der Seefläche liegende. Die Folge hievon ist ein langsames Aufsteigen des Eisberges. Die zerstörende Wirkung des Wellenschlages geht auf tiefer liegende Teile des Eisberges über. Schreitet die Zerstörung noch weiter vorwärts, so bilden sich nach und nach immer höhere Eisfüsse, auf denen solch pilzähnliche Hüte ruhen, wie sie in Figur 5 dargestellt sind. Durch Abbrechen eines Stückes erhält der Eisblock eine andere Lage. Wellenschlag, Sonne und Luft wirken, wenigstens teilweise, auf andere neue Flächen zerstörend ein. Die Form des Blockes wird dadurch vollständig geändert.

Der Zerstörungsprozess eines, infolge Ausbruchs des Sees gestrandeten Eisberges, ist natürlich ein wesentlich verschiedener und in der Regel rascherer. Die Formenfülle ist keine so reichhaltige mehr, weil gerade die ungemein formenbildende Wirkung des Wellenschlages wegfällt.

### Spaltenbildung.

Die Spaltenbildung im Bereiche der Gletscherwand ist eine ungemein reichhaltige. Ihre Zahl nimmt vom Fusse des Strahlhornes bis über die Mitte der Gletscherwand hinaus zu, um gegen das Eggishorn hin fast gänzlich zu verschwinden. Der Grund, weshalb am Fusse des Eggishornes fast keine Spalten gegen den See



auftreten, ist der Strömungsrichtung des Hauptgletschers zuzuschreiben; die Längspalten des Gletschers laufen parallel der Absturzwand. Im mittleren Teile sind Längs- und Querspalten am grossartigsten ausgebildet. Nach jeder Absenkung des Sees oder nach jedem Ausbruche, zeigen sich die kleinsten Spalten so gross, als ob wir sie durch ein Vergrösserungsglas erblicken würden. Die Arbeit des Wassers hat hier auch den kleinsten Riss dem Auge zugänglich gemacht. Ueber die Tiefe der Spalten gibt uns die blosgelagte Eiswand des Jahres 1913 Aufschlüsse. (Siehe Tafel 42.) Der Ausbruch des Sees Ende Juli 1913 wurde veranlasst durch die Bildung einer Grundspalte. Leider war es dem Verfasser nicht möglich, diese Spalte photographisch festzuhalten, ungeheure Eisblöcke verhinderten eine zweckdienliche Aufnahme. Die Spalte konnte vom tiefsten Punkt (Cote 2277,0) bis an die Oberfläche (Cote 2358,0) verfolgt werden. Ihre Höhe betrug somit rund 8 m. Die Breite der Spalte wahr sehr klein, höchstens 15 cm am Fusse, oben kaum 2 cm.

### Ueberlaufschwelle.

Am Schlusse dieser Ausführungen wollen wir uns nun noch den Vorgang klarlegen, wie sich der See verhält, wenn er den niedrigsten Punkt des Gletschers am Fusse des Eggishornes erreicht. Auf alle Fälle wird der See nicht höher steigen als der niedrigste Punkt im Längs- und Querschnitt des Gletschers. Diese Ueberfallsschwelle wird in der Regel durch eine Randspalte gebildet. Der höchste Punkt der Randspalte repräsentiert den Kulminationspunkt; die Höhenlage desselben ist somit tiefer als diejenige des Gletscherrandes. Der Verfasser hat ein Ueberfliessen des Sees über die Gletscheroberfläche an dieser Stelle noch nie beobachten können.

Der Felshang des Eggishornes verursacht Wellenbildungen auf der Gletscheroberfläche, und zwar in der Weise, dass sich der Eisstrom gegen das Hindernis aufbäumt und unmittelbar am Rande eine Welle wirft. Der Gletscherrand bildet den Wellenberg, die anschliessende Mulde das Wellental. Der südliche Gletscherrand bildet somit nicht in allen Fällen den tiefsten Punkt eines Querprofils der Gletscherzunge.

Eine genaue topographische Aufnahme des Ueberlaufgebietes, das den Namen « Kühle Ecke » trägt, findet sich auf Tafel 7 dargestellt. Vom Fixpunkt  $\odot$  636 sind strahlenförmig die beiden Querprofile A und B (Fig. 1 und 2) und durch Punkt C parallel zu Profil B, Profil C (Fig. 3) aufgenommen worden. Anschliessend an Punkt C gelangte ferner noch das Querprofil D (Fig. 4) einer Randspalte mit dem ausbrechenden Wasser des Märjelensees vom 28. September 1909 zur Durchführung. Fig. 5 stellt das Längenprofil des linksufrigen Randes des Grossen Aletschgletschers während der Absenkung des Sees im September 1909 dar.

Der tiefste Punkt (B) der Ueberlaufstelle (Zustand 28. August 1909) liegt in einer Höhe von 2347,82 m. In der gleichen Höhe liegt der Gletscherrand im nämlichen Profil C. Der Gletscherrand ist an dieser Stelle fest mit dem felsigen Boden

verbunden. Der Zufall will also, dass wir am 28. August 1909 zwei Kulminationspunkte besitzen. Trotzdem hat das Wasser des Sees einen subglazialen Weg eingeschlagen. Sein Wärmegehalt bahnte ihm einen Weg unter dem Gletscherrand. Der See konnte sich entleeren, ohne den oberirdischen Kulminationspunkt erreicht zu haben. Infolge der rückstrahlenden Wärme, die von den Uferwänden ausgeht, ist die Abschmelzung am Rande besonders stark und verursacht die soeben erwähnten Randspalten. Wo die Oberfläche mit Schutt bedeckt ist oder an Schattenstellen, wirken die schmelzenden Faktoren schwächer, mit andern Worten, die Bildung einer Randspalte ist dort verunmöglicht.

Ueber die Entstehung des auf dem Aletschgletscher zwischen Hm 2,91 und 3,72 befindlichen kleinen Sees (Tafel 7, Figur 8) und der auf den Tafeln 39 und 40 photographisch wiedergegebenen offenen Grabens, werden wir an anderer Stelle berichten.

## IV. KAPITEL.

### Pegel-Anlage.

#### Allgemeines.

Die Niveauschwankungen eines Sees lassen sich am besten an zweckmässig eingerichteten Pegeln beobachten und studieren. Die Beobachtungen müssen natürlich gewissenhaft und systematisch vorgenommen werden und sich auf einen möglichst langen Zeitraum erstrecken. Um aus einer Pegelbeobachtung die absolute Höhe des Wasserstandes abzuleiten, ist die absolute Höhe des Pegelnullpunktes in Rechnung zu stellen. Es ist deshalb notwendig diesen Pegelnullpunkt an die nächstgelegenen Fixpunkte eines durchgehenden Präzisions-Nivellements anzuschliessen und in gewissen Intervallen auf seine unveränderliche Lage zu prüfen. Genügende Höhenversicherungen, die jeweilen an solchen Stellen anzulegen sind, wo lokale Senkungen gänzlich ausgeschlossen erscheinen, sollen Gewähr bieten für ein unanfechtbares Beobachtungsmaterial. Dadurch wird auch die Arbeit für allgemeine, wissenschaftliche und technische Zwecke verwendbar.

#### Nivellement-Horizont.

Im Jahre 1891 erschien als Abschluss die 10. Lieferung des Werkes « Nivellement de précision de la Suisse, exécuté par la commission Géodésique fédérale, sous la direction de A. Hirsch et E. Plantamour ».

Um die Fixpunkte dieses Präzisionsnivellements dem Lande möglichst zu erhalten (eine Rekognoszierung hatte sehr ungünstige Resultate ergeben), nahm das eidg. topographische Bureau (jetzt Landestopographie) im Jahre 1893 die sofortige Ausführung eines Versicherungsnivellements in sein Arbeitsprogramm auf. Die Resultate dieses Versicherungsnivellements sind in den Jahren 1894-1907 in 17 Lieferungen unter dem Titel: « Die Höhenfixpunkte des schweizerischen Präzisionsnivellements » erschienen und bilden noch heute die Grundlage für

sämtliche Höhen der schweiz. Kartenwerke. An der Konferenz der internationalen Erdmessung in Florenz 1891 ist auf Antrag von Direktor Helmert beschlossen worden, es sei in Anbetracht der den Nivellements zu Grunde liegenden grossen systematischen Fehlern von der Wahl eines gemeinsamen Nullpunktes der Höhen abzusehen. Den einzelnen Staaten wurde die Einführung von Landeshorizonten freigestellt. Infolge von neueren, genaueren Messungen konnte der Nachweis erbracht werden, dass heute zwischen den verschiedenen Meeren, nicht wie früher angenommen wurde, Unterschiede bis über 1 m bestehen, sondern dass sich dieselben innerhalb den Beträgen von wenigen Dezimetern bewegen. Für die Schweiz bestanden somit keine Gründe mehr, mit der *Bereinigung ihrer Nivellement-Nullpunktsfrage* länger zuzuwarten.

Die Abteilung für Landestopographie des schweizerischen Militärdepartements beauftragte deshalb im Jahre 1901 den leider allzu früh verstorbenen, ausgezeichneten Ingenieur Dr. J. Hilfiker, unsern Pionier für Präzisionsnivellement, mit der Untersuchung der Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont. Die Schrift betitelt: « Untersuchung der Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont » schliesst mit dem Antrage:

« Als Ausgangspunkt des schweizerischen Höhennetzes wird das Mittelwasser des Mittelländischen Meeres im Hafen von Marseille eingeführt, das mit Abschluss der Mareographenangaben vom 1. Januar 1900 um elf mm über « zéro normal du nivellement général de la France » liegt. Demgemäss wurde die absolute Höhe von N. F. Pierre du Niton auf 373,6 m festgesetzt. Dieser Antrag wurde zum Beschlusse erhoben.

Das im Jahre 1903 neu begonnene Präzisionsnivellement bezieht seine Coten auf den neuen Horizont. Da die Resultate dieses Nivellements und die neuen topogr. Karten erst nach vollständiger Durchführung des Gesamtpolygonnetzes der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden kann, ist von einer Berücksichtigung des neuen Nivellementhorizontes für vorliegende Arbeit Umgang genommen worden.

Sämtliche Höhenbestimmungen stützen sich deshalb auf die entsprechenden Angaben des durch die Abteilung für Landestopographie des schweizerischen Militärdepartements in den Jahren 1894-1907 herausgegebenen Werkes: « Die Höhenfixpunkte des schweizerischen Präzisionsnivellements. »

Die in Betracht fallenden Höhenfixpunkte finden sich im Hefte 12. Dabei sind, wie es in allen bisherigen schweizerischen offiziellen Kartenwerken zu geschehen pflegt, alle Höhen auf den Horizont der Bronzeplatte bezogen, die General Dufour im Jahre 1820 in den « Pierre du Niton », einem eratischen Blocke im Hafen von Genf eingelassen hat. Der Hauptfixpunkt NF. R. P. N. ist mit einer Höhe von 376.860 m über Meer adoptiert worden. Von einer Anwendung der orthometrischen Korrektion wurde bei der Herausgabe der soeben erwähnten Publikation Umgang genommen.

### Erstellung des Pegels.

Im Interesse einer möglichst vollständigen Untersuchung der Niveauschwankungen des Sees war es unbedingt notwendig den Pegel in seiner Höhenlage einerseits nach oben bis mindestens auf das Niveau des Absenkungstollens am Ende des Vordersees, anderseits nach unten so weit als möglich auszudehnen. Trotzdem die Aufstellung eines Schreibpegels (Limnigraphen) in Hinsicht auf die ungewöhnlich grossen Anschwellungen (Schneesmelze und Niederschläge) und Absenkungen (Ausbrüche) unzweifelhaft wertvolle Dienste geleistet hätte, musste der ungewöhnlich grossen Kosten wegen von vornherein darauf verzichtet werden.

Ein am 23. und 24. September 1908 provisorisch ausgeführtes Nivellement ergab zwischen der Wasserspiegelhöhe des Hintersees vom 24. September und der Einlaufschwelle des Portals des Absenkungstollens eine Höhendifferenz von 29.25 m. Die grösste Tiefe des Märjelensees ist am 5. Oktober 1908 durch Lotungen mit 29.18 m aufgefunden worden. Die Lotungen wurden von der Oberkante der 16 m hohen Eiswand bewerkstelligt und diese Tiefe ungefähr in der Mitte der Gletscherwand festgestellt. Um negative Ablesungen an der Pegelskala möglichst zu vermeiden, wurde die Pegelskala so gewählt, dass dem tiefsten Seestande eine Ablesung von mindestens 0.00 m zukommt.

Der Pegel erhält somit nach seinem vollständigen Ausbau eine Höhe von 62 m.

Am nördlichen Ufer des Hintersees, am Fusse der Strahlhörner, in geschützten, lawinenfreien Lagen, treten in verschiedenen Abständen voneinander, aschgraue, grob und fein geschrammte, glatte Augengneis-Felsbänder zu Tage. Diese Felsbänder eigneten sich, Dank der verschiedenen Höhenlage, in der sie sich befinden, vorzüglich für eine gruppenweise Befestigung von Pegelteilstücken. So gut es die bestehenden Verhältnisse erlaubten, sind nun schiefe  $1\frac{1}{2}$  füssige und senkrechte, gusseiserne Pegelteilstücke, teilweise nach künstlich hergestellter Neigung (siehe Tafel 8), ferner Abstichbügel (Fig. 5), befestigt worden.

Die Pegelanlage zerfällt in 10 örtlich von einander getrennte Gruppen, nämlich in :

- Gruppe A* : Teilstrich 64.00—62.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe B* : Teilstrich 62.00—59.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe C* : Teilstrich 59.00—55.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe D* : Teilstrich 55.00—51.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe E* : Teilstrich 51.00—48.00 m, senkrechte Skala
- Gruppe F* : Teilstrich 48.00—40.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe G* : Teilstrich 40.00—37.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe H* : Teilstrich 37.00—34.00 m,  $1\frac{1}{2}$  füssige Skala
- Gruppe J* : Teilstrich 34.00—33.00 m, senkrechte Skala
- Gruppe K* : Teilstrich 33.00—17.00 m, für jeden Meter einen Abstichbügel.

### Erstellung der Pegelgruppen D, E, F, G, H und J.

Nachdem die notwendigsten provisorischen Höhenvermessungen vorgenommen waren, wurden vom ersten Arbeitstage an regelmässige Wasserstandsbeobachtungen durchgeführt. Dies war um so leichter möglich, als sich hart am Ufer ein grosser, senkrecht gegen den See abfallender Felsblock vorfand. Eine zweckmässig hergestellte und nivellierte Marke ermöglichte sorgfältige Abstichbeobachtungen. Die nächstliegende Aufgabe bestand dann darin, den Pegel von der Wasserspiegelhöhe des Sees aus soweit nach oben zu erstellen, als es die Witterungsverhältnisse im Herbst des Jahres 1908 erlaubten. Die Bauarbeiten begannen am 30. September 1908.

Um die Wasserspiegelschwankungen möglichst rasch am Pegel beobachten zu können, wurde Pegelgruppe H (Teilstrich 34.00—37.00 m, 1 1/2 füssige Skala) zuerst in Angriff genommen.

Die Breite der Einschnitte für die künstlich zu erstellende Neigung von 2 : 3 wurde zu 0.22 m bemessen. Die Tiefe derselben ging je nach der Neigung der Felsbänder bis zu 0.35 m.

Beim Versetzen der Pegelplatten ist strenge darauf geachtet worden, jede einzelne Platte satt auf die natürliche, entsprechend abgeglättete Felsunterlage aufzusetzen. Wäre andernfalls doch zu befürchten gewesen, dass durch den Druck des Eises im Winter oder durch das Gefrieren des Wassers in den Hohlräumen unter den Pegelplatten und der damit verbundenen Volumenzunahme, ein Zerbrechen der Platten hätte eintreten können.

Während der Bauperiode, nämlich in der Zeit vom 24. bis zum 29. September 1908, senkte sich der See um rund 0.80 m. Dieser für die Verlängerung des Pegels günstige Umstand wurde ausgenutzt und Pegelgruppe J (Teilstrich 33.00—34.00 m) mit senkrechter Skala, hergestellt. Gleichzeitig ist in unmittelbarer Nähe der Pegelgruppe J ein Eisendorn eingelassen worden, von dem aus Beobachtungen bis auf eine Pegelhöhe von 33.00 m vorgenommen werden konnten.

Die Ablesung des Wasserstandes an einem Pegel wird um so genauer ausfallen, je näher der Beobachter sich dem Pegel gegenüber aufstellen kann und je grösser der Sehwinkel ist, unter dem er die Beobachtungen vornehmen kann. Um beide Faktoren zu berücksichtigen, muss der Zugang zu den einzelnen Pegelskalen gefahrlos sein. Zu diesem Zwecke sind in Entfernungen von 0.30 m von den jeweiligen Oberkanten der Pegelgruppen eiserne Hacken im Felsen angebracht worden. An diesen Hacken lassen sich Seile befestigen, die ein sicheres Begehen der Felsbänder längs der Pegelskalen ermöglichen.

Am 24. Oktober 1908, um 4 Uhr nachmittags, nachdem glücklicherweise die Pegelgruppen D, E, F, G, H und J, somit eine Niveaudifferenz von 33.00 — 55.00 = 22.00 m umfassend, vollständig erstellt war, trat ein so heftiger Schneesturm

mit darauf folgender schlechter Witterung ein, dass die Arbeiten für das Jahr 1908 abgeschlossen werden mussten.

Erstellung der Pegelgruppen A, B und C.

Die Steinhauerarbeiten für die Pegelgruppen A, B und C (Teilstrich 55.00—64.00 m) sind am 21. August 1909 bei einer Seespiegelhöhe von 55.25 m (8 h 30 a) am Pegel wieder aufgenommen worden. Das Teilstück 55.00—56.00 m musste des hohen Seestandes wegen auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Die Platten für das Pegelteilstück 56.00—59.00 m wurden am 30. August, diejenigen

Details aus der Pegelgruppe K

Abstichbügel N<sup>o</sup> 22, 23 und 24 mit Fixpunkt 197

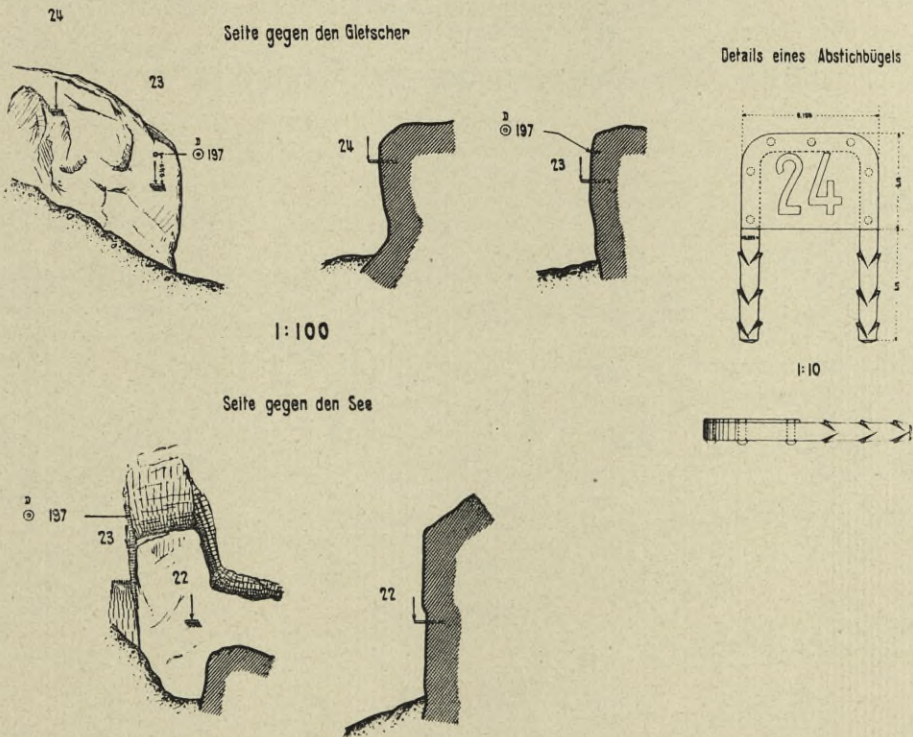


FIG. 5.

für das Teilstück 59.00—61.00 m am 1. November 1909 versetzt. Die Teilstücke 61.00—62.00 m und 62.00—64.00 m konnten dagegen erst am 6. November 1909 in die ihnen zukommende Lage gebracht werden. Am 25. September, nachdem sich der See genügend gesenkt hatte, wurde mit dem Ausspitzen für das noch fehlende

Teilstück 55.00—56.00 m begonnen. Die Versetzung der Platten erfolgte am 27. September 1909. Damit kamen die Pegelarbeiten, wenigstens was den mittleren und oberen Teil anbelangt, zum Abschlusse. Die Ausdehnung des Pegels am 27. September 1909 erstreckte sich von Teilstrich 33.00—64.00 m, mithin war es möglich am Pegel Niveauschwankungen von 31.00 m zu beobachten.

Seine Ausdehnung nach oben dürfte wohl für alle Zeiten genügen, indem die Differenz zwischen der Oberkante des Pegelstückes (62.00—64.00 m) mit 2353.22 m und der Sohlenhöhle des Tunnelportals (2352.73 m) einen Betrag von + 0.49 m erreicht.

#### Erstellung der Pegelgruppe K.

Aus dem Vorangehenden ist ersichtlich, dass die Erstellung der Pegelgruppen A bis J viel Zeit in Anspruch nahm. Aus diesem Grunde sind für den untern Teil nicht

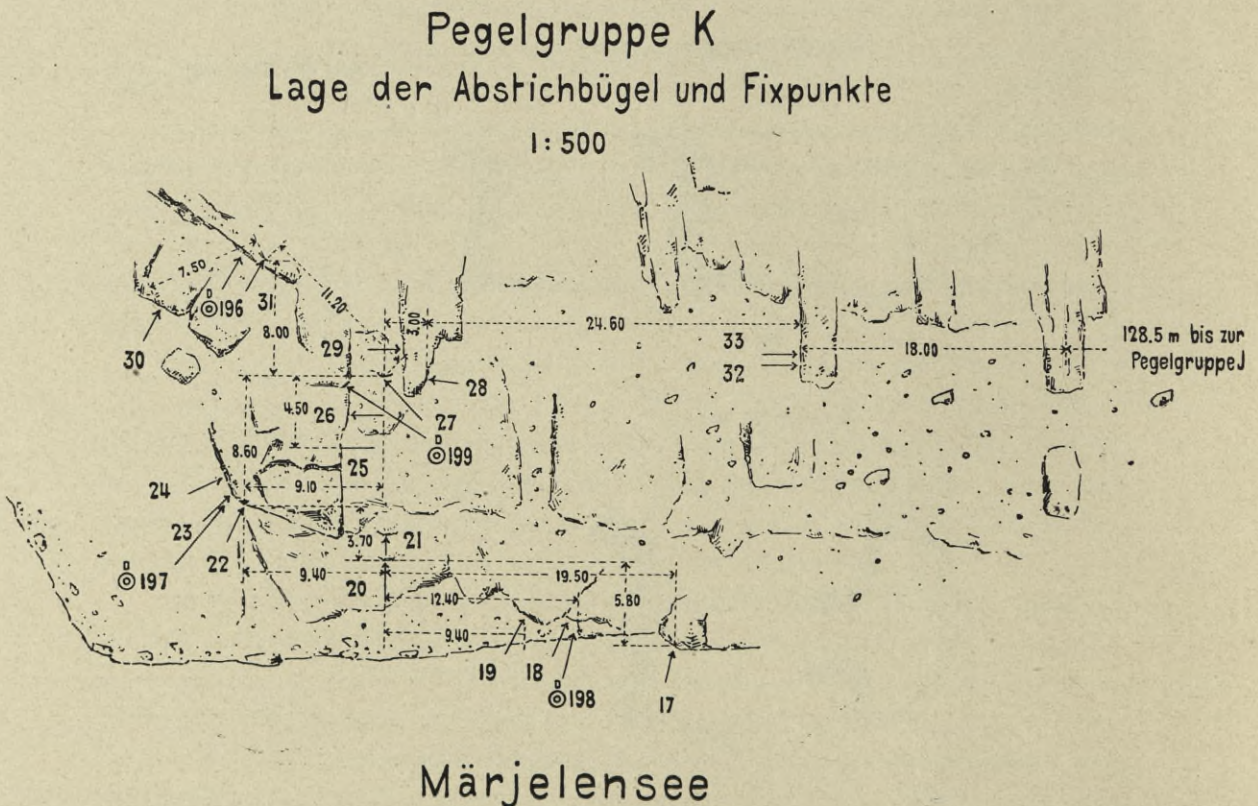


FIG. 6.

mehr Pegelplatten, sondern Abstichbügel in Höhenabständen von je einem Meter angebracht worden, die gestatten von einer ausgeprägten Kante aus, vermittelst eines Meterstabes die Seehöhe zu bestimmen. Diese Abstichbügel in Hufeisenform



(Details hievon finden sich auf Seite 37, Fig. 5 vor) sind mit Blechtafeln vernietet, welche die zugehörigen Höhezahlen eingestanz't tragen.

Durch den Ausbruch des Sees im Juli 1911 senkte sich der Wasserspiegel bis zur Pegelhöhe von 16.28 m. Dieser Seestand wurde für die Erweiterung des Pegels nach unten benutzt. In Entfernungen von 150 m bis 180 m westlich der Pegelgruppe J sind entsprechend der Neigung der vorhandenen Felsvorsprünge und Felsbänder 17 Abstichbügel (siehe Situationsplan auf Seite 38, Fig. 6) teilweise zerstreut, teilweise in Gruppen befestigt worden. Die Arbeiten konnten unter Zuhilfenahme zweier Steinhauer in 8 Tagen, vom 18. bis 25. August 1911, bewältigt werden, was im Vergleich zu der Erstellung der Pegelteilstücke in Gusseisenplatten einer ganz bedeutenden Ersparnis an Zeit und Geld gleichkommt. Diese Abstichbügel haben sich, so lange kein Schnee gefallen ist, ganz vorzüglich bewährt. Im Winter dagegen wird das Aufsuchen der einzelnen Abstichtafeln, auch mit Benützung eines Situationsplanes, sehr mühsam und beschwerlich, oft sogar unmöglich. Durch besondere Kennzeichen, wie hohe Eisenstangen, die vor Eintritt des Winters solid angebracht werden müssen, kann diesem Uebelstande begegnet werden.

## V. KAPITEL.

### Bestimmung der Nullpunktsote des Pegels am Märjelensee, in Verbindung mit der Aufnahme der Längenprofile des Fiescher- und Seebaches.

#### Allgemeines.

Als Nivellement-Ausgangspunkte fallen für das vorliegende Flussgebiet die nachstehenden Fixpunkte in der Gemeinde Fiesch in Betracht :

*Fiesch-Niederwald*, Felsblock an der Furkastrasse :

$$\odot 56 = 376.860 + 718.507 = 1095.367 \text{ m ü. M.}$$

*Fiesch*, Kirche : NF 165 = 376.860 + 691.283 = 1068.143 m ü. M.

*Fiesch*, « Hotel du Glacier et Poste » :

$$\oplus 758 = 376.860 + 679.321 = 1056.181 \text{ m ü. M.}$$

Für die Ausführung des Nivellements standen dem Verfasser zwei Wege offen, nämlich :

1. Der Saumweg von Fiesch über Fürnegarten, Hotel Jungfrau, Unter-Thälli, Märjelenalp bis zum See.
2. Von Fiesch längs des Fiescherbaches über den Fiescherboden nach Platten bis zum Fieschergletscher, dann längs des Seebaches über die Märjelenalp bis zum See.

Im Interesse der ganzen Arbeit war es von Wichtigkeit, gleichzeitig mit der Durchführung des Hauptnivellements auch die Aufnahme der Längenprofile des Fiescherbaches und Seebaches zu verbinden. Infolgedessen musste der Weg durch das Fieschertal (2) gewählt werden.

Besondere Sorgfalt wurde auf die Anlage eines guten Netzes von Höhen-Fixpunkten verwendet, nicht nur um allfällig später eintretende Veränderungen des Gefälles und der Sohle des Baches nachweisen zu können, sondern um die einmal bestimmten Höhengoten auch für andere Vermessungszwecke verwendbar zu machen.

Allgemein hat die Erfahrung gelehrt, dass trotz sorgfältigster Auswahl der Objekte, an denen Fixpunkte angebracht werden können, solche doch nach relativ kurzem Bestande, der Vernichtung anheimfallen. Die Ursache hievon liegt einerseits in der Ausführung zahlreicher Umbauten und Neuerstellungen, in der Anlage neuer und in der Veränderung alter Verkehrswege, andererseits in der böswilligen Beschädigung und Zerstörung.

In unserm Falle konnten die Fixpunkte fast ohne Ausnahme in gewachsenem Felsen plaziert werden. Die Gesamtzahl dieser Fixpunkte beträgt 45 und zwar sind sie auf die einzelnen Gewässerstrecken wie folgt verteilt worden :

Fiescherbach 17, Seebach 6, Vordersee 2, Hintersee 16, Aletschgletscher 4. Jeder Pegelgruppe wurden je nach den Verhältnissen 1-3 Fixpunkte zugeteilt. Hierbei wurde besonders darauf Gewicht gelegt, die Dispositionen so zu treffen, dass der Zeitaufwand für später notwendig werdende Kontrollnivelements auf ein Minimum beschränkt wird. Eine gute Versicherung der Gesamtpegelanlage in einer Ausdehnung wie sie der Märjelensee aufweist, hat daher grosse Dimensionen angenommen und zu einem ausgedehnten Netze geführt. Dasselbe erfüllt aber nicht nur den Hauptzweck, sondern leistet auch andern Vermessungsarbeiten, namentlich der Gletscherforschung, wertvolle Dienste.

Da beide Flussläufe ausschliesslich den Charakter von Gebirgsgewässern aufweisen, ist anlässlich der Aufnahme der Längenprofile auf eine Berücksichtigung des Beharrungszustandes in der Wasserführung verzichtet worden.

Soweit die Verhältnisse es erlaubten, wurde beim Fiescherbach je alle 50 m, beim Seebach je alle 25 m die Höhe des Wasserstandes eingemessen. Die Höhenbestimmungen wurden unter Benutzung eines Nivellierinstrumentes der ehemaligen geodätischen Kommission von Kern & Cie in Aarau bewerkstelligt. Das in seinen Lagern drehbare und vertauschbare Fernrohr besitzt einen Objektiv-Durchmesser von 29 mm, eine Objektiv-Brennweite von 32.5 cm und eine 24-fache Vergrösserung. Die Empfindlichkeit der auf den Fernrohringen aufsitzenden Libelle beträgt rund 20 Bogen-Sekunden auf 1 Teilstrich-Distanz von 2.256 mm. Das auf der Okularseite mit einer Elevationsschraube versehene Instrument, wurde während eines Arbeitstages mehrfach in üblicher Weise geprüft und nötigenfalls korrigiert. Die Nivellierlatte aus trockenem und gut gelagertem Tannenholz angefertigt, wurde ebenfalls von der vorhin genannten Firma angefertigt. Sie ist mit 2 Dosenlibellen ausgerüstet und besitzt ausser der üblichen Centimeter-Teilung noch eine solche in Millimetern. Mit Rücksicht auf die vielfach mit Postwagen und andern Fuhrwerken erfolgenden Transporte ist die Länge der Latte auf nur 3 m bemessen worden. Da

aber, abgesehen von Zeitverlust, im obern Tale des Fiescherbaches und namentlich längs des Seebaches mit einer solchen Länge nicht auszukommen war, ist die Mire mit einem 2 m langen Aufsatz versehen worden, der sich bei Nichtgebrauch auf der Rückseite der Latte befestigen liess und somit jederzeit zur Disposition stand. Der Genauigkeitsgrad des Nivellements wurde dadurch noch wesentlich erhöht, dass Vor- und Rückblick mit gleichen Visurlängen eingestellt wurden.

Nun hängt besonders im Gebirgsnivellement der Genauigkeitsgrad der Resultate noch ab von der Kenntnis der wahren Länge der verwendeten Messlatten. Die Länge der Mire ist hauptsächlich von der Temperatur und der Feuchtigkeit der Luft abhängig. Um den Änderungen in der Länge des Lattenmeters mit genügender Genauigkeit folgen zu können, wurden vermittelst eines Meterstahlstabes Vergleichsmessungen in kürzern Intervallen durchgeführt.

Der Stahlstab trägt an beiden Enden auf abgeschrägter Fläche eine Noniusteilung. Die Vergleichsmessungen ermöglichen auch Nivellements mit grossen Höhenunterschieden [der Höhenunterschied zwischen Fiesch ( $\oplus$  910 = 1047.884) und dem Märjensee ( $\oplus$  2006 = 2355.607) beträgt 1307.723 m] genau durchzuführen.

Der Stahlstab für die Mirenkontrolle im Feld, wurde am 29. Dezember 1907 mit dem 3 m Stab aus Bessemerstahl in H-form der eidg. Eichstätte verglichen. Direktor Dr. König hat dabei folgende Resultate gefunden :

$$\begin{aligned} \text{Länge des Stahlstabes bei } 18.25^{\circ} \text{ C} &= 999.936 \text{ mm} \\ &\text{bei } 0.00^{\circ} \text{ C} = 999.724 \text{ mm} \pm 2 \mu \end{aligned}$$

unter Annahme eines Ausdehnungskoeffizienten

$$\alpha = 0,000011534 + 0,00000000413.$$

(In Ermangelung des genau bekannten  $\alpha$  für den Stahlstab, wurde bei der Umrechnung auf  $0^{\circ}$  der Ausdehnungskoeffizient des 3 m Stabes der Eichstätte benutzt.)

Die für das Nivellement in Aussicht genommene Mire, wurde bereits im Mai und Juni einer Kontrolle unterworfen.

Die Resultate sind folgende :

$$\begin{aligned} 12. \text{ Mai } 1908 : 1 \text{ m der Mire} &= 1000.093 \text{ mm bei } 16.7^{\circ} \text{ C} \\ 11. \text{ Juli } 1908 : 1 \text{ m der Mire} &= 999.929 \text{ mm bei } 18.0^{\circ} \text{ C.} \end{aligned}$$

Um nun zu untersuchen, mit welcher Genauigkeit die Ableitung der Lattenkoeffizienten durch die Feldvergleiche eines Stahlstabes ausgeführt werden kann, erfolgte am 27. Juni 1909 eine Doppelvergleiche der Mire mit dem 3 m

Stab der Eichstätte (I) und dem Meterstab der Landeshydrographie (II). Die Resultate sind folgende :

I. Vergleichung mit dem 3 m Stab der  
Eichstätte : 1 m der Mire = 999.961 mm bei 15.5° C

II. Vergleichung mit dem Meterstab der  
Landeshydrographie : 1 m der Mire = 999.962 mm bei 15.5° C  
Differenz = 0.001 mm

Da die Teilungen der beiden Stahlstäbe nur eine Ablesung auf  $\frac{1}{100}$  mm zulassen, so herrscht vollständige Uebereinstimmung innerhalb der Unsicherheit der Ablesungen. Es geht daraus hervor, dass die in Rechnung gezogenen Lattenkoeffizienten dem wahren Werte sehr nahe kommen.

Das Nivellement dauerte, grössere Unterbrüche inbegriffen, von 25. September bis zum 18. November 1908. Während dieses Zeitraumes gelangten 7 Vergleichungen der Mire mit dem Stahlstabe zur Ausführung.

### Gang der Lattenkoeffizienten vom 25. Sept. - 18. Nov. 1908

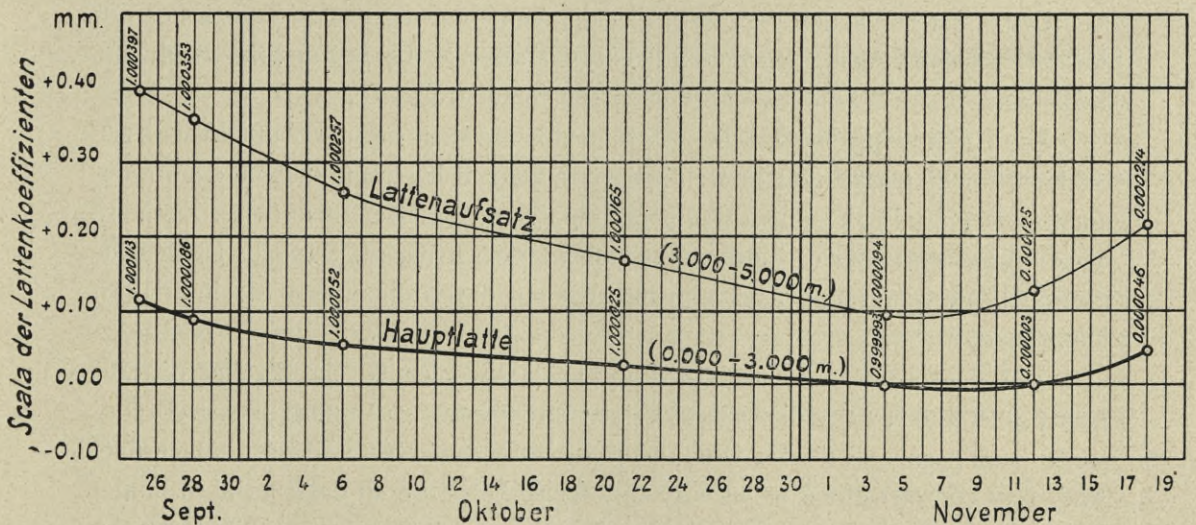


FIG. 7.

Aus obenstehender graphischer Darstellung ist ersichtlich, dass die Längenänderung sowohl bei der Hauptlatte, wie beim Lattenansatz sich in verhältnismässig engen Grenzen bewegt hat. Da die Querschnittfläche des Aufsatzes bedeutend kleiner ist, als diejenige der Hauptlatte, so dürfte der weit grössere Betrag

der Längenausdehnung des Aufsatzes nicht nur der Verschiedenheit der Holzstruktur, sondern namentlich auch der kleineren Querschnittfläche des Aufsatzes zuzuschreiben sein. Zu erwähnen ist noch, dass der Verlauf der beiden Kurven der Lattenkorrektur ein harmonischer ist. Die Berechnung der Nivellementsnoten ist derart durchgeführt worden, dass sowohl für die Hauptlatte, wie für den Ansatz die jeweilige Lattenkorrektur berechnet und für jede einzelne Umstellung in Rechnung gebracht wurde. Der maximale Betrag der Lattenkorrektur erreichte für Fixpunkt  $\oplus 2006 = 2355.607$  m ü. M. eine Höhe von 0.086 m.

Die Durchführung des Nivellements geschah in doppelter Weise. Der Aufnahme des Längenprofils des Fiescherbaches von seiner Einmündung in die Rhone (km 0.000) bis zur Vereinigung der beiden Quellbäche stellten sich keine besonderen Schwierigkeiten in den Weg. Dagegen zeichnet sich der rechte Quellarm von seiner Vereinigung mit dem linken Arm bis zur «Weissen Platte» durch ein sehr starkes Gefälle aus. Das Nivellement nahm bedeutend mehr Zeit in Anspruch, konnte aber verhältnismässig noch gut bewerkstelligt werden. Ganz bedeutende Hindernisse machten sich aber bei der Aufnahme des Längenprofils des linkseitigen Armes geltend. Unterhalb der «Hohen Brücke» (km 5.421) verengt sich das Tal zu einer tief eingeschnittenen Felskluft, die dem schäumenden Wasser nur gerade den nötigen Raum übrig lässt. Diese Stelle musste umgangen werden. Je weiter man gegen die mächtige Gletscherzunge vordringt, desto romantischer und enger wird das Tal. (Siehe Tafel 48.)

Ungemein gefährlich gestaltete sich die Aufnahme des letzten Teilstückes vor dem Gletschertor. Von allen Seiten fielen in Massen Steine in die wilde Schlucht, die sich durch die Wärme vom Gletscher losgelöst hatten.

Die Anwendung des Nivellierinstrumentes erschien bei der Aufnahme dieser Schlucht nicht mehr tunlich, weil unzugängliche Schluchten umgangen werden mussten und der Bach stellenweise ungewöhnlich grosses Gefälle aufwies. Zur Verwendung gelangte hier das sogenannte Höhenkreisinstrument. Dasselbe ist theodolitähnlich aufgebaut und nach unsern Angaben durch die Firma Streit in Bern konstruiert worden.

Das Instrument besteht in der Hauptsache aus einem durchschlagbaren Fernrohr von 12-facher Vergrößerung (Objektivdurchmesser = 24 mm, Objektiv-Brennweite = 22 cm), an dessen Drehaxe symmetrisch zwei Vertikalkreise angeordnet sind. Der eine derselben ist in normaler Weise befestigt, so dass bei horizontaler Lage des Fernrohres am betreffenden Nonius eine Ablesung von  $0^{\circ} 0'$  ergibt, während der andere Vertikalkreis ganz beliebig, aber dennoch fest mit der Axe verbunden ist. Der Durchmesser der Limbus jeder dieser Vertikalkreise beträgt 15 cm gemessen über den innern Limbusrand, beziehungsweise unter der sog. Teilungskante. Die Grundteilung ist in  $\frac{1}{2}$  Graden durchgeführt (sexagesimal); dabei können die Ablesungen an den Nonien auf 2 Minuten und die Schätzungen auf 1 Minute genau vorgenommen werden. Weiterhin gelangten zur Einmessung

von Wasserspiegel und Fixpunkthöhen eine 1.67 m hohe eiserne Visiere zur Verwendung, die aus 22 mm dicken und leichten Röhren angefertigt sind. Am oberen Ende derselben befindet sich eine 20 cm breite und 10 cm hohe Tafel, deren Oberkante jeweils anvisiert wird. Am untern Ende des Visiers ist eine solide Stahlspitze angebracht und 1.50 m unterhalb der oberen Visierkante ein Querstift befestigt. Ausserdem lässt sich an jedem Visiere, um dessen Vertikalstellung zu bewerkstelligen, eine Dosenlibelle anbringen. Bei der Höhenaufnahme werden, wenn immer möglich, die Visiere so aufgestellt, dass der Querstift mit dem Wasserspiegel übereinstimmt, andernfalls musste der Höhenunterschied zwischen der Visierkante und dem Wasserspiegel auf irgend eine Art und Weise besonders gemessen werden.

Was nun die Vornahme der Messung anbetrifft, so werden vorerst bei gewöhnlicher Fernrohrlage die Nonien der beiden Vertikalkreise sowohl für die talabwärts, als auch für die talaufwärts gerichtete Visur abgelesen, hernach das Fernrohr durchgeschlagen und die nämliche Operation wiederholt. Auf diese Weise ergeben sich für jeden einzelnen Höhenwinkel 4 gänzlich verschiedene Ablesungen, so dass ein Ablesungsfehler ausgeschlossen ist.

Zur Vornahme der Längenmessungen kamen 50 m lange Stahldrahtkabel mit Längsteilung zur Verwendung. Diese Methode der Längenmessung hat sich jedoch nicht bewährt. Im schwierigen Terrain ist es oft geradezu unmöglich den Messdraht so scharf zu spannen, dass der Fehler auf ein Minimum beschränkt bleibt. Sträucher, Bäume, grosse Steine, ungleiche Gefällsstrecken legen oft einer richtigen Messung so grosse Hindernisse in den Weg, dass der Genauigkeitsgrad dieser Messungsart in vielen Fällen ein sehr kleiner wird. Wir sind deshalb von dieser Messmethode in neuerer Zeit ganz abgekommen. Durch Ausrüstung des Höhenkreisinstrumentes mit einem Distanzenmesser 1 : 100 und durch Verlängerung der Tafeln am oberen Ende der Visiere und Anbringung einer zweckmässigen Teilung daselbst, erzielen wir Resultate, die im Vergleich zur alten Methode nicht nur bedeutend genauer sind, sondern auch ein viel rascheres Operieren auf dem Felde ermöglichen.

Die Aufnahme des Längenprofils des Seebaches erfolgte mit dem Nivellierinstrument. Nur eine kleine Felsschlucht, etwas oberhalb der Eimmündung desselben in den Fiescherbach, musste umgangen werden. Schneefall und Glatteis stellten der Vermessung bedeutende Schwierigkeiten entgegen. Der Zeitaufwand für dieses Teilstück war auch dementsprechend ein grosser.

Im Anschluss an die vorstehenden Erläuterungen geben wir nun noch in der Nachfolge ein vollständiges Verzeichnis der Höhenversicherungen längs der Strecke Fiesch-Fieschertal-Märjelenalp-Aletschgletscher.

## HÖHENVERSICHERUNGEN








in Fiesch, auf der Strecke Fiesch-Fieschertal-Märjelenalp,  
am Märjelensee und am Aletschgletscher.

BEZEICHNUNG DER PUNKTE	BESCHREIBUNG DER PUNKTE	COTEN m ü. M.	DATUM
<b>Fiesch.</b>			
⊙ 56	<i>Felsblock</i> an der Furkastrasse, ca. 600 m oberhalb Fiesch, 44 m unterhalb des Kilometersteins 19, am rechteitigen Strassenrand, Richtung Münster. Ausgangspunkt des Nivellements . . . . .	1095.367	
⊕ 910	<i>Felsen</i> am rechten Ufer des Fiescherbaches, ca. 10 m flusswärts von der Axe der gewölbten Brücke der Furkastrasse und 3,65 m über dem Pegel-Nullpunkt . . . . .	1047.884	24. III. 1899
	<i>Pegel der Schweiz. Landeshydrographie</i> am rechten Ufer des Fiescherbaches unterhalb der gewölbten Brücke der Furkastrasse (Pegel erstellt am 22. X. 1896).		
Pegel Ia	Oberer Teil (Teilstrich 3.00-5.00 m) Oberkante = Teilstrich 5.000 m . . . . .	1049.235	18. XI. 1908
	Nullpunkt	1044.235	18. XI. 1908
Pegel Ib	Unterer Teil (Teilstrich 2.00-3.00 m) Oberkante = Teilstrich 3.000 m . . . . .	1047.236	18. XI. 1908
	Nullpunkt	1044.236	18. XI. 1908
<b>Fieschertal.</b>			
<b>Wichel (Helmisboden).</b>			
⊙ 495	<i>Felspartie</i> am Fusse des linksufrigen Berghanges, bei der talaufwärts gelegenen Seite des Stalles zunächst des Wichelsteges . . . . .	1086.541	26. IX. 1908
⊙ 496	<i>Felsen</i> am Fusse des linksufrigen Berghanges, beim Stall zunächst des Wichelsteges, 38 m bachaufwärts von ⊙ 495	1087.794	26. IX. 1908
<b>Platten (« zur Flüh »).</b>			
⊙ 497	<i>Felspartie</i> am linken Ufer des Fiescherbaches, bei der Abzweigung der Wasserleitung nach Fiesch, 0,45 m über dem Boden . . . . .	1113.708	27. IX. 1908
⊙ 498	<i>Felspartie</i> am linken Ufer des Fiescherbaches, bei der Abzweigung der Wasserleitung nach Fiesch, 1,98 m über dem Boden und 34 m kanalaufwärts von ⊙ 497 . . . . .	1116.684	28. IX. 1908



BEZEICHNUNG DER PUNKTE	BESCHREIBUNG DER PUNKTE	COTEN m ü. M.	DATUM
<b>Wirbel.</b>			
⊙ 499	<i>Felsen</i> am linken Ufer des Fiescherbaches, beim Ausgang der Schlucht unterhalb der gewölbten steinernen Brücke, 1,28 m über dem Boden . . . . .	1136.626	27. IX. 1908
⊙ 500	<i>Felsen</i> am linken Ufer des Fiescherbaches, 60 m oberhalb der Säge und 0,56 m über dem Boden . . . . .	1162.195	27. IX. 1908
<b>Oberhalb Wirbel.</b>			
⊕ 2008	<i>Felspartie</i> , 15 m vom rechten Ufer des Fiescherbaches, 60 m oberhalb des Gehrensteges (Steinibachbrücke), 0,54 m über dem Boden . . . . .	1223.986	28. IX. 1908
⊕ 2009	<i>Felswand</i> , 5,8 m vom rechten Ufer des Fiescherbaches, 36 m unterhalb der Vereinigung der beiden Quellbäche .	1241.088	28. IX. 1908
<b>Unter Titer.</b>			
(Linker Quellarm des Fiescherbaches.)			
⊕ 2010	<i>Vorspringender Fels</i> , 6 m vom rechten Ufer des Fiescherbaches, 50 m oberhalb der Vereinigung der beiden Quellbäche	1246.947	28. IX. 1908
⊙ 532	<i>Felsen</i> , 7,8 m vom rechten Ufer des Fiescherbaches, 43 m bachaufwärts der « Hohen Brücke », 0,30 m über dem Boden . . . . .	1333.476 <sup>a</sup>	15. XI. 1908
⊙ 533	<i>Felsblock</i> , 7,8 m vom linken Ufer des Fiescherbaches, 12 m bachaufwärts der « Hohen Brücke », 0,25 m über dem Boden . . . . .	1333.86 <sup>a</sup>	16. XI. 1908
<b>Felsschlucht des linken Quellarmes des Fiescherbaches.</b>			
⊙ 534	<i>Felswand</i> am linken Ufer, 1,302 km oberhalb der Vereinigung der beiden Quellbäche, 0,55 m über dem Boden . .	1445.33 <sup>a</sup>	17. XI. 1908
⊙ 535	<i>Felswand</i> am linken Ufer, 1,413 km oberhalb der Vereinigung der beiden Quellbäche, 1,30 m über der Unterkante des Felsens . . . . .	1473.40 <sup>a</sup>	17. XI. 1908
<b>« Weisse Platte. »</b>			
(Rechter Quellarm des Fiescherbaches.)			
⊙ 529	<i>Grosser Felsblock</i> am rechten Ufer des Fiescherbaches, gegenüber der « Weissen Platte ». Bachseite 1,42 m über dem Boden . . . . .	1411.680	12. XI. 1908
<sup>a</sup> ) Die Coten der Fixpunkte ⊙ 532, ⊙ 533, ⊙ 534 und ⊙ 535 sind mit dem Höhenkreisinstrument bestimmt worden.			

BEZEICHNUNG DER PUNKTE	BESCHREIBUNG DER PUNKTE	COTEN m ü. M.	DATUM
⊙ 530	<i>Felspartie</i> (Gletscherschliff), 42 m vom linken Ufer des Fiescherbaches und 0,21 m über dem Boden . . . . .	1426.399	12. XI. 1908
⊙ 531	<i>Vorspringender Fels</i> am linken Ufer des Fiescherbaches, 7,5 m bachaufwärts der « Weissen Platte », 0,41 m über dem Boden . . . . .	1429.215	12. XI. 1908
<b>Seebach.</b>			
(« Rote Platte » am Ausgang der Schlucht.)			
⊕ 2014	<i>Felsen</i> am linken Ufer des Seebaches, bei km 0,293 und 0,63 m über dem Boden . . . . .	1654.556	11. XI. 1908
⊕ 2013	<i>Felsen</i> am linken Ufer des Seebaches, bei km 0,296 und 0,45 m über dem Boden . . . . .	1659.081	11. XI. 1908
<b>Seebach.</b>			
(Felschlucht beim « Mittleren Biel »)			
⊕ 2012	<i>Felsen</i> am linksufrigen Ende der Schlucht, 0,25 m über dem Boden . . . . .	2058.628	8. XI. 1908
<b>Märjelenalp.</b>			
⊕ 2005	<i>Felspartie</i> am linken Ufer des Seebaches, ca. 120 m unterhalb des Stollenausgangs, 37 m bachaufwärts einer Alphütte, 0,29 m über dem Boden . . . . .	2343.222	20. X. 1908
⊕ 2004	<i>Felspartie</i> , 50 m vom linken Ufer des Seebaches und 0,70 m bachaufwärts der obersten Alphütte, 0,46 m über dem Boden . . . . .	2356.017	20. X. 1908
⊕ 2003	<i>Felspartie</i> rechts vom Stollenausgang, 1,30 m vor dem Abschlussgitter und 1,25 m über dem Boden . . . . .	2352.837 <sup>1</sup>	4. X. 1908
<b>Märjelensee.</b>			
⊕ 2002	<i>Stolleneingang</i> . Portal. Quader des Mauerwerks links, 0,98 m über der Sohle des Stollens . . . . .	2353.774	5. X. 1908
⊕ 2001	<i>Felsblock</i> am Berghang oberhalb des Stolleneinganges, 19 m bergwärts des Weges nach der Conkordiahütte, 0,18 m über dem Boden . . . . .	2372.971	2. X. 1908
<b>Nördliches Ufer des Märjelensees.</b>			
⊕ <sup>CHV</sup> 367	<i>Felsen</i> oberhalb der Pegelgruppe A und B, 70,7 m über dem Pegelnullpunkt . . . . .	2359.878	2. X. 1908
<p><sup>1</sup> Die « Compagnie Suisse du Chemin de Fer de la Furka » hat für ein Bahnprojekt Fiesch-Hotel Jungfrau-Märjelensee, in den Monaten Mai, Juni und Juli 1913, ein doppeltes Nivellement von Fiesch über Färnegarten, Hotel Jungfrau, Unter-Thälli, Märjelenalp bis zum See durchführen lassen und hiebei, unter Zugrundelegung der nämlichen Ausgangspunkte wie beim vorliegenden Nivellement, für ⊕ 2003 eine Cote von 2352.856 m ü. M. erhalten.</p>			

BEZEICHNUNG DER PUNKTE	BESCHREIBUNG DER PUNKTE	COTEN m ü. M.	DATUM
× P 62-64	<i>Pegelgruppe A</i> , ca. 1 km vom Stolleneinlauf und ca. 40 m unterhalb des Weges nach der Konkordiahütte (Pegel erstellt im IX. 1909). Oberer Teil (schief) Teilstrich 63,000-64,000 m Unterer Teil (vertikal) Teilstrich 62,000-63,000 m Mittlerer Nullpunkt der <i>Pegelgruppe A</i> . . . . .	2289.216	1. IX. 1909
 381	<i>Felsen</i> am Fusse des Pegelstückes 62/63 m der <i>Pegelgruppe A</i>	2351.215	1. IX. 1909
× P 59-62	<i>Pegelgruppe B</i> , 21 m östlich von der <i>Pegelgruppe A</i> (Pegel erstellt im IX. 1909). Teilstrich 59,000-62,000 m Mittlerer Nullpunkt der <i>Pegelgruppe B</i> . . . . .	2289.217	6. IX. 1909
 138	<i>Felsen</i> , 1,6 m aufwärts von der <i>Pegelgruppe B</i> , auf Höhe von Teilstrich 60,69 m . . . . .	2349.912	21. X. 1908
× P 55-59	<i>Pegelgruppe C</i> , 13,6 m westlich von der <i>Pegelgruppe B</i> (Pegel erstellt im IX. 1909). Teilstrich 55,000-59,000 m Mittlerer Nullpunkt der <i>Pegelgruppe C</i> . . . . .	2289.218	1. IX. 1909
 592	<i>Felsen</i> bei der <i>Pegelgruppe C</i> , auf Höhe von Teilstrich 58,16 m . . . . .	2347.379	6. IX. 1909
 139	<i>Felsen</i> , 2,5 m aufwärts von der <i>Pegelgruppe D</i> , auf Höhe von Teilstrich 58,16 m . . . . .	2347.384	21. X. 1908
× P 51-55	<i>Pegelgruppe D</i> , 43,9 m westlich von der <i>Pegelgruppe C</i> (Pegel erstellt im X. 1908). Teilstrich 51,000-55,000 m Mittlerer Nullpunkt der <i>Pegelgruppe D</i> . . . . .	2289.219	21. X. 1908
× P 48-51	<i>Pegelgruppe E</i> , 36,4 m westlich von der <i>Pegelgruppe D</i> (Pegel erstellt im X. 1908). Teilstrich 48,000-51,000 m Oberkante = Teilstrich 51,000 m . . . . . Nullpunkt . . . . .	2340.220 2289.220	21. X. 1908 21. X. 1908
 137	<i>Felsen</i> bei der <i>Pegelgruppe E</i> , auf Höhe von Teilstrich 50,36 m . . . . .	2339.574	21. X. 1908
× P 40-48	<i>Pegelgruppe F</i> , 18,6 m östlich von der <i>Pegelgruppe E</i> (Pegel erstellt im X. 1908). Teilstrich 40,000-48,000 m Mittlerer Nullpunkt der <i>Pegelgruppe F</i> . . . . .	2289.218	21. X. 1908
 130	<i>Felsen</i> bei der <i>Pegelgruppe F</i> , auf Höhe von Teilstrich 47,17 m	2336.388	21. X. 1908
 127	<i>Felsen</i> , 11,20 m westlich von der <i>Pegelgruppe F</i> , auf Höhe von Teilstrich 42,15 m . . . . .	2331.267	21. X. 1908
× P 37-40	<i>Pegelgruppe G</i> , 7,85 m westlich von der <i>Pegelgruppe F</i> (Pegel erstellt im X. 1908). Teilstrich 37,000-40,000 m Mittlerer Nullpunkt der <i>Pegelgruppe G</i> . . . . .	2289.218	21. X. 1908

BEZEICHNUNG DER PUNKTE	BESCHREIBUNG DER PUNKTE	COTEN m ü. M.	DATUM
⊕ <sup>PNV</sup> 366	<i>Felsen</i> zwischen den Pegelteilstücken 37/38 m und 38/39 m der Pegelgruppe G, auf Höhe von Teilstrich 38 m . . . .	2327.196	21. X. 1908
× P 34-37	<i>Pegelgruppe H</i> , 7,85 m westlich von der Pegelgruppe G (Pegel erstellt im X. 1908). Teilstrich 34,000-37,000 m Mittlerer Nullpunkt der Pegelgruppe H . . . . .	2289.215	21. X. 1908
⊙ <sup>SNV</sup> 124	<i>Felsen</i> , 4,2 m westlich von der Pegelgruppe H, auf Höhe von Teilstrich 34,68 m . . . . .	2323.902	21. X. 1908
× P 33-34	<i>Pegelgruppe J</i> , 90,6 m westlich von der Pegelgruppe H (Pegel erstellt im X. 1908). Teilstrich 33,000-34,000 m Oberkante = Teilstrich 34,000 m . . . . . Nullpunkt . . . . .	2323.219 2289.219	21. X. 1908 21. X. 1908
⊕ 2011	<i>Felsen</i> bei der Pegelgruppe J, auf Höhe von Teilstrich 33,57 m . . . . .	2322.785	21. X. 1908
× A	<i>Absticheisen im Felsen</i> , 11,10 m westlich von der Pegelgruppe J . . . . .	2322.455	21. X. 1908
× P 33-64	<i>General-Nullpunkt der Pegelgruppen A-J</i> , Teilstrich 33,000-64,000 m . . . . .	2289.218	IX. 1909
P K 17-33	<i>Pegelgruppe K</i> , Felspartien, ca. 1300 vom Stolleneinlauf und ca. 130 m unterhalb des Weges nach der Konkordiahütte (Pegel erstellt im VII. 1911).		
× P 33	Abstichbügel mit ausgestanzter Zahl 33 : 146 m westlich von der Pegelgruppe J, Seite gegen den Aletschgletscher . .	2322.246	20. VII. 1911
× P 32	Abstichbügel mit Zahl 32 : 1,00 m unterhalb × P 33 . . . .	2321.237	20. VII. 1911
× P 31	Abstichbügel mit Zahl 31 : 36,5 m westlich von × P 33, Seeseite . . . . .	2320.213	20. VII. 1911
× P 30	Abstichbügel mit Zahl 30 : 44 m westlich von × P 33, Seeseite . . . . .	2319.224	20. VII. 1911
× P 29	Abstichbügel mit Zahl 29 : 26 m westlich von × P 33, gegen den Aletschgletscher . . . . .	2318.237	20. VII. 1911
× P 28	Abstichbügel mit Zahl 28 : 24,6 m westlich von × P 33, Seite gegen die Märjelenalp . . . . .	2317.221	20. VII. 1911
× P 27	Abstichbügel mit Zahl 27 : 27,6 m westlich von × P 33, Seeseite . . . . .	2316.207	20. VII. 1911
× P 26	Abstichbügel mit Zahl 26 : 30,0 m westlich von × P 33, Seite gegen die Märjelenalp . . . . .	2315.215	20. VII. 1911
× P 25	Abstichbügel mit Zahl 25 : 2,0 m seewärts von × P 26 . .	2314.225	20. VII. 1911
× P 24	Abstichbügel mit Zahl 24 : 39 m westlich von × P 33, Seite gegen den Aletschgletscher . . . . .	2313.233	20. VII. 1911
× P 23	Abstichbügel mit Zahl 23 : 1,40 m seewärts von × P 24. .	2312.201	20. VII. 1911

BEZEICHNUNG DER PUNKTE	BESCHREIBUNG DER PUNKTE	COTEN m ü. M.	DATUM
× P 22	Abstichbügel mit Zahl 22 : 0,30 m seewärts von × P 23, Seeseite . . . . .	2311.216	20. VII. 1911
× P 21	Abstichbügel mit Zahl 21 : 27 m westlich von × P 33, Seeseite . . . . .	2310.214	20. VII. 1911
× P 20	Abstichbügel mit Zahl 20 : 9,4 m östlich von × P 22 . . . . .	2309.217	20. VII. 1911
× P 19	Abstichbügel mit Zahl 19 : 9,4 m östlich von × P 20, Seeseite . . . . .	2308.222	20. VII. 1911
× P 18	Abstichbügel mit Zahl 18 : 12,4 m östlich von × P 20, Seeseite . . . . .	2307.201	20. VII. 1911
× P 17	Abstichbügel mit Zahl 17 : 19,5 m östlich von × P 20, Seeseite . . . . .	2306.152	20. VII. 1911
× P 17-39	Mittlerer Nullpunkt der Pegelgruppe K, Teilstrich 17,00-33,00 m . . . . .	2289.221	20. VII. 1911
⊙ 196	Felspartie bei der Pegelgruppe K, 1,40 m westlich von × P 31, auf Höhe von Teilstrich 30,71 m . . . . .	2319.932	20. VII. 1911
⊙ 199	Felspartie bei der Pegelgruppe K, 0,80 m bergwärts von × P 26, auf Höhe von Teilstrich 26,26 m . . . . .	2315.472	20. VII. 1911
⊙ 197	Felsen bei der Pegelgruppe K, 0,40 m über × P 23 . . . . .	2312.604	20. VII. 1911
⊙ 198	Felsen bei der Pegelgruppe K, 0,47 m östlich von × P 18, auf Höhe von Teilstrich 17,96 m . . . . .	2307.113	20. VII. 1911
⊕ 2007	Vorspringender Fels am Bergrand des Weges nach der Konkordiahütte, 12,40 m nordwestlich der Felspartie « Auf der Platte », 1,60 m über dem Weg . . . . .	2380.162	10. X. 1908
⊕ 2006	Felsen am Rande des Grossen Aletschgletschers unterhalb der Felspartie « Auf der Platte », 1,00 m über der Unterkante des Felsens . . . . .	2355.607	10. X. 1908
<b>Südliches Ufer des Märjelensees.</b>			
⊙ 636	Kühle Ecke. Felspartie am Rande des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishornes . . . . .	2355.345	23. VII. 1009
⊙ 635	Kühle Ecke. Felspartie am Rande des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishornes, 3,48 m unterhalb ⊙ 636 . . . . .	2351.861	23. VII. 1909

## VI. KAPITEL.

### Die Vermessung der Seewanne.

Der vollständige Ausbruch des Sees im August des Jahres 1878 verursachte im Rhonetal gewaltigen Schaden. Die Regierung des Kantons Wallis sah sich genötigt, für die Abwendung dieser Gefahr Vorkehrungen zu treffen. Sie liess noch im nämlichen Jahre eine Vermessung des trocken gelegten Seebodens durchführen. Diese Aufnahme setzt sich zusammen aus 15 Querprofilen, einem Längsschnitt und einem Situationsplane im Masstab 1 : 2000.

Der Verfasser hat nun diesen Situationsplan einer Kontrolle unterworfen und hiefür von 9 Punkten aus eine Triangulation durchgeführt. Sie bildet ein festes Gerippe in der Aufnahme der Tiefenkarte des Jahres 1913. Differenzen von Belang konnten in der Umgrenzungslinie der Aufnahme vom Jahre 1878 nicht nachgewiesen werden. Die für die Herstellung der Tiefenkarte vom Jahre 1913 benutzten Tiefenmessungen bestehen erstens aus den Aufnahmen des Jahres 1878 (sie sind zur Kontrolle herbeigezogen worden) und zweitens aus den Lotungen und den Längen- und Querprofilaufnahmen, die durch den Verfasser in den Jahren 1908-1913 vorgenommen wurden. In dieser Hinsicht sei auf die Tafeln 2, 3 und 4, sowie auf Fig. 3, S. 22, hingewiesen, die uns in der Darstellung des Längenprofils des Seebaches, des Sees und des Aletschgletschers und in einer Anzahl typischer Querprofile ein Bild der Seewanne liefern.

Auf Tafel 6 finden sich in der Situations-Skizze acht Profile eingetragen. Nach dem vollständigen Ausbruche des Sees Ende Juli 1913 sind noch weitere 10 Profile der Vermessung einverleibt worden, die sich in der Situations-Skizze nicht vorfinden. Bei einem Gesamt-Flächengehalt von 0,4595 km<sup>2</sup> (Hochwasserlinie 1878) wurde die Höhenlage von 1899 Punkten bestimmt.

Für die Sondierungen des Sees wurden Profile längs eines befestigten eingeteilten Messdrahtes abgefahren und je nach der Gestaltung des Untergrundes mehr oder weniger Punkte aufgenommen. Die maximale Entfernung zweier Querprofilpunkte betrug 5 m, die durchschnittliche 2 m.

Zur genauen Ermittlung der unregelmässig verlaufenden Sohlengestaltung längs der Gletscherwand, sind ferner 6 Profile senkrecht zum Querprofil vor dem Gletscher eingelegt worden. Die Tiefenmessung erfolgte von einem Ruderbote aus, dessen Länge 2 m, dessen Breite 1 m und dessen Höhe 0.3 m betrug. Als Lotdraht diente ein eisernes Kabel mit Metereinteilung, an dessen unterem Ende eine Sonde-Platte befestigt war. Der Genauigkeit der Messung und Sicherheit des Beobachters wegen, konnte überhaupt nur bei ruhiger Wasserfläche gelotet werden. Die zugehörigen Wasserstandshöhen wurden je alle 5 Minuten am Pegel abgelesen. Die Lotungen der Profile 6 und 7 (siehe Tafel 4) am 22. Oktober 1908 sind vom Eise aus aufgenommen, indem sich diese Art der Lotung als die weitaus genaueste ergab. Die gefrorene Fläche gewährt die Möglichkeit der genauen Einhaltung der geraden Linie im Profil. Das Oeffnen der notwendigen Löcher in der 9,5 cm dicken Eisdecke geschah vermittelst einer Axt mit grosser Raschheit.

Sämtliche Profile wurden alsdann nach vorheriger Auftragung der Querprofile in den Originalplan im Masstabe von 1 : 2000 eingetragen, hernach die Isohypsenkurven von 2 zu 2 Meter konstruiert. Eine auf photographischem Wege erfolgte Reduktion der Tiefenkarte des Originalplanes im Masstabe von 1 : 5000 findet sich auf Tafel 20 vor. In der Karte ist ebenfalls der im Juli 1878 nach dem vollständigen Ausbruche des Sees durch das Baudepartement des Kantons Wallis festgelegte Rand des Gletschers eingetragen.

## VII. KAPITEL.

### Morphometrie des Märjelensees.

Die im vorstehenden Kapitel besprochene Original-Tiefenkarte des Märjelensees bildet die Grundlage für die Bestimmung der wichtigsten, morphometrischen Daten über den Zustand des Gletschers nach den Ausbrüchen der Jahre 1878 und 1913.

Die Areale der einzelnen Tiefenstufen sind an Hand des Originalplanes vermittelst eines Polarplanimeters unter Berücksichtigung der erforderlichen Korrekturen mindestens je zwei mal gemessen worden.

Die verschiedene Lage der Grenzlinie des Gletschers erfordert wenigstens für gewisse Werte eine getrennte Behandlung. In den nachfolgenden Tabellen sind nun für die Zustände des Gletschers, nach den Ausbrüchen des Sees vom 30./31. Juli 1913 (Tabelle I) und vom 19. Juli 1878 (Tabelle II) getrennt, ferner für den Vordersee (Aufnahme 1908) und den Hintersee (Aufnahme 1913, Tabelle III) in Höhenschichten von 2 m der zugehörige Pegelstand, die Flächeninhalte in m<sup>2</sup> und die durch Mittelbildung berechneten Volumen einzeln und getrennt vereinigt.

Die Hauptresultate sind folgende :

#### Isohypsenflächen. Seeinhalte.

Zustand des Gletschers nach dem Ausbruche des Sees vom 30./31. Juli 1913.

Tabelle I

Mittlerer Pegelnullpunkt = 2289.22 m.

#### Hintersee 1913.

Meter über Meer	Pegelstand in m	Flächeninhalte in m <sup>2</sup>	Höhenschichten in m über Meer	Volumen in m <sup>3</sup> , durch Mittelbildung berechnet	
				Einzeln	Summiert
2277.05	— 12.17	0	2277.05 — 2278.00	10	0
2278.00	— 11.22	30	2278.00 — 2280.00	105	10
2280.00	— 9.22	75	2280.00 — 2282.00	195	115
2282.00	— 7.22	120	2282.00 — 2284.00	290	310
2284.00	— 5.22	170	2284.00 — 2286.00	390	600
2286.00	— 3.22	220	2286.00 — 2288.00	490	990
2288.00	— 1.22	270	2288.00 — 2290.00	550	1480



Meter über Meer	Pegelstand in m	Flächeninhalte in m <sup>2</sup>	Höhenschichten in m über Meer	Volumen in m <sup>3</sup> , durch Mittelbildung berechnet	
				Einzeln	Summiert
2290.00	+ 0.78	280	2290.00 — 2292.00	600	2030
2292.00	+ 2.78	320	2292.00 — 2294.00	1680	2630
2294.00	+ 4.78	1360	2294.00 — 2296.00	3600	4310
2296.00	+ 6.78	2240	2296.00 — 2298.00	5600	7910
2298.00	+ 8.78	3360	2298.00 — 2300.00	8080	13510
2300.00	+ 10.78	4720	2300.00 — 2302.00	10560	21590
2302.00	+ 12.78	5840	2302.00 — 2304.00	15120	32150
2304.00	+ 14.78	9280	2304.00 — 2304.22	2065	47270
2304.22	+ 15.00	9500 (ohne Moränensee)	2304.00 — 2304.22	8055	49335
2304.22	+ 15.00	13740 (mit Moränensee)	2304.22 — 2306.00	33730	57390
2306.00	+ 16.78	24160	2306.00 — 2308.00	56320	91120
2308.00	+ 18.78	32160	2308.00 — 2310.00	75600	147440
2310.00	+ 20.78	43440	2310.00 — 2312.00	92960	223040
2312.00	+ 22.78	49520	2312.00 — 2314.00	105280	316000
2314.00	+ 24.78	55760	2314.00 — 2316.00	119680	421280
2316.00	+ 26.78	63920	2316.00 — 2318.00	134000	540960
2318.00	+ 28.78	70080	2318.00 — 2320.00	145920	674960
2320.00	+ 30.78	75840	2320.00 — 2322.00	157360	820880
2322.00	+ 32.78	81520	2322.00 — 2324.00	169600	978240
2324.00	+ 34.78	88080	2324.00 — 2326.00	183360	1147840
2326.00	+ 36.78	95280	2326.00 — 2328.00	199600	1331200
2328.00	+ 38.78	104320	2328.00 — 2330.00	218320	1530800
2330.00	+ 40.78	114000	2330.00 — 2332.00	240240	1749120
2332.00	+ 42.78	126240	2332.00 — 2334.00	264640	1989360
2334.00	+ 44.78	138400	2334.00 — 2336.00	292000	2254000
2336.00	+ 46.78	153600	2336.00 — 2338.00	321440	2546000
2338.00	+ 48.78	167840	2338.00 — 2340.00	350640	2867440
2340.00	+ 50.78	182800	2340.00 — 2342.00	380920	3218080
2342.00	+ 52.78	198120	2342.00 — 2344.00	417040	3599000
2344.00	+ 54.78	218920	2344.00 — 2346.00	458960	4016040
2346.00	+ 56.78	240040	2346.00 — 2346.09	21880	4475000
2346.09 (a)	+ 56.87	246200	2346.09 — 2348.00	502180	4496880
2348.00	+ 58.78	279640	2348.00 — 2350.00	587920	4999060
2350.00	+ 60.78	308280	2350.00 — 2352.00	639680	5586980
2352.00	+ 62.78	331400	2352.00 — 2352.39 (ohne Vordersee)	130130	6226660
2352.39 (Vordersee)	+ 63.17	335910 (ohne Vordersee)			6356790
2352.39 (Vordersee)	+ 63.17	363590 (mit Vordersee)	2352.00 — 2352.39 (Vordersee für sich)	121610	<b>6478400</b> (mit Vordersee)
2352.79 (b)	+ 63.57	369570	2352.39 — 2352.79	146630	6625030
2353.22 (c)	+ 64.00	376020	2352.39 — 2353.22	306940	6785340
2354.00	+ 64.78	387720	2352.39 — 2354.00	604800	7083200

(a) Höchster Stand des Sees am 21. Juli 1913 = (56.87 + 2289.22) = 2346.09. — (b) Tiefster Sohlenpunkt des Stollenportals z. Absenkung des Sees. — (c) Pegeloberkante.

## Isohypsenflächen. Seeinhalte.

Zustand des Gletschers nach dem Ausbruche des Sees vom 19. Juli 1878.

Tabelle II

Mittlerer Pegelnullpunkt = 2289.22 m.

## Märjelensee.

Meter über Meer	Pegelstand in m	Flächeninhalte in m <sup>2</sup>	Höhenschichten in m über Meer	Volumen in m <sup>3</sup> , durch Mittelbildung berechnet	
				Einzeln	Summiert
2288.00	— 1.22	0	2288.00 — 2290.00	105	0
2290.00	+ 0.78	160	2290.00 — 2292.00	1360	105
2292.00	+ 2.78	1200	2292.00 — 2294.00	3840	1465
2294.00	+ 4.78	2640	2294.00 — 2296.00	6640	5305
2296.00	+ 6.78	4000	2296.00 — 2298.00	9360	11945
2298.00	+ 8.78	5360	2298.00 — 2300.00	12480	21305
2300.00	+ 10.78	7120	2300.00 — 2302.00	15760	33785
2302.00	+ 12.78	8640	2302.00 — 2304.00	21120	49545
2304.00	+ 14.78	12480	2304.00 — 2304.22	2790	70665
2304.22	+ 15.00	12900 (ohne Moränensee (4240 m <sup>2</sup> ))	2304.00 — 2304.22	8055	73455
2304.22	+ 15.00	17140 (mit Moränensee)	2304.22 — 2306.00	39465	81510
2306.00	+ 16.78	27200	2306.00 — 2308.00	61920	120975
2308.00	+ 18.78	34720	2308.00 — 2310.00	79680	182895
2310.00	+ 20.78	44960	2310.00 — 2312.00	95520	262575
2312.00	+ 22.78	50560	2312.00 — 2314.00	108000	358095
2314.00	+ 24.78	57440	2314.00 — 2316.00	120880	466095
2316.00	+ 26.78	63440	2316.00 — 2318.00	132000	586975
2318.00	+ 28.78	68560	2318.00 — 2320.00	142320	718975
2320.00	+ 30.78	73760	2320.00 — 2322.00	152080	861295
2322.00	+ 32.78	78320	2322.00 — 2324.00	161440	1013375
2324.00	+ 34.78	83120	2324.00 — 2326.00	171440	1174815
2326.00	+ 36.78	88320	2326.00 — 2328.00	183360	1346255
2328.00	+ 38.78	95040	2328.00 — 2330.00	197520	1529615
2330.00	+ 40.78	102480	2330.00 — 2332.00	213600	1727135
2332.00	+ 42.78	111120	2332.00 — 2334.00	231360	1940735
2334.00	+ 44.78	120240	2334.00 — 2336.00	252480	2172095
2336.00	+ 46.78	132240	2336.00 — 2338.00	274800	2424575
2338.00	+ 48.78	142560	2338.00 — 2340.00	295360	2699375
2340.00	+ 50.78	152800	2340.00 — 2342.00	316360	2994735
2342.00	+ 52.78	163560	2342.00 — 2344.00	341440	3311095
2344.00	+ 54.78	177880	2344.00 — 2346.00	370000	3652535
2346.00	+ 56.78	192120	2346.00 — 2346.09	17510	4022535
2346.09 (a)	+ 56.87	197080	2346.09 — 2348.00	400870	4040045
2348.00	+ 58.78	222680	2348.00 — 2350.00	464160	4440915
2350.00	+ 60.78	241480	2350.00 — 2352.00	495840	4905075
2352.00	+ 62.78	254360	2352.00 — 2352.39	99690	5400915
2352.39	+ 63.17	256870 (ohne Vordersee)	2352.00 — 2352.39	121610	5500605 (ohne Vordersee)
2352.39	+ 63.17	284550 (mit Vordersee)	2352.39 — 2354.00	470340	5622215 (mit Vordersee)
2354.00	+ 64.78	299720	2354.00 — 2356.00	618840	6092555
2356.00	+ 66.78	319120	2356.00 — 2358.00	654520	6711395
2358.00	+ 68.78	335400	2358.00 — 2360.00	693900	7365915
2360.00	+ 70.78	358500	2360.00 — 2362.00	740200	8059815
2362.00	+ 72.78	381700	2362.00 — 2364.00	796600	8800015
2364.00	+ 74.78	414900	2364.00 — 2366.00	861900	9596615
2366.00	+ 76.78	447000	2366.00 — 2366.55	249290	10458515
2366.55 (b)	+ 77.33	459500			10707805

(a) Höchster Seestand am 21. Juli 1913. — (b) Hochwasserstand des Sees vom 19. Juli 1878.

## Isohypsenflächen. Seeinhalte 1908 und 1913.

Tabelle III

## Vordersee 1908.

Meter über Meer	Pegelstand in m	Flächeninhalte in m <sup>2</sup>	Höhenschichten in m über Meer	Volumen in m <sup>3</sup> , durch Mittelbildung berechnet	
				Einzel	Summiert
2343.64 (Tiefster Sohlenpunkt)	54.42	0	2343.64 — 2344.00	290	290
2344.00	54.78	2400	2344.00 — 2346.00	10720	11010
2346.00	56.78	8320	2346.00 — 2348.00	22560	33570
2348.00	58.78	14240	2348.00 — 2350.00	33480	67050
2350.00	60.78	19240	2350.00 — 2352.00	44280	111330
2352.00	62.78	25040	2352.00 — 2352.39	10280	121610
<b>2352.39</b> (Wasserspiegelhöhe am 5. X. 1908)	63.17	<b>27680</b>			
			Vordersee	<u>121610 m<sup>3</sup></u>	

## Moränensee 1913.

2299.42 (Tiefster Sohlenpunkt)	10.20	0	2299.42 — 2300.00	45	45	
2300.00	10.78	240	2300.00 — 2302.00	2160	2205	Seefläche: 4240 m <sup>2</sup> (6. IX. 1913)
2302.00	12.78	1920	2302.00 — 2304.00	5040	7245	Seeumfang: 280 m (6. IX. 1913)
2304.00	14.78	3120	2304.00 — 2304.22	810	8055	
<b>2304.22</b> (Wasserspiegelhöhe am 6. IX. 1913)	15.00	<b>4240</b>				
			Moränensee	<u>8055 m<sup>3</sup></u>		

Bei einer Wasserspiegelhöhe von 2352.39 m (5. Oktober 1908) beträgt der Flächeninhalt des Vordersees = 27680 m<sup>2</sup>, sein Volumen = 121610 m<sup>3</sup>, sein Seeumfang = 864 m.

Für den *Moränensee* ergeben sich bei einer Wasserspiegelhöhe von 2304.22 m folgende Daten:

Flächeninhalt = 4240 m<sup>2</sup>, Volumen = 8055 m<sup>3</sup>, Seeumfang = 280 m.

Die wichtigsten Resultate für den Märjelensee (Zustand 1878) und den Hintersee (Zustand 1913) finden sich in nachstehender Zusammenstellung vereinigt:

## Aufnahme 1878.

## Aufnahme 1913.

Pegelstand in m	Flächeninhalt in m <sup>2</sup>	Volumen in m <sup>3</sup>	Pegelstand in m	Flächeninhalt in m <sup>2</sup>	Differenz d. Flächeninhalte d. Aufnahmen 1878 u. 1913 in m <sup>2</sup>	Volumen in m <sup>3</sup>	Differenz d. Volumen d. Aufnahmen 1878 u. 1913 in m <sup>3</sup>
—	—	—	— 12.17	0	—	0	0
— 1.22	0	0	— 1.22	—	—	—	—
15.00 (Ohne Moränensee)	12900	73455	15.00	9500	— 3400	49335	— 24120
15.00 (Mit Moränensee)	17140	81510	15.00	13740	— 3400	57390	— 24120
56.87 (Hochwasserstand v. 21. VII. 1913)	197080	4040045	56.87	246200	+ 49120	4496880	+ 456835
63.17 (Ohne Vordersee)	256870	5500605	63.17	335910	+ 79040	6356790	+ 856185
63.17 (Mit Vordersee)	284550	5622215	63.17	363590	+ 79040	6478400	+ 856185
77.33 (Hochwasserstand v. 19. VII. 1878)	459500	10707805	77.33	—	—	—	—

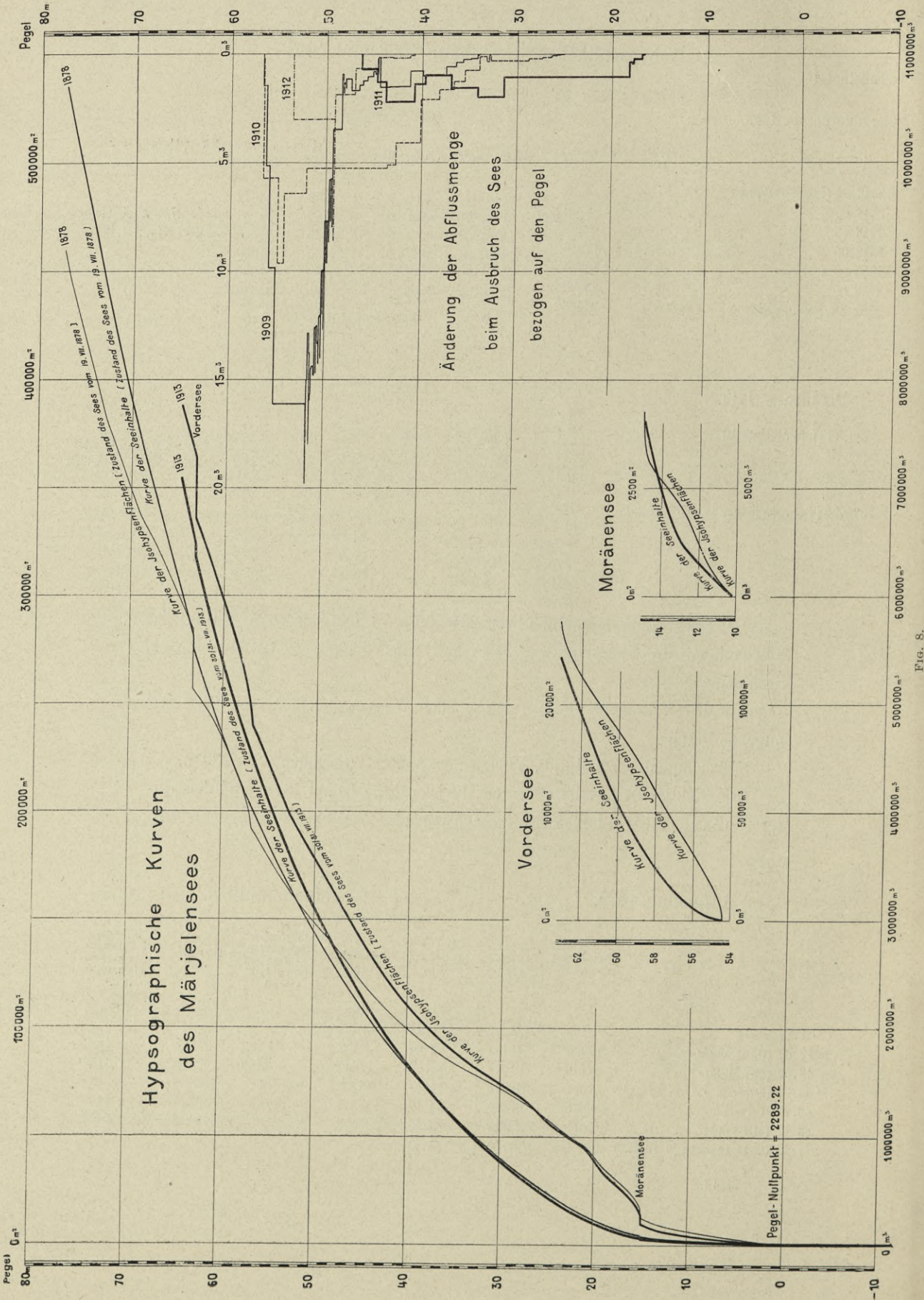


Fig. 8.

Um die Formen eines Seebeckens graphisch wiederzugeben und sie mit andern Seen vergleichen zu können, bedient man sich Pencks hypsographischer Kurve<sup>1</sup>. Man erhält sie vermittelst eines rechtwinkligen Koordinatensystems, in das man als Abszisse die Grössen der Isohypsenfläche (Grösse der von den Isohypsen eingeschlossenen Areale) und als Ordinaten die Pegelhöhe einträgt. Verbindet man die Schnittpunkte durch eine Kurve (Kurve der Isohypsenflächen) so fällt sie je nach der Form des Seebeckens verschieden aus. Der Verlauf der hypsographischen Kurve für den Märjelensee, Hintersee, Vordersee und Moränensee (siehe Seite 58) ist ungleich. Für den Vorder- und Hintersee getrennt weist er eine regelmässigeren Krümmung auf, als für die verhältnismässig unregelmässige Gestaltung der Wanne des Gesamt-Sees. Abgesehen von den zwei Knickungen in der Höhe des Moränen- und Vordersees (die einer weitem Erläuterung nicht bedürfen) fällt für den Gesamt-See namentlich eine solche auf Pegelhöhe 56,7 m in die Augen. Sie verdankt ihre Entstehung einer in dieser Höhenlage durch Aufschiebung von Alluvionen entstandenen Ebene. Neben den Kurven der Isohypsenflächen finden sich in der Fig. 8 (Seite 58) auch noch die Kurven der Seehalte aufgetragen. Ihr Verlauf ist ein viel regelmässigerer, kleine Unebenheiten gelangen in der Grösse solcher Inhalte nicht mehr zum Ausdrucke.

**Die Längen des Sees.** — Forel unterscheidet: a) Die Länge der Luftlinie, die die beiden entferntesten Punkte des Sees miteinander verbindet.

<i>Resultate:</i>	Märjelensee	1878 :	1712 m
	Hintersee	1913 :	992 m
	Vordersee	1913 :	382 m
	Moränensee	1913 :	100 m

b) Die wahre, entlang der Achse des Sees gemessene und sämtliche Krümmungen dieser Achse berücksichtigende Länge. (Seemittellinie).

<i>Resultate:</i>	Märjelensee	1878 :	1640 m
	Hintersee	1913 :	770 m
	Vordersee	1913 :	384 m
	Moränensee	1913 :	106 m

**Die Breiten des Sees.** — a) Die grösste Breite des Sees ist die auf die Mittellinie senkrechte grösste Strecke zwischen zwei gegenüberliegenden Uferpunkten.

<i>Resultate:</i>	Märjelensee	1878 :	460 m
	Hintersee	1913 :	416 m
	Vordersee	1913 :	94 m
	Moränensee	1913 :	60 m

<sup>1</sup> PENCK, A. *Morphologie der Erdoberfläche*. I, S. 43. Stuttgart, 1894.

b) Die *mittlere* Breite erhält man als Quotient aus dem Flächeninhalt des Sees und der Länge seiner Achse.

<i>Resultate :</i>	Märjelensee	1878 :	280 m
	Hintersee	1913 :	320 m
	Vordersee	1913 :	72 m
	Moränensee	1913 :	40 m

Die Tiefe des Sees. — a) *Maximale* Tiefe. (T max.)

<i>Resultate :</i>	Märjelensee	1878 :	78.55 m
	Hintersee	1913 :	69.04 m
	Vordersee	1913 :	8.75 m
	Moränensee	1913 :	4.80 m

b) Die *mittlere* Tiefe. (T mittl.) Man erhält sie, als Quotient aus dem Volumen des Sees und seiner Oberfläche.

<i>Resultate :</i>	Märjelensee	1878 :	23.3 m
	Hintersee	1913 :	18.3 m
	Vordersee	1913 :	4.4 m
	Moränensee	1913 :	1.9 m

Das Verhältnis der mittleren zur grössten Tiefe ist bezeichnend für die allgemeine Gestalt der Seewanne; es gibt einen Einblick in die räumlichen Verhältnisse<sup>1</sup>. Die Seewanne ist nämlich *paraboloidähnlich* (konisch), sobald das Verhältnis  $\frac{1}{2}$  ist, sie ist *pyramidenähnlich*, sobald letzteres  $\frac{1}{3}$  ist. Bei andern Wannen beläuft sich die mittlere Tiefe nur auf einige Prozente der maximalen, dann sind sie neiloidähnlich.

Jene Wannen, bei welchen das Verhältnis grösser ist als 1 : 3 haben nach abwärts, diejenigen bei denen es kleiner ist, einen nach aufwärts gewölbten Boden.

Die Verhältnisse sind nun folgende :

Märjelensee	1878 :	T mittl. = 0.30 T max.	(Verhältnis 1 : 3,4)
Hintersee	1913 :	T mittl. = 0.27 T max.	(Verhältnis 1 : 3,8)
Vordersee	1913 :	T mittl. = 0.50 T max.	(Verhältnis 1 : 2,0)
Moränensee	1913 :	T mittl. = 0.40 T max.	(Verhältnis 1 : 2,5)

Daraus geht hervor, dass sich die vier Seen in dieser Beziehung recht verschieden verhalten. Der Boden des Vordersees und des Moränensees sind nach abwärts, derjenige des Hintersees nach aufwärts gewölbt. Für den Märjelensee, der die drei vorgenannten Seen in sich vereinigt enthält, ist der Hintersee ausschlaggebend, das Verhältnis beträgt 0.30. Sein Boden wölbt sich nur sehr wenig nach aufwärts, er steht einem umgekehrten Kegel am nächsten.

<sup>1</sup> PENCK, A. *Morphometrie der Erdoberfläche*. II, S. 216. Stuttgart, 1894.

**Gliederung des Sees.** — Die Gliederung des Märijelensees ist je nach seinen Wasserständen eine sehr verschiedene. Während seines Hochwasserstandes stellt er eine im grossen und ganzen zusammenhängende Fläche dar. Will man in diesem Zustande von einer Gliederung überhaupt reden, so teilt höchstens der sich am Ende des Vordersees durch das ganze Becken hinziehende mit Moränenschutt überdeckte Felsrücken, der gewissermassen eine Art Halbinsel bildet, den See in einen Kopf- und Rumpfteil. Je nach der Lage der in das Becken des Sees eindringenden Zunge des Aletschgletschers, schliessen sich auch an der Westseite des Sees ein bis zwei Glieder dem See an. Im Jahre 1878 wälzte sich der Gletscherstrom ganz gegen das nördliche Ufer und verhinderte dadurch die Bildung einer eigentlichen Bucht. Ganz anders in den letztverflossenen Jahren, in denen sich das Zungenende in die Mitte des Sees erstreckte und zwei getrennte Glieder formte. Die Entfernung der äussersten Punkte dieser beiden Buchten betrug beim Hochwasserstand 1913 : 540 m.

Liegt das Seeniveau des Hintersees tiefer als dasjenige des Vordersees, so zerfällt der See, wie bereits früher bemerkt, in zwei durch den Felsriegel am Westrand des Vordersees getrennte Teile. Der Vordersee ist zur Zeit vom Hintersee vollständig getrennt. Sein Ausfluss findet über den Riegel statt und ergiesst sich in den Hintersee.

Die Gliederung des Hintersees ist, je nach der Seehöhe, die durch den Grad der Ausbrüche bestimmt wird, eine verschiedene. Mit sinkendem Wasserspiegel treten vereinzelt Tümpel zu Tage. Der eigentliche Hintersee bleibt sich bis auf eine Höhe von 2310 m ungefähr gleich. Sinkt er weiter, so ermöglicht der grosse Endmoränenwall des letzten Gletschervorstosses die Bildung des schon früher erwähnten kleinen Sees. Letzterer bewirkt eine neue Trennung des Hintersees in einen Kopf und Rumpfteil. Am Fusse des Eggishornes tritt zunächst eine kleine Felseninsel, die sich später zu einer Halbinsel erweitert, hervor. Die Gliederung wird wieder eine ganz einfache, sobald das Niveau die Höhe von 2302 m erreicht hat.

**Die Uferentwicklung.** — Sie steht mit der Gliederung des Sees im Zusammenhang und wird durch das Verhältnis der wahren Länge der Uferlinie zum Umfang des dem Seearial inhaltsgleichen Kreises ausgedrückt. Je grösser dieses Verhältnis, desto mehr ist der See gegliedert. Die Uferentwicklung lässt sich durch folgende Formel ausdrücken :

$$U = \frac{L}{2 \sqrt{F} \pi}$$

wobei U = Mass der Gliederung.  
L = Länge der Uferlinie.  
F = Oberfläche des Sees.

<i>Resultate</i> : Märijensee 1878.	L = 7960 m	F = 459500 m <sup>2</sup>	U = 3.31
Hintersee 1913.	L = 2940 m	F = 246200 m <sup>2</sup>	U = 1.67
Vordersee.	L = 864 m	F = 27680 m <sup>2</sup>	U = 1.46
Moränensee.	L = 280 m	F = 4240 m <sup>2</sup>	U = 1.21

Die Uferentwicklung wird mit zunehmender Seehöhe grösser; währenddessen sie vom Moränensee bis zum Hintersee 1913 nur wenig zunimmt, verdoppelt sie sich vom Seestand 1913 bis 1878.

Ein Vergleich zwischen der Quadratwurzel aus der Fläche  $F$  und der mittleren Tiefe  $t$ , also  $\frac{\sqrt{F}}{t}$ , gibt Werte, die angeben, um wieviel mal grösser eine Seitenlänge der quadratisch gedachten Seefläche ist, als deren mittlere Tiefe. Die Resultate sind folgende :

Märjensee.	Zustand 1878	$F = 459500 \text{ m}^2$	$t = 23.3 \text{ m}$	$\frac{\sqrt{F}}{t} = 29.09$
Hintersee.	Zustand 1913	$F = 246200 \text{ m}^2$	$t = 18.3 \text{ m}$	$\frac{\sqrt{F}}{t} = 27.11$
Vordersee.	Zustand 1913	$F = 27680 \text{ m}^2$	$t = 4.4 \text{ m}$	$\frac{\sqrt{F}}{t} = 37.81$
Moränensee.	Zustand 1913	$F = 4240 \text{ m}^2$	$t = 1.9 \text{ m}$	$\frac{\sqrt{F}}{t} = 34.27$

Für die Vergleiche des Neigungswinkels in verschiedenen Tiefen des gleichen Profils und bei verschiedenen Profilen in gleicher Tiefe sind die nachstehenden Werte für beide Ufer berechnet worden.

### Böschungswinkel des Seebeckens in Stufen von 10 zu 10 m (Sexagesimal-Teilung)

			Links	Rechts
<b>Profil 3<sup>a</sup></b> (Rund 242 m östlich vom Profil 4)	2366.5 — 2360 =	18.5°	21.5°	
	2360.0 — 2355 =	16.5°	14.5°	
<b>Profil 4</b> (Siehe Tafel 6)	2370 — 2360 =	18.0°	13.5°	
	2360 — 2350 =	23.5°	14.0°	
	2350 — 2345 =	20.5°	8.5°	
<b>Profil 5</b> (Siehe Tafel 6)	2366.5 — 2360 =	17.0°	20.5°	
	2360 — 2355 =	26.5°	12.5°	
<b>Profil 5<sup>a</sup></b> (Rund 135 m westlich vom Profil 5)	2366.5 — 2360 =	19.0°	8.5°	
	2360 — 2350 =	14.5°	12.5°	
<b>Profil 6</b> (Siehe Tafel 6)	2370 — 2360 =	10.0°	12.5°	
	2360 — 2350 =	14.5°	19.0°	
	2350 — 2345 =	11.0°	5.5°	
<b>Profil 6<sup>a</sup></b> (Rund 258 m östlich vom Profil 7)	2370 — 2360 =	19.0°	15.0°	
	2360 — 2350 =	21.5°	22.0°	
	2350 — 2340 =	17.5°	21.0°	
	2340 — 2335 =	10.5°	25.5°	
<b>Profil 7</b> (Siehe Tafel 6)	2380 — 2370 =	31.5°	23.5°	
	2370 — 2360 =	22.5°	30.5°	
	2360 — 2350 =	29.0°	34.0°	
	2350 — 2340 =	25.0°	20.5°	
	2340 — 2330 =	16.5°	20.5°	
	2330 — 2320 =	17.0°	26.5°	
	2320 — 2315 =	11.0°	14.0°	



			Links	Rechts
Profil 7* (Rund 58 m westlich vom Profil 7)	2370	— 2360	= 27.0°	30.5°
	2360	— 2350	= 22.5°	20.0°
	2350	— 2340	= 22.5°	22.5°
	2340	— 2330	= 23.5°	24.5°
	2330	— 2320	= 18.5°	19.5°
	2320	— 2310	= 11.5°	31.0°
	2310	— 2305	= —	20.5°
Profil 7 <sup>a</sup> (Rund 138 m westlich vom Profil 7)	2380	— 2370	= 28.0°	—
	2370	— 2360	= 30.0°	28.0°
	2360	— 2350	= 27.0°	29.0°
	2350	— 2340	= 22.5°	28.0°
	2340	— 2330	= 25.5°	22.5°
	2330	— 2320	= 18.0°	16.5°
	2320	— 2310	= 10.5°	10.5°
	2310	— 2305	= 8.5°	5.5°
Profil 8 (Siehe Tafel 6)	2380	— 2370	= 27.0°	31.5°
	2370	— 2360	= 33.0°	28.0°
	2360	— 2350	= 38.0°	25.5°
	2350	— 2340	= 41.0°	25.5°

Man sieht aus der Zusammenstellung sofort, dass die Böschungsverhältnisse in ein und demselben Profil im allgemeinen von oben nach unten kleiner werden, jedoch geschieht dies nicht in regelmässiger Weise und nicht ohne Ausnahme. So ist beispielweise im Profil 7 die Stufe 2360-2350 m sowohl am rechten als auch am linken Ufer steiler als diejenige von 2370-2360 m. Vergleichen wir die Höhenstufe 2360-2350 m der verschiedenen Profile untereinander, so treten folgende Verhältnisse ein :

*Linkes Ufer.* — Die Neigung des Terrains nimmt von Profil 8 bis Profil 7\* ab, dann stellt sich bei Profil 7 eine steilere Böschung ein, die wieder abnimmt bis zu Profil 5<sup>a</sup>. Hernach nimmt sie wieder zu bis zu Profil 4, um gleich darauf wieder abzunehmen.

*Rechtes Ufer.* — Eine schwache Zunahme der Neigung findet von Profil 8 zum Profil 7<sup>a</sup> statt, hernach findet eine Abnahme bis 7\* statt, die von einem neuen steileren Abfall im Profil 7 abgelöst wird, der sich abermals im Profil 5 verflacht, bis dann endlich bei Profil 4 und 3<sup>a</sup> eine neue leichte Gefällzunahme eintritt.

Im Allgemeinen sind die Böschungen am Hintersee etwas steiler als am Vordersee. Der Seeboden ist aber nicht gleichmässig abgebösch, was aus den Böschungsverhältnissen der einzelnen Stufen deutlich genug zum Ausdrucke gelangt.

## VIII. KAPITEL.

### Die Wasserstandsverhältnisse des Märjelensees.

Der Märjelensee zerfällt zur Zeit in ein östliches Becken : den Vordersee, und in ein westliches Becken : den Hintersee. Eine Vereinigung dieser beiden Seen wurde das letzte Mal im Jahre 1896 beobachtet. Entleert sich der Hintersee vollständig, so verbleibt als Rest nur noch ein kleiner malerischer Moränensee. (Siehe Fig. 3 und Kapitel II, Seite 22.)

Die Wasserspiegelschwankungen des Vordersees sind nur zeitweise, also nicht kontinuierlich gemessen worden. Eine eigentliche Pegelstation besteht nicht. Die Beobachtungen gelangen an einem festen, hölzernen Pfahl, am untern Seende vermittelst einer Abstichmarke zur Ausführung. Sie sind in ihrer Gesamtheit in der nachfolgenden Tabelle enthalten.

## Die Nivea u schwa nku ngen des Vordersees.

DATUM	ZEIT	SEESTAND m ü. M.	DATUM	ZEIT	SEESTAND m ü. M.
<b>1908</b>			<b>1913</b>		
29. IX.	5 <sup>h</sup> 30 p	2352.407	16. I.	10 <sup>h</sup> 25 a	2352.410
30. IX.	5 <sup>h</sup> 40 p	.407	13. II.	12 <sup>h</sup> 15 p	.340
1. X.	5 <sup>h</sup> 18 p	.407	19. II.	12 <sup>h</sup> 35 p	<b>2352.335</b>
2. X.	4 <sup>h</sup> 30 p	.406	28. II.	10 <sup>h</sup> 15 a	.340
4. X.	8 <sup>h</sup> 14 a	.397	20. III.	2 <sup>h</sup> 0 p	.340
5. X.	9 <sup>h</sup> 27 a	.394	31. III.	10 <sup>h</sup> 20 a	.345
	5 <sup>h</sup> 30 p	.397	15. IV.	11 <sup>h</sup> 30 a	.360
9. X.	11 <sup>h</sup> 0 a	.386	29. IV.	3 <sup>h</sup> 25 p	.360
19. X.	1 <sup>h</sup> 7 p	.373	6. V.	9 <sup>h</sup> 20 a	.410
23. X.	4 <sup>h</sup> 50 p	.371	21. V.	9 <sup>h</sup> 0 a	.430
24. X.	12 <sup>h</sup> 30 p	.374	29. V.	6 <sup>h</sup> 0 p	.520
			9. VI.	7 <sup>h</sup> 30 p	<b>2352.525</b>
<b>1912</b>			18. VI.	12 <sup>h</sup> 0 p	.515
9. VIII.	7 <sup>h</sup> 45 a	2352.428	24. VI.	6 <sup>h</sup> 30 p	.500
10. VIII.	2 <sup>h</sup> 10 p	.418	29. VI.	4 <sup>h</sup> 0 p	.490
12. VIII.	9 <sup>h</sup> 30 a	.412	5. VII.	5 <sup>h</sup> 0 p	.465
	4 <sup>h</sup> 40 p	.409	30. VII.	2 <sup>h</sup> 0 p	.440
13. VIII.	9 <sup>h</sup> 15 a	.416	3. VIII.	3 <sup>h</sup> 0 p	.429
6. IX.	10 <sup>h</sup> 13 a	.428	10. VIII.	3 <sup>h</sup> 0 p	.405
9. IX.	9 <sup>h</sup> 0 a	.399	16. VIII.	4 <sup>h</sup> 0 p	.405
21. IX.	8 <sup>h</sup> 48 a	.378	19. VIII.	3 <sup>h</sup> 0 p	.400
	4 <sup>h</sup> 45 p	.377	28. VIII.	3 <sup>h</sup> 20 p	.395
23. IX.	8 <sup>h</sup> 45 a	.376	5. IX.	1 <sup>h</sup> 30 p	.406
	4 <sup>h</sup> 50 p	.375	6. IX.	9 <sup>h</sup> 20 a	.398
24. IX.	9 <sup>h</sup> 0 a	.374	7. IX.	2 <sup>h</sup> 15 p	.390
26. IX.	10 <sup>h</sup> 0 a	.370	11. IX.	10 <sup>h</sup> 20 a	.410
27. IX.	8 <sup>h</sup> 37 a	.367	12. IX.	8 <sup>h</sup> 45 a	.400
29. IX.	9 <sup>h</sup> 20 a	.366	24. IX.	1 <sup>h</sup> 0 p	.402
1. X.	9 <sup>h</sup> 30 a	.367	5. X.	9 <sup>h</sup> 0 a	.398
4. X.	9 <sup>h</sup> 30 a	.387	10. X.	8 <sup>h</sup> 30 a	.393
6. X.	10 <sup>h</sup> 20 a	.375	15. X.	8 <sup>h</sup> 45 a	.386
9. X.	9 <sup>h</sup> 20 a	.372	18. X.	9 <sup>h</sup> 15 a	.380
12. X.	7 <sup>h</sup> 50 a	.368	22. X.	8 <sup>h</sup> 45 a	.375
14. X.	8 <sup>h</sup> 0 a	.367	27. X.	10 <sup>h</sup> 15 a	.375
16. X.	8 <sup>h</sup> 0 a	.363	3. XI.	10 <sup>h</sup> 15 a	.375
18. X.	8 <sup>h</sup> 15 a	.364	7. XI.	10 <sup>h</sup> 30 a	.375
21. X.	9 <sup>h</sup> 0 a	.365	12. XI.	10 <sup>h</sup> 15 a	.375
23. X.	1 <sup>h</sup> 50 p	.375	17. XI.	9 <sup>h</sup> 30 a	.375
29. X.	2 <sup>h</sup> 45 p	.367	27. XI.	9 <sup>h</sup> 45 a	.370
12. XI.	11 <sup>h</sup> 0 a	.372	16. XII.	10 <sup>h</sup> 15 a	.370
26. XI.	10 <sup>h</sup> 25 a	.375	29. XII.	10 <sup>h</sup> 50 a	.370
10. XII.	11 <sup>h</sup> 0 a	.376			
			<b>1914</b>		
			26. I.	10 <sup>h</sup> 30 a	2352.355
			9. II.	10 <sup>h</sup> 30 a	.341

Die Charakteristik der Niveauschwankungen dieses Sees geht aus der vollständigsten Serie der Beobachtungen des Jahres 1913 deutlich hervor. Der höchst beobachtete Jahreswasserstand in diesem Jahre fand am 9. Juni mit 2352.525 m über Meer statt, der kleinste stellte sich am 19. Februar mit 2352.335 m ein. Mithin beträgt die grösste beobachtete Wasserspiegelschwankung im Jahre 1913 nur  $2352.525 - 2352.335 = 0.190$  m. Vom niedrigsten Stande (19. Februar 1913) ausgehend ergibt sich vorerst ein langsames, dann ein durch das Schmelzen der Schneemassen im Einzugsgebiet des Sees hervorgerufenes rascheres Steigen des Sees bis zu seinem Höchststande. Hernach erfolgt ein langsames, nur durch Niederschläge zeitweise unterbrochenes Fallen des Sees bis zu seinem Tiefstande. Die Profile beim Seeausfluss sind sehr flach. Bei einer Vermehrung des Zuflusses findet allerdings ein Steigen des Seespiegels statt, der Querschnitt des Abflusses wächst dann aber dermassen rasch an, dass eine bedeutende Hebung des Seespiegels unmöglich wird. Das Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss ist deshalb sehr rasch wieder hergestellt. Die charakteristische Eigenschaft der Seen mit Abfluss (normale Flusseeseen), nämlich kleine Niveauschwankungen, gelangen beim Vordersee — wir dürfen wohl sagen — im Extrem zum Ausdruck.

Der Hintersee gehört im Gegensatz zum Vordersee, in die Gruppe der Stauseen mit periodischem Abfluss. In der Zeit seines Wachstums ist er in der Regel ein vollkommen abflussloser See, in der Periode der Absenkung (des Ausbruches) gehört er in die Gruppe der Seen mit Abfluss. Seine Niveauschwankungen, die in der Nachfolge behandelt werden, sind gerade das Gegenteil von denjenigen des Vordersees, nämlich ungewöhnlich grosse.

Wie bereits bekannt, werden die Beobachtungen an den Pegelgruppen am Hintersee am Fusse der Strahlhörner vorgenommen. Die systematischen Beobachtungen begannen am 23. September 1908. Aeltere vereinzelte Aufzeichnungen über die Wasserstände und die Ausbrüche des Sees gehen bis in das Jahr 1813 zurück. Sie finden sich in der nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellung mit der jeweiligen Quellenangabe vereinigt.

## ZUSAMMENSTELLUNG VON AUFZEICHNUNGEN

über die Wasserstände und Ausbrüche des Märjelensees vom Jahre 1813  
bis Ende September 1908  
(dem Zeitpunkt der Erstellung der Pegelanlage).

*Anfang August 1813. Ausbruch des Sees.*

Gosset, Ph. « Der Märjelensee ». Jahrbuch S. A. C. 23. 1887, 340-354.

*August 1815. Sehr rasch verlaufender Ausbruch.*

Muret, Ernest. « Les variations périodiques des glaciers ». Bulletin de la Murithienne, fasc. XXIX et XXX, 1900 et 1901.

*Juli 1820. Ausbruch des Sees.* Länge des Sees nach dem Ausbruch: 4833 Fuss.

Venetz, Ingenieur des Kantons Wallis. Bericht an Staatsrat Allet vom 15. Nov. 1827. Staatsarchiv Sitten und « Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse » in Denkschriften d. allg. schweiz. Gesellschaft f. Naturwissenschaften. Zürich, 1833.

*1821. Seebecken voll.*

Venetz, Ingenieur des Kantons Wallis. Bericht an Staatsrat Allet vom 15. Nov. 1827. Staatsarchiv Sitten.

*1822. Ausbruch des Sees.*

Venetz, Ingenieur des Kantons Wallis. Bericht an Staatsrat Allet vom 15. Nov. 1827. Staatsarchiv Sitten.

*1827. Ausbruch des Sees.*

Venetz, Ingenieur des Kantons Wallis. Bericht an Staatsrat Allet vom 20. Juli 1829. Staatsarchiv Sitten.

*1828. Sehr rasch verlaufender Ausbruch des Sees.* Seebecken vollständig leer.

Venetz, Ingenieur des Kantons Wallis. Bericht an Staatsrat Allet vom 20. Juli 1829. Staatsarchiv Sitten.

Hugi, Fr. Jos. « Naturhistorische Alpenreise. » Solothurn 1830.

*Juli 1829.* Der Wasserstand des Sees liegt 50 Fuss tiefer als sein Maximalwasserstand<sup>1</sup>.

Venetz, Ingenieur des Kantons Wallis. Bericht an Staatsrat Allet vom 20. Juli 1829. Staatsarchiv Sitten.

*1839. Hochwasserstand des Sees.*

Desor, E. « Die Besteigung des Jungfrauorns durch Agassiz und seine Gefährten. » Solothurn 1842.

*Herbst 1840. Ausbruch des Sees.*

Alpina. Herausgegeben von Hermann A. Berlepsch. Sommersemester 1856, Nr. 6 u. 7. « Die Ersteigung der Jungfrau durch die Herren Agassiz, Forbes, Duchatelier und Desor, am 28. August 1841. »

de Torrenté, A. Briefliche Mitteilung vom 2. März 1888 an Gosset, Ph.

*28. August 1841. See halbvoll.*

Alpina. Herausgegeben von Hermann Berlepsch. Sommersemester 1856, Nr. 6 und 7. « Die Ersteigung der Jungfrau durch die Herren Agassiz, Forbes, Duchatelier und Desor, am 28. August 1841. »

*14.-15. Juli 1844. Ausbruch des Sees in der Nacht vom 14. auf den 15. Juli.*

Stockalper, Unterinspektor. Bericht an den Staatsrat des Kantons Wallis vom 19. Juli 1844. Staatsarchiv Sitten.

*8. Juli 1846. Hochwasserstand.* Die Wasserspiegelhöhe des Sees liegt 5 Fuss unterhalb der natürlichen Hochwassermarke<sup>2</sup>.

Furrer, Landjäger-Commandant. Bericht an den Staatsrat des Kantons Wallis vom 9. Juli 1846. Staatsarchiv Sitten.

<sup>1</sup> Höchst bekannter Wasserstand des Sees:

50 Fuss = 15 m

2366,55 m (Pegelstand 77,33)

15,00 m

Wasserstand des Sees am 20. Juli 1829

2351,55 m = 62,33 m am Pegel.

<sup>2</sup> Hochwasserstand des Sees:

5 Schuh tiefer

2366,55 m (Pegelstand 77,33 m)

1,50 m

Wasserstand am 8. Juli 1846.

2365,05 m = 75,83 m am Pegel.

*Juli 1848. Ausbruch des Sees.*

Collomb, E., in Forel, F. A. Jahrbuch S. A. C. 1888/1889. 24. Jahrgang, S. 354.

Muret, Ernest. « Les variations périodiques des glaciers. » Bulletin de la Murithienne, fasc. XXIX et XXX, 1900 et 1901.

19., 20., 21. *Juni 1849.* Hochwasserstand. Durch den im Jahre 1829 vollendeten Graben fließt soviel Wasser nach der Fieschertaler-Seite ab, dass der Fiescherbach über seine Ufer trat. Der Eis- und Schneewall im Ablaufgraben ist plötzlich durchbrochen worden.

Wellig, Johannes, Vizepräsident der Gemeinde Fiesch. Schreiben an das Baudepartement des Kantons Wallis vom 13. Juli 1849. Staatsarchiv Sitten.

14. *Juli 1851.* Hochwasserstand. Seebecken so voll, dass eine Menge Wasser durch den Kanal abfließt. Das anhaltende Regenwetter erweichte den eingefrorenen Kanal, das Wasser brach los und hatte alle Brücklein über den Seebach weggerissen.

Bürcher, Regierungsstatthalter. Schreiben an das Brücken- und Strassendepartement des Kantons Wallis vom 17. Juli 1851. Staatsarchiv Sitten.

2. *August 1857.* Hochwasserstand.

12. *August 1857.* Hochwasserstand. Kanal durch Erdstürze so angefüllt, als wenn früher keine Vorbeugungsarbeiten durchgeführt worden wären.

Tyndall, John. « Die Gletscher der Alpen. » Braunschweig 1848.

von Stockalper, L. Ant., Regierungsstatthalter des Bezirkes Brig. Schreiben an den Präsidenten des Staatsrates des Kantons Wallis vom 13. August 1857. Staatsarchiv Sitten.

*August 1858. Sehr rasch verlaufender Ausbruch des Sees.*

Bonney, T. G., in Forel, F. A. Jahrbuch S. A. C. 1888/1889, S. 354.

Muret, Ernest. « Les variations périodiques des glaciers. » Bulletin de la Murithienne, fasc. XXIX et XXX, 1900 et 1901.

26. *September 1859.* Hochwasserstand. See beinahe angefüllt, das Wasser erreicht bereits den grossen Kanal, doch fließt noch kein Wasser durch, weil der Kanal vom See fort eine Strecke steigt und nicht wagrecht ist.

Bürcher, Klemenz. Schreiben an den Staatsrat des Kantons Wallis vom 29. September 1859. Staatsarchiv Sitten.

*1859. Ausbruch des Sees.*

de Torrenté, A. Briefliche Mitteilung vom 2. März 1888 an Gosset, Ph.

Muret, Ernest. « Les variations périodiques des glaciers. » Bulletin de la Murithienne, fasc. XXIX et XXX, 1900 et 1901.

24. *September 1860.* Hochwasserstand.

de Sepibus, Alphonse, berichtet: « J'ai observé: 1° que le niveau du lac se trouve six pieds plus bas qu'il se trouvait avant que le canal pour l'écoulement de l'eau était fait; 2° que le niveau s'est baissé depuis quelque temps d'un pied; 3° que la plus grande partie du glacier se trouve en dessous du lac. » Schreiben an den Staatsrat des Kantons Wallis vom 26. September 1860. Staatsarchiv Sitten.

17. *Juli bis 18. August 1861.* Hochwasserstand.

de Sepibus, Alphonse. Schreiben an den Staatsrat des Kantons Wallis vom 18. Juli und 18. August 1861. Staatsarchiv Sitten.

25. *Oktober 1862.* Hochwasserstand.

von Fellenberg, E. Briefliche Mitteilung vom 24. Januar 1888 an Gosset, Ph.

30. *Juli 1864.* Seebecken leer.

von Fellenberg, E. Briefliche Mitteilung von 24. Januar 1888 an Gosset, Ph.

6. August 1864. *Sehr rasch verlaufender Ausbruch.* Ein Ruderboot verschwand in den Spalten des Gletschers.  
Studer, G. Jahrbuch S. A. C. II, S. 205.
9. Juli 1866. Hochwasserstand.  
Dübi, H. Briefliche Mitteilung vom 22. Januar 1888 an Gosset, Ph.
9. August 1869. Hochwasserstand.  
Gosset, Ph. « Der Märjelensee. » Jahrbuch S. A. C. 23, 1887.
- Anfang Juni 1870. *Vollständiger Ausbruch.*  
Volken, Valentin, Präsident der Gemeinde Fiesch, berichtet: « Das Seebecken ist nun ganz trocken und zwar bis in den tiefsten Grund. » Schreiben an das Baudepartement des Kantons Wallis vom 13. Juli 1870. Staatsarchiv Sitten.
1871. *Ausbruch.*  
Briefliche Mitteilung von Imboden, Jos., Pfarrer in Fiesch, an Gosset, Ph.
2. August 1872. *Vollständiger Ausbruch.*  
Botschaft des Bundesrates an die Bundesversammlung, betreffend Bewilligung eines Bundesbeitrages an den Kanton Wallis zur Tieferlegung des Märjelensees, vom 18. Juli 1884.  
Alpenpost, Bd. III, Nr. 10, Seite 133. Glarus, 8. September 1872.
- Juli 1873. *Vollständiger Ausbruch.* Unter donnerartigem Getöse werden gewaltige Wassersäulen aus den Gletscherspalten getrieben.  
Aufzeichnung von Cathrein, E., Eggishorn.  
de Torrenté, A. Briefliche Mitteilung vom 2. März 1888 an Gosset, Ph.
14. Juli 1874. Seebecken halbvoll. *Ausbruch.*  
Aufzeichnung von Cathrein, E., Eggishorn.  
Heer-Betrix, L. « Eine Besteigung der Jungfrau durch das Roththal. » Alpenpost, Bd. VII. Zürich, 1874.
- 1875, *Frühjahr.* Seebecken halbvoll.  
Aufzeichnung von Cathrein, E., Hotelier, Eggishorn.
23. August 1875. Seebecken voll.  
von Fellenberg, E. Briefliche Mitteilung von 24. Januar 1888 an Gosset, Ph.  
de Torrenté, A. Briefliche Mitteilung vom 2. März 1888 an Gosset, Ph.
- Herbst 1875. *Ausbruch.*  
Aufzeichnung von Cathrein, E., Hotelier, Eggishorn.  
Briefliche Mitteilung von Imboden, Jos., Pfarrer in Fiesch an Gosset, Ph.
1876. Seebecken halbvoll.  
Aufzeichnung von Cathrein, E., Hotelier, Eggishorn.
1876. *Ausbruch.*  
Briefliche Mitteilung von Imboden, Jos., Pfarrer in Fiesch an Gosset, Ph.
14. und 16. September 1877. Hochwasserstand. (Maximaler Pegelstand : 77.33 m.)  
Briefliche Mitteilung von v. Fellenberg, E. an Gosset, Ph.  
Briefliche Mitteilung von Imboden, Jos., Pfarrer in Fiesch an Gosset, Ph.  
von Salis, F., Oberbauinspektor. Jahrbuch S. A. C. 1878-1879.
17. Juli 1878. Hochwasserstand vor dem Ausbruch. (Maximaler Pegelstand : 77.33 m.)
18. und 19. Juli 1878. *Vollständiger Ausbruch* in 30 1/2 Stunden.  
Zen Ruffinen, Kantonsingenieur, Leuk. Bericht des Staatsrates des Kantons Wallis an den Grossen Rat vom 25. November 1881.

25. *Januar 1880.* Hochwasserstand.  
Carey, H. *Echo des Alpes*, 16<sup>me</sup> année, page 38.
26. *Juli 1881.* Hochwasserstand.  
Dübi, H. Briefliche Mitteilung vom 22. Januar 1888 an Gosset, Ph.
- 9.-10. *Juni 1882.* *Vollständiger Ausbruch.*  
Cathrein, E. Schreiben an den Staatsratspräsidenten Chappex vom 19. Juni 1882.  
Staatsarchiv Sitten.
- Januar 1883.* *Ausbruch.*  
Aufzeichnung von Cathrein, E., Eggishorn.  
de Torrenté, A. Briefliche Mitteilung vom 2. März 1888 an Gosset, Ph.
13. *Juli 1883.* Hochwasserstand.  
Dübi, H. Briefliche Mitteilung vom 24. Januar 1888 an Gosset, Ph.
12. *September 1883.* Hochwasserstand.  
von Fellenberg, E. Briefliche Mitteilung vom 24. Januar 1888 an Gosset, Ph.
5. *Juli 1884.* Hochwasserstand; See fast voll, überfrozen, die Eisdecke eingebrochen.  
von Morlot, A. Inspektionsbericht des eidg. Oberbauinspektorates.
1884. *Ausbruch.*  
de Torrenté. Briefliche Mitteilung vom 2. März 1888 an Gosset, Ph.
22. *August 1884.* Seebecken fast leer.  
Gosset, Ph. Originalaufzeichnungen im Journal der Viktoria Hütte.
24. *August 1885.* Seebecken fast leer.  
Gosset, Ph. Originalaufzeichnungen im Journal der Viktoria Hütte.
- Mitte August 1886.* Seebecken mehr wie halbvoll; ehemaliger Fussweg nach der Konkordiahütte unter Wasser.  
Imfeld, X. Briefliche Mitteilung an Gosset, Ph.
- September 1886.* Hochwasserstand.  
Cathrein, E. Mündliche Mitteilung an Gosset, Ph.
15. *Juli 1887.* Hochwasserstand. Jungfrauunglück. Die Toten sind mittelst Schiff über den See nach dem Hotel Jungfrau transportiert worden.  
Cathrein, E. Mündliche Mitteilung an den Verfasser.
6. *August 1887.* Hochwasserstand. Der Spiegel des Sees erreicht die Vegetationsgrenze.  
Bonaparte, R. *Le Glacier de l'Aletsch et le Lac de Märjelen*. Paris, 1889.
1. *September 1887.* Absenkung des Seespiegels: 0,15 m<sup>1</sup>. Zwischen 6 und 7 Uhr morgens beginnt der See sich zu entleeren, er sinkt in 12 Stunden 15 cm.  
Gosset, Ph. Originalaufzeichnungen in Journal der Viktoria Hütte.
2. *September 1887.* Absenkung des Seespiegels: 1,0 m<sup>1</sup>.
4. *September 1887.* 12<sup>h</sup>30 a. Absenkung des Seespiegels: 3,00 m<sup>1</sup>.  
Borchardt, W. Prince Roland Bonaparte: « *Le glacier de l'Aletsch et le lac de Märjelen.* » Paris, 1889.
4. *September 1887.* *Ausbruch* in ungefähr 10 Stunden<sup>1</sup>.
5. *September 1887.* Wasserspiegel senkt sich um 0,03 m<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> GOSSET, Ph. *Originalaufzeichnungen im Journal der Viktoria-Hütte.*



## 8. September 1887. Ausbruch.

Schlatter, F., Biel. « In den Alpen ». Zeitungsartikel. Blatt unbekannt. Zeitungsausschnitt im Journal der Viktoria-Hütte von Gosset, Ph. « Durch die Verschiebung des Gletschers sind an der felsigen Sohle des Gletschers Öffnungen entstanden, durch welche der See ausgeronnen ist. Diese sind gut sichtbar. Im Grunde desselben liegen gewaltige Eisklötze. Ich habe einen solchen gesehen von c. 60 m Grösse ».

15.-17. September 1887. Wasserspiegel steigt im westlichen Becken in 43 Stunden um 0,16 m<sup>1</sup>.

## 3.-4. September 1887. Ausbruch.

Thurgauer Zeitung. Ausschnitt im Journal der Viktoria-Hütte von Gosset, Ph.

## 3.-17. September 1888.

Aufzeichnungen von Gosset, Ph. im Journal der Viktoria-Hütte 1888.

Im Auftrage von Gosset, Ph. und unter seiner Kontrolle führte Schiffmann Clemenz Zeiter vom 3. bis 17. September 1888 an einem provisorisch erstellten Pegel (« hölzerner Stab mit Hicken markiert ») nachfolgende Wasserstandsbeobachtungen durch:

Datum	Steigung des Sees in cm.	Total	Entspricht Pegelstand
3. September 1888	—	—	75.193 m
vom 3. bis 4. Sept. 1888	3.0	3.0	75.223 m
4. » 5. »	3.0	6.0	75.253 m
5. » 6. »	3.0	9.0	75.283 m
6. » 7. »	3.0	12.0	75.313 m
7. » 8. »	3.8	15.8	75.351 m
8. » 9. »	10.3 Regen	26.1	75.454 m
9. » 10. »	6.0	32.1	75.514 m
10. » 11. »	3.2	35.3	75.546 m
11. » 12. »	3.9	39.2	75.585 m
12. » 13. »	2.5	41.7 <sup>2</sup>	75.610 m
13. » 14. »	2.5	44.2	75.635 m
14. » 15. »	2.5	46.7	75.660 m
15. » 16. »	3.0	49.7	75.690 m
16. » 17. »	2.5	52.2	75.715 m

Total 52.2 in 14 Tagen.

22. Oktober 1888. Hochwasserstand. Das Wasser des Sees liegt höher als die projektierte Sohle des Westportals.

Cahier des charges 22 octobre 1888. Département des Ponts et Chaussées, Sion.

## 24. Juni 1889. Ausbruch.

« Gazette du Valais », Nr. 62, 2. August 1890.

21. August 1889. Das Wasser des Hintersees steigt langsam.

Brin, A., Bauführer. Schreiben an Ingenieur Zen Ruffinen, vom 21. August 1889.

24.-25. Juli 1890. Ausbruch. Verursachte keinen Schaden an den Korrektionswerken der Rhône.

Geschäftsbericht des Departements des Innern, Abteilung Oberbauinspektorat, an den Bundesrat, für das Jahr 1890.

« Gazette du Valais », Nr. 62, 2. August 1890.-J. V. Widmann. « Spaziergänge in den Alpen ». 3<sup>te</sup> Aufl., Frauenfeld 1896, S. 256-258.

<sup>1</sup> GOSSET, Ph. Originalaufzeichnungen im Journal der Viktoria-Hütte.

<sup>2</sup> Entspricht Seestand 3.0 m unterhalb der Hochwasserlinie vom Jahre 1887 = Pegelstand 75.610 m.

- 5.-6. *September 1891. Ausbruch.*  
Eidg. Oberbauinspektorat. Limnigraphenbogen Sitten.
8. *Juli 1892.* Wasserspiegelhöhe des Sees vor Beginn der Absenkung = 2359,44 m.  
Absenkung des Seespiegels 12<sup>h</sup>0 a : 1,00 m = 2358,44 m.
9. *Juli 1892.* Absenkung des Seespiegels 10<sup>h</sup>0 a : total 3,40 m (2356,04 m) 3<sup>h</sup>0 p : Das Wasser des Sees strömt seit 3 Uhr und noch fortwährend über den Aletschgletscher herunter.  
12<sup>h</sup>25 p : Rhone in Sitten steigt um 1,50 m.  
Abends : Das Seebecken ist vollständig leer.  
Geschäftsbericht des Departements des Innern, Abteilung Oberbauinspektorat, an den Bundesrat, für das Jahr 1892.  
Bericht des Baudepartements des Kantons Wallis an das Schweiz. Departement des Innern. « Gazette du Valais », Nr. 57, 1892.
19. *Juni 1893.* Sehr wenig Wasser im See und sehr wenig Schnee am Südabhang des Wannehorns. Kein Ausbruch.  
Cathrein, E., Hotelier, Eggishorn. Schreiben an das Baudepartement des Kantons Wallis vom 19. Juni 1893.
27. *Juni 1893.* Wasserstand des Sees tief.  
Inspektionsbericht des eidg. Oberbauinspektorates vom 27. Juni 1893.
19. *Juni 1894.* Der westliche Teil des Stollens ist unter Wasser, die Bauarbeiten sind deshalb eingestellt.  
Schreiben des Baudepartements des Kantons Wallis an Cathrein, E., Hotelier, Eggishorn.
25. *Juni 1894.* Das Wasser des Sees steigt täglich ungefähr 0,10 m.  
Cathrein, E., Hotelier, Eggishorn. Schreiben an das Baudepartement des Kantons Wallis vom 25. Juni 1894.
5. *Juli 1894.* Das Wasser des Sees liegt 2,60 m höher als die Schwelle des Westportals des Absenkungstollens. Steigung pro Tag (24 Stunden) 0,10 m.  
Inspektionsbericht des eidg. Oberbauinspektorates.
11. *Juli 1894. Ausbruch.*  
Eid. Oberbauinspektorat. Limnigraphenbogen Sitten.
- 23.-24. *September 1895. Ausbruch.*  
Eidg. hydrometrisches Bureau. Limnigraphenbogen Sitten.  
du Riche-Preller. The Geological Magazine. New Series. Decade IV, Vol. III, N° III. March, 1896.
6. *Juli 1896.* Wasserstand gering. See noch mit Eis bedeckt.  
Inspektionsbericht des eidg. Oberbauinspektorates vom 6. Juli 1896.
- August-September 1896.* Hochwasserstand.  
Ingenieur Chappex, J., berichtet : « Les eaux ont passé dans le souterrain pendant six semaines. On a constaté 30 cm d'eau à l'entrée et 20 cm à la sortie. Le lac s'est de nouveau vidé dès le commencement de septembre. »
- 16.-17. *September 1896. Ausbruch.*  
Eidg. hydrometrisches Bureau. Limnigraphenbogen Sitten und Porte du Scex.
12. *Juli 1897.* Le lac était tout bas ; l'eau n'arrivait pas au seuil de la porte d'entrée de la galerie. — Kein Ausbruch.  
Chappex, J., Ingenieur. Bericht an das eidg. Oberbauinspektorat, Juli 1897.

1898. Kein Ausbruch <sup>1</sup>.

1899. Kein Ausbruch <sup>1</sup>.

1900. 9. September. Ausbruch.

Eid. hydrometrisches Bureau. Limnigraphenbogen der Stationen Bitsch, Sitten und Porte du Scex.

31. August-1. September 1901. Vollständiger Ausbruch.

Eidg. hydrometrisches Bureau. Limnigraphenbogen der Stationen Bitsch, Sitten und Porte du Scex.

Tyndall, Louise. Mündliche Mitteilung an den Verfasser.

Forel, Lugeon et Muret. « Les variations périodiques des glaciers des Alpes. » 22<sup>e</sup> rapport, 1901. Jahrbuch S. A. C. 1901-1902.

1902. Absenkung <sup>1</sup>.

1903. Absenkung <sup>1</sup>.

1904. Absenkung <sup>1</sup>.

1905. Absenkung <sup>1</sup>.

1906. Absenkung <sup>1</sup>.

1907. 15.-16. August. Ausbruch.

« Bund », 21. August 1907.

« Gazette du Valais », Nr. 97, 22. August 1907.

« Alpina. » XVI. Jahrgang, Nr. 13, 1908. « Der Märjelsee im Wallis » von Stahel, Dr. Max. S. A. C.

### Die Resultate der Beobachtungen vom 23. September 1908 bis zum 31. Dezember 1913.

Die Resultate der Beobachtungen, die in der Folge zunächst behandelt werden sollen, umfassen die Zeitspanne von der Erstellung der Pegelanlage an, vom 23. September 1908 bis zum 31. Dezember 1913, also rund 5 Jahre. Während dieser Zeit sind die Messungen, so vollständig als es die örtlichen Verhältnisse erlaubten und so genau als nur möglich, ausgeführt worden. Selbstverständlich kann das Beobachtungsmaterial kein lückenloses sein. Die grosse Abgelegenheit des Sees, der gefahrvolle Weg namentlich in den Schneemonaten, stellen der kontinuierlichen Beobachtung oft unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg.

Die Ablesungen werden von Mitte Juli bis Mitte September täglich durch die Konkordia-Träger des Hotels Jungfrau am Fusse des Eggishorns ob Fiesch durchgeführt. In der Zwischenzeit besorgt der Wächter des Hotels, Joseph Margelisch, den Beobachtungsdienst. Je nach der Witterung werden im Winter monatlich allermindestens 2, in der Regel alle Wochen 1-2 Beobachtungen vorgenommen.

Vorgängig irgend welcher Bearbeitung des Pegelmaterials war es notwendig, dasselbe einer genauer Prüfung zu unterwerfen und die Frage zu entscheiden, auf welche Art und Weise fehlende Beobachtungen ersetzt und bei den Berech-

<sup>1</sup> CATHREIN, E. Mündliche Mitteilung an den Verfasser.

nungen bewertet werden müssen. Die Pegelgruppen sind so plaziert, dass eine fehlerhafte Ablesung kaum denkbar ist. Trotzdem jeder Wechsel der Wasserzufuhr des Hintersees eine Veränderung der Seehöhe herbeiführt, gehen die Niveauschwankungen zusammenhängender Perioden in der Regel in kontinuierlich steigendem Sinne vor sich.

In der Zeitperiode von Mitte Juli bis Mitte September sind nur ausnahmsweise Beobachtungen unterlassen worden. Diese konnten für die Berechnung in allen Fällen einwandfrei interpoliert werden, sodass sie auf die gemittelten Werte für diese Perioden keinen Einfluss auszuüben vermögen. Wesentlich anders verhält es sich mit denjenigen Beobachtungen, die namentlich in die Winter- und Frühlingszeit fallen und die infolge Abgelegenheit des Sees, schlechter Witterung, Kostenfrage, nicht ausgeführt werden konnten. Sie erstrecken sich oft auf mehrere Tage und Wochen. Unter Zuhilfenahme der Grenzwerte wurden auch diese Lücken auf dem Wege der Interpolation ausgefüllt. Selbstverständlich erleiden dabei die gemittelten Werte eine, wenn auch nicht besonders grosse Einbusse.

Um die Wasserstandsbewegung des Hintersees in der genannten Periode besser zu übersehen, sind sämtliche Beobachtungen in der Tafel 13 graphisch dargestellt worden. In die nämliche Tafel wurden auch die beiden, an den Ufern des Sees noch heute weithin deutlich sichtbaren natürlichen Hochwassermarken aufgenommen. Die obere, den Zustand des Sees vom 17. Juli 1878 darstellende Marke liegt in einer Höhe von 2366.55 m, die einem Pegelstande von 77.33 m entspricht; die untere Marke stellt die Hochwassergrenze vom 6. August 1887 dar. Sie liegt in einer Höhe von 2364.83 m = 75.61 m am Pegel und bildet zurzeit die Vegetationsgrenze des Sees. Beide natürlichen Marken liefern den unwiderleglichen Beweis des Vorkommens von ganz ausserordentlichen See-Hochwasserständen und Gletscherhöhen.

Hinsichtlich der Bestimmung der Höhenlage dieser beiden natürlichen Hochwassermarken möge noch bemerkt werden, dass sie an mindestens 10 verschiedenen Orten zur Bestimmung gelangte. Für die Eintragung in die Tabelle und für die spätere Berechnung der zugehörigen See-Volumen ist je das Mittel aus sämtlichen Beobachtungen verwendet worden.

Was nun die Wasserstandsbewegung des Hintersees anbelangt, so ist das Hauptgewicht darauf gelegt worden, eine Charakteristik einerseits für die Jahre seit der Erstellung des Pegels und anderseits für einzelne Zeitabschnitte des Jahres zu erhalten.

In der nachfolgenden Tabelle sind nun die Hauptergebnisse für die ganze, sich auf 5 Jahre erstreckende Periode von 1909-1913 zusammengestellt. Für jedes einzelne Jahr lassen sich daraus die mittleren Jahres-, Sommer- und Winterwasserstände, die höchsten Jahres- und Sommerwasserstände, die niedrigsten Jahres- und Winterwasserstände und die zugehörigen Mittelwerte der ganzen Periode entnehmen.

**Wasserstandsbewegung des Märjelensees nach den am Pegel in der Periode von 1909-1913  
erhobenen Beobachtungen.**

Cote des Pegel-Nullpunktes = 2289.22 m ü. M. Cote des Höhenversicherungs-Hauptpunktes  $\oplus$  367 = 2359.878 m.

HAUPTERGEBNISSE FÜR DIE JAHRE 1909-1913

Jahre	MITTLERE WASSERS TÄNDE			HÖCHSTE WASSERSTÄNDE						NIEDRIGSTE WASSERSTÄNDE						
	Mittlerer Jahres- wasser- stand Jan.-Dez.	Mittlerer Sommer- wasser- stand April-Sept.	Mittlerer Winter- wasser- stand Okt.-März	Höchster Jahreswasserstand			Höchster Sommerwasserstand			Niedrigster Jahreswasserstand			Niedrigster Winterwasserstand			
				Pegel- stand m	Datum		Pegel- stand m	Datum		Pegel- stand m	Datum		Pegel- stand m	Datum		
					Monat	Tag		Monat	Tag		Monat	Tag		Jahr	Monat	Tag
1909	40.62	46.70	33.64	56.72	IX.	16.-21.	56.72	IX.	16.-21.	33.28	I.	1.	32.10	1908	XI.	7.
1910	36.58	42.52	35.28	56.72	VIII.	10.	56.72	VIII.	10.	24.98	X.	26.-29.	33.92	1909	XI.	20.-29.
1911	24.64	27.17	26.47	48.00	VI.	22.	48.00	VI.	22.	16.28	X. XI.	27.-13.	24.98	1910	X.	26.-29.
1912	36.53	40.57	18.46	53.42	X.	17.-18.	53.17	IX.	30.	18.43	I.	1.	16.28	1911	X. XI.	27.-13.
1913	26.42	32.06	43.16	56.87	VII.	21.	56.87	VII.	21.	-12.17	VII.-XI	31.-31.	40.78	1913	I.	5.-15.
Mittel- werte	32.958	37.804	31.402	54.346			54.296			16.160			29.612			

Der höchste Hochwasserstand in der fünfjährigen Periode 1909-1913 fand am 21. Juli 1913 mit 56.87 m statt; der kleinste stellte sich im nämlichen Jahre, am 31. Juli 1913, mit - 12.17 m ein. Mithin beträgt die grösste Wasserspiegel-Schwankung im gleichen Jahr und zugleich in der ganzen Periode 56.87 m + 12.17 m = 69.04 m.

Das Mittel der höchsten Jahreswasserstände überragt das Mittel der höchsten Sommerwasserstände um nur : (54.346 — 54.296) = 0.050 m. Mit Ausnahme des Jahres 1912 fallen die höchsten Jahreswasserstände mit den höchsten Sommerwasserständen zusammen. Im letztgenannten Jahre erreichte der See erst am 17. Oktober mit 53.42 m seinen höchsten Stand, (höchster Sommerwasserstand am 30. September = 53.17 m).

Das Mittel der höchsten Jahreswasserstände überwiegt das Mittel der Jahreswasserstände um (54.346 — 32.958) = 21.388 m; das Mittel der niedrigsten Jahreswasserstände unterschreitet dasselbe um (32.958 — 16.160) = 16.798 m.

Die mittlere Schwankung des Seespiegels der fünfjährigen Periode beträgt : (54.346 — 16.160) = 38.186 m. Die Amplitude der mittleren Sommer- und Winterwasserstände erreicht den Betrag von : (37.804 — 31.402) = 6.402 m.

Die angeschlossenen Tabellen enthalten die höchsten und tiefsten Wasserstände am Anfang und Ende der zusammenhängenden Perioden der Anschwellung und Absenkung des Sees, deren Dauer, die zugehörigen See-Inhalte, die Zu- und Abnahme

des See-Volumens, die Differenzen der höchsten und tiefsten Wasserstände, die mittlere Zu- resp. Abflussmenge in Litern pro Sekunde während der ganzen Dauer der Anschwellung. Im ersten Teil sind die Perioden der Anschwellung des Sees, im zweiten Teil die Perioden der Absenkung für jedes einzelne Jahr übersichtlich zusammengestellt.

Höchste und tiefste Wasserstände am Anfang und Ende der zusammenhängenden Perioden der Anschwellung und Absenkung des Sees. Periode 1908/1909—1912/1913.

Pegelnulppunkt = 2289.22 m ü. M.

<i>Periode der Anschwellung des Sees.</i>										
JAHRE	ANFANG DER PERIODE			ENDE DER PERIODE			DAUER DER PERIODE			Mittlere Zufluss-Abflussmenge in Liter pro Sekunde
	Datum	Pegelstand m	Seeinhalt m <sup>3</sup>	Datum	Pegelstand m	Seeinhalt m <sup>3</sup>	Anzahl der Tage	Zunahme des Seeinhaltes in m <sup>3</sup>	Differenzen der höchsten und tiefsten Wasserstände	
1908-1909	1908. XI. 7.	32.10	923180	1909. IX. 16.	56.72	4459640	314	3536460	24.62	130
1909-1910	1909. XI. 29.	33.92	1073620	1910. VIII. 10.	56.72	4459640	254	3386020	22.80	154
1910-1911	1910. X. 29.	24.98	432700	1911. VI. 22.	48.00	2740220	237	2307520	23.02	113
1911-1912	1911. XI. 13.	16.28	80300	1912. X. 17.	53.42	3726440	340	3646140	37.14	124
1912-1913	1913. I. 15.	40.78	1749120	1913. VII. 21.	56.87	4496880	188	2747760	16.09	169
<i>Periode der Absenkung des Sees.</i>										
1909	1909. IX. 21.	56.72	4459640	1909. XI. 15.	33.92	1073620	56	3386020	22.80	700
1910	1910. VIII. 10.	56.72	4459640	1910. VIII. 22.	34.00	1080280	13	3379360	22.72 } 31.74 9.02 }	3009
	1910. IX. 3.	34.00	1080280	1910. X. 26.	24.98	432700	54	647580		
1911	1911. VI. 22.	48.00	2740220	1911. VII. 18.	16.52	85280	27	2654940	31.48	1138
1912	1912. X. 18.	53.42	3726440	1912. XII. 10.	40.80	1751340	54	1975100	12.62	423
1913	1913. VII. 21.	56.87	4496880	1913. VII. 31.	-12.17	0	11	4496880	69.04	4732

Der jährliche Gang der Wasserstandsbewegung sämtlicher Beobachtungsjahre zeigt unter sich eine grosse Regelmässigkeit. Die charakteristischen Eigenschaften, die die meisten Gletscher-Stauseen kennzeichnen, kommen in den Grundzügen sehr gut zum Ausdruck. Vom niedrigsten Stande ausgehend, der in die Monate November und Dezember fällt, ergibt sich ein fortschreitend *langsames* Steigen des Wasserspiegels des Sees in den Monaten Januar-April, hernach infolge der rapid einsetzenden Schneeschmelze, eine fortschreitend *raschere* Hebung bis zu seinem Höchststande. Ein allmähliches oder plötzliches Sinken des Seespiegels findet nur dann statt, wenn die Absturzwand des Grossen Aletschgletschers gegen den See hin ein

Aus- oder Ueberfliessen des Sees ermöglicht. Diese Erscheinung wird später noch behandelt werden. Die Höhen des Seespiegels nach den Ausbrüchen oder den Absenkungen des Sees ist eine sehr verschiedene (Pegelstand 1909 : 33.92 m; 1910 : 24.98 m; 1911 : 16.52 m; 1912 : 40.80 m; 1913 : — 12.17 m). Dagegen unterschreitet das Mittel der Wasserstände des Sees unmittelbar nach den Ausbrüchen das Mittel der niedrigsten Winterstände um nur  $(29.61 - 20.81) = 8.80$  m.

In die Periode des starken Ansteigens fallen die Monate Mai, Juni und Juli. Bricht der See bis Ende Juli nicht aus, so findet ein weiteres gleichmässiges, wenn auch weniger starkes Steigen statt, das bis in die Monate August, September und Oktober, und ausnahmsweise noch später, andauern kann.

Eine genauere Betrachtung der jährlichen Bewegung des Wasserspiegels zeigt uns, dass sie nicht so regelmässig erfolgt, wie es bei abflusslosen Seen meistens der Fall ist. Vielmehr zeigen sich mannigfaltige Störungen, deren weitere Untersuchung von Interesse sein dürfte.

### Die täglichen Schwankungen des Sees.

Ueber die tägliche Periode der Wasserstandsbewegung liegen nur Einzelbeobachtungen vor, die jeweilen nur wenige Tage umfassen. Nachtbeobachtungen sind gar keine vorgenommen worden. Hinsichtlich der Grösse der Schwankungen zu verschiedenen Jahreszeiten sind somit auch die Resultate, begrenzte.

Betrachtet man in der Morgenfrühe die Gletscheroberfläche, so liegt sie regungslos da. Je höher die Sonne steigt, desto wirkungsvoller wird die direkte Sonnenstrahlung und desto mehr belebt sich die Oberfläche. Es bilden sich erst kleine, dann grössere Wasserrinnen, die bis zu gewaltigen Bächen anwachsen können und die teils auf sichtbare, teils auf unsichtbare Weise, längs den Randspalten oder durch interglaziale Kanäle direkt dem See zufließen und dessen Wassermassen vergrössern.

Auch die vielen kleinen und grossen Eisberge, die dem See einen so reizvollen Charakter verleihen, nehmen allmählich eine andere Gestalt an. Der im See liegende Teil der Eisberge wird durch den Wärmegehalt des Wassers und der über die Wasserspiegelfläche hervorragende Teil durch den Einfluss der direkten Sonnenstrahlung und der Temperatur der ihn umgebenden Luft nach und nach geschmolzen. Neue Eisblöcke brechen fortwährend wieder ein, namentlich in den frühen Morgenstunden und verursachen eine mehr oder weniger grosse Steigung des Sees.

Diese tägliche Periode des Abschmelzens des Gletschers und der Eisberge, der Mehrertrag der Seitenbäche und des Zuflusses vom Vordersee, die in der Wärmeperiode von den vereinzelt Schneeüberresten stärker gespiesen werden und deshalb auch täglichen Schwankungen ausgesetzt sind, wirken auf den Stand des Sees ein. Natürlich vergeht eine gewisse Zeit, bis sich das Schmelzwasser von all

den verschiedenen Stellen seiner Entstehung in den See ergiesst. So kommt es, dass die maximale Wasserspiegelhöhe des Sees nicht auf die ersten Nachmittagsstunden d. h. in die Periode der maximalen Sonnenintensität und Temperaturen fällt, sondern auf die Stunden des Sonnenunterganges. In der Nacht nehmen die Zuflüsse wieder ab, am Morgen erreichen sie ihr Minimum und beginnen erst wieder anzuwachsen, nachdem die Schmelzung eine geraume Zeit neu eingesetzt hat.

Natürlicherweise ergibt sich in Bezug auf das Steigen und Fallen des Sees ein unruhiges Bild, da alle unregelmässig verlaufenden Einflüsse, wie sie namentlich durch das Zusammenwirken der meteorologischen Faktoren hervorgerufen werden, zum Vorschein und auch zur Geltung kommen.

In Betracht fallen hauptsächlich nachstehende Erscheinungen :

Das Losbrechen der Eisstücke im Gebiete der Gletscherwand und die Ausfressungen (Unterhöhlungen) an der Gletscherwand, hervorgerufen durch den Wärmegehalt des Seewassers; beides Faktoren die ein Zurückgehen der Gletscherzunge zur Folge haben; die Vorwärtsbewegung der Gletscherzunge in das Becken des Sees und die Verdunstung.

Wir werden an anderer Stelle auf all diese Erscheinungen zu sprechen kommen.

An Hand der hier aufgezeichneten Einzelbeobachtungen und der graphischen Darstellung in Fig. 9 dürfte die Charakteristik des Ganges der täglichen Schwankung deutlich genug hervortreten.

#### Beobachtungen vom 30. September bis 4. Oktober 1908.

Datum	Zeit	m ü. M.	Pegelstand in m
30. September 1908	9 <sup>h</sup> 30 a	2322.441	(33.222)
Id.	4 <sup>h</sup> 13 p	2322.446	(33.227)
1. Oktober 1908	8 <sup>h</sup> 0 a	2322.441	(33.222)
Id.	11 <sup>h</sup> 0 a	2322.441	(33.222)
Id.	12 <sup>h</sup> 0 a	2322.443	(33.224)
Id.	3 <sup>h</sup> 0 p	2322.460	(33.241)
Id.	4 <sup>h</sup> 45 p	2322.467	(33.248)
2. Oktober 1908	9 <sup>h</sup> 0 a	2322.431	(33.212)
Id.	3 <sup>h</sup> 0 a	2322.452	(33.233)
3. Oktober 1908	8 <sup>h</sup> 50 a	2322.446	(33.227)
Id.	1 <sup>h</sup> 45 a	2322.459	(33.240)
Id.	6 <sup>h</sup> 0 p	2322.466	(33.247)
4. Oktober 1908	1 <sup>h</sup> 0 p	2322.431	(33.212)

Der Gang der täglichen Periode gibt zu folgenden Bemerkungen Anlass :  
Die minimale Wasserspiegelhöhe des Sees fällt in die Morgenstunden, ungefähr um



8 Uhr, die maximale in die Abendstunden, ungefähr um 6 Uhr. Die Amplitude der täglichen Periode des Steigens des Sees erreicht beispielsweise für den 1. Oktober 1908 (Witterung sehr schön, windstill) den Betrag von rund 28 mm, was einer Vergrößerung des Seeinhaltes von rund 2350 m<sup>3</sup> gleichkommt; die Amplitude der täglichen Periode des Fallens des Sees vom 1. auf den 2. Oktober 1908 einen solchen von rund 40 mm, was einer Verkleinerung des See-Volumens von 3360 m<sup>3</sup> entspricht.

Selbstverständlich ist die Amplitude eine sehr variable und steht namentlich mit den Jahreszeiten und den Witterungsverhältnissen in engstem Zusammenhange; sie hängt ferner ab vom Verhältnis zwischen der Oberfläche des Sees und der Wasserführung der Zu- und Abflüsse, und von den übrigen soeben erwähnten Erscheinungen.

### Gang der täglichen Periode der Wasserstandsbewegung des Märjelensees, Hintersee

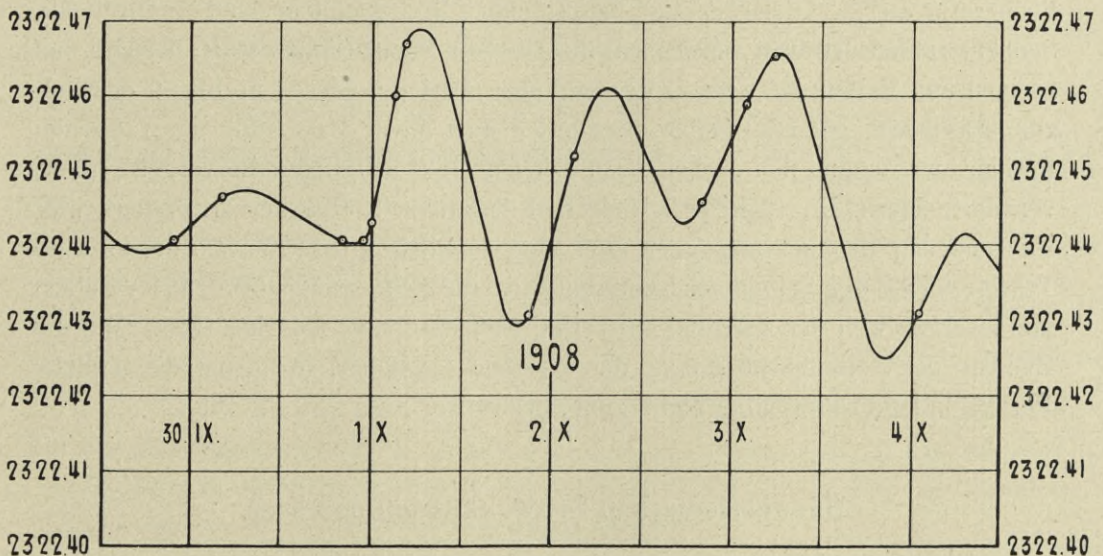


FIG. 9.

Werfen wir einen Blick auf die graphische Darstellung der täglichen Periode in Fig. 9, so fällt sofort auf, dass die tägliche Bewegung des Wasserstandes dieses Sees einen ähnlichen Charakter trägt, wie diejenige eines Gletscherbaches.

Die Frage nach der Ursache dieser interessanten, eigentümlichen Erscheinung ist eine leicht erklärliche. Eine, wenn auch nur gewisse Stunden des Tages andauernde Vergrößerung der Zufuhr, bewirkt ein Steigen des Seewasserspiegels.

Die Steigung des Sees ist unter der Annahme desselben Zuflusses, eine Funktion der Steilheit der Ufer, ein Faktor, der hier eine viel grössere Rolle spielt, als bei vielen andern Seen. Der Märjelensee wird bei tiefem Stande, bei einer Aenderung der Zufuhr um den nämlichen Betrag, viel höher steigen, als bei hohen Ständen. Die Grösse der täglich aufsteigenden Schwankung ist also in erster Linie abhängig von der Seehöhe, in zweiter Linie von der Zunahme der Zuflüsse, verursacht durch die Ablation des Gletschers und der Schneeflecken im Einzugsgebiete des Sees und den Niederschlägen. Sie ist aber auch wesentlich abhängig vom Volumen der in den See einstürzenden Eisblöcke und von den Folgeerscheinungen des Wärmegehaltes des Seewassers. Je zahlreicher die Einbrüche und je grösser die Eismassen, desto mehr wird der See steigen. Mit der Zunahme des Wärmegehaltes des Wassers werden aber auch die Ausfressungen des unter dem Wasser liegenden Teiles der Gletscherwand intensivere; der See dehnt sich mehr gegen den Gletscher aus, er vergrössert sich in seiner Längsrichtung und wird infolgedessen fallen. Beide auf die Veränderlichkeit der Seehöhe entgegengesetzt einwirkende Faktoren üben ihren Einfluss nicht vereint, sondern zeitlich getrennt aus.

Die erhöhte Zufuhr findet über Tag, die Einwirkung der erhöhten Wassertemperatur auf die Gletscherwand hauptsächlich erst nachdem der See durch die Sonnenstrahlen erwärmt worden ist, also in den Nachtstunden statt, deshalb das Steigen und Fallen des Sees in der täglichen Periode, wie es in Fig. 9 deutlich zum Ausdrucke gelangt. Selbstverständlich dürfen wir den Gang der täglichen Periode, wie er aus den soeben besprochenen Beobachtungen hervorgeht, nicht verallgemeinern. Die tägliche Periode tritt deshalb so kräftig hervor, erstens, weil während den Beobachtungstagen eine ungewöhnlich grosse Wärme bei kleinem Wasserzufluss der Seitenbäche herrschte (da die Schneeschmelze schon vorüber) und zweitens weil der Seestand ein verhältnismässig sehr niedriger war. Sind die Zuflüsse der Seitenbäche grosse, der Seestand ein hoher, so kommt die tägliche Periode in kaum messbarer Weise zum Ausdrucke.

### Die aperiodischen Schwankungen des Sees.

Ausser den periodischen, an sich übrigens schon unregelmässigen Schwankungen, gibt es noch aperiodische Schwankungen, die besonders an Gletscherseen stark ausgeprägt auftreten. Die limnigraphische Kurve auf Tafel 14 spiegelt sie auf das Schönste wieder. Anlässlich der Behandlung der täglichen periodischen Schwankungen haben wir schon auf die unregelmässig eintretenden Niveauschwankungen innerhalb eines Tages aufmerksam gemacht. An Hand teils selbstdurchgeführter Beobachtungen wollen wir nun auf die einzelnen Erscheinungen näher eintreten.

a) *Schwankungen verursacht durch das Losbrechen der Eisstücke an der Gletscherwand (Kalbung).*

Am 18. Juli 1911 erfolgte ein mächtiger Gletschereinsturz. Die Anschwellung des Sees betrug 0,215 m (Pegelstand vor dem Einsturz 5<sup>h</sup>20 p = 16,541 m, nach dem Einsturz 5<sup>h</sup>25 p = 16,756 m, Differenz = 0,215 m).

Die Differenz der Seeinhalte für die beiden Pegelstände entspricht einem Volumen von 4822 m<sup>3</sup>, daraus geht hervor, dass die eingestürzte Gletschermasse rund 5300 m<sup>3</sup> ausmachte.

Ingenieur Ph. Gosset hat im August 1887 anlässlich seines Aufenthaltes im Hotel Jungfrau, Eggishorn, durch den Schiffmann am Weg nach der Konkordiahütte vereinzelte Beobachtungen durchführen lassen. In der Nacht vom 6. auf den 7. August 1887 löste sich ein Eisberg vom Aletschgletscher von 60 m Länge und 25 m Höhe (die Tiefe ist nicht angegeben) und stürzte in den See. Die Folge davon war eine Hebung des Seespiegels um 30 cm. (Originalaufzeichnungen von Ingenieur Ph. Gosset).

b) *Schwankungen verursacht durch starke Regengüsse.*

Vom 21. August 1909 auf den 22. und am 22. August erfolgte ein heftiger anhaltender Regen mit darauffolgendem Schneefall.

	Pegel	Seeinhalt
Pegelstand am 21. August	5 <sup>h</sup> 17 p = 55,270 m	4119470 m <sup>3</sup>
Pegelstand am 22. August	4 <sup>h</sup> 41 p = 55,410 m	4149450 m <sup>3</sup>
	Differenz = 0,140 m	29980 m <sup>3</sup>

Zur Ergänzung mag noch bemerkt werden, dass der mittlere sekundliche Zufluss in der Regenperiode vom 21. August 5<sup>h</sup>17 p bis 22. August 4<sup>h</sup>41 p, also während 1404 Minuten 0,356 m<sup>3</sup> betrug, wobei natürlich den direkt in den See fallenden Niederschlägen eine wesentliche Bedeutung zukommt.

Vom 25. August auf den 26. August 1909 setzte neuerdings ein intensiver Regenfall ein. Der See erreichte am 25. August abends 5<sup>h</sup>20 einen Pegelstand von 55,72 m. Am 26. August 1909 um 9<sup>h</sup>15 morgens betrug die Ablesung 55,82 m. Mithin ergab sich eine Anschwellung von 55,82 — 55,72 = 0,100 m in einem Zeitraume von 15 Stunden und 55 Minuten. Mittlerer sekundlicher Wasserzufluss = 0,401 m<sup>3</sup>.

31. September — 17. Oktober 1911 (siehe Tafel 14, limnimetrische Kurve für das Jahr 1911).

Das Niveau des Sees während des Monats September erfuhr eine ganz unwesentliche Aenderung (30. September = 16,55 m). Daraufhin stellte sich mit Anfang

Oktober eine bedeutende Zunahme des Zuflusses, verursacht durch intensive Niederschläge ein, die ein rasches Steigen des Sees bewirkten. Diesem rapiden Steigen folgte, wie wir sogleich erklären werden, ein ebenso rasches Fallen. Die zugehörigen Pegelbeobachtungen sind im Nachstehenden zusammengestellt :

30. September 1911	5 <sup>h</sup> 10 p	= 16,55 m
9. Oktober	» 9 <sup>h</sup> 10 a	= 18,54 m
14. »	» 9 <sup>h</sup> 5 a	= 17,84 m
17. »	» 8 <sup>h</sup> 55 a	= 16,38 m

Periode der *Anschwellung* in 8 Tagen und 16 Stunden (18,54 — 16,55) = 1,99 m.  
 Periode der *Absenkung* in 7 Tagen, 23 Stunden 45 Minuten (18,54 — 16,38)  
 = 2,16 m.

In der ganzen fünfjährigen Beobachtungsperiode bleibt obige Erscheinung einzig dastehend. Nach jeder Absenkung des Sees lockert sich die Absturzwand. Der Druck des Wassers auf den Gletscher nimmt mit fallendem Seespiegel ab. Die Folge davon ist, dass sich nach jedem Ausbruche die dem See nächst liegenden Gletscherspalten erweitern. Einzelne Teile derselben werden durch heruntergefallene Eisblöcke mehr oder weniger verstopft. Solche Verstopfungen können für gewisse Zeiten den Abfluss verhindern. Die Zahl der Einstürze ist jeweilen eine sehr grosse. Für den vorliegenden Fall ist die Abflussspalte so vollständig geschlossen worden, dass der See solange steigen konnte, bis der Druck und die Schmelzkraft des Wassers gross genug waren, den eingekeilten Eisberg nach und nach zu entfernen.

## IX. KAPITEL.

### Die Bewegung der Gletscherzunge im Becken des Märjelensees.

Ein weiterer Vorgang, der eine Veränderung der Seewanne und vieler mit ihr im Zusammenhang stehenden Erscheinungen hervorruft, ist die Bewegung der Gletscherzunge im Becken des Hintersees. Als gewaltige 600 m breite Eisbarriere bildet sie die Westgrenze des Sees. Ihre Ausdehnung, Höhenlage und die Spaltenbildung im Bereiche der Gletscherzunge sind bestimmend für die Grösse des Seebeckens und die maximalen und minimalen Wasserstände des Sees. Mit der Ausdehnung der Gletscherwand in das Seitental der Märjelenalp erfährt die Seefläche und damit auch das Volumen des Sees eine Verkleinerung.

Nimmt der Gletscher an Höhe zu, so vergrössert sich naturgemäss der Seeinhalt. Die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung ist natürlich eine sehr verschiedene. Sie hängt selbstverständlich von der Mächtigkeit, und vom Gefälle des Grossen Aletschgletschers im Bereiche des Sees ab. Der Druck der Eismassen auf die tiefer liegenden Schichten, die Profilgestaltung des Gletscherbettes sind dabei von grossem Einflusse. Jede Aenderung der Geschwindigkeit rührt, wie bei einem Gewässer, von einer Aenderung des Querprofils her. Die Geschwindigkeit nimmt gegen die Sohle hin in der Regel ab. Die Reibung an der Sohle verzögert die Bewegung.

Grad und Dupré beobachteten am 18. August bis 1. September 1869 in drei Profilen am Grossen Aletschgletscher folgende mittlere tägliche Bewegung<sup>1</sup>:

*Querprofil A* « beim ersten Dreieck » 15000 m oberhalb des Gletscherendes, 2600 m über Meer, ca. 1800 m Gletscherbreite :

Entfernung vom rechten Ufer m	Mittl. tägl. Bewegung m
ca. 150	0.318
450	0.411
750	0.446
1050	0.505
1350	0.429
1650	0.315

<sup>1</sup> Siehe Albert HEIM, *Handbuch der Gletscherkunde*. Stuttgart, 1885, S. 149 und 150.

*Querprofil B* unterhalb Mittelaletschzufluss, 8000 m vom Ende entfernt, 2150 m über Meer, 1500 m breit :

	Entfernung vom rechten Ufer m	Mittl. tägl. Bewegung m
ca.	150	0.316
	450	0.330
	750	0.392
	1050	0.317
	1350	0.114

*Querprofil C* abwärts vom Oberaletschgletscher 2000 m vom Gletscherende, 1850 m über Meer, 800 m breit :

	Entfernung vom rechten Ufer m	Mittl. tägl. Bewegung m
ca.	150	0.264
	400	0.248
	650	0.207

Infolge der verworfenen Gestaltung der Zunge des Gletschers und ihrer Umgebung, musste, trotz der ungemein interessanten Verhältnisse, diese Untersuchung wenigstens vorderhand, auf wenige Versuche beschränkt werden.

Unter Nichtachtung grosser Gefahren gelang es Techniker Poulin aus Genf am 6. August 1912 4 h 14 p am äussersten Ende der Zunge einen Jalon solid zu befestigen. Die Lage dieses Punktes ist vom Abhange des Strahlhornes aus durch Visur mit Hilfe einer am Fusse des Eggishornes fest einzementierten eisernen Röhre so genau als möglich bestimmt worden. Den erreichten Genauigkeitsgrad schätzt der Verfasser auf  $\pm 5$  cm. Genau 4 Tage später, am 10. August 1912, 4 h 10 p ist nun die alte Lage des Jalons neu bestimmt und die Entfernung desselben vom vorwärtsgeschobenen alten gemessen worden. Der *Betrag der Verschiebung* erreichte eine Grösse von 1.43 m. Daraus folgt die Bewegung des Punktes

$$\begin{aligned} \text{in einem Tage} &= \frac{1.43}{4} = 0.357 \text{ m} \\ \text{in einer Stunde} &= \frac{1.43}{96} = 0.015 \text{ m} \end{aligned}$$

Das Gesetz, nach welchem die Geschwindigkeit von den Rändern des Eggishornes und Strahlhornes gegen die Mitte zu wächst oder ab nimmt, ist nicht erforscht worden.

Vergleichen wir die gemessene Geschwindigkeit mit denjenigen des Grossen Aletschgletschers von Grad und Dupré, so springt einem der verhältnismässig grosse Betrag der Vorwärtsbewegung der Gletscherzunge in die Augen. Es ist dies um so auffallender, als der Gletscherstand im Jahre 1869 ein bedeutend höherer war als 1912.

Die Ursachen dieser Erscheinung sind folgende: Der Hauptstrom des Grossen Aletschgletschers führt im Gebiete des kleinen Seitentales der Märjelenalp eine Biegung nach Südwesten aus. Querprofil A von Grad und Dupré liegt oberhalb, Querprofil B unterhalb jenem, das Märjelental berührenden Gletscherteile. Der Punkt der maximalen gemessenen Geschwindigkeit im Profil A befindet sich auf der konkaven Seite (150 m östlich der Axe), derjenige im Profil B dagegen in der Mitte des Eisstromes. In der Zone des Märjelensees dürfte die Lage desselben, infolge der zunehmenden Krümmung des Hauptstromes noch mehr gegen das linke Ufer gedrängt werden. Zudem wird derjenige Teil des Hauptgletschers, der sich zwischen den Felshängen des Strahl- und Eggishornes in das Seitental der Märjelenalp hineinzuworfen versucht, gewaltig zusammengepresst, was eine erhöhte Geschwindigkeit zur Folge hat. Aus obigen Gründen gelangen wir zum Schlusse, dass die vom 6. bis 10. August 1912 beobachtete mittlere tägliche Bewegung der Gletscherzunge im Becken des Sees im Betrage vom 0.357 m mit denjenigen von Grad und Dupré vom Jahre 1869 harmoniert.

Ein weiterer Umstand, der für die Vorwärtsbewegung der äusseren Teile der Gletscherzunge ins Gewicht fällt, ist der Einfluss der Ausfressungen durch das Seewasser an der Gletscherwand. Es liegt auf der Hand, dass bei fortgeschrittener Unterhöhlung der Zunge der betreffende Gletscherteil sich allmählich gegen den See neigen wird. Diese Erscheinung spielt jedoch für den vorliegenden Versuch nur eine untergeordnete Rolle, weil nach dem Ausbruche des Sees im Jahre 1912 festgelegt werden konnte, dass der betreffende Gletscherkörper keine sichtbare Veränderung erlitten hatte.

Vor ungefähr 65 Jahren hatte der Aletschgletscher seine letzte beobachtete grösste Ausdehnung erreicht, seither ist er fast ununterbrochen zurückgegangen. Im Jahre 1878 hat das Baudepartement des Kantons Wallis die erste genaue Aufnahme der Lage des Zungenendes ausführen lassen. Seit 1908 sind regelmässige Wasserstandsbeobachtungen und vereinzelte Gletscherstudien angestellt worden. Die Lage der Grenzlinie ist im Sommer 1913, unmittelbar nach dem vollständigen Ausbruche des Sees neu bestimmt worden. (Siehe Tafel 20.) Das Resultat der Nachmessung ist interessant. Die Grenzlinie des Jahres 1878 schneidet diejenige des Jahres 1913 ungefähr in der Mitte der Gletscherwand zweimal. Das Zungenende im Jahre 1878 schmiegte sich dem Felshange des Strahlhornes direkt an, währenddessen sich dasjenige des Jahres 1913 in der Mitte des Beckens entwickelte. Tatsache ist ferner, dass der Gletscher im Jahre 1878 tiefer in das Tal der Märjelenalp eingedrungen ist, als im Sommer 1913. Die Lage der Grenzlinie des Gletschers im Becken des Sees ist eben in erster Linie eine Funktion des Gletscherstandes.

Der Einfluss der verschiedenen Lage der Gletscherwand im Becken des Märjelensees auf die morphometrischen Verhältnisse, macht sich sowohl bezüglich der horizontalen, als auch der vertikalen Gliederung geltend.

Um in dieser Hinsicht einen Vergleich zu ermöglichen, sind die morphometrischen Werte für beide Zustände berechnet worden.

Wir verweisen in dieser Hinsicht auf die Tiefenkarte in Tafel 20, auf die Darstellung der hypsographischen Kurven (Seite 58) und auf die morphometrischen Werte, die sich auf Seite 57 vorfinden. Danach beträgt der Inhalt des Seebeckens des Hintersees in der Höhe des Vordersees im Jahre 1913 : 6 356 790 m<sup>3</sup> gegenüber 5 500 605 m<sup>3</sup> im Jahre 1878. Die Differenz dieser beiden Resultate im Betrage von 856 185 m<sup>3</sup> rührt von der tiefern Lage der Gletscherzunge im Becken des Märjelensees anno 1878 her.

In Bezug auf den Verlust der Querschnittfläche (Tafel 5, Profil 8) muss betont werden, dass eine genaue Aufnahme im Jahre 1878 leider nicht erhoben wurde. Für die ungefähre Ermittlung der Gletscherhöhe bieten uns aber die beiden schon früher erwähnten an den Ufern des Sees sichtbaren natürlichen Hochwassermarken Anhaltspunkte.

Mit Hülfe der Querprofilaufnahmen (Tafel 5, Profil 8) der Jahre 1908, 1909 und 1912 und des höchstbekanntesten Seestandes am 17. August 1878 = 2366.55 m (P = 77.33 m) ist nun der Gletscherzustand im Jahr 1878 rekonstruiert worden.

#### Höchste und niedrigste Punkte der Gletscheroberfläche.

	Höchster Punkt	Niedrigster Punkt	Differenz
17. VIII. 1878	= 2392.0 m	2364.0 m	28.0 m
10.-12. X. 1908	= 2370.09 m	2342.72 m	27.37 m
23.-25. VIII. 1909	= 2370.83 m	2342.10 m	28.73 m
20. IX. 1912	= 2367.35 m	2339.72 m	27.63 m

Aus den Querprofilaufnahmen ist ersichtlich, dass die Lage des Kulminationspunktes für die Jahre 1912, 1909 und 1908 in die Mitte des Profiles fällt. Photographische Aufnahmen beweisen das nämliche für den Zustand im Jahre 1878.

Was nun die Querprofilaufnahmen im Allgemeinen anbetreffen, so sei ausdrücklich bemerkt, dass sie nur ein Bild der Veränderlichkeit der Gletscheroberfläche in der Nähe des Sees geben sollen, dass sie also nicht dazu aufgenommen worden sind um den Betrag der jährlichen Ablation zu ermitteln. Die Höhe der Gletscheroberfläche ist bestimmend für die Hochwassergrenze des Sees. Hierüber Anhaltspunkte zu besitzen ist der wesentlichste Grund der Aufnahme des Querprofils der Gletscherzunge auf Tafel 5.

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Aufnahmen des Gletscherprofils 8 wird recht deutlich illustriert durch die graphische Darstellung aus Tafel 5. Es stellen sich Eigentümlichkeiten heraus, zu deren einwandfreien Erklärung heute mangels Detailstudien über die Bewegung des ganzen Gebietes der Gletscherzunge die Mittel fehlen. Der Gletscher ist eben von einem Jahre zum andern gewissen



wechselnden klimatischen Einflüssen unterworfen, die ein Fortschreiten von Bewegungswellen ganz kurzer Perioden durch die ganze Länge des Eisstromes herbeiführen. Ähnliche Wellen haben Blümcke und Finsterwalder am Hintereisferner, auf Grund äusserst sorgfältiger Messungen, festgestellt. Die Schwierigkeit der Klarstellung versteht man am besten, wenn wir die rechtsufrigen Teile der Profilaufnahmen mit einander vergleichen. Eine Gesetzmässigkeit dieser Aenderung ist sehr schwer nachzuweisen. Dass die Wellenbildung des Gletscherteiles am Fusse des Eggishornes eine bedeutend unruhigere sein muss als diejenige am Fusse des Strahlhornes, wie dies aus den Profilaufnahmen hervorgeht, ist eine ganz natürliche, denn ein Teil des mächtigen Eisstromes des Grossen Aletschgletschers wirft sich mit voller Gewalt gegen die Felshalde des Eggishornes. Auch ändern sich die Stromlinien in entsprechender Weise. Sind am Grunde des Eisstromes grössere Hindernisse, wie dies im vorliegenden Fall auch zutrifft, so kann der Eisstrom, weil der Böschungswinkel des Felsgrates des Eggishornes nach oben zu steil wird, nicht mehr darüber hinweg fließen, das Eis muss sich teilen und dem Hindernis nach rechts und nach links ausweichen. Die Oberflächengestaltung des Aletschgletschers beim Märjelensee lässt auf einen Felsrücken schliessen, der ungefähr von der Mitte der Absturzwand ausgehend sich in nordwestlicher Richtung weiter entwickelt. Aus den Querprofilaufnahmen ergibt sich eine Aenderung der Querprofilflächen in der Zeit vom 10.-12. Oktober 1908 bis 23.-25. August 1909 von + 184 m<sup>2</sup>, in der Zeit vom 23.-25. August 1909 bis 20. November 1912 von — 1439 m<sup>2</sup>. Berechnen wir nun die Aenderung der Querprofilflächen für den Zeitraum vom Jahre 1878 bis 1912, so erhalten wir eine Abnahme der Querprofilfläche von rund 13000 m<sup>2</sup>. Als mittlere Höhe der Gletscheroberfläche erhalten wir folgende Resultate :

17. VIII. 1878	= 2377.3	m
10.12. X. 1908	= 2357.39	m (0.0-550.0 des Querprofils)
23.-25. VIII 1909	= 2357.74	m (0.0-530.0 » )
20. IX. 1912	= 2355.19	m (4.3-526.8 » )

Da die Aufnahme des Profils 8 in den einzelnen Jahren infolge anderweitiger Arbeiten nicht im nämlichen Zeitpunkt erfolgen konnte, dürfen die vorliegenden Resultate nicht ohne Reduktion mit einander verglichen werden. Hiezu fehlen aber genaue Daten, deshalb soll der Versuch diese Beziehung annähernd festzulegen, nicht durchgeführt werden. Obige Daten zeigen gleichwohl deutlich genug, dass die Gletscherhöhe im Profil 8 in der Periode 1908-1912 ständig zurückgegangen ist.

Welch grosse Bedeutung die Gemeinde Fieschertal der Vorwärtsbewegung des Gletschers in das Becken des Märjelensees zuschrieb, geht aus einer Bittschrift hervor, die die Gemeinde am 7. April 1889 wegen der Tieferlegung des Sees an den Staatsrat des Kantons Wallis richtete.

In derselben behauptet die Gemeinde Fieschertal, dass die Tieferlegung des genannten Sees durch einen projektierten Absenkungsstollen das Vordringen des Aletschgletschers über die Märjelenalp und mit der Zeit Anschluss an den Fieschergletscher zur Folge habe. Diese Behauptung gründet sie auf eigene Erfahrungen und auf solche ihrer Vorfahren, welche die Beobachtung der Bewegung des Aletschgletschers zu der Ueberzeugung gebracht haben, dass nur der See mit hohem Wasserstande den Gletscher am Vordringen in die Märjelenalp hindern könne. « Es sei eine unumstössliche seit Jahrhunderten beobachtete Tatsache, dass der Aletschgletscher bei vermindertem Wasserstande des Märjelensees vordringt, dagegen bei hohem See auf der vom Wasser begrenzten Seite geätzt wird, zur Sommerszeit in furchtbaren Massen in den See fällt, sich dort zerteilt, dann vom Winde in den vorderen Seeteil gefördert wird und dort schmilzt; auf diese Art sei der vorgedrungene Gletscher immer wieder auf die gewünschte Grenze zurückvermindert worden. Dieser Kampf zwischen Gletscher und See müsse tief in die Vergangenheit reichen und könne heute noch beobachtet werden. »

Die Gemeinde befürchtete also, dass die projektierte Tieferlegung des Sees die spätere Existenz ihrer besten Viehalpen in Frage stellt. Dieser Behauptung darf nicht alles Recht abgesprochen werden. Je nach der Höhenlage des Gletschers ändert sich auch seine Geschwindigkeit. Dass ein Wachsen des Gletschers in das Becken des Sees durch die Tieferlegung unbedingt befördert wird, muss ohne weiteres zugegeben werden. Immerhin dürfte der Schaden, der der Gemeinde durch die verhältnismässig kleine Absenkung des Sees entstehen könnte, bedeutend überschätzt worden sein.

## X. KAPITEL.

### Die Verdunstung.

#### Verdunstungsversuche am Märjelensee. Einfluss der Verdunstung auf die Niveauschwankungen des Sees.

Die Verdunstung ist in erster Linie abhängig von der Temperatur. Das Wasser verdunstet bei jeder Temperatur und zwar sowohl in flüssigem, wie festem Aggregatzustande (Eis und Schnee). Die Zunahme der Temperatur steigert aber die Verdunstung, sie ist deshalb nach Tages- und Jahreszeit eine sehr ungleiche. Die Verdunstung ist ferner abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit, sie nimmt auch unter sonst gleichen Verhältnissen mit abnehmendem Luftdruck zu, wächst ferner mit der Stärke des Windes; allgemein sind die Verdunstungsverhältnisse, namentlich in solchen Gebirgsgegenden, wie wir sie beim Märjelensee antreffen, äusserst wechselvolle. Volle Sättigung der Luft mit Wasserdampf, wie dies oft durch plötzlich heranziehenden Bergnebel herbeigeführt werden kann, wechselt mit grösster Trockenheit ab, die Windstille und auf- und absteigende Luftbewegung der höheren Schichten an den umgebenden Gehängen zu Stande bringen kann.

Der Gang der täglichen Periode der Wasserstandsbeziehung des Hintersees veranlasste den Verfasser im Sommer 1913, einige Verdunstungsversuche sowohl am Vorder- als auch am Moränen-See durchzuführen. Die Aufgabe, die er sich dabei stellte, konzentrierte sich auf einzelne peinlich vorbereitete, selbstüberwachte Verdunstungsmessungen, um damit ein Mass für den Grad der Verdunstung in dieser Höhe zu erhalten. Da die Lage des Vorder- und Moränen-Sees in Bezug auf die Verdunstung eine vollkommen verschiedene ist, wurden die Versuche auf beide Seen ausgedehnt. Die Verdunstungsmessungen sind vermittelt eines Zinkgefässes von kreisrundem Querschnitt (Durchmesser 300 mm, Höhe 250 mm) durchgeführt worden. Die Füllung des Gefässes betrug 219 bis 180 mm, so dass die Wasseroberfläche im Gefässe noch 31-70 mm unter dem Gefässrand stand. Die Temperatur

des Wassers im Gefäss stimmte genau mit der Temperatur der Seeoberfläche überein. Der Standort wurde soweit als möglich vom Ufer, aber doch noch so gewählt, um das Gefäss mit dem Seegrund fest zu verbinden. Genaue Marken am Rand der Gefässe ermöglichten präzise Abstichbeobachtungen. Um Beobachtungsfehler möglichst zu vermeiden, sind jeweilen je 3 Beobachtungen ausgeführt und hievon das Mittel genommen worden.

### Verdunstungsversuche im September 1913.

See	Datum	Zeit			Witterung	Regen- höhe mm	Abstich- höhen mm	Dauer der Periode Minuten	Diffe- renzen der Abstich- höhen mm	Ver- dunstungs- höhe pro 24 Stunden mm	Temperatur		Mittlere Verdunstungshöhe
		Stunde	Minute	Vormittag a Nachmittag p							des Wassers ° Celsius	der Luft ° Celsius	
Vordersee:	6. IX.	9	20	a	leicht bewölkt windstill	0,0	70	465	1	3,1	12,0	8,0	Mittlere Ver- dunstungshöhe am Vordersee vom 6. IX. 1913: 9 <sup>h</sup> 20 a—13. IX. 1913: 5 <sup>h</sup> 13 p. Total = 25 mm pro 24 Stunden = 3,41 mm
	6. IX.	5	5	p	"	0,0	71	1270	3	3,4	12,0	7,5	
	7. IX.	2	15	p	leicht bewölkt windstill	31,0	74	5525	43	3,1			
	11. IX.	10	20	a	sehr schön	0,0	31	460	2	6,3	9,4	3,5	
	11. IX.	6	—	p	"	0,0	33	888	2	3,2			
	12. IX.	8	48	a	sehr schön windstill	0,0	35	1455	3	3,0	9,4	3,4	
	13. IX.	9	3	a	bedeckt	0,0	38	490	2	5,9	9,4	3,4	
	13. IX.	5	13	p	bedeckt windstill	0,0	40				9,5	3,5	
						Summiert:	10553	25	28,0				
Moränensee:	11. IX.	11	4	a	sehr schön windstill	0,0	66	401	1	3,6	5,8	5,8	Korrespondierende Verdunstungshöhe am Vordersee in der nämlichen Periode: 11. IX. 1913; 10 <sup>h</sup> 20 a—13. IX. 1913: 9 <sup>h</sup> 3 a. Total = 7 mm pro 24 Stunden = 3,60 mm
	11. IX.	5	45	p	"	0,0	67	940	1	1,5			
	12. IX.	9	25	a	sehr schön windstill	0,0	68	1450	2	2,0	5,5	4,0	
	13. IX.	9	35	a	bedeckt	0,0	70						
						Summiert:	2791	4	7,1				

Die Ergebnisse vorstehender Versuche sind nun nach zwei Richtungen hin interessant.

Erstens ergeben die Beobachtungen, dass die Verdunstung bei Tag im Mittel rund zwei mal grösser ist als bei Nacht. Zweitens beträgt die mittlere Verdunstungshöhe für den *Vordersee* vom 11. September 1913 10 h 20 a—13. September 1913 9 h 3 a auf 24 Stunden (1 Tag) reduziert 3,60 mm; diejenige für den *Moränensee*

vom 11. September 1913 11 h 4 a—13. September 1913 9 h 35 a, also in fast genau derselben Zeit, ebenfalls auf 24 Stunden (1 Tag) reduziert, nur 2,06 mm. Sie ist also 1,7 mal kleiner als die Verdunstungshöhe des Vordersees. Der tägliche Gang der Verdunstung schliesst sich mehr oder weniger genau demjenigen der Temperatur an. Der Unterschied in der Grösse der Tages- und Nachtverdunstung ist deshalb in erster Linie dem Einflusse der Temperatur des Wassers und der Luft zuzuschreiben.

Die Aufzeichnungen der Verdunstung zu Montpellier von Hondaille ergeben beispielsweise, dass dort die Verdunstung bei Tag im Mittel 3,9 mal grösser ist als bei Nacht, am kleinsten ist diese Verhältniszahl im Februar, nämlich 2,6, am grössten im August : 4,9 (Beide Zahlen auf gleiche Dauer der Nächte reduziert) <sup>1</sup>.

Dr. E. Rübel <sup>2</sup> hat in den Jahren 1905 und 1906 auf dem Bernina Hospiz (2330 m ü. M.) mit einem Verdunstungsmesser, System Wild, auf dem Dache des Hospizes, in einer gegen Sonne und Regen geschützten Lage Verdunstungsversuche angestellt, deren Resultate wir als Vergleich in der Nachfolge wiedergeben :

**BERNINA-HOSPIZ**

1905	Monats-	Tages-	Maximum	Minimum
	summe	mittel		
	mm	mm	mm	mm
Juni (15.-30.) . . . . .	31,4	2,10	4,8 (22. 23.)	0,6 (24. Nebel und Neuschnee).
Juli . . . . .	88,5	2,85	4,6 (11. 12.)	0,4 (Nebel und Regen).
August . . . . .	35,9	1,44	2,4 (31.)	0,0 (1. 5. 11. 16. 23.-28. Regen).
September (16 Tage)	20,6	1,29	3,4 (4.)	(Schnee und Regen).
<b>1906</b>				
Mai . . . . .	39,4	1,3	5,5 (30.)	0. (1. 2. 3. 6. 7. 8. 19. 20. 21.).
Juni . . . . .	76,6	2,5	3,8 (1.)	0,6 (9. Nebel).
Juli . . . . .	71,5	2,3	5,5 (10.)	0,0 (4. Nebel und Regen).
August . . . . .	104,0	3,3	7,4 (6.)	0,8 (19. Nebel und Schnee).
September (1.-14.) . . . . .	38,0	2,7	4,6 (6.)	1,3 (14.).

Die Luft mit ihrem Wasserdampfgehalt wird bei Annäherung an den Gletscher abgekühlt und sobald der Taupunkt erreicht ist, kondensiert, mit andern Worten : Der Gletscher befördert die Verdunstung. Der umgekehrte Vorgang tritt ein, wenn relativ trockene Luft über die Gletscherfläche streicht.

Ueber Kondensation und Verdunstung der Gletscher gibt uns schon Albert Mousson <sup>3</sup> im Jahre 1854 in seiner Arbeit « Die Gletscher der Jetztzeit » treffliche Erklärungen :

<sup>1</sup> HANN. *Lehrbuch der Meteorologie und Met.* Z. B. 1893, S. 431.  
<sup>2</sup> RÜBEL, E. *Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes.* Sonderabdruck aus Botanische Jahrbücher, Bd. XLVII, Heft 1-4. Leipzig, 1912.  
<sup>3</sup> MOUSSON, A. *Die Gletscher der Jetztzeit.* Zürich, 1854.

« Wäre die Luft ruhend und bleibend auf dem Gletscher, so würde sie notwendig auf demjenigen Stande der Feuchtigkeit verharren, für welchen die Temperatur des Gletschers den Taupunkt bezeichnet; denn jede grössere Dampfmenge würde ausgeschieden, jede geringere durch die Verdunstung des Eises, wie die des Wassers vor sich geht, wieder ersetzt. Zugleich würde die relative Feuchtigkeit von der das Eis berührenden Luftschicht an, die sich nahe auf  $0^{\circ}\text{C}$  und auf dem Sättigungspunkte befindet, nach oben, wegen der zunehmenden Wärme allmählich sinken und zwar an warmen Tagen bis unter die halbe Sättigung. Endlich müsste jede Erkältung des Gletschers, z. B. durch nächtliche Ausstrahlung, eine Kondensation von Feuchtigkeit, jede Wiedererwärmung bis  $0^{\circ}\text{C}$  eine Verdunstung zur Folge haben.

Vergleicht man mit diesen theoretischen, die wirklichen Verhältnisse, so bestätigt sich vollständig die nächtliche Kondensation. Während der Nacht, oft schon des Abends, bekleiden sich alle kleinen Hervorragungen und Unebenheiten der Gletscherfläche, wie im Tieflande an kalten Wintertagen, mit feinen Eisnadeln, Gletscherblumen, und die Luft der hohen Firngegenden selbst nähert sich, gemäss den Beobachtungen Saussure's auf dem Col du Géant, einem Zustande grösserer Trockenheit. Dagegen scheint die höher über dem Gletscher befindliche Luft bei der steten Erneuerung, die sich durch allgemeine Winde und lokale Strömungen erleidet, oft nicht denjenigen Grad von Trockenheit zu erhalten, den das vorgenannte Gleichgewicht des Dampfes voraussetzt. Die Folge wird sein, dass der grössere Dampfdruck, auf die das Eis berührende Luftschicht übertragen, Verdichtung bewirkt. »

Hess hat im Februar 1902 an einem Eisstück von etwa  $50\text{ cm}^3$ , das er zu Versuchszwecken in stark bewegter, kalter Luft 26 Stunden stehen liess, eine Gewichtsabnahme von  $20\%$  infolge Verdunstung konstatiert<sup>1</sup>. In diesem Fall entzieht die trockene kalte Luft dem Gletscher einen Teil seiner Masse, der Feuchtigkeitsgehalt derselben wird grösser, die Verdunstung kleiner.

Forel und Dufour haben aus Messungen, die sie im Jahre 1870 am Rhonegletscher anstellten, geschlossen, dass Kondensation siebenmal häufiger vorkommt als Verdunstung<sup>1</sup>.

Hess und Blümcke fanden, dass Luft über dem Gletscher tagsüber ebenso oft Wasserdampf aufnehmen, als solchen an den Gletscher abgeben kann<sup>1</sup>. Aus dem Vorangehenden ersehen wir, wie verschieden die bisherigen Verdunstungsmessungen an Gletschern ausgefallen sind.

Für den Moränensee ist die Abnahme der Verdunstung sicherlich in erster Linie eine Folge des Einflusses der ungleichen Wassertemperaturen der beiden Seen. Die Temperatur des Wassers des Vordersees ( $9,4^{\circ}$ ) ist um rund  $4^{\circ}$  höher als diejenige des Moränensees ( $5,6^{\circ}$ ), deshalb muss auch die Verdunstung des

<sup>1</sup> HESS, H. *Die Gletscherkunde*, Braunschweig, 1904, Seite 212.

ersteren eine grössere sein. Dazu kommt noch der Einfluss der örtlichen Lage des Moränensees, gegenüber demjenigen des Vordersees zur Geltung. Infolge der windgeschützten Lage des beinahe in der tiefsten Stelle des Talkessels liegenden kleinen Sees, muss die Verdunstung des Moränensees in der Regel eine bedeutend kleinere sein, als diejenige des exponierten Vordersees.

Beim Hintersee bewirkt eine Vermehrung des Zuflusses in der Regel ein Steigen der Seehöhe und eine Ausdehnung der Seefläche. Eine Ausdehnung der Seefläche ohne Steigen derselben tritt ein, wenn der See vermöge seines Wärmegehaltes neue Spalten öffnet, deren Inhalt dem Betrag des Zuflusses weniger dem der Verdunstung gerade gleichkommt. Je nach der Grösse der Ausdehnung dieser Spalten und Löcher ist also der Einfluss derselben auf die Wasserspiegelhöhe des Sees ein verschiedener. Nun sind am Hintersee das nördliche, südliche und westliche Ufer, letzteres allerdings nur so lange der See den Gletscher nicht überflutet, steil, nur das östliche Ufer trägt etwas flacheren Charakter. Jeder Faktor, der auf die Seehöhe einwirkt, kommt deshalb rasch zum Ausdrucke.

Die absolute Verdunstungsmenge nimmt natürlich mit wachsender Seefläche zu, andererseits erfährt mit der Ausdehnung des Seespiegels auch diejenige Fläche des Einzugsgebietes eine Vergrösserung, die vom Regen und Schneefall direkt gespiesen wird.

Die gesamte Zufuhr wird deshalb, trotzdem sich das Areal der Zufüsse vermindert, etwas grösser werden, weil ein kleiner Teil, sei es durch Versickerung oder auf andere Weise, dem See nicht mehr verloren geht. Welche Bedeutung den soeben erwähnten Faktoren zukommt, soll das nachfolgende Beispiel beweisen:

Bei einem Pegelstande von  $28,78\text{ m} = 2318.00\text{ m ü. M.}$  (Tiefstand A) hat der See eine Ausdehnung von  $70080\text{ m}^2$  und einen Inhalt von  $674960\text{ m}^3$ . Steigt der See bis auf die Pegelhöhe  $56,78\text{ m} = 2346.00\text{ m ü. M.}$  (Hochstand B) so hat er eine Ausdehnung von  $240040\text{ m}^2$  und einen Inhalt von  $4475000\text{ m}^3$ . Nehmen wir nun an, der Zufluss des Sees betrage in beiden Fällen  $0,100\text{ m}^3$  pro Sekunde  $= 8640\text{ m}^3$  pro 24 Stunden, setzen wir ferner den Verdunstungsbetrag während 24 Stunden für beide Seestände unter gleichen Verhältnissen auf  $4\text{ mm}$  fest, eine Grösse, die in der Sommerszeit wesentlich überschritten wird, so erhalten wir als Beträge für die Steigung des Sees und die Verdunstung, unter der Voraussetzung, dass eine Vergrösserung des Sees nach der Gletscherseite hin durch Ausfressungen und durch das Kalben des Gletschers nicht stattgefunden hat, folgende Resultate:

#### *Tiefstand A.*

Pegelstand  $= 28,78\text{ m}$ , Seefläche  $= 70080\text{ m}^2$ , Seeinhalt  $= 674960\text{ m}^3$   
 Zufluss pro 24 Stunden  $= 8640\text{ m}^3$ , somit Seeinhalt  $674960 + 8640 = 683600\text{ m}^3$ .  
 Einem Seeinhalt von  $683600\text{ m}^3$  entspricht ein Pegelstand von  $28,898\text{ m}$ , mithin beträgt die *Steigung des Sees*  $28,898 - 28,780 = 0,118\text{ m}$  (ohne Verdunstung).

*Hochstand B.*

Pegelstand 56,78 m, Seefläche 240040 m<sup>2</sup>, Inhalt 4475000 m<sup>3</sup>, Zufluss pro 24 Stunden = 8640 m<sup>3</sup>, somit Seeinhalt 4475000 + 8640 = 4483640 m<sup>3</sup>. Einem Seeinhalt von 4483640 m<sup>3</sup> entspricht ein Pegelstand von 56,816 m, mithin beträgt die *Steigung des Sees* 56,816 — 56,780 = 0,036 m (ohne Verdunstung).

*Verdunstung.*

Tiefstand A. Verdunstungsgrösse 4 mm pro 24 Stunden.

$$\text{Verlust} = 70080 \times 0,004 = 280,320 \text{ m}^3 = 3,2 \text{ ‰} \text{ der Zuflussmenge.}$$

Hochstand B. Verdunstungsgrösse 4 mm pro 24 Stunden.

$$\text{Verlust} = 240040 \times 0,004 = 960,160 \text{ m}^3 = 11,1 \text{ ‰} \text{ der Zuflussmenge.}$$

Nun sind die Versuchsergebnisse, die wir am Märjelensee gewonnen haben in Anbetracht der späten Jahreszeit und des regnerischen Herbstes, als relativ kleine zu betrachten. Für einen trockenen Sommer und Herbst beispielsweise wie 1908, dürften sich die Resultate bedeutend höher stellen, als wir für obiges Beispiel in Rechnung gebracht haben. Die Verdunstung des Sees spielt auf alle Fälle im Wasserhaushalt des Märjelensees eine nicht unbedeutende Rolle.

Es erübrigt nun noch, an Hand eines Beispiels zu erläutern, welche Rolle die atmosphärischen Niederschläge in Form von Regen auf den Wasserhaushalt des Sees während seines Tief- und Hoch-Standes ausüben. Hierbei braucht das Gesamt-Einzugsgebiet des Sees mit Ausschluss des Seearcals im Zustand B nicht in Rechnung gezogen zu werden, weil der Zufluss aus diesem Gebiet für beide Stände das nämliche Resultat ergibt.

Die Niederschlagshöhe für den Tiefstand A und den Hochstand B betrage in 24 Stunden 10 mm.

$$\text{Tiefstand A. Zunahme des Seeinhaltes} = 70080 \times 0,010 = 700,8 \text{ m}^3.$$

$$\text{Hochstand B. Zunahme des Seeinhaltes} = 240040 \times 0,010 = 2400,4 \text{ m}^3.$$

Unter der Annahme, es gelangen von den auf den Flächenstreifen (B — A) m<sup>2</sup> = (240040 — 70080) m<sup>2</sup> = 169960 m<sup>2</sup> entfallenden Niederschlägen nur  $\frac{2}{3}$  in

den See, also  $\frac{2 \times 169960 \times 0,010}{3} = 1133,1 \text{ m}^3$ , der andere Teil gehe durch

Versickerung und durch Verdunstung verloren, so beträgt das dem See während seines Hochstandes B mehr zukommende Wasser 566,6 m<sup>3</sup>.

Aus obigen Aufzeichnungen und Daten geht neuerdings hervor, dass die Verdunstung, neben den übrigen, den Seestand beeinflussenden Faktoren, auch im natürlichen Wasserhaushalt eines Beckens eine wichtige Rolle spielt.



## XI. KAPITEL.

### Die Abflussmengen des Vordersees und Zuflussmengen des Hintersees.

Aus den Resultaten der Pegelbeobachtungen am Hintersee, die seit der Erstellung der Pegelanlage (23. September 1908) durchgeführt worden sind, ist ersichtlich, dass der See vor Eintritt des Winters seinen niedrigsten Stand erreicht und im Winter wieder langsam ansteigt. Der niedrigste Stand des Sees fällt in die Monate Oktober (1910), November (1908, 1909, 1911) und Dezember (1912). Dieser Zeitpunkt steht im Zusammenhang mit dem Eintritt der Ausbrüche. Da sich der Gletscher nach jedem Ausbruche niemals plötzlich schliessen kann, sondern eine gewisse Zeit vergeht, bis entweder der Gletscher vermöge seiner Bewegung die Ausflussöffnung schliesst oder der Schnee die Ueberlaufstelle zudeckt, kann ein Steigen des Sees erst geraume Zeit nach dem jeweiligen vollendeten Ausbruch eintreten. Nun geht ja aus Tafel 14 deutlich hervor, dass eben das zeitliche Eintreffen der Ausbrüche ein sehr verschiedenes ist, infolgedessen auch der Zeitpunkt des winterlichen Ansteigens des Sees. Das winterliche Ansteigen des Sees ist nach zwei Richtungen hin interessant. Einerseits gelangt diese Erscheinung nur bei Gletscherstauseen zum Ausdruck (wir sprechen hier nur von hochalpinen Seen), sie bildet somit ein charakteristisches Merkmal dieser Art von Seen, andererseits liefert uns dieses Ansteigen den Beweis des gewaltigen Retentionsvermögens des Gletschers, mit andern Worten es gibt uns eine Erklärung, weshalb der Grosse Aletschgletscher und auch andere Gletscher so kleine winterliche Abflussmengen liefern. Diese Tatsache ist wichtig genug, um sie einer weitem Besprechung und Behandlung zu würdigen.

Das winterliche Ansteigen des Hintersees ist eine Funktion der Zuflüsse, der Niederschläge auf die Seefläche selbst, der Bewegung der Gletscherzunge in das Becken des Hintersees, der Verdunstung und der Versickerung. Welchen Einfluss übt nun zunächst die Vorwärtsbewegung der Gletscherzunge im Becken des Sees auf die Wasserspiegelhöhe aus?

Forbes hat schon in den Jahren 1842 und 1843 und später viele Messungen der Geschwindigkeit in den verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt, anfänglich

um zu zeigen, dass die Bewegung auch im Winter stattfindet, später um zu beweisen, dass der Gletscher im Sommer, während die Schmelzwasser durch die Haarspalten in seine Masse eindringen, eine grössere Beweglichkeit besitzen müsse, als im Winter, wann dieses Mittel fehlt. Hess schreibt in seinem bekannten Werke « Die Gletscher », Braunschweig 1904, S. 252 und 253 :

« Zur Erklärung der jahreszeitlichen Schwankung bleibt nur der Umstand übrig, dass während des Winters die Abschmelzung aufhört. Die gesamte Eismasse, welche durch die Druckwirkungen von oben herunter geschafft wird, dient zunächst dazu, den Wasserverlust, welchen die Zunge im vorausgegangenen Sommer erlitt, zu ersetzen, die reduzierten Querschnitte wieder zu vergrössern. Je grösser aber der Querschnitt ist, um so schneller muss er sich bewegen. Deshalb ist zu vermuten, dass in derselben Zeit, in welcher das Gletscherende den kleinen winterlichen Vorstoss ausführt, die Geschwindigkeit anwächst und zur Zeit der beginnenden Schneeschmelze ebenso wie die Länge der Gletscherzunge ihren relativ höchsten Wert erreicht, während zu der Zeit, in welcher die dauernde Schneebedeckung beginnt und die Abschmelzung aufhört, in den kleinen Querschnitten die Geschwindigkeit ihren relativ kleinsten Wert hat ».

Leider ist der Versuch, den Betrag der Gletscherbewegung im Frühjahr festzustellen, gescheitert und zwar deshalb, weil es unmöglich war, die im Herbst versicherte Marke wieder aufzufinden. Dagegen gelangte die Wirkung der Bewegung des Gletschers auf die Eisdecke des Sees aufs schönste zum Ausdrucke, indem die mächtige Eisdecke des Sees vor der Absturzwand dem Drucke nicht zu widerstehen vermochte und brach (Siehe Kapitel XV, Seite 147 und Tafel 32).

Wir haben bei der Berechnung der morphometrischen Werte des Sees vom Einflusse dieser Bewegung auf dieselben nichts erwähnt und auch keinen Wert in Rechnung gebracht. Die Gründe hiefür sind folgende : Durch die *Vorwärtsbewegung* des Gletschers wird der Seespiegel *gehoben*, durch die *schmelzende Tätigkeit des Wassers* an der Absturzwand des Gletschers gegen den See und in den Gletscherspalten, die mit dem See in Berührung stehen, wird er *gesenkt*. Wohl liefert die schmelzende Tätigkeit des Wassers am Eise, ebenso die dadurch bedingten Kalbungen, dem See neues Wasser, neues Eis. Die Erweiterung der Spalten und namentlich das erfolgreiche Eindringen des Seewassers in neue Spalten, hält aber nach Ansicht des Verfassers das Mass der Zunahme durch die Bewegung völlig im Schach. Deshalb ist auch bei der Berechnung der morphometrischen Werte des Sees von einer Berücksichtigung dieser Faktoren Umgang genommen worden. Im Winter sind die Verhältnisse andere. Die Temperatur des Seewassers ist annähernd auf 0° C gesunken. Die Ausfressungen an der Gletscherwand hören auf. Kalbungen treten nur ganz ausnahmsweise auf. Eine Vergrösserung der eigentlichen Seewanne nach der Gletscherseite ist nicht mehr möglich. Durch die Bewegung der Gletscherzunge in das Becken des Sees findet nur eine Verkleinerung der Seewanne statt, die in der Hebung des Seespiegels zum Ausdrucke kommen muss. Ein genaues

Mass dieses Einflusses ist nicht wohl möglich zu erhalten, dagegen hoffte der Verfasser durch das Studium der Zuflussmengen des Hintersees der Lösung dieses Problemes etwas näher zu kommen. Hiebei musste von vorneherein von einer direkten Messung der Zuflussmengen in der eigentlichen Schmelzperiode, mit Ausnahme der Abflussmengen des Vordersees deshalb Umgang genommen werden, weil man dieser Unmasse von Zuflüssen nicht Herr geworden wäre. Für die Lösung der vorliegenden Frage sind diese Schmelzwassermengen nicht unumgänglich notwendig.

Eine genaue Rekognoszierung der Seewanne hinsichtlich ihrer Zuflüsse führte nun zu folgendem Resultate: In den Vordersee fliessen, namentlich von der Nordseite des Tales herkommend, kleinere Quellbäche in den See, wovon der Abfluss des kleinen Sees am Fusse der Strahlhörner der bedeutendste ist. Zuflüsse von der Südseite (Thälligrat) sind keine vorhanden. Der Abfluss des Vordersees, unmittelbar beim Seeausfluss, eignet sich auch für die Erstellung eines Wassermessprofils. Es ist deshalb von einer Messung der Zuflüsse des Vordersees Umgang genommen, dafür aber beim Ausfluss des Vordersees ein einwandfreies Messprofil mit provisorischem Pegel erstellt worden.

In den Hintersee gelangen ebenfalls von der Nordseite des Tales eine ganze Menge kleinerer und grösserer Quellbäche. Die wesentlichsten sind in die Situationsskizze der Tafel 6 eingetragen worden und mit den Zeichen A\*, B\*, C\*, D\* und E\* gekennzeichnet. Von der Südseite fliessen, wie beim Vordersee, abgesehen von einzelnen ganz unbedeutenden Wasseradern, keine sichtbaren Quellen in den See. Mit Rücksicht auf den Kostenpunkt mussten die Installationen für das Messen der Zuflüsse so einfach als nur möglich durchgeführt werden. Was zunächst den Abfluss des Vordersees anbelangt, so wurde in ihm ein Profil von 0.70 m Breite und mit lotrechten Wänden aus gehobelten Brettern von 0.25 m Höhe erstellt, so dass sämtliches aus dem Vordersee fliessende Wasser durch einen kleinen Kanal von rund 1 m Länge zum Abfluss gelangte. Die Abdichtung der Seitenwandungen vermittelst Moos und Steinen erfolgte aufs peinlichste. Im untern Drittel des Kanals wurde eine solide Abstichmarke angebracht, die ein genaues Beobachten der Wasserspiegelschwankungen im Messprofil ermöglichte. Für die Aufstellung einer Abflussmengenkurve sind nun unter Verwendung eines elektrischen Flügels im Messprofil drei vollständige Messungen bei verschiedenen Wasserspiegelhöhen durchgeführt worden, deren Resultate in der nachstehenden Tabelle vereinigt sind.

**Ergebnisse der Wassermessungen beim Ausfluss des Vordersees.**

Datum der Wassermessung	10. VIII. 1912	6. IX. 1912	23. IX. 1912
Mittlere Wasserspiegelhöhe im Profil	0.928 m	0.938 m	0.835 m
Wasserspiegelbreite im Profil	0.70 m	0.70 m	0.70 m
Maximale Wassertiefe	0.173 m	0.195 m	0.142 m
Flächeninhalt des Durchflussprofils	0.114 m <sup>2</sup>	0.131 m <sup>2</sup>	0.094 m <sup>2</sup>
<b>Wassermenge pro Sekunde</b>	<b>0.035 m<sup>3</sup></b>	<b>0.052 m<sup>3</sup></b>	<b>0.008<sub>5</sub> m<sup>3</sup></b>
Maximale Geschwindigkeit im Profil	0.423 m p. Sek.	0.663 m p. Sek.	0.227 m p. Sek.
Mittlere Geschwindigkeit im Profil	0.307 m p. Sek.	0.394 m p. Sek.	0.090 m p. Sek.
Mittlere Temperatur des Wassers	9.4° C	7.6° C	4.2° C
Mittlere Temperatur der Luft	16.5° C	2.5° C	— 1.0° C

Des weitern sind mit den Beobachtungen am Pegel des Hintersees die Wasserspiegelhöhen des Vordersees gemessen worden. Dementsprechend konnte die Wasserführung des Abflusses des Vordersees für jeden beobachteten Stand, unter Zuhilfenahme der Abflussmengenkurve festgelegt werden.

Tabelle der Abflussmengen des Vordersees vom 9. VIII. 1912 bis 6. IX. 1913.

DATUM	Zeit	Temperatur		Seestand in m über Meer	Abflussmenge in l. pro Sek.	DATUM	Zeit	Temperatur		Seestand in m über Meer	Abflussmenge in l. pro Sek. und zugleich pro km <sup>2</sup> (Einzugsgebiet : 1 km <sup>2</sup> )
		Wasser °C	Luft °C					Wasser °C	Luft °C		
<b>1912</b>						<b>1913</b>					
9. VIII.	7h45 a	—	—	2352.428	52.0	16. I.	10h25 a	1.0	2.0	2352.410	26
10. VIII.	2h40 p - 2h26 p	9.4	16.5	2352.418	35.0						
12. VIII.	9h30 a	—	—	2352.412	28.0	13. II.	12h15 p	0.5	— 2.0	2352.340	2
	4h40 p	—	—	2352.409	25.0	19. II.	12h35 p	0.5	— 11.0	2352.335	1
13. VIII.	9h15 a	8.5	3.5	2352.416	32.0	28. II.	10h15 a	0.5	— 6.0	2352.340	2
6. IX.	10h13a - 10h33a	7.6	2.5	2352.428	52.0	20. III.	2h 0 p	0.0	— 5.0	2352.340	2
9. IX.	9h 0 a	—	—	2352.399	18.0	31. III.	10h20 a	—	—	2352.345	2
21. IX.	8h48 a	—	6.5	2352.378	9.0						
	4h45 p	—	8.0	2352.377	9.0	15. IV.	11h30 a	0.0	— 15.0	2352.360	5
23. IX.	8h45 a	—	7.0	2352.376	9.0	29. IV.	3h25 p	—	5.0	2352.360	5
	4h50 p	—	9.0	2352.375	8.5						
24. IX.	9h 0 a	—	7.0	2352.374	8.0	6. V.	9h20 a	0.0	— 2.0	2352.410	26
26. IX.	10h 0 a	—	6.0	2352.370	7.0	21. V.	9h 0 a	—	1.0	2352.430	56
27. IX.	8h37 a	—	5.5	2352.367	6.0	29. V.	6h 0 p	0.0	0.0	2352.520	c. 300
29. IX.	9h20 a	—	—	2352.366	6.0						
1. X.	9h30 a	—	6.0	2352.367	6.0	9. VI.	7h30 p	0.5	5.0	2352.525*	400
4. X.	9h30 a	—	6.0	2352.387	13.0	18. VI.	12h 0 a	1.5	6.0	2352.515	240
6. X.	10h20 a	—	5.0	2352.375	8.5	24. VI.	6h30 p	—	3.0	2352.500	210
9. X.	9h20 a	—	5.0	2352.372	8.0	29. VI.	4h 0 p	—	—	2352.490	188
12. X.	7h50 a	—	4.0	2352.368	7.0	5. VII.	5h 0 p	1.0	6.5	2352.465	133
14. X.	8h 0 a	—	3.0	2352.367	6.0	30. VII.	2h 0 p	7.0	9.0	2352.440	77
16. X.	8h 0 a	—	3.5	2352.363	5.0						
18. X.	8h15 a	—	3.0	2352.364	6.0	3. VIII.	3h 0 p	10.6	—	2352.429	54
21. X.	9h 0 a	—	—	2352.365	6.0	10. VIII.	3h 0 p	8.0	10.0	2352.405	22
23. X.	1h50 p	—	2.0	2352.375	8.5	16. VIII.	4h 0 p	11.0	10.0	2352.405	22
29. X.	2h45 p	—	2.0	2352.367	6.0	19. VIII.	3h 0 p	8.0	10.0	2352.400	19
						28. VIII.	3h20 p	11.5	11.0	2352.395	16
12. XI.	11h 0 a	—	0.5	2352.372	8.0						
26. XI.	10h25 a	—	0.5	2352.375	8.5	5. IX.	1h30 p	14.0	8.0	2352.406	23
						6. IX.	9h20 a	12.0	4.5	2352.398	18
10. XII.	11h 0 a	—	2.0	2352.376	9.0						

\* Das Wasser läuft über den provisorisch erstellten Pegel.

Die in der obigen Tabelle eingetragenen Werte geben uns nun über die Abflussverhältnisse des Vordersees ein genügend deutliches Bild. Für die beobachteten maximalen Abflussmengen sind zwar die angegebenen Daten vom 29. Mai und 9. Juni 1913 mit 300 und 400 l. pro Sekunde deshalb ungenau, weil ein Ueberlaufen des Messprofils stattgefunden hat. Es sind also nur Annäherungszahlen. Die wirklich abgeflossene maximale Wassermenge ist mangels einer genügenden Zahl von Beobachtungen in der Schmelzperiode nicht bekannt.

Vergleicht man die minimalen Abflussmengen des Vordersees, ausgedrückt in l. pro Sekunde und pro km<sup>2</sup> des Einzugsgebietes (19. Februar 1913 : 1 l.) mit solchen ähnlichen Verhältnissen, so fallen sie ganz ausserordentlich klein aus. Die Ursache hiervon ist jedenfalls der grossen Durchlässigkeit des aus Geröll bestehenden Bodens zuzuschreiben.

Der Gang der Wasserführung für das Jahr 1912-1913 ist aus der Tabelle deutlich ersichtlich. Er ist selbstverständlich sehr ähnlich demjenigen der Wasserstandsbeziehung des Hintersees. Am gleichmässigsten ist die Abflussmenge vom November bis April; am stärksten ist der Anstieg Ende Mai und Juni, die Abnahme am stärksten vom Juli zum August.

Noch ein Punkt soll nicht unerwähnt gelassen werden. Es fällt vor allem der grosse Betrag der Abflussmenge vom 16. Januar 1913 auf. Pegelbeobachter Margelisch teilte dem Verfasser mit, dass an diesem Tage ein eigentliches Tauwetter herrschte, was obige Erscheinung vollauf erklärt. Für die Bildung einer wässerigen Eisschicht ist diese Beobachtung von besonderer Bedeutung, weil sie beweist, dass eben auch im Hochgebirge mitten im Winter warme Tage mit warmen Niederschlägen (Regen) eintreten können.

Was nun die Messung der Zuflüsse zum Hintersee von der Nordseite anbelangt, so sind dieselben vermittelt eines Eichgefässes von 30 l. Inhalt unter vier Malen (10. August, 6. und 23. September 1912 und 19. Februar 1913) gemessen worden. Sämtliche Messresultate finden sich in nachstehender Tabelle vereinigt.

Messungen der sichtbaren Zuflüsse des Hintersees am 10. VIII., 6. IX., 23. IX. 1912 und 19. II. 1913.

Bezeichnung der Messstelle nach der Situationskarte (Tafel 6)	BESCHREIBUNG DER MESSTELLEN	DATUM	Zeit	TEMPERATUR		MESSMETHODE	WASSERMENGE		DATUM	Zeit	TEMPERATUR		WASSERMENGE	
				Wasser °C	Luft °C		Einzel in l. pro Sek. Q	Summiert in l. pro Sek. Σ [Q]			Wasser °C	Luft °C	Einzel in l. pro Sek. Q	Summiert in l. pro Sek. Σ [Q]
A* B* C* D* E* A*-E*	Zuflüsse von der Strahlhornseite: Weg nach der Konkordiantlinie, 770 m östlich der «Platte» » 337 m östlich der «Platte» » 182 m östlich der «Platte» » 79 m östlich der «Platte» » 37 m östlich der «Platte» Total der kleinen Zuflüsse zwischen den Messtellen A*-E* Seebach, 2,0 m vom untern Ende des Vordersees Total der sichtbaren und gemessenen Zuflüsse	40. VIII. 1912	2b55 p	7.4	15.5	Eichung	2.03		23 IX. 1912	10h12 a	3.5	-2.0	0.64	
			3b20 p	10.0	9.0	»	5.48			10h52 a	5.0	-1.0	0.79	
			3b43 p	8.0	7.0	»	2.92			11h 0 a	4.5	-1.0	2.50	
			3b52 p	10.5	8.0	»	3.16			11h40 a	5.0	-1.0	2.88	
			4b14 p	7.5	8.0	»	0.39			11h20 a	—	—	0.00	
			4b20— 4b50 p 2b10— 2b26 p	— 9.4	46.5	Flügel	2.25 35.00			10h12— 11h20 a 9h19— 9h50 a	4.2	-1.0	9.00	
A* B* C* D* E* A*-E*	Zuflüsse von der Strahlhornseite: Weg nach der Konkordiantlinie, 770 m östlich der «Platte» » 337 m östlich der «Platte» » 182 m östlich der «Platte» » 79 m östlich der «Platte» » 37 m östlich der «Platte» Total der kleinen Zuflüsse zwischen den Messtellen A*-E* Seebach, 2,0 m vom untern Ende des Vordersees Total der sichtbaren und gemessenen Zuflüsse	6. IX. 1912	11h 5 a	4.8	4.0	Eichung	4.26		19. II. 1913	—	—	—	[a]	
			11b16 a	4.6	4.5	»	5.21			—	—	—	—	
			11b25 a	4.8	0.8	»	3.17			3h 20 p	2.0	-11.0	1.91	
			11b30 a	5.0	4.0	»	3.45			3h30 p	3.0	-11.0	0.22	
			11b35 a	—	4.0	»	0.50			—	—	—	—	
			3b43— 4b50 p 10h13— 10h33 a	— 7.6	2.5	Flügel	4.73 52.00			11h15 a	0.5*	-14.0	1.00	

[a] Von den Zuflüssen A\*, B\*, C\*, D\*, E\* konnten nur C\* u. D\* mit Wasser aufgefunden werden. \* Mitte See 2,0° C.  
N.B. Eine Messung der Zuflüsse von der Strahlhornseite von Dr L. W. Collet am 17. VII. 1913 ergab folgende Resultate: A\* = 4.24; B\* = 5.68; C\* = 2.75; D\* = 3.09; E\* = 0.89;  
A\*-E\* = 1.07 l. pro Sek.

Die Gesamt-Zuflussmenge des Hintersees beträgt somit für die vier Mess-  
tage :

10. VIII. 1912	51.23 l. pro Sekunde =	17.1 l. pro Sekunde und pro km
6. IX. 1912	73.32 l. pro Sekunde =	24.4 l. » »
23. IX. 1912	15.55 l. pro Sekunde =	5.2 l. » »
19. II. 1913	3.13 l. pro Sekunde =	1.0 l. » »

Zu obigen Daten ist folgendes zu bemerken : den Messungen vom 6. September 1912 gingen regnerische Tage voraus. Der Mehrertrag der Zuflüsse gegenüber dem 10. August ist letzterem Umstande zuzuschreiben. Was die Messungen vom 19. Februar 1913 anbetrifft, so wurde das Möglichste getan, um die Messtellen der einzelnen Zuflüsse aufzusuchen und vom Schnee zu befreien, um sie messen zu können. Aus der Tabelle geht hervor, dass nur an zwei Stellen, nämlich bei C\* und D\* Wasser aufgefunden wurde. An den übrigen Stellen ist der Schnee wohl weggeschaufelt worden, Wasser fand sich aber keines vor. Wie beim Abfluss des Vordersees ergibt das Messresultat für den 19. Februar 1913 eine ungemein kleine Abflussmenge pro km<sup>2</sup>. Auch hier ist die grosse Durchlässigkeit des Bodens die Hauptursache.

Interessant dabei ist die Tatsache, dass der Betrag des Abflusses des Vordersees in l. pro Sek. und pro km<sup>2</sup> (1.0) mit demjenigen der Zuflüsse des Hintersees ohne Abfluss des Vordersees (1.0) vollständig übereinstimmt.

Berechnet man das Verhältnis (*b*) zwischen dem Abfluss des Vordersees und der Zuflussmenge des Hintersees, so ergeben sich nach der Grösse der Wassermengen geordnet und in Prozenten der Gesamtzuflussmenge ausgedrückt, folgende Werte :

Datum	Gesamtwassermenge der Zuflüsse in l. pro Sek. = <i>x</i>	Abfluss des Vordersees in l. pro Sek. = <i>a</i>	Abfluss des Vordersees in % der Gesamtzuflussmenge = <i>b</i>
6. IX. 1912	73.32	52.0	70.9
10. VIII. 1912	51.23	35.0	68.3
23. IX. 1912	15.55	9.0	57.9
19. II. 1913	3.13	1.0	31.9

Aus den Verhältniszahlen geht hervor, dass mit abnehmender Abflussmenge des Vordersees *a* auch das Verhältnis *b* kleiner wird. Tragen wir in einem Koordinatensystem als Abszissen die Abflussmengen des Vordersees und als Ordinaten die Verhältniszahlen *b* auf und verbinden die Schnittpunkte dieser Linien, so erhalten wir eine parabelähnliche Kurve, die uns ermöglicht, für jedes beliebige *a* das zugehörige *b* herauszugreifen, um hernach die Gesamtwassermenge der Zuflüsse *x* zu berechnen.

An Hand der durchgeführten Wassermessungen und mit Berücksichtigung der soeben besprochenen Verhältniszahl, ist es nun möglich, für gewisse Zeit-Intervalle die Gesamtwassermenge der Zuflüsse zu berechnen und die Resultate mit der

korrespondierenden Wassermenge des Sees, die sich aus der Differenz der Pegelbeobachtungen des Hintersees für die nämliche Periode ergibt, zu vergleichen :

- I. Periode vom 31. I./1. II. bis 28. II./1. III. 1913 (Monat Februar).  
 II. Periode vom 28. II./1. III. bis 31. III./1. IV. 1913 (Monat März).  
 III. Periode vom 31. III./1. IV. bis 30 IV./1. V. 1913 (Monat April).

	Mittlere Abflussmenge des Vordersees, berechnet aus der Pegelkurve	Mittlere Total-Zuflussmenge des Hintersees, reduziert nach der Verhältniszahl $b$
I. Februar	2.0 l. pro Sek.	5.2 l. pro Sek. ( $b = 38.5$ )
II. März	2.0 l. pro Sek.	5.2 l. pro Sek. ( $b = 38.5$ )
III. April	4.2 l. pro Sek.	8.7 l. pro Sek. ( $b = 48.5$ )

Pegelstand	Seefläche	Zunahme des Seeinhaltes berechnet aus der Zuflussmenge	Berechnete Steigung des Sees
41.35 m 31. I./1. II.			
41.86 m 28. II./1. III.	117488 m <sup>2</sup>	12580 m <sup>3</sup>	0.107 m
42.33 m 31. III./1. IV.	120610 m <sup>2</sup>	13930 m <sup>3</sup>	0.115 m
43.28 m 30. IV./1. V.	123486 m <sup>2</sup>	22550 m <sup>3</sup>	0.183 m

Vergleichen wir nun die berechneten Steigungen des Sees mit den wirklichen, so stellen sich folgende Werte ein :

	Berechnete Steigung	Pegelstand	Wirkliche Steigung	Berechnete Steigung in % der Wirklichen
I. Februar	0.107	41.35 m	0.510	<b>21.0</b>
II. März	0.511	41.86 m	0.470	<b>24.5</b>
III. April	0.183	42.33 m	0.950	<b>19.3</b>
		43.28 m		

Für die Periode vom 21.-29. IX. 1912 (IV) ergeben sich folgende Zahlen :

IV. Mittlere Abflussmenge des Vordersees : 7.5 l. pro Sek.

Mittlere Total-Zuflussmenge des Hintersees : 13.5 l. pro Sek.

Pegelstand 21. IX. 53.01 m } Zunahme des Seeinhaltes = 9331 m<sup>3</sup> berechnet aus den  
 29. IX. 53.14 m } Zuflüssen.

Seefläche 21. IX. 200 512 m<sup>2</sup> } Berechnete Steigung des Sees = 0.046 m.  
 29. IX. 222 664 m<sup>2</sup> }

Berechnete Steigung : 0.046 m      **Berechnete Steigung in % der Wirklichen : 35.4 %.**  
 Wirkliche Steigung : 0.130 m

Für die Periode vom 10.-13. August 1912 (V) ergeben sich folgende Werte :

V. Mittlere Abflussmenge des Vordersees : 30.0 l. pro Sek.

Mittlere Totalzuflussmenge : 44.1 l. pro Sek. ( $b = 68.0$ ).

Pegelstand 10. VIII. 1912 2 h 0 p 50.590 m } Zunahme des Seeinhaltes berechnet aus  
 13. VIII. 1912 9 h 10 a 50.775 m } den Zuflüssen = 10 663 m<sup>3</sup>.

Seefläche 10. VIII. 1912 181 379 m<sup>2</sup> } Berechnete Steigung des Sees = 0.059 m.  
 13. VIII. 1912 182 763 m<sup>2</sup> }

Berechnete Steigung : 0.059 m      **Berechnete Steigung in % der Wirklichen : 31.9 %.**  
 Wirkliche Steigung : 0.185 m



Bevor wir auf eine Diskussion der vorliegenden, ungemein interessanten und überraschenden Resultate eintreten, sei noch ausdrücklich erwähnt, dass sämtliche Messungen nach allen Regeln der Kunst und so exakt als nur möglich ausgeführt worden sind. Es liegt allerdings im Bereiche der Möglichkeit, dass am 19. Februar 1913 bei hohem Schnee, kleine Wasseradern nicht aufgefunden werden konnten. Das Total der gemessenen, sichtbaren Zuflüsse an den betreffenden Messtagen, kommt aber gleichwohl der Gesamtsumme der wirklich sichtbaren Wassermenge sehr nahe.

Woher kommt es nun, dass die aus den Zuflüssen berechnete Steigung des Sees nur einen so kleinen Prozentsatz derjenigen liefert, die sich als Differenz der Pegelstände für die nämliche Periode ergibt?

Zur bessern Uebersicht lassen wir die Resultate noch einmal in gedrängter Form folgen:

	Aus den Zuflüssen berechnete Steigung des Sees	Differenz der Pegelbeobachtungen	Berechnete Steigung in % der Wirklichen
I. Monat Februar 1913	0.107 m	0.510 m	21.0 %
II. Monat März 1913	0.115 m	0.470 m	24.5 %
III. Monat April 1913	0.183 m	0.950 m	19.3 %
IV. 21.-29. Sept. 1912	0.046 m	0.130 m	35.4 %
V. 10.-13. August 1912	0.059 m	0.185 m	31.9 %

Vergleicht man diese Zahlen miteinander, so sieht man zunächst, dass das Verhältnis in den Wintermonaten besonders im April von den in den Herbstmonaten bedeutend abweicht. Eine einfache Betrachtung der Verhältnisse zeigt, dass diese Differenz einerseits durch die Niederschläge, die direkt auf die Eisdecke des Sees fallen und die neue Eisbildungen veranlassen (siehe Tafel 17, Fig. 2 und 3), und andererseits durch das Vordringen des Gletschers in das Seebecken (siehe Eisfalte auf Tafel 32) veranlasst worden sind. Den Einfluss dieser beiden Faktoren zahlenmässig festzustellen, müssen wir mangels genügender Beobachtungen unterlassen. Wir registrieren vorderhand nur die Tatsache, dass beide eine Hebung des Seespiegels zur Folge haben.

Um aber ein weiteres Moment zu schaffen, das ein besseres Urteil über die Grösse der Bewegung des Gletschers in das Becken des Sees ermöglichen könnte, wollen wir den Betrag der Bewegung feststellen, der sich aus der Annahme ergibt, der Gletschervorstoss habe die grosse Differenz zwischen Zuflussmenge und Seeinhalt herbeigeführt. Wir legen der Berechnung die Werte für die Monate Februar, März und April 1913 zu Grunde. Es ergeben sich folgende Werte:

Periode	Pegelstände in m	Korrespondierende Seeinhalte in m <sup>3</sup>	Zunahme der Seeinhalte berechnet aus den morphometrischen Werten der zugehörigen Pegelstände in m <sup>3</sup> Q <sub>p</sub>	Zunahme der Seeinhalte, berechnet aus der Zuflussmenge in m <sup>3</sup> Q <sub>z</sub>	Differenz in m <sup>3</sup> Q <sub>G</sub> = Q <sub>p</sub> - Q <sub>z</sub>
I. Februar 1913	41.35	1814200	61020	12580	48440
II. März 1913	41.86	1875220	57080	13930	43150
III. April 1913	42.33	1932300	121800	22550	99250
	43.28	2054100			

Nun entspricht einem mittleren Pegelstande von rund 42 m eine mittlere Vorstossfläche  $F$  von rund 8000 m<sup>2</sup>. Bildet man nun  $\frac{QG}{F}$ , so erhalten wir den zur Erklärung unsrer Wasserdifferenzen notwendigen Gletschervorstoss :

I. Februar 1913	$\frac{QG}{F} = \frac{48440}{8000} = 6.1 \text{ m}$
II. März 1913	$\frac{QG}{F} = \frac{43150}{8000} = 5.4 \text{ m}$
III. April 1913	$\frac{QG}{F} = \frac{99250}{8000} = 12.4 \text{ m}$

Für die ganze Periode vom 1. Februar bis 30. April 1913 = 23.9 m.

Vergleicht man diese Zahlen mit der tatsächlichen Bewegung des Gletschers, wie sie z. B. durch die Eisfalte auf Tafel 32 zum Ausdruck kommt, so scheint es doch, die vorstehenden Werte seien zu gross. Nun ist allerdings auch noch eine Verschiebung der gesamten Eisdecke nach Osten möglich. Eine Randspalte längs dem Ufer ist meistens vorhanden, hauptsächlich aber zur Zeit des rascheren Steigens des Sees. Dem Vorstoss des Gletschers ist also auch in dieser Weise Spielraum gelassen, ohne, dass die Bewegung des Gletschers nun in der Eisspalte voll zum Ausdruck gelangen müsste. Doch fanden sich am Rande der Eisdecke selten Merkmale (Spalten, Ueberwerfungen), die auf eine grössere Horizontalverschiebung hätten schliessen lassen.

Noch ist aber eine Erscheinung vorhanden, die eine Zunahme des Seevolumens zur Folge hat und die unseren direkten Messungen für den vorstehenden Vergleich nicht zugänglich waren. Wir wiesen soeben darauf hin, dass die Eisdecke des Sees durch die Zuflüsse gehoben wird, somit von der Uferböschung durch eine Wasserspalte getrennt ist. Eisdecke und Ufer sind nur ganz ausnahmsweise fest verwachsen. Nun wird diese freischwimmende Eisdecke durch die Niederschläge in Form von Schnee und Regen beschwert. Das Gewicht der Eisdecke wird erhöht, die Wasser- verdrängung nimmt zu und damit auch die Wasserspiegelhöhe des Sees. Die Tatsache, dass die im See vorhandene Wassermenge ganz bedeutend grösser ist, als die Summe der direkt messbaren Zuflüsse, ist jedenfalls auf drei Ursache zurückzuführen :

1. Die *gemessenen Zuflüsse* stehen beträchtlich hinter den *tatsächlichen Zuflüssen* zurück. Es wird bei einem natürlichen Becken nie möglich sein, alle Zuflüsse zu messen. Daraus erklärt sich auch die Feststellung, dass bei Seen der Abfluss scheinbar grösser ist als der Zufluss bei gleichbleibender Wasserspiegelhöhe.

2. Der winterliche Gletschervorstoss verkleinert das Seebecken und hebt den Seespiegel.

3. Die Niederschläge auf die Eisdecke heben den Seespiegel ebenfalls.

Tatsächliche, aber nicht messbare Zuflüsse rühren von den im Einzugsgebiet eintretenden Versickerungen her.

Die messbaren Zuflüsse liefern im Mittel rund 26,3 % der im See aufgespeicherten Wassermenge. Wir haben bereits früher erwähnt, dass der Boden des Einzugsgebietes zum grössten Teil mit einer Verwitterungskruste von mehr oder weniger grosser Mächtigkeit überzogen ist. Lose kleinere und grössere Steine, selten mit einer Humusschicht bedeckt, haben sich hier seit Jahren allmählich angehäuft. Sie bilden zu Füssen der steilen Felspartien der Strahlhörner, des Eggishornes und des ihm anschliessenden Thälligrates ein Meer von Felstrümmern, die sich in der Hauptsache durch mechanische Verwitterung losgelöst haben. Ueber der ursprünglich grösstenteils aus Fels bestehenden Oberfläche, des mehrfach vergletscherten Taltroges, liegt also zur Zeit eine nach der Lage sehr verschiedene mächtige Geröllschicht.

Das Eindringen des Wassers in diese Schicht findet natürlich umso leichter statt, je durchlässiger sie ist. Felsiger Boden nimmt grössere Wassermengen im allgemeinen nur dann auf, wenn er zerklüftet ist. Liegt aber über einem schwer durchlässigen Felsen eine Schicht stark durchlässigen, hauptsächlich aus Geröll usw. bestehenden Bodens, so wird ein grosser Teil des Meteorwassers aufgesogen. Dieser sinkt bis auf die Tiefe der mehr oder weniger undurchlässigen Felsschicht, erfüllt diese Bodenschicht bis zur Sättigung und gelangt, allerdings in reduzierter Masse, als Quellen oder Grundwasserströme, wie wir sie nennen wollen, in das Seebecken. Natürlich braucht das Wasser infolge der grossen Reibung, die es auf seinem Wege durch die Zwischenräume der kleinen und grossen Steine erleidet, mehr Zeit, als wenn es als Oberflächenwasser zum Abflusse gelangen würde.

Die Durchlässigkeit der Verwitterungskruste des Einzugsgebietes des Märjensees ist eine überaus grosse. Leicht erklärlich ist es somit, wenn nur ein kleiner Teil sämtlicher Quellen oberirdisch zum Abfluss gelangt. Wir kennen bis anhin noch keine Daten, die uns über den Betrag der Sickerwassermenge für Geröllhalden, wie wir sie beim Märjensee antreffen, Aufschluss erteilen. Aus den bisher durchgeführten Versuchen ergibt sich nur, dass die Sickerwassermengen ausserordentlich verschieden sind und namentlich nach den Niederschlagshöhen, der Bodenart, der geologischen Beschaffenheit überhaupt, dem Klima, den Jahreszeiten und vor allem auch der Bodenbedeckung, schwanken. Durch Vergleichsbeobachtungen hat Wollny<sup>1</sup> herausgefunden, dass in nacktem, unbedecktem Boden die Sickerwassermengen mit den Niederschlägen steigen und fallen, ferner, dass die unterirdische Wasserabfuhr um so ergiebiger ist, je geringer das Verdunstungsvermögen und die Wasserkapazität und je grösser die Durchlässigkeit des Bodens ist<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> WOLLNY, E. *Forschungen a. d. Gebiet der Agrikulturphysik*. 1891.

<sup>2</sup> Siehe auch *Handbuch der Ingenieurwissenschaften*. Dritter Teil. Erster Band, *Die Gewässerkunde*. Leipzig, 1911.

Wollny hat auch über den Einfluss der Versickerungstiefe Versuche angestellt und herausgefunden, dass bei geringer Mächtigkeit der durchlässigen Schicht (30 cm) die Sickerwassermengen geringer sind, als bei grösserer Mächtigkeit, dass jedoch innerhalb gewisser Grenzen (0,6 bis 1,2 m) die Höhe der Bodenschicht auf die Ergiebigkeit an Sickerwasser keinen Einfluss ausübt.

Fragen wir uns nun, wie sich die Verhältnisse im Einzugsgebiet hinsichtlich der vorerwähnten Punkte verhalten, so sind sie einer intensiven Versickerung günstig. Nackter Boden (totes Material), steiles gebirgiges Gelände, die grosse Zahl der nichtkapillaren Zwischenräume, die spärliche Menge von humosen Bestandteilen im Gebiet des Sees, fördern die Versickerung. Was die Verdunstung anbetrifft, so dürfte dieselbe, infolge der grossen Verdunstungsflächen, die nach jedem Niederschlag in Wirkung treten, auch eine grosse sein.

Aus vorstehenden Erläuterungen gelangt der Verfasser zu folgenden Schlussfolgerungen: *Ein Grossteil der atmosphärischen Niederschläge im Gebiete des Sees versickert und gelangt, weil die Versickerungstiefe keine grosse ist, als Grundwasserstrom verhältnismässig rasch in den See. Ein anderer Teil tritt namentlich an solchen Stellen zu Tage, wo nackte Felsbänder, undurchlässige oder gesättigte Schichten eine Versickerung verunmöglichen. Dieser Teil ist messbar. Eigentliche Quellen gelangen teils oberirdisch, teils unterirdisch in das Becken des Sees: sie sind nur teilweise messbar.*

Es erübrigt noch der Vollständigkeit halber die Zuflüsse, die aus der Atmosphäre dem See direkt zufallen, ferner diejenigen, die die Ablation des Gletschers liefert und schliesslich die Quellen, die im eigentlichen Seebecken auftreten, mit einigen Worten zu erwähnen:

Das Einzugsgebiet des Sees hat eine Totalfläche von 3 000 000 m<sup>2</sup>, die mittlere Seefläche für die vorliegenden Berechnungen eine solche von rund 150 000 m<sup>2</sup>, mithin stellt letztere  $\frac{1}{20} = 5\%$  der Gesamtfläche dar. Nun haben die Vergleichsversuche die F. Masure<sup>1</sup> über die Verdunstung eines mit Wasser gesättigten Bodens und einer gleich grossen, freien Wasserfläche durchgeführt hat, ergeben, dass aus der mit Wasser gesättigten Bodenschicht erheblich mehr Wasser an die Luft abgegeben wird, als von der freien Wasserfläche, sofern der Boden mit Kulturgewächse (Gras oder Bäumen) bedeckt ist. Aus dem Versuche von C. Eser<sup>2</sup> geht aber hervor, dass die freie Wasserfläche mehr verdunstet als der Boden, sofern dieser vollkommen nackt und vegetationslos ist. Nun ist aber die Verdunstung des feuchten Bodens abhängig vom Wassergehalt des Bodens, der Tiefe des Grundwasserstromes (je geringer die Tiefe desto grösser die Verdunstung), der Beschaffenheit der Oberfläche, ihrer Form, Rauheit, und Farbe u. s. w. Ohne direkte Messungen der Niederschlags- und Verdunstungsgrössen, dürfte es sehr schwer

<sup>1</sup> MASURE, F. *Annales agronomiques*. 1882, S. 161.

<sup>2</sup> Cf. WOLLNY, E. *Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik*. 1884.

halten, hierüber für den Märjelensee ein völlig zutreffendes und zahlenmässiges Bild zu entwerfen. Auch sind die Verhältnisse in der winterlichen Periode wieder andere, als im Sommerhalbjahr. Ob die Niederschlagsmenge auf die Seefläche die Verdunstung aufwiegt, ob die Wasserzufuhr oder der Verlust vorherrscht und in welchem Betrage, ist kaum festzustellen. Doch spielt dieser Wert bei der Unsicherheit anderweitiger Faktoren im Wasserhaushalt des Sees keine ausschlaggebende Rolle.

Hinsichtlich der Ablation des Gletschers ist zu bemerken, dass dieselbe im Sommer und Herbst einen gewissen Einfluss ausübt, dem See also eine gewisse Wassermenge zuführt. Wie schon früher bemerkt, dürfte aber die Ausdehnung der Seefläche nach der Gletscherseite infolge der schmelzenden Wirkung des Seewassers einer Steigung des Sees entgegenwirken.

Was nun das Auftreten von Quellen im Becken des Sees anbetrifft, so konnten solche nach dem vollständigen Ausbruche des Jahres 1913 im Becken des Hintersees, abgesehen von ganz kleinen Adern, nicht nachgewiesen werden. Wie es sich in dieser Hinsicht mit dem Vordersee verhält konnte nicht erforscht werden.

## XII. KAPITEL.

### Der Märjelensee als natürlicher Niederschlagssammler.

Die Kenntnisse über die Niederschlagsverhältnisse in den eigentlichen Hochgebirgsregionen und im besondern in den Gletscherregionen sind noch sehr dürftige. Die stets wachsende Bedeutung der Verwendung alpiner Seen als Akkumulationsbassin für die Ausnützung der Wasserkräfte hat ein eingehenderes Studium dieser Verhältnisse gebieterisch verlangt. Die Schwierigkeiten, die sich für die Erlangung von zuverlässigem Beobachtungsmaterial, namentlich in Bezug auf das Beobachtungspersonal im Winter entgegenstellen, sind glücklicherweise seit der Konstruktion der Niederschlagssammler System Mougin<sup>1</sup>, mit Windschutzvorrichtung, gehoben. Maurer bezeichnet diese Art von Regensammler als Totalisator-Nivometer. Das Zinkblechgefäss von 50 cm Durchmesser und einer freien Oeffnung von 16 cm Durchmesser, vermag rund 4000 mm Niederschlagshöhe aufzufangen; es ist also mehr als gross genug, um den Niederschlag eines vollen Jahres zu sammeln. Um den Niederschlag in flüssiger Form zu erhalten und um ein Verdunsten desselben zu verhindern, werden 5 kg Chlorkalzium in 5 Liter Wasser aufgelöst und dieser Flüssigkeit noch ein Liter Vaselineöl zugesetzt. Maurer hat dem ursprünglichen Totalisator-Nivometer noch einen Windschutzschirm hinzugefügt, um den Einfluss des Windes möglichst auszuschalten.

Die eidg. meteorologische Zentralanstalt in Zürich hat im Jahre 1913 am Jungfrauoch, am Rhonegletscher und am Gotthardmassiv, die Landeshydrographie am Konkordiaplatz und vergangenes Jahr am Eggishorn beim Hotel Jungfrau solche Apparate mit Windschutzschirm aufgestellt. Die wenigen, vorliegenden Resultate zeigen, dass man unter Zuhülfenahme solcher Apparate auf dem besten Wege steht, zuverlässige Resultate zu erlangen. Wir geben in dieser Beziehung nur die Resultate der Stationen Konkordia und Jungfrauoch bekannt und fügen als Ver-

---

<sup>1</sup> MAURER und COLLET. *Die Niederschlagsmessung im Hochgebirge*. Schweizerische Wasserwirtschaft, No 6/7, VII. Jahrgang, 1915.

gleichsresultat noch die Niederschlagshöhen der Stationen Fiesch, Reckingen, Oberwald und Gletsch bei. (Täglicher Beobachtungsdienst.)

Station Jungfrauoch (3470 m ü. M.), vom 10. September 1913	
bis 9. September 1914 . . . . .	total 2650 mm
Station Konkordia (2847 m ü. M.), vom 23. Juli 1913 bis	
22. Juli 1914. . . . .	» 2612 »
Station Konkordia (2847 m ü. M.), vom 22. September 1913	
bis 23. Juli 1914. . . . .	» 2446 »
Gletsch (1760 m ü. M.), vom 22. September 1913 bis	
23 Juli 1914. . . . .	» 1660 »
Oberwald (1370 m ü. M.), vom 22. September 1913 bis	
23. Juli 1914 . . . . .	» 1588 »
Reckingen (1349 m ü. M.), vom 22. September 1913 bis	
23. Juli 1914 . . . . .	» 1145 »
Fiesch (1080 m ü. M.), vom 22. September 1913 bis	
23. Juli 1914. . . . .	» 1088 »

Die vorliegenden Resultate bestätigen nicht nur die schon längst bekannte Tatsache, dass die Niederschlagsmenge in den höhern Lagen eine grössere ist, sondern sie zeigen auch deutlich, dass die Niederschlagsmenge in einer bestimmten Höhe (in unserm Gebirge vielleicht bei 3000 m) ihr Maximum erreicht.

Neben der direkten Messung der Niederschlagsmenge sind namentlich die Kenntnisse der Höhenlage der winterlichen Aufspeicherung, der Niederschläge in Schneeform, das Mass der Schnee- und Gletscherablation und der Gang der Lufttemperatur von grösster Bedeutung.

Die winterliche Aufspeicherung des Niederschlags in Schneeform ist für das Mass der Wasseraufspeicherung des Märjelensees und die Grösse der Wasserführung des Fiescherbaches und der Massa in Verbindung mit dem Einflusse der Lufttemperaturen, wenigstens für gewisse Perioden, von ausschlaggebender Bedeutung. Ein eingehenderes Studium dieser Fragen ist nicht nur für wissenschaftliche, sondern auch für praktische Zwecke von allergrösstem Werte. Seit einer Reihe von Jahren werden von Ingenieur Liechi und seinem Personal am Eigergletscher (3100 m) und auf dem Jungfrauocher Schneebeobachtungen ausgeführt. Die diesbezüglichen Resultate, ebenso diejenigen von den Schneepegeln an den Diablerets und am Ornygletscher, werden jeweilen von Herrn E. Muret, « inspecteur en chef des forêts » à Lausanne und Dr. P. L. Mercanton, « Professeur à Lausanne », im Jahrbuch des S. A. C. in übersichtlicher Weise veröffentlicht. Die Landeshydrographie hat im Jahre 1912 mit diesem neuen Zweige ihre Arbeitstätigkeit begonnen. Die Untersuchungen erstrecken sich vorderhand nur auf das Aletschgletschergebiet. Das Stationsnetz umfasst nunmehr 5 Stationen im Umkreise des Konkordiaplatzes und

eine Station am Westfusse der Strahlhörner beim Märjelensee. Die Schneepegel sind, an hiezu geeigneten Felspartien, rot aufgemalte Skalen, mit Halbmeterteilung, die auch mit Fernrohren abgelesen werden können. Vermittelst einer « Aufforderung », die sich in der Klubhütte des S. A. C. befindet, werden die Alpenwanderer ersucht, diese Pegel abzulesen. Je mehr Beobachtungen, desto besser. Es ist zu hoffen, dass sich die Herren Klubisten dieses Beobachtungsdienstes je länger je mehr annehmen. Die Direktion der Landeshydrographie ist ihnen hiefür überaus dankbar. Seit dem Sommer 1913 ist ebenfalls von der Landeshydrographie bei den Klubhütten des S. A. C. ein Thermograph aufgestellt worden, der so lange in Funktion bleiben kann, als das kleine Hotel Konkordia bewohnt bleibt.

Die Resultate unserer Schneepegel werden ebenfalls im Jahrbuche des S. A. C. veröffentlicht. Heute schon diese Resultate für die vorliegende Studie zu verwerthen, erscheint dem Verfasser wegen Mangel an genügendem Beobachtungsmaterial nicht für angezeigt.

Die Vergleichung der Wassermenge des Sees mit der Menge des Niederschlags, der Mächtigkeit der Schneedecke, der Höhenlage des Gletschers (Ablation), der Temperatur, soll aufgeschoben werden, bis wir von möglichst vielen Stationen dieser Einzugsgebiete, die normale Menge des Niederschlages und ihre jährliche Verteilung, namentlich hinsichtlich der Höhenlage kennen, und wir nicht minder exakte Daten über die Dauer und Mächtigkeit der Schneedecke und über die Temperaturschwankungen besitzen werden.

Dagegen kann der Verfasser jetzt schon die Aufzeichnungen und Berechnungen geben, die uns den Wert des Märjelensees als natürlichen Niederschlags-sammler erkennen lassen. Die Aufstellungen umfassen für die monatlichen Perioden des Steigens des Sees der Jahre 1909-1913, die totale Zunahme der Seeinhalte in  $m^3$ , den Zufluss vom Gletscher infolge der Ablation, die Beträge für Versickerung und Verdunstung in  $m^3$ , die berechnete Niederschlagsmenge mit Berücksichtigung der Ablation, Versickerung und Verdunstung in  $m^3$  und in mm des Einzugsgebietes. Als Vergleichsdaten sind diesen Werten noch die korrespondierenden Niederschlagshöhen von Fiesch, Reckingen und Gletsch beigelegt worden.



Einzugsgebiet des Märjelsees: 3.0 km<sup>2</sup>

Datum	Totale Zunahme der Seeinhalte m <sup>3</sup>	Zufluss vom Gletscher [Ablation] m <sup>3</sup>	Zunahme der Seeinhalte unter Abzug des Betrages der Ablation m <sup>3</sup>	Versickerung und Verdunstung [35 %] m <sup>3</sup>	Berechnete Niederschlags- menge mit Berücksichti- gung der Versickerung u. Verdunstung m <sup>3</sup>	Berechnete Nieder- schlagshöhe in mm des Einzugs- gebiets	Korrespondierende Niederschlagshöhen in		
							FIESCH	RECKINGEN	GLETSCH
							1080 m ü. M.	1349 m ü. M.	1760 m ü. M.
Dezember 1908	38 640	—	38 640	13 524	52 164	17	43	38	—
Januar 1909	77 000	—	77 000	26 950	103 950	35	44	58	—
Februar	48 800	—	48 800	17 080	65 880	22	40	44	—
März	54 650	—	54 650	19 127	73 777	25	31	42	—
April	143 740	—	143 740	50 309	194 049	65	71	82	—
Mai	595 050	—	595 050	208 267	803 317	268	60	79	—
Juni	861 370	10 000	851 370	297 979	1 149 349	383	127	167	—
Juli	922 350	20 000	902 350	315 822	1 218 172	406	57	91	—
August 1909	588 980	20 000	568 980	199 143	768 123	256	99	128	—
						1477	572	729	
Dezember 1909	2 490	—	2 490	871	3 361	1	98	107	178
Januar 1910	125 650	—	125 560	43 946	169 506	57	147	157	218
Februar	122 940	—	122 940	43 029	165 969	55	60	72	228
März	50 680	—	50 680	17 738	68 418	23	13	9	52
April	109 460	—	109 460	38 311	147 771	49	87	122	183
Mai	367 030	—	367 030	128 460	495 490	165	49	66	108
Juni	1 493 570	10 000	1 483 570	519 249	2 002 819	668	59	96	207
Juli 1910	838 120	20 000	818 120	286 342	1 104 462	368	78	114	179
						1386	591	743	1353
November 1910	4 640	—	4 640	1 624	6 264	2	149	170	305
Dezember	52 000	—	52 000	18 200	70 200	23	115	109	280
Januar 1911	85 860	—	85 860	30 051	115 911	39	7	6	24
Februar	28 380	—	28 380	9 933	38 313	13	65	60	127
März	81 240	—	81 240	28 434	109 674	37	167	152	184
April	207 110	—	207 110	72 488	279 598	93	32	40	66
Mai 1911	594 110	—	594 110	207 938	802 048	267	18	14	64
						474	553	551	1050
November 1911	400	—	400	140	540	0	135	110	179
Dezember	53 400	—	53 400	18 690	72 090	24	109	112	206
Januar 1912	45 600	—	45 600	15 960	61 560	21	76	94	141
Februar	41 120	—	41 120	14 392	55 512	19	41	45	89
März	52 410	—	52 410	18 343	70 753	24	81	112	187
April	102 780	—	102 780	35 973	138 753	46	11	21	65
Mai	786 580	—	786 580	275 303	1 061 883	354	54	82	136
Juni	1 099 330	10 000	1 089 330	381 265	1 470 595	490	77	84	120
Juli	684 400	20 000	664 400	232 540	896 940	299	77	90	121
August	533 980	20 000	513 980	179 893	693 873	231	94	118	180
September 1912	196 900	10 000	186 900	65 415	252 315	84	27	55	71
						1592	782	923	1495
Januar 1913	63 970	—	63 970	22 389	86 359	29	88	150	—
Februar	61 020	—	61 020	21 357	82 377	27	19	34	—
März	57 080	—	57 080	19 978	77 058	26	86	98	—
April	121 800	—	121 800	42 630	164 430	55	93	126	—
Mai	552 320	—	552 320	193 312	745 632	249	90	96	—
Juni 1913	1 337 370	10 000	1 327 370	464 579	1 791 949	597	64	72	—
						983	440	576	

*Totale Zunahme des Seeinhalts.*

Zu vorstehender Tabelle ist folgendes zu bemerken : Die totale Zunahme der Seeinhalte für die einzelnen Monate ist aus den Pegelbeobachtungen und den zugehörigen Volumen (siehe Kapitel VII, Seite 54 und 55) ermittelt worden.

*Zufluss vom Gletscher (Ablation).*

Die verwendeten Werte für die Ablation sind selbstverständlich nur angenäherte. Der Berechnung wurde eine Gesamtabschmelzung von 2 m Schichthöhe für die ganze Periode zu Grunde gelegt und der Betrag auf die eigentlichen Schmelzmonate Juni, Juli, August und September in dem Sinne verteilt, dass den Monaten Juni und September je  $\frac{1}{6}$ , den Monaten Juli und August je  $\frac{2}{6}$  zugeteilt worden sind. Dr. J. Maurer<sup>1</sup>, Direktor der schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt, hat aus den besten aktinometrischen Messungen in unserm Hochalpengebiet verlässliche Totalmengen pro m<sup>2</sup> Horizontalfläche eines Firn-, bezw. Gletschergebietes in 2600-2800 m Höhe zusammengestellt und findet, dass von Juni bis September von einem m<sup>2</sup> horizontaler Gletscherfläche an Kilogramm-Kalorien rund 174000 absorbiert werden, bei einer mittlern Bewölkung von etwa 55  $\frac{0}{100}$ . Dividiert man diese Zahl durch die bekannte Eisschmelzkonstante 80, so liefert das ein Resultat von etwas mehr als 2 m Abschmelzung. Nun liegt ja auf der Hand, dass eine genaue Berechnung der Gletscherzone, die hiefür in Betracht fällt, nicht möglich ist. Nicht nur der über Wasser stehende Teil der Gletscherwand liefert fortwährend grössere Schmelzwassermengen, sondern auch der unter dem Wasser liegende Teil. Dieser wird durch den Wärmegehalt des Seewassers angegriffen. Es ist bereits in Kapitel IX, Seite 85 mitgeteilt worden, dass ein Zuwachs von dieser Seite durch die damit verbundene Zunahme des Seevolumens wett gemacht wird.

Für die Ablation hat der Verfasser einen Betrag von 60000 m<sup>3</sup> eingesetzt ; es entspricht dies einer mittlern Abschmelzfläche von 30000 m<sup>2</sup> und dürfte eher zu hoch als zu niedrig eingeschätzt worden sein.

*Versickerung und Verdunstung.*

Im Kapitel XI, Seite 105, « Abflussmengen des Vordersees und Zuflussmengen des Hintersees » haben wir gezeigt, dass die Zufüsse des Sees im Mittel nur 26,3  $\frac{0}{100}$

<sup>1</sup> Briefliche Mitteilung von Dr. J. Maurer an den Verfasser, vom 2. April 1914.

der im See aufgespeicherten Wassermenge liefern. Wir haben gesehen, dass der Boden des Einzugsgebietes zum grössten Teil von einer Verwitterungskruste überzogen ist. Beide Faktoren weisen auf eine bedeutende Verdunstung und Versickerung im Einzugsgebiet hin.

*Niederschlagsmenge.*

Für die Berechnung der Niederschlagsmenge hat der Verfasser für Versickerung und Verdunstung einen Betrag von 35 % der Zunahme der Seeinhalte, unter Abzug des Betrages der Ablation, eingesetzt in der Ueberzeugung, eher einen zu kleinen, als zu grossen Betrag hiefür verwendet zu haben.

Die Dauer der einzelnen Perioden ist, infolge der Ausbrüche des Sees, eine sehr verschiedene. Es hat dies zur Folge, dass eben nur gleichwertige Perioden miteinander verglichen werden dürfen. Für den Vergleich der berechneten Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet des Märjelensees mit den wirklichen Niederschlagshöhen in Fiesch, Reckingen und Gletsch ist es notwendig, nur solche Perioden zu wählen, in denen die Abschmelzung der Schneedecke wenigstens in der Hauptsache vollendet ist, was gewöhnlich Ende August der Fall ist.

Am vollständigsten ist das hydrologische Jahr 1911/1912, es fehlt nur das Ergebnis für den Monat Oktober, hernach folgt das Jahr 1908/1909. Die Resultate sind :

	1908/1909 (Dez.-August.) mm	1911/1912 (Nov.-Sept.) mm
Fiesch 1080 m ü. M.	572	782
Reckingen 1349 m ü. M.	729	923
Gletsch 1760 m ü. M.	—	1495
Einzugsgebiet des Märjelensees ca. 2600 m ü. M.	1477	1592

Die beiden Resultate für das Einzugsgebiet des Märjelensees ergeben zu kleine Resultate. Der Betrag für Versickerung und Verdunstung ist jedenfalls zu klein gewählt worden. Schon der Hinweis auf diese Wahrscheinlichkeit macht die vorliegenden Resultate wertvoll. Infolge der Durchlässigkeit des Bodens und der Mächtigkeit der Verwitterungsschicht ist jedenfalls die Verdunstung und Versickerung eine sehr grosse. Die Landeshydrographie hat nun diesen Herbst, wie bereits erwähnt, am Fusse des Eggishorns, oberhalb des Hotel Jungfrau, einen Totalisator-Regenmesser aufgestellt. Wenn wir einmal genügende Daten über die Niederschlagsmengen in diesem Gebiete besitzen, wird es auch möglich sein, den Verdunstungs- und Versickerungsbetrag für das Gebiet des Märjelensees genauer zu bestimmen. Einstweilen übergeben wir die Zahlen der Oeffentlichkeit, so wie sie sich direkt ergaben.

Aus den vorliegenden Zahlen ist auch der Verlauf der Abschmelzung der Schneemassen in diesem Gebiete für die einzelnen Perioden ersichtlich. Graphische

Darstellungen der mittlern, monatlichen Zuflussmengen in Litern pro Sek. und pro km<sup>2</sup> für die Jahre 1910, 1911 und 1913, die den Gang der Abschmelzung der Schneemassen anschaulich vor Augen führen, sind dem II. Teil, Kapitel VII, Seiten 287 und 289 beigegeben worden. Aus den vorliegenden Resultaten ist ersichtlich, dass die eigentliche Schneeschmelze in dieser Höhe im Monat Mai einsetzt, ihr Maximum gewöhnlich im Monat Juni, ausnahmsweise auch im Juli erreicht und im Monat August ihr Ende findet.

Ausgedehntere Studien über die Niederschlagsverhältnisse in diesem Gebiete werden ermöglichen, erst die Versickerungs- und Verdunstungsbeträge genau zu bestimmen, dann aber auch die Schmelzwasserhöhe, resultierend aus der Akkumulation des Schnees, und die Gesamtniederschlagshöhe, beide für sich getrennt, zu ermitteln.

### XIII. KAPITEL.

## Die chemische Zusammensetzung des Wassers.

Die chemische Zusammensetzung des Wassers ist von derjenigen der Zuflüsse und seiner jahreszeitlichen Verteilung, von den Veränderungen, die das Wasser während seines Aufenthaltes im See erleidet und von der Wasserabfuhr abhängig.

Die hauptsächlichste Wasserquelle des Sees bilden die Zuflüsse während der Schmelzperiode im Frühjahr und der Regenperiode im Sommer und Herbst. Regen, Hagel und Schnee sind chemisch reines Wasser. Beim Durchgang durch die Atmosphäre nehmen sie aber atmosphärische Gase (namentlich Kohlensäure) und auch feste, in der Luft schwebende Substanzen auf. Die auf den Erdboden gelangenden Niederschläge bestehen deshalb höchst selten aus chemisch reinem Wasser. Das Ablationswasser ist nicht nur mit atmosphärischen Gasen gesättigt, sondern kommt auch häufig mit Moränenmaterial in Verbindung, findet also auch Gelegenheit Salze aufzulösen. Selbstverständlich kommen die Seitenbäche am meisten in Kontakt mit dem Oberflächenmaterial des Einzugsgebietes.

Das meteorische Wasser übt zunächst eine auflösende Wirkung aus, sobald es in Berührung mit Mineralstoffen kommt. Je nach deren Löslichkeit nimmt es mehr oder weniger grosse Mengen davon auf. Zu den leicht löslichen Stoffen gehört vor allem das Steinsalz ( $\text{NaCl}$ ), hernach folgt der Gips ( $\text{CaSO}_4 + \text{aq.}$ ) und die in der Natur in reichlicher Masse vorhandenen Mineralstoffe Kalkspat und Dolomit. Viel weniger löslich, besonders in reinem Wasser, sind die Silikate. Wie bereits bemerkt, ist aber das aus der Atmosphäre stammende Wasser niemals rein, sondern es enthält namentlich Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ), wodurch sein Lösungsvermögen vergrößert wird. Sobald dieses schon mit Kohlensäure vermischte Wasser mit den obersten Schichten des Bodens in Berührung tritt, erhält es einen weitem Zuwachs an Kohlensäure, durch die stets vor sich gehende Zersetzung organischer Stoffe. Infolge dieses Kohlensäuregehaltes üben alle Gewässer eine mehr oder weniger starke oxidierende Wirkung aus.

Einen weitem, chemisch sehr wirksamen Bestandteil bilden die organischen

Substanzen. Sie stellen saure oder alkalische Zersetzungsprodukte verwesender Tier- und Pflanzenstoffe dar und sind durch ihre reduzierende Wirkung auf viele natürliche Verbindungen oft von Bedeutung. (Siehe, Léon W. Collet, « Action des acides organiques en Géologie ». C. R. Soc. phys. et hyst. nat. Genève. Archives des Sciences physiques et naturelles, t. XXV, p. 71, 1908, und « Lehrbuch der Geologie », von P. Emanuel Kayser, Stuttgart, 1905.)

Der Reichtum des Seewassers an gelösten Mineralstoffen ist jedenfalls von der Natur der Felsen, über oder durch welche die Zuflüsse (Quellen) strömen am meisten abhängig. Das Wasser der Zuflüsse sättigt sich eben nicht nur mit atmosphärischen Gasen, sondern es löst auch Salze und organische Substanzen. Je nach der petrographischen Zusammensetzung des Nährgebietes fällt die Analyse des Wassers aus.

Dr. Félix-Ernest Bourcart <sup>1</sup> hat am 15. Juli 1903 am obern Ende des Hintersees in der Nähe der Einmündung des Abflusses des Vordersees eine Wasserprobe entnommen und analysiert. Die Resultate sind folgende :

a) Resultate in Milligr. per Liter		b) Vermutliche Resultate <sup>2</sup>	
trockener Rückstand	12.9	SiO <sub>2</sub>	1.4
SiO <sub>2</sub>	1.4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8	NaCl	—
CaO	3.4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.1
MgO	0.4	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	—
MnO	Spuren	KCl	—
K <sub>2</sub> O	2.6	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.4
Na <sub>2</sub> O	1.3	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.3
Cl	Spuren	MgSO <sub>4</sub>	—
SO <sub>3</sub>	3.7	MgCO <sub>3</sub>	0.8
Sauerbarkeit	4.49	CaSO <sub>4</sub>	—
		CaCO <sub>3</sub>	6.1
		MnO	—
		trockener Rückstand (addiert)	16.9
		» » (gewogen)	12.9
		Differenz +	<u>4.0</u>

Das Einzugsgebiet des Märjelensees liegt in der Zone der zentralen Gneis- und Granitgesteine. Der Gneis der das Gebiet beherrscht gehört in die Gruppe der kristallinen Schiefer, also zu den ältesten Gesteinen der Erdkruste. Die wesentlichsten Bestandteile des Gneises sind, wie beim Granit : Quarz, Glimmer und Feldspat. Die Zuflüsse sind deshalb arm an aufgelösten Substanzen.

<sup>1</sup> BOURCART, F. *Les lacs alpins suisses*. Genève, 1906, S. 55-57.

<sup>2</sup> CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O u. s. w. sind Verbindungen, die in Wirklichkeit im Wasser nicht vorkommen. Um diesem Uebelstande einigermaßen zu begegnen, hat Bourcart unter der Aufschrift « Vermutliche Resultate » die wahrscheinlichen Verbindungen, in welchen sich die durch die Analyse bestimmten Teile befinden, angegeben.

Bourcart hat, je nach dem Charakter der Einzugsgebiete und der Zusammensetzung des Wassers, die alpinen Seen in zwei Hauptgruppen I und II zerlegt. In die erste Hauptgruppe gehören solche Seen, deren Einzugsgebiete einen mehr silikathaltigen Boden, in die zweite solche, die mehr einen kalkhaltigen Boden aufweisen.

Gruppe I zerfällt wieder in zwei Unterabteilungen, nämlich in eine solche mit *a* kleinen und *b* mit grossen Einzugsgebieten. (Anwesenheit von Triasschichten.)

Gruppe II umfasst drei Unterabteilungen: *a* solche mit kleinen, *b* mit grösseren und *c* mit verhältnismässig grossen Einzugsgebieten (Anwesenheit von Quellen und Triasformation). Um nun die chemische Zusammensetzung des Wassers des Märjensees mit solchen anderer alpiner Seen vergleichen zu können, geben wir in der Nachfolge einige Resultate, die wir wiederum der preisgekrönten Arbeit von Bourcart entnehmen :

# Angaben über die Seen

GRUPPE		Resultat der Analysen (ausgedrückt in mgr pro Liter)																				
Unter- Abteilung	NAME des SEES	ORT	No des Blattes im Stiegfried Atlas	Höhe in Meer in m	Maximale Tiefe des Sees <sup>1</sup>	Farbe u. Wassers (Skala Foresl)	°C an der Ober- fläche	°C auf dem Grund	Datum der Entnahme	Ort der Entnahme	Trocken- rückstand	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	SO <sub>4</sub>	Oxydierbarkeit in mgr KMnO <sub>4</sub>	
I	a	St. Gotthard Grimsel Marjelen Bianco Schotten	Tessin Kanton Bern oberh. Fieschi, Wallis Bernhagass, Graubünden Pfladpass,	491	2087	16.6	V	11.9	4.6	6. VII 2h. a. 1904	Oberfläche	4.3	0.8	Spuren	1.0	0.87	—	0.82	1.1	—	0.48	2.58
				397-490	1875	18.5	IV	5.0	—	15. VIII 8h. p. 1903	Oberfläche	8.5	1.1	0.4	2.2	0.3	—	1.1	1.1	Spuren	3.0	4.19
				493	2367	47.0	VII	2.5	—	15. VIII 8h. a. 1903	Oberfläche	12.9	1.4	0.8	3.4	0.4	Spuren	2.6	1.3	Spuren	3.7	4.49
				522	2230	46.7	VI	—	—	23. VII 6h. p. 1903	Oberfläche	18.6	2.3	0.4	5.4	1.2	—	0.9	1.0	—	4.6	3.01
				423	2388	—	IV	4.0	—	22. VIII 11h. 1903	Oberfläche	30.0	1.4	0.3	10.0	2.3	—	2.0	0.8	1.2	—	5.3
	b	Davoser Silvaplanner Silsler Tom	Graubünden Engadin oberh. Airolo, Tessin	419	1562	53.5	V	13.0	5.5	21. VII 3h. p. 1903	Grund	63.9	7.1	0.1	13.6	11.5	—	1.4	2.2	0.9	9.7	2.76
				518-521	1794	77.1	VI	—	—	24. VII 1h. 1903	Grund	67.8	2.6	0.4	24.0	5.7	—	1.4	1.1	Spuren	13.2	2.63
				521-520	1800	71.1	V	—	—	24. VII 5h. p. 1903	Grund	58.5	1.8	0.3	20.2	4.0	—	1.8	1.3	—	10.3	2.34
				503	2023	11.5	V	7.2	—	5. VII 9h. a. 1904	Grund	52.3	5.7	—	15.6	6.3	—	3.5	2.5	—	6.2	3.73
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	a	Oeschinen Engstlen Melch Fälen	oberh. Kandersteg, Bern ob. Innerkirchen, Bern ob. Melchiel, Untervalden Kanton Appenzell	488	1583	63.0	V	19.0	6.0	29. VII 2h. 1902	Grund	78.4	2.0	Spuren	37.4	4.9	Spuren	2.6	0.8	2.6	7.7	3.02
				393	1852	51.0	III	12.0	6.0	16. VII 4h. 1903	Grund	97.5	3.0	0.3	45.8	3.1	Spuren	1.3	0.4	—	12.5	2.38
				393	1883	14.0	VI	10.0	5.0	17. VII 8h. a. 1903	Grund	83.7	2.4	0.6	40.8	2.1	0.16	1.3	1.4	—	5.4	2.07
				240	1448	23.0	—	10.0	—	12. VI 10h. 1904	Oberfläche	85.8	0.8	0.4	42.7	2.2	—	0.8	0.6	—	3.3	4.34
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	b	Taney Arnen Kionthal Seealp	oberh. Vovray, Wallis bei Saanen, Bern oberh. Glarus oberh. Appenzell	474	1441	31.0	VII	15.0	5.0	22. VII Mittag 1902	Grund	142.2	3.0	1.2	30.1	4.2	0.11	1.1	1.4	1.0	5.6	5.10
				471	1538	39.2	VII	15.0	6.0	26. VII 1h. 1902	Grund	145.8	4.5	0.5	71.5	3.5	0.89	1.6	3.3	—	4.3	5.07
				263	828	33.0	VII	13.0	6.0	19. VII 7h. a. 1903	Grund	134.9	3.0	0.2	62.4	7.3	—	1.1	2.1	—	11.6	1.77
				238	1139	15.5	VIII	8.0	5.7	21. V 2h. 1904	Grund	106.6	2.6	0.3	51.1	3.2	—	1.4	1.0	—	4.2	2.60
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
c	Noir Lauenen Langgern Ritorn	bei Pfäfers, Freiburg bei Saanen, Bern Untervalden oberh. Airolo, Tessin	364	1048	10.1	V	14.0	12.0	2. VIII 5h. a. 1902	Grund	270.5	1.9	1.3	111.0	10.1	Spuren	1.2	2.3	1.2	85.5	7.20	
			472	1379	4.0	VIII	17.0	16.0	27. VII 2h. 1902	Grund	304.8	3.2	0.4	116.0	13.2	Spuren	1.5	2.3	0.3	112.9	4.88	
			389-388	657	33.0	V	14.0	5.0	18. VII 6h. a. 1903	Grund	194.0	4.5	0.2	86.0	11.2	—	1.8	3.8	1.2	17.5	3.84	
			503	1829	44.6	VI	11.0	6.0	26. VIII 11h. 1903	Grund	2365.3	10.0	1.2	737.0	196.2	—	4.2	2.7	—	1376.7	5.36	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> Bezüglich der Wasserarten zeigen sich gegenüber andern Angaben, teilweise erhebliche Differenzen. Letztere beeinflussen den Wert der vorliegenden Tabelle in keiner Weise; deshalb ist auch von einer Korrektur Umgang genommen worden.



Nach der Klassifikation von Bourcart gehört der Märjelensee in die Gruppe I<sup>a</sup>, deren Einzugsgebiete mehr silikathaltigen Boden aufweisen. Unterwerfen wir sein Wasser nur hinsichtlich des Gehaltes an Trockenrückstand einem Vergleiche mit den Seen, die in vorliegender Zusammenstellung genannt sind, so geht im allgemeinen hervor, dass der Gehalt an Trockenrückstand ein ungemein veränderlicher ist. Er ist am kleinsten bei Seen mit silikathaltigem Einzugsgebiet (Gruppe I). Je grösser das Einzugsgebiet eines solchen Sees, desto länger bleibt das Meteorwasser mit der Erdkruste in Verbindung, desto reichhaltiger ist in der Regel sein Trockenrückstand. Seen, die eigentlich extreme Trockenrückstände aufweisen, werden von Quellen gespiesen, die je nach der Länge ihres unterirdischen Laufes und der Gesteinsart, mit der sie in Berührung kommen, diesen Gehalt des Seewassers bedingen.

Die Seen der Gruppe II, deren Einzugsgebiete mehr kalkhaltigen Boden besitzen, sind bedeutend reicher an Trockenrückstand als die der Gruppe I. Auch kleinere Seen dieser Gruppe, namentlich solche die in der Triasformation liegen, sind oft sehr reich an Trockenrückstand.

Der Märjelensee gehört in die Gruppe I<sup>a</sup> (kleines Einzugsgebiet mit silikathaltigem Boden). Letztere umfasst fünf Seen, die hinsichtlich der Grösse des Einzugsgebietes, des Gehaltes an Trockenrückstand und Silikaten folgende Werte aufweisen :

See	Einzugsgebiet km <sup>2</sup>	Trockenrückstand in mgr pro Liter	Si O <sub>2</sub> in mgr pro Liter
1. St. Gotthard	7,05	4,3	0,8
2. Grimsel	3,10	8,5	1,1
3. Märjelen	3,00	12,9	1,4
4. Bianco	9,92	18,6	2,3
5. Schotten	0,95	30,0	1,4

Aus den wenigen vorliegenden Zahlen geht hervor, dass die Kenntnis der Quantität an Trockenrückständen die Eigenart, den Charakter des Einzugsgebietes, in den meisten Fällen kundgibt.

Das Wasser des Märjelensees steht in Bezug auf seine Reinheit an dritter Stelle; hinsichtlich der Grösse des Einzugsgebietes nimmt aber dieser See den vierten Rang ein, er ist aber um nur 0,1 km<sup>2</sup> kleiner als der Grimselsee. Der St. Gotthardsee ist deshalb am reinsten, weil er nur von direkten, oberirdischen Zuflüssen gespiesen wird, die nur mit einem geringen Teil der Erdkruste seines Einzugsgebietes in Verbindung kommen. Infolge des bedeutend vorgeschritteneren Verwitterungsprozesses im Einzugsgebiet des Märjelensees, gegenüber dem Grimselsee, ist auch sein Wasser weniger rein als das des letztern.

Der grössere Gehalt an Trockenrückstand des Lago Bianco rührt hauptsächlich vom Gletscherzufluss her, während beim Schottensee am Flüelapass die dort sich vorfindende Triasschicht die Ursache bildet.

Die Reinheit des Märjelensee-Wassers gelangt nach einem Vergleich mit dem Rhonewasser in Porte du Scex vor seiner Einmündung in den Genfersee sehr deutlich zum Ausdruck :

Rhone in Porte du Scex am 17. August 1904 : 73 mgr pro Liter (Minimum);  
9. Februar 1905 : 525 mgr pro Liter (Maximum) <sup>1</sup>.

Märjelensee am 15. Juli 1903 : 4,3 mgr pro Liter.

Was den Gehalt dieses Seewassers an Silikaten anbelangt, so ist zunächst die schwere Löslichkeit dieser Silikate in verhältnismässig reinem Wasser recht gut ersichtlich. Wiederum steht der St. Gotthardsee mit der kleinsten Menge an erster Stelle. Sein Wasser hat eben am wenigsten Gelegenheit, mit den Silikaten des Einzugsgebietes in Verbindung zu treten. Beim Grimsel-, Märjelen- und Schottensee sind die Verhältnisse in dieser Hinsicht schon besser. Alle drei Seen tragen ungefähr den nämlichen Charakter. — Der Lago Bianco mit 2,3 mgr pro Liter steht an erster Stelle. Die Ursache hievon bildet wiederum sein Gletscherzufluss <sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> UETRECHT, E. *Die Ablation der Rhone in ihrem Walliser Einzugsgebiete im Jahre 1904/1905.*

<sup>2</sup> Vielleicht bildet die Gletschermilch die Veranlassung. Bourcart erwähnt nicht, ob er die koloidalen Substanzen vor Durchführung der Analyse niedergeschlagen hat oder nicht.

## XIV. KAPITEL.

### Die Temperaturverhältnisse.

Die Ermittlung der Wassertemperatur des Märjelensees und ihres Wechsels, sowohl im Laufe des Jahres als in den einzelnen Schichten der Seetiefe, ist eine, nach verschiedenen Richtungen hin, ungemein interessante Aufgabe. Meines Wissens ist es das erste Mal, dass an einem Gletscherstausee solche Untersuchungen durchgeführt werden, doch legte die grosse Abgelegenheit des Sees einer fortgesetzten, ununterbrochenen Beobachtung des ganzen Verlaufes ein nicht zu bewältigendes Hindernis in den Weg. Wir verfügen deshalb nur über Einzeldaten von rund 5 Jahren und zwar sind die Beobachtungen auf den Vorder- und Hintersee ausgedehnt worden. Die Temperaturverhältnisse dieser beiden Seen weisen einen bedeutenden Gegensatz auf.

Die Wärmezufuhr beim Vorder- und Hintersee ist allerdings ungefähr dieselbe: direkte Wärmestrahlung der Sonne, die Wärmestrahlung der über dem See liegenden Atmosphäre und der die Seewanne einrahmenden Felshänge, sowie die Wärme, die aus der Luftschicht über dem See durch Leitung direkt an das Wasser abgegeben wird. Als eine in ihrer Wirksamkeit, je nach der Jahreszeit und den örtlichen Verhältnissen veränderlichen, aber nicht zu unterschätzenden Wärmequelle, stellt sich ferner die Wasserzufuhr durch Zuflüsse und Regen dar; dagegen kommt der bei der Kondensation von Wasserdampf an der Oberfläche des Sees frei werdenden latenten Wärme, ebenso wie der aus Umsetzung der mechanischen Arbeit des Windes gewonnenen Wärme nur in Ausnahmefällen eine Bedeutung zu. Hinsichtlich der Erwärmung des Seewassers durch seine Zuflüsse, möge noch folgendes erwähnt werden: Das Wasser der Zuflüsse spielt bei beiden Seen, namentlich in der Schmelzperiode, eine ganz hervorragende Rolle. Es führt suspendierten Schlamm mit sich, der sein spezifisches Gewicht vergrössert. Das Wasser der Seitenbäche ist daher meist schwerer, als das Seewasser von gleicher Temperatur. Es sinkt infolgedessen nach seinem Eintritt in den See tiefer, als es seine Temperatur erfordern würde und gelangt so in Tiefenschichten, die zwar die gleiche Dichte haben wie das

Wasser der Seitenbäche, aber kälter sind als dasselbe. Das schlammhaltige Bachwasser erwärmt deshalb nicht nur die Oberfläche, sondern auch die mittleren und tieferen Schichten des Sees.

Der umgekehrte Fall kann im Herbst eintreten, wenn das Wasser der Seitenbäche bereits so weit abgekühlt ist, dass seine Temperatur bei der Einmündung in den See tiefer ist als diejenige des Sees. Die Abkühlung durch die Seitenbäche kann aber deshalb keine intensive mehr sein, weil ihre Wasserführung eine unbedeutende geworden ist.

Während also die Wärmezufuhr für Vorder- und Hintersee die gleichen sind, sind nun die Bedingungen für den Wärmeverlust grundverschiedene. Eine Wärmeabgabe durch Leitung an die kalte Luft, durch Zufluss von kaltem Wasser (Regenwasser, Seitenbäche), durch Bindung von Wärme bei Verdunstung des Wassers an der Oberfläche des Sees und beim Schmelzen von Schnee und Hagel, der in den See gefallen, findet bei beiden Seen in ungefähr gleichem Masse statt. Dagegen ist die schmelzende Wirkung des Seewassers auf die Eiswand des Grossen Aletschgletschers und die Eisberge beim Hintersee eine so intensive, dass sie auf die Temperaturverhältnisse bestimmend einwirkt, mit andern Worten, der Hintersee muss ganz andere Temperaturverhältnisse aufweisen, als der Vordersee, der mit dem Gletscher jetzt in keiner Berührung steht. Die Temperaturen beider Seen tragen deshalb einen stark ausgesprochenen, individuellen Charakter.

Unsere Untersuchung der Temperaturverhältnisse des Vorder- und Hintersees erstreckt sich sowohl auf die Temperaturen des Wassers an der Oberfläche, wie auf diejenigen in der Tiefe.

### Die Wassertemperaturen an der Oberfläche.

Die durchgeführten Beobachtungen an der Oberfläche der beiden Seen finden sich in den folgenden Tafeln vereinigt. Vollständigkeitshalber sind jeweilen die zugehörigen Lufttemperaturen und die genaue Beobachtungszeit beigelegt worden. Die im Gebrauche stehenden Thermometer für die Oberflächentemperaturen sind durch den Direktor der eidg. Eichstätte in Bern, Herrn Dr. König, geprüft worden. Temperaturmessungen ältern Datums sind unseres Wissens nur zwei bekannt: Louis Agassiz<sup>1</sup> fand im August des Jahres 1839, bei einer Lufttemperatur von  $+ 6,2^{\circ}$  C., eine Wassertemperatur von  $1,9^{\circ}$  C. Dr. Felix-Ernest Bourcart<sup>2</sup> stellte am 15. Juli 1903, 8<sup>h</sup>a, bei schöner und ruhiger Witterung, eine solche von  $2,5^{\circ}$  C fest.

<sup>1</sup> AGASSIZ, L. *Untersuchungen über die Gletscher*. Solothurn, 1841.

<sup>2</sup> BOURCART, F. *Les lacs alpins suisses*. Genève, 1906. S. 56.

Luft- und Wassertemperaturen des Hintersees.

Einzelbeobachtungen von 1908-1913.

DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser
	°C	°C		°C	°C		°C	°C
<b>1908</b>								
1. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	- 2.5	0.5	20. VI. 9 <sup>h</sup> 30 a	7.0	1.0	19. IX. a	3.0	2.0
2. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	- 2.0	0.5	23. VI. 11 <sup>h</sup> 30 a	3.0	0.5	19. IX. p	5.0	2.0
3. X. 8 <sup>h</sup> 40 a	- 0.5	0.5	27. VI. 9 <sup>h</sup> 0 a	0.0	0.0	20. IX. 3 <sup>h</sup> 20 p	6.0	2.0
4. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	- 3.5	0.5	15. VIII. 10 <sup>h</sup> 0 a	13.0	2.0	21. IX. 4 <sup>h</sup> 10 p	7.0	2.0
5. X. 8 <sup>h</sup> 35 a	- 3.0	0.5	18. VIII. 11 <sup>h</sup> 10 a	9.0	0.0	23. IX. a	6.0	1.5
7. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	- 1.5	0.5	19. VIII. —	5.0	1.0	24. IX. a	4.0	1.0
9. X. 8 <sup>h</sup> 15 a	8 <sup>h</sup> 15 a	2 <sup>h</sup> 50 p	20. VIII. —	10.0	2.0	25. IX. 8 <sup>h</sup> 50 a	5.0	2.0
2 <sup>h</sup> 50 p	- 2.5	1.0	21. VIII. —	10.0	2.0	30. IX. a	4.0	1.0
12. X. 9 <sup>h</sup> 0 a	1.0	0.5	22. VIII. —	2.0	1.0	1. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	5.0	1.0
13. X. 5 <sup>h</sup> 0 p	3.5	0.5	23. VIII. —	1.8	1.8	2. X. 6 <sup>h</sup> 0 p	6.0	1.0
14. X. 7 <sup>h</sup> 0 a	0.0	0.5	24. VIII. —	11.0	2.0	3. X. 9 <sup>h</sup> 40 a	5.0	1.0
16. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	- 1.0	0.5	25. VIII. —	1.5	1.0	5. X. 11 <sup>h</sup> 15 a	6.0	1.0
17. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	- 4.0	0.5	26. VIII. —	5.0	2.0	8. X. 11 <sup>h</sup> 35 a	4.5	0.0
18. X. 8 <sup>h</sup> 40 a	- 4.5	0.5	27. VIII. —	6.0	2.0	10. X. 10 <sup>h</sup> 0 a	3.0	0.0
19. X. 8 <sup>h</sup> 22 a	- 7.5	0.5	28. VIII. —	10.0	2.0	12. X. 9 <sup>h</sup> 40 a	2.0	0.0
20. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	- 8.0	0.5	29. VIII. —	9.0	2.0	15. X. 2 <sup>h</sup> 15 p	4.0	0.0
26. X. 5 <sup>h</sup> 0 p	1.0	0.5	30. VIII. —	7.0	2.0	18. X. 4 <sup>h</sup> 10 p	5.0	0.0
27. X. 2 <sup>h</sup> 35 p	- 1.5	0.5	31. VIII. —	6.0	1.5	22. X. 2 <sup>h</sup> 30 p	4.0	0.0
30. X. 3 <sup>h</sup> 15 p	3.0	0.0	1. IX. a	2.0	1.0	25. X. 1 <sup>h</sup> 35 p	3.0	0.0
3. XI. 3 <sup>h</sup> 15 p	3.5	0.0	1. IX. p	6.0	2.0	28. X. 2 <sup>h</sup> 0 p	0.0	0.0
4. XI. 12 <sup>h</sup> 50 p	—	0.5	2. IX. a	2.0	2.0	2. XI. 11 <sup>h</sup> 35 a	2.0	0.0
5. XI. 8 <sup>h</sup> 30 a	-11.0	0.5	2. IX. p	4.0	2.0	5. XI. 9 <sup>h</sup> 0 a	1.0	0.0
7. XI. 2 <sup>h</sup> 0 p	- 3.0	0.0	3. IX. a	5.0	2.0	8. XI. 1 <sup>h</sup> 40 p	- 1.0	0.0
10. XI. 2 <sup>h</sup> 20 p	- 2.0	0.0	3. IX. p	6.0	2.0	12. XI. 2 <sup>h</sup> 25 p	- 1.5	0.0
14. XI. 11 <sup>h</sup> 45 a	-16.0	0.0	4. IX. a	6.0	2.0	15. XI. 12 <sup>h</sup> 50 p	- 2.0	0.0
18. XI. 2 <sup>h</sup> 45 p	-13.0	0.0	4. IX. p	7.0	2.0	23. XI. 10 <sup>h</sup> 25 a	-18.0	0.0
30. XI. 3 <sup>h</sup> 45 p	- 1.0	0.0	5. IX. 1 <sup>h</sup> 30 p	0.0	1.0	7. XII. 10 <sup>h</sup> 25 a	-11.0	0.0
22. XII. 10 <sup>h</sup> 0 a	-10.0	0.0	6. IX. a	3.0	1.0	16. XII. 4 <sup>h</sup> 0 p	-12.0	0.0
			7. IX. 6 <sup>h</sup> 0 p	7.0	1.5	29. XII. 11 <sup>h</sup> 30 a	-12.0	0.0
			8. IX. a	4.0	1.5			
			9. IX. a	5.0	2.0	<b>1910</b>		
			10. IX. 8 <sup>h</sup> 0 a	3.0	1.5	7. I. 8 <sup>h</sup> 30 a	- 6.0	0.0
<b>1909</b>								
27. I. 1 <sup>h</sup> 0 p.	-15.0	—	11. IX. a	6.0	2.0	7. II. 10 <sup>h</sup> 35 a	- 3.0	0.0
29. III. 11 <sup>h</sup> 30 a	0.0	—	12. IX. a	4.0	2.0	23. II. 10 <sup>h</sup> 0 a	- 2.0	0.0
22. IV. 8 <sup>h</sup> 30 a	6.0	—	13. IX. 3 <sup>h</sup> 0 p	5.0	2.0	8. III. 9 <sup>h</sup> 40 a	0.0	0.0
13. V. 7 <sup>h</sup> 15 a	3.0	0.0	14. IX. 3 <sup>h</sup> 30 p	6.0	2.0	29. III. 9 <sup>h</sup> 37 a	2.0	0.0
19. V. 5 <sup>h</sup> 25 p	- 4.0	0.0	15. IX. 5 <sup>h</sup> 15 p	5.0	2.0	14. IV. 9 <sup>h</sup> 20 a	2.5	0.0
30. V. 9 <sup>h</sup> 0 a	- 5.0	0.0	16. IX. 4 <sup>h</sup> 50 p	7.0	2.0	27. IV. 8 <sup>h</sup> 50 a	3.0	0.0
1. VI. 1 <sup>h</sup> 40 p	11.0	1.0	17. IX. 5 <sup>h</sup> 0 p	7.0	2.0	6. V. 6 <sup>h</sup> 40 p.	2.0	0.0
7. VI. 2 <sup>h</sup> 10 p	9.0	1.0	18. IX. 5 <sup>h</sup> 20 p	5.0	2.0			
15. VI. 3 <sup>h</sup> 0 p	5.0	1.0						

DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser
	°C	°C		°C	°C		°C	°C
30. V. 6h 5 p	- 2.0	0.0	31. VIII. 3h 5 p	6.0	0.0	17. VIII. 10h30 a	9.0	1.0
20. VI. 4h35 p	1.0	0.0	1. IX. 2h30 p	3.0	0.0	19. VIII. 8h40 a	8.5	1.5
22. VI. 3h30 p	5.0	0.0	2. IX. 2h10 p	3.0	0.0	21. VIII. 9h30 a	8.0	1.0
27. VI. 4h 0 p	3.0	0.0	3. IX. 2h 0 p	4.0	0.0	23. VIII. 9h35 a	7.5	0.5
1. VII. 2h20 p	3.0	0.0	7. IX. 2h30 p	4.0	0.0	26. VIII. 9h30 a	9.0	1.0
3. VII. 8h30 a	2.0	0.0	9. IX. 9h25 a	6.0	0.0	27. VIII. 10h 0 a	9.0	1.0
12. VII. 7h35 a	5.0	0.0	10. IX. 5h 0 p	6.0	0.0	28. VIII. 11h 0 a	8.5	1.0
13. VII. 10h20 a	4.5	0.0	15. IX. 4h35 p	4.0	0.0	31. VIII. 8h30 a	9.0	1.5
15. VII. 2h30 p	6.0	0.0	16. IX. 8h15 a	4.0	0.0	1. IX. 11h35 a	8.0	1.0
16. VII. 2h35 p	6.5	0.0	18. IX. 5h10 p	5.0	0.0	3. IX. 8h30 a	7.0	0.5
18. VII. 1h35 p	10.0	0.0	28. IX. 5h10 p	5.0	0.0	10. IX. 9h55 a	7.5	0.0
19. VII. 1h30 p	8.0	0.0	4. X. 2h 5 p	4.0	0.0	14. IX. 8h 5 a	6.0	0.5
20. VII. 12h30 p	6.0	0.0	8. X. 4h15 p	2.0	0.0	16. IX. 2h 5 p	7.6	1.0
21. VII. 1h30 p	9.0	0.0	13. X. 3h30 p	4.0	0.0	20. IX. 3h 5 p	8.0	1.0
22. VII. 2h 5 p	10.0	0.0	18. X. 3h20 p	2.0	0.0	30. IX. 5h10 p	7.0	0.5
23. VII. 12h 0 a	12.0	0.0	26. X. 11h15 a	3.0	0.0	9. X. 9h10 a	3.0	0.0
24. VII. 2h 0 p	8.0	0.0	24. XI. 10h15 a	- 3.0	0.0	14. X. 9h 5 a	4.0	0.0
28. VII. 8h30 a	9.0	0.0	22. XII. 10h 5 a	- 2.0	0.0	17. X. 8h55 a	3.0	0.0
29. VII. 8h 0 a	7.0	0.0				21. X. 9h10 a	2.5	0.0
1. VIII. 8h30 a	4.0	0.0				27. X. 10h15 a	2.0	0.0
2. VIII. 2h30 p	4.0	0.0				30. X. 9h20 a	2.0	0.0
3. VIII. 2h30 p	3.0	0.0						
4. VIII. 3h 0 p	5.0	0.0	9. I. 9h30 a	- 4.0	0.0	6. XI. 9h20 a	2.0	0.0
5. VIII. 3h 0 p	4.0	0.0	16. VI. 4h30 a	2.5	0.0	10. XI. 10h15 a	- 2.0	0.0
6. VIII. 2h 0 p	3.0	0.0	19. VI. 9h 0 a	6.0	1.0	17. XI. 2h10 p	- 1.0	0.0
8. VIII. 1h30 p	4.0	0.0	20. VI. 1h35 p	7.0	1.5	28. XI. 10h35 a	- 1.0	0.0
9. VIII. 2h 0 p	3.0	0.0	23. VI. 2h10 p	7.5	0.5	11. XII. 10h 5 a	- 2.0	0.0
10. VIII. 2h 5 p	5.0	0.0	27. VI. 9h30 a	5.0	0.0	19. XII. 9h50 a	- 4.0	0.0
11. VIII. 2h 0 p	9.0	0.0	28. VI. 11h40 a	6.0	0.0			
12. VIII. —	5.0	0.0	30. VI. 10h50 a	7.0	0.5			
13. VIII. 9h20 a	7.0	0.0	1. VII. 10h40 a	6.0	1.0			
16. VIII. —	6.0	0.0	4. VII. 10h55 a	8.0	0.5	3. I. 12h35 p	0.0	0.0
17. VIII. 11h 5 a	7.0	0.0	6. VII. 7h25 a	6.0	0.0	27. I. 10h 5 a	- 5.0	0.0
18. VIII. 2h15 p	6.0	0.0	7. VII. 3h45 p	9.0	1.0	19. II. 11h25 a	- 4.0	0.0
19. VIII. 3h30 p	10.0	0.0	26. VII. 4h55 p	11.0	1.5	28. II. 3h30 p	3.0	0.0
20. VIII. 1h50 p	8.0	0.0	28. VII. 3h35 p	11.0	1.5	13. III. 12h 0 a	3.0	0.0
22. VIII. 2h30 p	6.0	0.0	30. VII. 3h35 p	9.0	0.0	29. III. 9h15 a	5.0	0.0
23. VIII. 2h10 p	8.0	0.0	3. VIII. 8h 0 a	9.5	1.0	15. IV. 8h40 a	- 6.0	0.0
24. VIII. 2h 0 p	7.0	0.0	4. VIII. 6h30 p	11.0	1.5	30. IV. 8h13 a	0.0	0.0
25. VIII. 2h 5 p	9.0	0.0	5. VIII. 9h30 a	9.0	1.5	14. V. 7h10 a	8.0	0.5
26. VIII. 2h15 p	9.0	0.0	6. VIII. 8h35 a	10.0	1.5	28. V. 5h 0 p	0.0	0.0
27. VIII. 1h30 p	8.0	0.0	8. VIII. 9h25 a	10.5	1.0	12. VI. 5h10 p	3.5	0.0
28. VIII. 2h15 p	7.0	0.0	10. VIII. 9h15 a	10.0	1.0	20. VI. 10h10 a	8.0	0.0
29. VIII. 1h40 p	6.0	0.0	13. VIII. 9h40 a	11.0	1.0	28. VI. 4h 0 p	1.0	0.0
30. VIII. 3h 0 p	6.0	0.0	14. VIII. 8h35 a	9.0	1.0	2. VII. 5h15 p	9.0	0.0
			16. VIII. 1h10 p	8.0	0.5	6. VII. 1h30 p	9.0	0.0

DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser
	°C	°C		°C	°C		°C	°C
9. VII. 2h20 p	10.0	0.0	13. VIII. 9h10 a	3.4	1.7	29. X. 3h 0 p	2.0	0.5
10. VII. 2h 0 p	10.0	0.0	14. VIII. 12h 0 a	3.0	2.0	12. XI. 11h20 a	-9.0	0.0
11. VII. 4h30 p	10.0	0.0	17. VIII. 1h 0 p	8.0	1.5	26. XI. 11h15 a	-8.0	0.0
12. VII. 1h20 p	10.0	0.0	19. VIII. 1h30 p	7.0	1.0	10. XII. 11h 0 a	7.0	0.0
13. VII. 1h 0 p	10.0	0.0	20. VIII. 1h 0 p	8.0	1.5			
14. VII. 3h30 p	10.0	0.0	21. VIII. 1h30 p	8.0	2.0			
15. VII. 4h 0 p	10.0	0.0	22. VIII. 2h30 p	10.0	2.0	<b>1913</b>		
16. VII. 4h 0 p	9.0	0.0	23. VIII. 2h 0 p	9.0	1.5	16. I. 11h 5 a	2.0	0.0
17. VII. 3h 0 p	9.0	0.0	24. VIII. 1h30 p	10.0	2.0	12. II. 2h40 p	0.0	0.0
18. VII. 4h30 p	10.0	0.0	25. VIII. 4h30 p	10.0	2.0	13. II. 11h45 a	-2.0	0.0
19. VII. 5h30 p	10.0	0.0	27. VIII. 3h30 p	10.0	2.0	19. II. 11h 0 a	-11.0	0.0
20. VII. 2h25 p	10.0	0.0	30. VIII. 2h 0 p	6.0	1.0	28. II. 10h30 a	-6.0	0.0
21. VII. 7h30 a	8.0	0.0	6. IX. 1h55 p	—	1.5	20. III. —	5.0	0.0
23. VII. 11h20 a	8.0	2.0	9. IX. 8h35 a	2.5	1.5	31. III. 10h42 a	-3.0	0.0
24. VII. 2h 0 p	9.0	0.0	11. IX. 4h35 p	0.0	1.0	15. IV. 11h 0 a	-15.0	0.0
25. VII. 2h 0 p	9.0	0.5	13. IX. 5h30 p	-1.0	0.0	29. IV. 4h 0 p	5.0	0.0
26. VII. 2h30 p	9.0	0.5	14. IX. 2h30 p	-1.0	0.0	6. V. 9h 0 a	—	0.0
27. VII. 2h30 p	10.0	2.0	20. IX. 9h20 a	3.0	1.0	21. V. 8h10 a	1.0	0.0
28. VII. 3h 0 p	10.0	2.0	21. IX. 9h 5 a	-1.0	1.0	29. V. 6h 0 p	0.0	0.0
30. VII. 2h 0 p	10.0	2.0	23. IX. 10h30 a	-2.0	1.5	18. VI. 10h15 a	4.5	0.5
31. VII. 2h 0 p	10.0	2.0	23. IX. 4h30 p	1.5	3.0	24. VI. 6h30 p	3.0	0.5
1. VIII. 2h 0 p	10.0	2.0	24. IX. 9h20 a	-1.0	2.0	29. VI. 4h30 p	5.0	1.0
3. VIII. 2h 0 p	10.0	2.0	26. IX. 10h20 a	-5.0	2.0	2. VII. 2h 0 p	6.0	1.0
4. VIII. 10h10 a	12.0	2.0	26. IX. 4h55 p	-0.5	1.0	5. VII. 5h15 p	6.0	1.0
4. VIII. 4h23 p	13.5	3.0	27. IX. 8h50 a	-4.0	1.0	7. VII. 4h15 p	6.0	1.0
5. VIII. 12h22 p	6.5	2.2	29. IX. 9h20 a	2.0	0.5	8. VII. 2h30 p	4.0	1.0
6. VIII. 2h30 p	10.0	2.0	1. X. 9h25 a	2.0	0.5	9. VII. 10h30 a	4.0	0.5
7. VIII. 10h20 a	4.0	1.5 Mute	4. X. 9h50 a	-0.5	0.0	11. VII. 2h 0 p	5.0	0.5
7. VIII. 3h 0 p	10.0	2.0 Rand	6. X. 10h40 a	2.0	0.5	14. VII. 2h30 p	10.0	1.0
8. VIII. 8h 3 a	—	1.5	9. X. 9h35 a	3.0	0.5	15. VII. 3h30 p	8.0	1.0
8. VIII. 3h30 p	10.0	1.8	12. X. 8h 5 a	9.5	0.0	16. VII. 2h30 p	6.0	1.0
9. VIII. 1h30 p	10.0	2.0	14. X. 8h20 a	0.0	0.0	17. VII. 9h30 a	4.0	1.5
9. VIII. 7h 7 p	7.0	1.6	16. X. 8h50 a	1.0	0.5	19. VII. 3h45 p	6.0	1.0
10. VIII. 2h 0 p	10.0	2.0	18. X. 8h35 a	-1.0	1.0	21. VII. 2h 0 p	7.0	1.5
12. VIII. 9h50 a	3.5	1.8	21. X. 9h45 a	-0.5	0.0	22. VII. 2h30 p	6.0	—
12. VIII. 4h20 p	4.0	1.8	23. X. 2h10 p	-6.0	0.0			

## Luft- und Wassertemperaturen des Vordersees.

## Einzelbeobachtungen von 1912-1913.

DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser	DATUM	Luft	Wasser
	°C	°C		°C	°C		°C	°C
<b>1912</b>								
6. VIII. 10 <sup>h</sup> 45 a	6.5	10.5	23. X. 1 <sup>h</sup> 50 p	- 3.0	2.0	5. IX. 1 <sup>h</sup> 30 p	8.0	14.0
13. VIII. 9 <sup>h</sup> 10 a	3.5	8.5	29. X. 2 <sup>h</sup> 45 p	2.0	2.0	6. IX. 9 <sup>h</sup> 20 a	4.5	12.0
6. IX. 10 <sup>h</sup> 43 a	2.5	7.6	12. XI. 11 <sup>h</sup> 20 a	- 9.0	1.5	7. IX. 2 <sup>h</sup> 15 p	9.0	12.0
6. IX. 5 <sup>h</sup> 35 p	- 1.0	8.3	26. XI. 10 <sup>h</sup> 25 a	- 8.0	2.0	11. IX. 10 <sup>h</sup> 20 a	4.0	3.0
7. IX. 1 <sup>h</sup> 17 p	2.5	9.4	10. XII. 11 <sup>h</sup> 0 a	7.0	2.0	12. IX. 8 <sup>h</sup> 45 a	3.4	9.0
9. IX. 12 <sup>h</sup> 50 p	1.5	1.5				24. IX. 1 <sup>h</sup> 0 p	7.5	8.0
21. IX. 8 <sup>h</sup> 48 a	- 2.0	6.5				5. X. 9 <sup>h</sup> 0 a	5.0	7.0
21. IX. 4 <sup>h</sup> 45 p	3.0	8.0	<b>1913</b>			10. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	4.0	4.0
23. IX. 8 <sup>h</sup> 45 a	0.0	7.5	16. I. 11 <sup>h</sup> 5 a	0.0	1.0	15. X. 8 <sup>h</sup> 45 a	1.0	4.5
23. IX. 4 <sup>h</sup> 50 p	2.0	9.0	13. II. 12 <sup>h</sup> 15 p	- 2.0	0.5	18. X. 9 <sup>h</sup> 15 a	4.0	5.5
24. IX. 9 <sup>h</sup> 0 a	- 1.0	7.0	28. II. 10 <sup>h</sup> 0 a	- 6.0	0.5	22. X. 8 <sup>h</sup> 45 a	2.0	5.0
26. IX. 10 <sup>h</sup> 0 a	- 6.0	6.0	6. V. 9 <sup>h</sup> 20 a	- 2.0	0.0	27. X. 10 <sup>h</sup> 15 a	3.0	5.0
27. IX. 8 <sup>h</sup> 37 a	- 5.0	5.5	21. V. 9 <sup>h</sup> 0 a	1.0	-	3. XI. 10 <sup>h</sup> 15 a	2.0	3.0
1. X. 9 <sup>h</sup> 30 a	3.0	6.0	18. VI. 12 <sup>h</sup> 45 p	6.0	1.5	7. XI. 10 <sup>h</sup> 30 a	0.0	2.0
4. X. 9 <sup>h</sup> 30 a	1.5	6.0	30. VII. 2 <sup>h</sup> 0 p	9.0	7.0	12. XI. 10 <sup>h</sup> 15 a	1.0	2.0
6. X. 10 <sup>h</sup> 20 a	1.0	5.0	10. VIII. 3 <sup>h</sup> 0 p	10.0	8.0	17. XI. 9 <sup>h</sup> 30 a	0.0	2.0
9. X. 9 <sup>h</sup> 20 a	2.0	5.0	16. VIII. 4 <sup>h</sup> 0 p	10.0	11.0	27. XI. 9 <sup>h</sup> 45 a	- 2.0	1.5
12. X. 7 <sup>h</sup> 50 a	- 2.0	4.0	19. VIII. 3 <sup>h</sup> 0 p	10.0	8.0	16. XII. 10 <sup>h</sup> 15 a	- 3.0	0.0
14. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	- 2.0	3.0	23. VIII. 5 <sup>h</sup> 25 p	9.0	10.0	29. XII. 10 <sup>h</sup> 50 a	- 5.0	0.0
16. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	2.0	3.5	25. VIII. 3 <sup>h</sup> 0 p	10.0	11.5			
18. X. 8 <sup>h</sup> 15 a	0.0	3.0	28. VIII. 3 <sup>h</sup> 0 p	11.0	11.5			

Aus den vorliegenden Beobachtungen geht hervor, dass eine systematische Behandlung des Temperaturganges des Vorder- und Hintersees in deren obersten Schichten nicht möglich ist. Wir können an charakteristischen Beispielen die Art der Erwärmung und Abkühlung des Sees, die Wirkungen von Regen, Wind u. s. w. nicht im einzelnen zur Anschauung bringen. Dagegen liefern uns die Beobachtungen doch ein allgemeines Bild über den Gang der Oberflächentemperaturen. Die Oberflächentemperatur des *Hintersees* bewegt sich zwischen  $0,0^{\circ}\text{C}$  und  $3,0^{\circ}\text{C}$ . Einen wesentlichen Einfluss auf sie übt die Zahl und Lage der Eisberge aus. Die Lage der Eisberge, die gewaltigen Höhendifferenzen des Seespiegels verunmöglichen es, die Beobachtungen immer an der nämlichen Stelle durchzuführen. Im Prinzip sind sie deshalb immer ungefähr in der Mitte, zwischen See-Ende und Gletscherwand, vorgenommen worden.



Der Verlauf des jährlichen Ganges der Temperatur (Ansteigen im Sommer, Fallen im Winter) lässt sich höchstens mit demjenigen eines Gletscherbaches nahe des Gletschertores vergleichen.

Die Amplitude der Schwankungen der Wassertemperatur ist selbstverständlich eine viel kleinere als bei der Luft. Einer absoluten Schwankung der Wassertemperatur von  $3,0^{\circ}$  C. entspricht eine solche der Lufttemperatur von  $-15^{\circ}$  bis  $+13,5^{\circ}$  C. Diese Beziehung darf natürlich nur als eine ganz angenäherte aufgefasst werden, denn die zu Grunde gelegten Beobachtungsreihen sind lückenhaft. Im Verlauf der mittleren Schwankung zeigt sich bei der Wassertemperatur doch eine gewisse Regelmässigkeit, indem dieselbe nach dem Auffrieren der Eisdecke gegen den Sommer hin zunimmt und ihren höchsten Wert im August und September erreicht.

Dass die mittlere und absolute Schwankung der Wassertemperatur ihr Minimum im Winter hat, ist selbstverständlich. Ein genauer Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der Wassertemperatur der Oberfläche ist vorhanden, er gelangt aber nur auf schwache Weise zum Ausdruck. Mit steigender Lufttemperatur nimmt die Schmelztätigkeit der Gletscherwand und der Eisberge zu. Sie beeinflusst die Oberflächentemperatur. Der genaue Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Wassertemperatur wird eben durch die Schmelztätigkeit des Eises beeinträchtigt, deshalb die auffallend träge Beweglichkeit der Oberflächentemperaturen.

Hinsichtlich der Oberflächentemperaturen des *Vordersees* sind die Verhältnisse ganz andere. An Hand der wenigen durchgeführten Beobachtungen (wir fassen nur diejenigen des Jahres 1913 ins Auge) wollen wir uns kurz den jährlichen Gang der Wassertemperatur vor Augen führen. Die Temperatur der Seeoberfläche ist 1913 im Mai bis August niedriger, in den übrigen Monaten höher als die Lufttemperatur. Eine genaue Abgrenzung ist mangels Beobachtungen nicht möglich. Mit dem Einsetzen der Frühjahrswärme (Ende Winter) wird die Lufttemperatur höher als die Oberflächentemperatur. Dieser Zustand hält an, bis die Lufttemperatur ihr Maximum erreicht hat, was gewöhnlich in den Monaten August und September (Ende Sommer) der Fall ist; hernach tritt die umgekehrte Erscheinung zu Tage: die Wassertemperatur bleibt höher als die Lufttemperatur. Die Grösse der jährlichen Schwankung, die durch die klimatischen Verhältnisse bestimmt wird, beträgt  $12,0^{\circ}$  C (Winter:  $0,0^{\circ}$  C; Sommer:  $12,0^{\circ}$  C). Diese beiden Messungen charakterisieren den thermischen Typus des Sees.

Da die spezifische Wärme des Wassers bedeutend grösser ist, als diejenige der Luft, so sind die thermischen Schwankungen der Atmosphäre viel grössere und treten rascher ein, als diejenigen der Seeoberfläche. Das Wasser zeigt deshalb immer eine Verzögerung. Im Frühling bleibt es noch kalt, während die Luft sich schon erwärmt hat; es ist daher kälter als diese. Im Herbst tritt der umgekehrte Fall ein.

Forel unterscheidet nach ihrem thermischen Verhalten drei Typen von Seen<sup>1</sup>. Je nachdem ihr Wasser immer warm, d. h. über der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ist, nennt er sie *tropische Seen*; sind sie abwechselnd warm und kalt, so sind es *temperierte* Seen und sind sie immer kalt, so gibt er ihnen den Namen *polare* Seen. In den tropischen Seen sinkt das Minimum nicht unter 4° C; das Maximum kann auf 25°-30° C und noch höher steigen. In den polaren Seen schwankt die Temperatur der Oberfläche nur zwischen 0° C und 4° C. In den temperierten Seen ist sie während der kalten Jahreszeit unter 4° C, in der warmen über 4° C. Demnach gehört der Vordersee zu den temperierten Seen (Maximum >4° C, Minimum <4° C), der Hintersee dagegen zu den polaren Seen (Maximum ≤4° C, Minimum <4° C).

### Die Thermischen Lotungen.

Die Temperaturmessungen in der Tiefe sind mit einem « Deep Sea-Thermometer » von Negretti und Zambra in London, mit Kippvorrichtung vermittelt eines Holzgehäuses, ausgeführt worden. Die Genauigkeit des Instrumentes wurde zu zwei Malen vom Direktor der eidg. Eichstätte, Dr. König in Bern, nachgeprüft. Das Instrument wies an keiner Stelle einen Fehler von mehr als 0,1° C auf.

Das Thermometer hing an einem Messdraht (Kabel) mit Meterteilung. Als Peilschiff diente ein hölzerner Kasten von 2 m Länge, 1 m Breite und 0.30 m Höhe.

Die erforderliche Zeit für die thermische Ausgleichung zwischen dem Instrument und dem umgebenden Wasser war auf 2 Minuten ermittelt worden; um aber unter allen Umständen sicher zu arbeiten, wurden die Aussetzungen des Thermometers im Wasser gewöhnlich auf 10 Minuten ausgedehnt. Am Vordersee sind nun zwei thermische Lotungen, die eine am 6. August 1912, also im Sommer, die andere am 19. Februar 1913, im Winter, durchgeführt worden. Auf Tafel 17 finden sich die Resultate graphisch dargestellt. Wir haben bereits gesehen, dass der hauptsächlichste Wärmeaustausch an der Oberflächenschicht des Sees vor sich geht. Nun wissen wir, dass sich die Temperaturänderungen dieser Oberflächenschichten infolge der Wärmedurchlässigkeit des Wassers, der mechanischen Wirkung des Windes, der Zuflüsse und deren Schwemmmaterial, auch nach der Tiefe geltend machen. Die dem Wasser innewohnende Eigentümlichkeit, dass es seine grösste Dichtigkeit bei + 4,0° C. aufweist, bewirkt das Auftreten thermischer Schichtung. Der momentane thermische Zustand der Wassermasse eines Sees ist, nach Forel, stets das Resultat eines in einem früheren Zeitpunkt vorhandenen Wärmezustandes und der, seit jenem Moment durch verschiedene Einflüsse, hervorgebrachten Änderungen. Dementsprechend verhalten sich auch die Resultate.

I. *Thermische Lotung vom 6. August 1912* (12<sup>b</sup>0-12<sup>b</sup>25 p), Pegelstand: 50.00 m. Sie wurde bei km 2.500 des Längenprofils (Tafel 3), in der Mitte des Sees, durch-

<sup>1</sup> FOREL, F.-A. *Handbuch der Seenkunde*. Stuttgart, 1901.

geführt. Die Oberflächentemperatur beträgt  $10,0^{\circ}\text{C}$ , in einer Tiefe von 7.0 m ebenfalls  $10,0^{\circ}\text{C}$ , am Seegrund in einer Tiefe von 8.7 m noch  $9,5^{\circ}\text{C}$ . Die warmen Schichten liegen auf den kälteren, die Temperatur nimmt von oben nach unten ab, das Wasser zeigt deshalb direkte Temperaturschichtung. Eine Abkühlung von oben hat bereits stattgefunden. Die oberste dichtere Schicht sinkt unter, bis sie auf eine Schicht von gleicher Dichte stösst. Die Mächtigkeit der homothermischen Oberflächenschicht mit gleicher, stets sinkender Temperatur nimmt fortschreitend zu, indem die vertikalen Konvektionsströmungen die Oberflächenschichten mit den unmittelbar unter ihnen liegenden in dem Masse mischen, als durch Abkühlung ihre Temperatur diejenige der untern Schichten annimmt. (Forel.)

Der Temperaturzustand des Vordersees am 6. August 1912 ist auf solche Weise entstanden. Dieser Vorgang führt zu einer Zerstörung der thermischen Schichtung und vermöge der geringeren Tiefe des Sees (Maximum 8.75 m) zur Ausgleichung der Temperatur der gesamten Wassermasse.

II. *Thermische Lotung vom 19. Februar 1913* (12<sup>h</sup>30-12<sup>h</sup>55 p), Pegelstand : 41,86 m, wurde an der nämlichen Stelle vorgenommen.

Der Temperaturschichtung vom 19. Februar 1913 ist eine homothermische Schichtung der ganzen Wassermasse von  $4^{\circ}\text{C}$  vorangegangen. Die Abkühlung der Oberflächenschicht schreitet vorwärts und mit ihr beginnt die *verkehrte Schichtung*, beziehungsweise die wärmsten Massen befinden sich unten, die kältesten schwimmen oben.

Da Wasser von  $2,1^{\circ}\text{C}$  leichter ist als solches von  $4^{\circ}\text{C}$ , vermag das Oberflächenwasser nicht mehr in die Tiefe zu sinken. Aus den beiden Lotresultaten ersehen wir, dass die oberen Schichten der Lotung II kälter als die entsprechenden Schichten der Lotung I sind : es hat bei ihnen eine Abkühlung von  $10,0^{\circ} - 2,1^{\circ} = 7,9^{\circ}\text{C}$  stattgefunden, während die tieferen Schichten nur eine solche von  $9,5^{\circ} - 4,0^{\circ} = 5,5^{\circ}\text{C}$  erfahren haben. Vom 6. August 1912 bis 19. Februar 1913 sind sämtliche Schichten erkaltet; dies hängt mit dem Eintritt der herbstlichen und winterlichen Abkühlung zusammen, die hier die Temperatur nach und nach erniedrigt hat. Je länger eine thermische Einwirkung andauert, desto deutlicher tritt ihr Einfluss hervor, in desto tiefere Schichten macht sie sich fühlbar. Der Einfluss an der Oberfläche ist natürlicherweise am grössten, deshalb hat sie auch die grösseren Temperaturschwankungen. Für die Aenderungen der Tiefentemperatur sind jedenfalls, abgesehen von den winterlichen Einflüssen, die mit Schwebekörpern durchsetzten Wassermassen der Zufüsse, die auf den Grund sinken können, ausschlaggebend. Einerseits hat durch die Frühjahrs- und Sommerwärme eine sukzessive Erwärmung des auf  $4^{\circ}\text{C}$  und darüber abgekühlten Winterwassers stattgefunden; anderseits trat durch die herbstliche und winterliche Kälte eine Abkühlung ein, die das Wasser zunächst in seiner ganzen Tiefe auf  $4^{\circ}\text{C}$  brachte und hernach von der Oberfläche aus eine weitere Abkühlung folgen liess.

Beim Hintersee sind nun, wie wir bereits bei der Besprechung der Ober-

flächentemperaturen gesehen haben, die Verhältnisse ganz andere. Wir wollen bei diesem See von den winterlichen Messungen ausgehen. Die Temperatur des mit Eis bedeckten Märjelensees ist bis auf den Grund nahezu  $0^{\circ}\text{C}$ ; eine Abweichung von dieser Temperatur konnte mit dem Negretti-Thermometer, trotz sorgfältiger Prüfung, nicht konstatiert werden.

Dr. Collet, der an diesen Messungen hervorragenden Anteil genommen hat, führte am nämlichen Orte eine Kontrollmessung aus, die die gleichen Resultate, beziehungsweise überall eine Temperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  feststellte. Zur vollständigen Sicherheit dieser interessanten Resultate wurde das Thermometer noch dem Direktor der eidg. Eichstätte in Bern, Dr. König, zugestellt, der, wie bereits erwähnt, einen Fehler nicht nachweisen konnte.

Wir haben bereits gesehen, dass die sommerliche Wärme infolge ihres gewaltigen Einflusses auf die Schmelztätigkeit des Gletschers und der Eisberge nicht im Stande ist, die Temperatur des Sees höher zu bringen als  $3^{\circ}\text{C}$  (Einflusszone des Seebaches nicht inbegriffen). Der Einfluss der warmen Witterung auf die thermischen Verhältnisse ist deshalb ein verschiedener. Die Oberfläche wird durch die Sonnenstrahlung erwärmt, erleidet aber durch das Abschmelzen der Eiswand und der Eisberge eine Abkühlung. Gewaltige, bis zu 5 m hohe Wellen, verursacht durch das Kalben des Gletschers, verunmöglichen eine ausgeprägte Temperaturschichtung fast vollständig. Dazu gesellt sich noch der Einfluss des Windes hauptsächlich auf die Eisberge. Diese werden, je nach der Windrichtung, von West nach Ost oder umgekehrt, getrieben. Für die Talbewohner ist die Lage der Eisberge eine Art Barometer. Liegen sie an der Ostseite des Sees, so tritt schlechtes Wetter ein (Westwind); treibt sie der Ostwind an die Gletscherwand, so steht gutes Wetter in Aussicht.

Einen weitem Einfluss übt ferner die verhältnismässig hohe Temperatur des Seebaches bei seiner Mündung in den Vordersee aus. Um über die Verschiedenheit in der Oberflächentemperatur des Sees ein typisches Beispiel liefern zu können, sind am 6. Oktober 1912 an verschiedenen Stellen Temperaturmessungen durchgeführt worden. Die Resultate sind folgende :

*Witterung* : bewölkt. Vorerst Windstille, hernach schwacher Westwind.  
Lage der Eisberge : Ecke Aletschgletscher-Eggishorn. Lufttemperatur  $5^{\text{h}}25\text{ p} = -1,0^{\circ}\text{C}$ . Pegelstand 52.535 m.

*Wassertemperaturen.* — Seebach bei seiner Mündung  
in den See . . . . .  $5^{\text{h}}10\text{ p} = 8,6^{\circ}\text{C}$ .  
ca. 30 m nördlich der Mündung des Seebaches in den See  $5^{\text{h}}0\text{ p} = 4,25^{\circ}\text{C}$ .  
ca. 50 m südlich » » »  $5^{\text{h}}25\text{ p} = 1,9^{\circ}\text{C}$ .  
ca. 100 m westlich des Seerandes . . . . .  $5^{\text{h}}28\text{ p} = 2,0^{\circ}\text{C}$ .  
Temperatur des Vordersees . . . . .  $5^{\text{h}}35\text{ p} = 8,35^{\circ}\text{C}$ .

Die durchgeführten Tiefenmessungen sind ebenfalls auf Tafel 17 graphisch dargestellt. Eine erste Serie ist am 7. August 1912 bei km 3.770 und 3.900, am 8. August 1912 (Fig. 6, 7, 8) bei km 3.680, eine zweite am 6. September 1912 bei km 3.680 und km 3.900, schliesslich eine dritte Serie am 19. Februar 1913 bei km 3.680 und km 3.900 (Fig. 9 und 10) bewältigt worden.

1. *Serie.* — Die Differenzen in den Temperaturen sind überaus kleine (maximale Differenz  $1,8^{\circ} - 1,5^{\circ} = 0,3^{\circ} \text{ C}$ ) und hauptsächlich nur in den obersten Schichten nachweisbar. Von einer eigentlichen Schichtung kann nicht gesprochen werden. Erwähnenswert ist noch, dass eine bestimmte Gesetzmässigkeit nach der Lage der Lotstelle zum Ausdruck kommt. Je näher der Gletscherwand, desto kleiner die Oberflächentemperaturen: bei km 3.680 =  $1,8^{\circ} \text{ C}$ , bei 3.770 =  $1,6^{\circ} \text{ C}$  und bei 3.900 =  $1,5^{\circ} \text{ C}$ .

2. *Serie.* — Die Temperaturen der untern Schichten sind vom 8. August bis 6. September 1912, also im Verlaufe eines Monats durchschnittlich um einen halben Grad zurückgegangen, die Oberflächentemperaturen dagegen ungefähr gleich geblieben. Eine allgemeine Abkühlung, bedingt durch die tiefern Lufttemperaturen im Herbst, hat stattgefunden. Von einer eigentlichen Schichtung dürfen wir auch bei diesen beiden Lotungen nicht sprechen. Die Temperaturdifferenzen sind sehr wahrscheinlich nicht mehr gross genug, um Dichte-Differenzen von solcher Bedeutung hervorzurufen, dass die Ausgleichströmungen stärker wären, als die Wirkungen der Wärmeleitung. Der Einfluss der stets wechselnden Lage der Eisberge verunmöglicht eine präzise Erklärung der Differenzen der ersten und zweiten Serie der durchgeführten Tiefenmessungen. Neben der Einwirkung der schmelzenden Tätigkeit des Wassers auf die Eisberge und die Gletscherwand, verursacht hauptsächlich die Abkühlung von der Oberfläche aus den Rückgang der Temperaturen. Die Ausstrahlung in die Atmosphäre, die Wärmeleitung durch Berührung mit kalter Luft, ferner die durch den Wind hervorgerufenen Strömungen, bilden die wesentlichsten Faktoren. Letzterer Faktor spielt oft eine nicht unbedeutende Rolle. Forel schreibt hierüber in seinem Handbuch über die Seenkunde (Stuttgart, 1901) folgendes: « Indem die bewegte Luft sich an der Oberfläche des Wassers reibt, reisst sie die obersten Wasserteilchen mit sich fort; es entsteht eine in der Richtung des Windes sich bewegende Strömung. Diese Strömung ist oberflächlich; die Bewegung dringt nur sehr langsam in tiefere Schichten vor. Infolge dieser Strömung staut sich das Wasser gegen das Ufer an, nach dem der Wind bläst, d. h. Windstau tritt hier ein. Dadurch wird ein Gegenstrom in der Tiefe erzeugt. Das Wasser sinkt an den Gehängen des Seebeckens entlang zur Tiefe, bewegt sich als horizontaler Strom in den mittleren oder tiefen Schichten des Sees nach der gegenüberliegenden Küste zurück und steigt hier den Gehängen entlang wieder empor, um sich mit dem primären, in entgegengesetzter Richtung fliessenden Oberstrom zu vereinigen. Wenn der Wind andauernd weht, so kann die ganze Wassermasse des Sees aufgeführt und in eine geschlossene Zirkulation einbezogen werden. Der Gegenstrom

findet sich in verschiedenen Tiefen, je nachdem das Seewasser thermisch geschichtet ist oder nicht. Er fließt zwischen den leichten Schichten der Oberfläche und den schwereren Schichten der mittleren oder tiefen Region. Doch auch die untern Schichten können schliesslich teilweise vom Strom mitgerissen werden und so die verschieden warmen Wassermassen sich mischen. Die Temperaturbeobachtungen lassen nicht selten deutlich eine solche Mischung erkennen. »

Bei andauernder Kälte sinkt die Temperatur auf  $0^{\circ}$  C. Der See beginnt zu gefrieren. Der Einfluss der Lufttemperaturen, der Sonnenstrahlung, des Windes macht sich nur noch in reduziertem Masse geltend. Die Eisdecke ist ja im Frühjahr niemals rein und durchsichtig, vielmehr gewöhnlich trüb und mit Schneeis und Schnee bedeckt, sodass also Ein- und Ausstrahlung fast gar keine Wirkung mehr ausüben. Zirkulationsströmungen an der Eiswand des Grossen Aletschgletschers und an den Wänden der Eisberge ermöglichen ein sukzessives Zurückgehen der Temperatur des Seewassers auf nahezu  $0^{\circ}$  C. (Siehe Tafel 17, Figur 12.)

Wenn wir uns kurz den zyklischen Vorgang der Erwärmung und Abkühlung des Hintersees vor Augen führen wollen, so tun wir am besten vom Zustand der grössten Abkühlung auszugehen. In diesem Zustande hat der ganze See eine Temperatur von nahezu  $0^{\circ}$  C. Die Oberfläche ist mit verschieden getrennten Schichten von Eis, Wasser und Schnee bedeckt. (Siehe Tafel 17, Fig. 2 und 3.) In den ersten warmen Tagen beginnt der Schnee auf der Eisdecke und an den Hängen rings um den See herum zu schmelzen. Das Schmelzen des Schnees macht sich bemerkbar durch das Wachsen der Seitenbäche, beziehungsweise durch das Steigen des Sees. Die ganze winterliche Eisschicht, soweit sie nicht durch die Wärme schon reduziert worden ist, beginnt sich zu heben. Die Temperatur des Wassers der Seitenbäche nimmt allmählich zu. Die Schmelztätigkeit des Seewassers wird dadurch erhöht. Die Randzone des Sees wird anfangs, solange die Nachttemperaturen unter Null sinken, gefrieren, später aber, wenn diese den Gefrierpunkt nicht mehr erreichen, offen bleiben. Die Erwärmung erfolgt dann rasch. Gleichzeitig beginnt auch eine intensive Zerstörung der Eisschicht. Der Einfluss des Windes (namentlich des Föhns), das Kalben des Gletschers unterstützen das Zerstörungswerk der Wärmestrahlung. Die obern Schichten und damit auch die untern, erwärmen sich vermöge der Konvektionsströmungen. Aber auch die Schmelztätigkeit des Wassers auf das Eis beginnt. Es entstehen Temperaturverhältnisse, wie wir sie uns nicht schwieriger vorstellen können. Die Erwärmung dauert solange, bis eben die ganze Wassermasse ungefähr die nämliche Temperatur ( $1,8^{\circ}$  C, Fig. 8) aufweist.

Natürlicherweise treten infolge des Wechsels der Witterung viele Ungleichmässigkeiten der Erwärmungsvorgänge ein; auch im Sommer kommen Kälteperioden vor. Ihr Einfluss ist selbstverständlich spürbar.

Mit dem ersten starken Witterungsumschlag im September oder Oktober beginnt die Abkühlungsperiode. Die umgekehrte Schichtung kann aber auch bei diesem Prozesse durch die schon bekannt gegebenen Gründe nur verschleiert auf-

treten. Ein vollkommener Stillstand tritt erst wieder ein, wenn die ganze Schicht auf nahezu  $0^{\circ}\text{C}$  erkaltet ist.

In Bezug auf die Tiefentemperatur legt Forel den früher erwähnten drei Typen folgende normale Werte zu Grunde :

	Tiefentemperatur	
	normal	zufällig
<i>Tropische Seen</i> , typische	$> 4^{\circ}\text{C}$	—
subtemperierte	$> 4^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C}$
<i>Temperierte Seen</i> , subtropische	$4^{\circ}\text{C}$	$> 4^{\circ}\text{C}$
typische	$4^{\circ}\text{C}$	—
subpolare	$4^{\circ}\text{C}$	$< 4^{\circ}\text{C}$
<i>Polare Seen</i> , subtemperierte	$< 4^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C}$
typische	$< 4^{\circ}\text{C}$	—

Wenn wir nun die beiden in Untersuchung gezogenen Seen in obige Klassifikation einreihen, so gehört der Vordersee in die Klasse der subtropisch-temperierten Seen, der Hintersee in diejenige der typisch-polaren Seen.

Prof. Dr. F. Zschokke<sup>1</sup> teilt die Hochgebirgsseen in Hinsicht auf ihre Temperatur in drei, allerdings durch zahlreiche Uebergänge miteinander verbundene Kategorien ein :

*Erste Kategorie* : Umfangreiche Wasserbecken von nennenswerter Tiefe und somit von bedeutendem Inhalt.

*Zweite Kategorie* : Seichte, wenig umfangreiche, sonnig gelegene und vom Schmelzwasser nicht direkt gespiesene Weiher, Teiche und Tümpel.

*Dritte Kategorie* : Eis-Seen und Schneeweiher mit vollkommenem Schmelzwasserregime.

Für die erste Kategorie gelangt nun Zschokke an der Hand eines reichen Beobachtungsmaterials über die Seen des Rhätikon von Partnun (1874 m), Tilisuna (2102 m), Garschina (2189 m), Gafiensee (2312 m), Lünensee (1943 m), des St. Bernhard-Gebietes, Unterer Lac de Fenêtre (2420 m), Unterer See auf Plateau de Cholaire (2425 m), See beim Bernhardospiz (2445 m), Mittlerer Lac de Fenêtre (2500 m), Oberer Lac de Fenêtre (2510 m), Unterer See von Grand Lay (2560 m), Unterer See von Drönaz (2570 m), Oberer See von Drönaz (2630 m), Unterer See von Orny (2686 m); im Kanton St. Gallen: Oberster Murgsee (1825 m), Mittlerer Seewenalpsee (1622 m), der Grauen Hörner: Viltersee (1902 m), Wangsersee (2200 m), Wildsee (2436 m), Schottensee (2342 m), Schwarzsee (2381 m), des St. Gotthardgebietes: Lago Cadagno (1921 m), Lago Taneda (2293 m), Pizzo Columbo (2375 m), und Punta nera (2456 m) zu folgenden Schlussfolgerungen: Grössere Wasserbecken

<sup>1</sup> ZSCHOKKE, F. *Die Tierwelt der Hochgebirgsseen*. Neue Denkschriften der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften, Bd. XXXVII, Basel, 1900.

von einigermassen nennenswerter Tiefe in einer Höhenlage von etwa 1800-2600 m erreichen selten und überschreiten noch seltener während der Sommermonate die Temperatur von  $15^{\circ}$  C. Am häufigsten treten Temperaturen von  $8^{\circ}$ - $12^{\circ}$  C auf. Die Extreme der Sommertemperaturen eines Jahres liegen bis  $8^{\circ}$  C auseinander.

In diese Kategorie gehört der Vordersee. Die höchstgemessene Sommertemperatur beträgt  $14,0^{\circ}$  C (5. September 1913). Temperaturen von  $8^{\circ}$ - $12^{\circ}$  C treten auch an diesem See am häufigsten auf.

Ganz anders verhalten sich die Seen, Weiher, Teiche und Tümpel der zweiten Kategorie, die teilweise der sommerlichen Austrocknung unterliegen. Zschokke verfügt über folgende Seen Aufzeichnungen :

*Rhätikongebiet* : Tümpel am Grubenpass (2200 m), Tümpel am Rellstalsattel (2100 m), Tümpel oberhalb dem Partnersee (1930 m); Tümpel nördlich vom Partnersee (1900 m).

*St. Bernhard-Gebiet* : Südlicher, nördlicher und mittlerer See im Jardin du Valais, alle drei (2610 m), Oberer See von Grand Lay.

*Kanton Appenzell* : Semtisersee (1210 m), Fählensee (1455 m).

*Kanton St. Gallen* : Thalalpsee (1105 m), Unterer Seewenalpsee (1621 m), Oberer Seewenalpsee (1624 m).

*Kanton Waadt* : Lac de Chavonnes (1696 m).

*Kanton Tessin* : Lago Tom (2023 m).

Seine Schlussfolgerungen lauten : Die Sommertemperaturen der seichten, sonnigen Wasserbecken und zwar auch derjenigen von bedeutender Höhenlage, bewegen sich zwischen  $12^{\circ}$  und  $21^{\circ}$  C;  $16^{\circ}$  C bildet etwa das Mittel. Die geringe, auf relativ grosser Fläche ausgebreitete Wassermenge, die zudem ausgiebig besonnt wird, erwärmt sich rasch und bedeutend. Ebenso rasch und beträchtlich aber kühlt sich das Wasser unter ungünstigen Witterungsverhältnissen ab. Die Temperaturschwankungen werden also extrem sein und plötzlich eintreten.

In die dritte thermische Kategorie zählt Zschokke die Eis-Seen und Schnee-weiher. Sie werden in der Hauptsache durch Schmelzwasser gespiesen und bleiben je nach der Lage mehr oder weniger lange, oft mehrere Jahre geschlossen. Die Temperatur erhebt sich auch im Sommer kaum über die Winterverhältnisse. Da der Märjelensee (Hintersee) in diese Gruppe fällt, geben wir die Beobachtungen Zschokkes vollständig wieder :

	Lokalität	Höhe m	Datum	Temp. ° C	Bemerkungen
St. Bernhard	1. Oberer See auf Plateau von Cholaire . . . . .	2498	7. Aug. 1894	6,25	{ Oeder, geröllreicher Weiher.
	2. Oberer Lac de Fenêtre . . . . .	2610	5. Aug. 1894	7,5	{ Auch unter der ersten Gruppe aufgezählt.
	3. See ob Plan des Dames . . . . .	2600	6. Aug. 1894	7,5	{ Kleiner, kalter Geröllsee.



	Lokalität	Höhe m	Datum	Temp. °C	Bemerkungen
Wallis	1. Oberer See in Orny . . . . .	2820	3. Aug. 1894	5,5	Gletschersee <sup>1</sup> .
	2. Märjelensee . . . . .	2367	6. Aug. —	2,0 (Oberfl.) 0,0 (1 m tief)	Gletschersee <sup>1</sup> .
Tessin (Gonthard)	1. Lago Pizzo Tenelin . . . . .	2450	Ende Juli —	7	Kleiner Schmelzwassersee.
	2. Lago Poncione negri . . . . .	2353	Ende Juli —	3	Mit Lawinenschnee gefüllt.

Aus den Aufzeichnungen geht hervor, dass Zschokke am Märjelensee (6. August 1894) die Oberflächentemperatur zu 2,0° C, die Temperatur in 1 m Tiefe zu 0,0° C gefunden hat. Eine Erwärmung des Seewassers in der Tiefe hat demnach noch nicht stattgefunden. Die Messung der Temperatur von 0,0° bestätigt unsere Messungen im Winter 1913.

Die Sommertemperaturen der hochgelegenen Schmelzwasserseen, wie Zschokke sie nennt, erlangen nur selten ein Maximum von 7,0° C. Hinsichtlich der Temperaturverhältnisse unter der winterlichen Eisdecke, über die uns Zschokke auch wertvolles Material liefert, verweisen wir auf das Kapitel über die Eis- und Schnee- verhältnisse des Märjelensees (Seite 136).

<sup>1</sup> Sowohl der obere See in Orny, als auch der Märjelensee sind typische Randseen. Währenddessen der Orny-See durch eine Seitenmoräne und den Felshang angestaut wird, legt sich beim Märjelensee der Hauptgletscher quer vor die Mündung des Seitentales und ermöglicht auf diese Weise eine Seebildung. (Vergleiche Kapitel I).

## XV. KAPITEL.

### Die Eis- und Schneeverhältnisse.

Für die Beurteilung der Eis- und Schneeverhältnisse des Märjelensees (Vorder- und Hintersee) verfügen wir über Einzeldaten von rund 5 Jahren. Selbstverständlich sind es nicht Beobachtungen, die eine zusammenhängende Kette bilden. Die Schwierigkeiten, die sich dem Beobachter in den Weg stellen, sind ganz ausserordentliche. Die grosse Entlegenheit des Sees, die öfters einsetzenden Schneestürme und die damit verbundenen Schneeverwehungen verunmöglichen eine lückenlose Untersuchung dieser interessanten Verhältnisse. Die beiden in den Schneemonaten in Betracht fallenden Unterkunftsstellen sind das Hotel Jungfrau am Fusse des Eggishornes oberhalb Fiesch und die am Konkordiaplatze am Westfusse des Faulberges gelegene Klubbütte des S. A. C. Letztere kann je nach den Witterungsverhältnissen von der Station Jungfraujoch der Jungfraubahn in 1-2 Stunden (mit Ski) erreicht werden. Der bequemste und zugleich kürzeste Weg, der im Sommer vom Hotel Jungfrau aus über « Unter-Thälli » nach der Märjelenalp und zum See führt, darf im Winter und Frühjahr, der grossen Lawinengefahr wegen nicht benützt werden. Entweder nimmt man den viel mühsamern und steilern Weg über den « Thälligrat », was bei günstiger Witterung und Schneeverhältnissen für beide Wege 6-8 Stunden in Anspruch nimmt oder man wählt die Konkordiahütte als Ausgangspunkt und gelangt in 1-2 Stunden an den See und in 2-3 Stunden wieder in diese zurück. Aus den soeben geschilderten Gründen geht hervor, dass die in nachstehender Tabelle verzeichneten Daten über Eisdicke und Schneehöhe u. s. w. für die zeitliche Bestimmung über Anfang und Ende der Eis- und Schneeperioden unvollständig sind. Die in grösseren Zwischenräumen gemachten Beobachtungen müssen eben, so gut dies möglich ist, verwendet werden. Immerhin soll aber der Versuch nicht unterlassen werden, auch über die Eisverhältnisse dieses Sees ein einigermaßen entsprechendes, allgemeines Bild zu entwerfen.

## Die Eis- und Schneeverhältnisse des Märjelensees.

Einzelbeobachtungen von 1908 bis 1913<sup>1</sup>.

DATUM		Eisdicke in cm	Schneehöhe auf dem Eis in m	BEMERKUNGEN
<b>1908</b>	1. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	0.3 (östliche Hälfte des Sees)	—	12 <sup>h</sup> 0 a. Eisschicht vollständig geschmolzen.
	2. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	0.3 dito	—	12 <sup>h</sup> 0 a. Eisschicht vollständig geschmolzen.
	3. X. 8 <sup>h</sup> 40 a	0.6 dito	—	8 <sup>h</sup> 40 a. Eisschicht durch mächtigen Gletschereinsturz vollständig zerstört.
	4. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	1.0 dito	—	
	5. X. 8 <sup>h</sup> 35 a	2.0	—	Die Eisschicht nähert sich der Gletscherwand, geht aber über Tag immer wieder etwas zurück.
	12 <sup>h</sup> 0 a	3.0	—	
	9. X. 8 <sup>h</sup> 45 a	4.0	—	Hintersee erstmals bis zum Gletscher vollständig zugefroren.
	10. X. 9 <sup>h</sup> 0 a	4.5	—	
	13. X. 5 <sup>h</sup> 0 p	5.0	—	
	14. X. 6 <sup>h</sup> 58 a	—	—	Eisdecke des Sees durch gewaltigen Gletschereinsturz vollständig zerstört.
	15. X. 7 <sup>h</sup> 58 a	Neue Eisdecke 2.0	—	
	16. X. 8 <sup>h</sup> 0 a	3.0	—	
	17. X. 8 <sup>h</sup> 30 a	4.5	—	
	18. X. 8 <sup>h</sup> 40 a	5.5	—	
	19. X. 8 <sup>h</sup> 22 a	7.5	—	Eisdecke des Sees durch Gletschereinsturz neuerdings vollständig zerstört.
	22. X. 3 <sup>h</sup> 20 p	9.5	—	
	24. X. 4 <sup>h</sup> 0 p		0.0	Beginn des Schneefalles.
	25. X. 10 <sup>h</sup> 30 a		0.22	
	26. X. 5 <sup>h</sup> 0 p		0.54	
	27. X. 2 <sup>h</sup> 35 p	15.0	0.50	
	30. X. 3 <sup>h</sup> 45 p	—	0.50	Grosser Gletschereinsturz.
	3. XI. 3 <sup>h</sup> 45 p	20.0	0.40	
	4. XI. 12 <sup>h</sup> 50 p	—	0.40	Vordersee erstmals zugefroren (Eisdicke 1 cm).
	5. XI. 4 <sup>h</sup> 0 p	25.0	0.30	Vordersee. Eisdicke 14 cm, Schneehöhe 35 cm.
	10. XI. 2 <sup>h</sup> 20 p	33.0	0.30	
	14. XI. 11 <sup>h</sup> 45 p	35.0	0.40	
	18. XI. 2 <sup>h</sup> 45 p	41.0	0.50	
	30. XI. 3 <sup>h</sup> 45 p	3 cm Eis 31 cm Wasser 50 cm Eis	0.78	
	22. XII. 10 <sup>h</sup> 0 a	30 cm Eis 20 cm Wasser 50 cm Eis	1.18	

<sup>1</sup> Ältere Aufzeichnungen sind dem Verfasser nur eine bekannt:

1867. IX. 27. Märjelensee grösstenteils stark zugefroren. Quelle: Aufzeichnung von Plüss Herm. im Fremdenbuch des Hotels Jungfrau, Eggishorn.

	DATUM	Eisdicke in cm	Schneehöhe auf dem Eis in m	BEMERKUNGEN	
<b>1909</b>	27. I. 4 <sup>h</sup> 0 p	130.0	1.30	Unter dem Neueis : ca. 10 cm Wasser; unter dem Wasser : Alteis.	
	29. III. 11 <sup>h</sup> 30 a	—	—	Der See ist mit einer Schneeschicht von 1.50 m bedeckt, sodass das Eis nicht mehr gemessen werden konnte.	
	22. IV. 8 <sup>h</sup> 30 a	—	1.43	Wasser über dem Eis. — Grosser Gletschereinbruch; starke Schneeabnahme.	
	13. V. 7 <sup>h</sup> 15 a	—	1.10	Das Eis konnte nicht gemessen werden, weil Wasser am Rand.	
	19. V. 5 <sup>h</sup> 25 a	—	0.90	Noch am Morgen starker Wasserzfluss.	
	30. V. 9 <sup>h</sup> 0 a	—	0.65 (Neuschnee)		
	22. VIII. —	—	0.13		
	23. VIII. —	3.0	—		
	26. VIII. —	3.0	—		
	5. IX. 4 <sup>h</sup> 30 p	—	—	Schneegestöber.	
	6. IX. —	—	0.08		
	3. X. 9 <sup>h</sup> 10 a	—	0.19		
	12. X. 9 <sup>h</sup> 40 a	2.5	—		
	22. X. 2 <sup>h</sup> 30 p	5.0	—		
	25. X. 1 <sup>h</sup> 35 p	5.5	—		
	28. X. 2 <sup>h</sup> 0 p	6.0	0.09	Schneegestöber.	
	2. XI. 11 <sup>h</sup> 35 a	9.0	—		
	5. XI. 9 <sup>h</sup> 0 a	13.0	—		
	8. XI. 4 <sup>h</sup> 40 p	15.0	—		
	12. XI. 2 <sup>h</sup> 25 p	19.0	—		
	15. XI. 12 <sup>h</sup> 50 p	24.0	—		
	23. XI. 10 <sup>h</sup> 25 a	29.0	—		
	7. XII. 10 <sup>h</sup> 25 a	31.0	0.63		
16. XII. 4 <sup>h</sup> 0 p	33.0	—			
29. XII. 11 <sup>h</sup> 30 a	39.0	1.08			
<b>1910</b>	7. I. 8 <sup>h</sup> 30 a	—	1.08	Das Eis konnte nicht gemessen werden, weil mit Wasser bedeckt.	
	7. II. 10 <sup>h</sup> 35 a	—	1.90	Wasser unter dem Schnee (beim Pegel).	
	23. II. 10 <sup>h</sup> 0 a	—	1.85	» » » »	
	29. III. 9 <sup>h</sup> 37 a	—	1.66	» » » »	
	30. V. 6 <sup>h</sup> 5 p	—	0.70		
	3. VII. 8 <sup>h</sup> 30 a	—	—	Schneegestöber.	
	25. VII. 8 <sup>h</sup> 5 a	—	—	»	
	4. X. 2 <sup>h</sup> 5 p	—	—	Leicht gefroren.	
	8. X. 4 <sup>h</sup> 15 p	2.5	—		
	18. X. 3 <sup>h</sup> 20 p	5.0	—		
	26. X. 11 <sup>h</sup> 15 a	5.5	0.62		
	24. XI. 10 <sup>h</sup> 15 a	—	0.95	Schneegestöber.	
	22. XII. 10 <sup>h</sup> 5 a	25.0	1.61		
	<b>1911</b>	9. I. 9 <sup>h</sup> 30 a	—	1.48	
		27. I. 10 <sup>h</sup> 0 a	25.0	—	
23. II. 9 <sup>h</sup> 20 a		—	—	Schneegestöber.	

DATUM	Eisdicke in cm	Schneehöhe auf dem Eis in m	BEMERKUNGEN
9. III. 9 <sup>h</sup> 0 a	—	1.10 (neue Schneehöhe)	
18. IV. 11 <sup>h</sup> 30 a	—	—	Wasser über dem Eis.
30. V. 8 <sup>h</sup> 10 a	—	—	Grosser Wasserzufluss.
8. VI. 6 <sup>h</sup> 10 a	0.3 (Neueis)	—	
9. X. 9 <sup>h</sup> 10 a	—	—	Grosser Gletscherabbruch; viel Wasserzufluss.
10. XI. 10 <sup>h</sup> 15 a	18.0	—	
28. XI. 10 <sup>h</sup> 35 a	—	0.74	Starker Schneesturm.
11. XII. 10 <sup>h</sup> 5 a	—	—	Schneegestöber.
19. XII. 9 <sup>h</sup> 50 a	—	0.82	
<b>1912</b> 3. I. 12 <sup>h</sup> 35 p	—	1.66	
19. II. 11 <sup>h</sup> 25 a	—	—	Schneegestöber.
28. II. 3 <sup>h</sup> 30 p	—	1.45	
13. III. 12 <sup>h</sup> 0 m	—	1.70	
28. V. 5 <sup>h</sup> 0 p	1.0 (Neueis)	—	
21. VII. 7 <sup>h</sup> 30 a	—	0.20	
8. VIII. 8 <sup>h</sup> 3 a	—	—	Hinter den Eisbergen dünne Eisschicht.
13. IX. 5 <sup>h</sup> 30 p	2.0	—	
14. IX. 2 30 p	3.0	—	
18. IX. 8 <sup>h</sup> 40 a	4.0	—	
23. IX.	1.0-4.0	—	<sup>1</sup> / <sub>4</sub> eisfrei.
26. IX.	3.0	—	<sup>1</sup> / <sub>4</sub> eisfrei.
1. X. 9 <sup>h</sup> 25 a	4.2	—	
6. X. 10 <sup>h</sup> 40 a	3.0	—	
9. X. 9 <sup>h</sup> 35 a	5.0	—	
12. X. 8 <sup>h</sup> 5 a	6.0	—	
12. XI. 11 <sup>h</sup> 20 a	—	—	Schneegestöber.
26. XI. 11 <sup>h</sup> 15 a	46.0	—	
<b>1913</b> 12. II. 2 <sup>h</sup> 40 p	49.0	1.80	
31. III. 10 <sup>h</sup> 42 a	—	—	Schneegestöber.
21. V. 8 <sup>h</sup> 10	— *	1.80	* Von oben nach unten : $\left\{ \begin{array}{l} 38 \text{ cm Schnee} \\ 38.5 \text{ » Wasser} \\ 40 \text{ » Eis} \\ 26 \text{ » Wasser} \\ 14 \text{ » Eis.} \end{array} \right.$
29. V. 6 <sup>h</sup> 0 p	—	—	Eisdecke beinahe ganz unter Wasser.
27. VI. —	—	—	Schneegestöber.
17. VII. 11 <sup>h</sup> 0 a	—	—	Hintersee teilweise leicht gefroren. Von der alten Eisdecke sind noch vereinzelt Kuchen vorhanden. Vordersee vollständig eisfrei.
15. X.	Vordersee 0.2	—	
7. XI.	» 0.4	0.22	
12. XI.	» 4.0*	—	* Oben 2 cm Schneeeis, unten 2 cm durchsichtiges Eis.
27. XI.	» 5.0	—	

Hinsichtlich der Vereisung eines Sees sind namentlich folgende Punkte von besonderer Wichtigkeit :

1. Die einleitende Periode bis zum vollständigen Zufrieren.
2. Das Verhalten der Eisdecke während der eigentlichen Eisperiode.
3. Das Schwinden der Eisdecke.

Das Gefrieren des Hintersees geht infolge der niedrigeren Temperatur des Seewassers demjenigen des Vordersees zeitlich voraus.

Am 9. Oktober 1908 fror beispielsweise der Hintersee erstmals bis an den Gletscher zu, im Gegensatz zum Vordersee, der erst 26 Tage später, nämlich am 4. November 1908 zufror.

Die Abkühlung der obern Schichten nimmt schon im September ihren Anfang. Eine Unterbrechung durch den Eintritt warmer Witterung kann wohl eintreten, die äusserst wirksame Ausstrahlung in hellen Herbstnächten ist aber in den meisten Fällen nicht nur im Stande den Wärmegewinn des Tages zu zerstören, sondern noch einen Teil der im Sommer aufgespeicherten Wärmemenge zu beseitigen.

Um den Einfluss der Bewölkung auf den Gang der Vereisung nachweisen zu können, stehen dem Verfasser keine Zahlen, nur allgemeine Beobachtungen zur Verfügung. Danach findet in der einleitenden Periode, nachdem also die teilweise Bildung einer Eisschicht schon vorangegangen ist, auch in kalten Nächten *mit* Bewölkung aber selbstverständlich ohne Wind ein rasches Zugefrieren statt. Die Ursache dieser Erscheinung ist in erster Linie der verminderten Wärmezufuhr durch die Sonnenstrahlung über Tag zuzuschreiben.

Wir haben bereits bei der Besprechung der Temperaturverhältnisse nachgewiesen, dass der Vordersee in die Klasse der gemässigten Seen (Maximum  $> 4^{\circ}$  C, Minimum  $< 4^{\circ}$  C), der Hintersee dagegen in diejenige der polaren Seen (Maximum  $\leq 4^{\circ}$  C, Minimum  $< 4^{\circ}$  C) gehört. Dementsprechend verhalten sich auch ihre Eisverhältnisse. Leider besitzen wir über den Vordersee fast keine Aufzeichnungen. Ein allgemeines Zufrieren durch lamellare Eisbildung (erster Typus Forel) findet in der Regel nur bei diesem See statt. Eine klare Spätherbstnacht, während der eine starke Wärmeausstrahlung stattfindet, genügt häufig um den ganzen See mit einer gleichmässigen, durchsichtigen dünnen Schicht von Eis zu überziehen. Ist am darauffolgenden Tage die Sonnenwärme nicht stark genug um diese dünne Schicht zu schmelzen, so verdickt sie sich in der folgenden kalten Nacht, und der See ist alsdann zugefroren.

Die ersten dünnen Eisschichten werden oft durch den Wind hin und her geworfen, an geschützten Stellen findet wieder ein lokales Gefrieren statt, einzelne Teile schieben sich aufeinander und bilden kuchenförmige Eisschollen (*glacon-gateaux*, zweiter Typus Forel). Tritt Windstille ein, so vollzieht sich das Gefrieren durch lamellare Eisbildung. Diese Art der Eisbildung konnte der Verfasser allerdings nur

an vereinzelt Stellen des Vordersees am 4. November 1908 feststellen. Ein dritter Typus den Forel nicht erwähnt, dagegen J. Müllner<sup>1</sup>, ist die Bildung eines Schneebreies durch heftigen Schneefall auf die Seeoberfläche mit allmählicher Umwandlung in eine Eisdecke. Infolge der Absenkung des Hintersees besuchten Dr. Collet und der Verfasser am 23. Oktober 1912 den Märjelensee. Schon am Abend des 21. trat in Brig ein intensiver Regenfall ein, der in Fiesch bis gegen 11 Uhr morgens des 22. in einen ebenso starken Schneefall überging.

Wir verliessen Fiesch mittags 1 h 45 p und erreichten das Hotel Jungfrau erst abends 7 h 30 p. Am folgenden Morgen 8 h 30 a setzten wir unsern Marsch fort und gelangten nachmittags 1 h 15 p an den See. Der *Hintersee* war bereits mit einer klaren Eisschicht von 14,5 cm überfrozen; darüber lagerte eine Neuschneeschicht von 60 cm. (Pegelstand 2 h 10 p: 46,99 m, Lufttemperatur  $-6,0^{\circ}$  C, Wasser  $0,0^{\circ}$  C.)

Der *Vordersee* lag als beschneite homogene Fläche vor uns. Die nur leicht gefrorene Schnee-Eisschicht hatte eine Stärke von nur 1,5 cm. Die Temperatur des Seewassers an zwei Stellen gemessen, betrug 1 h 45 p  $= 2,0^{\circ}$  C, diejenige der Luft 1 h 38 p  $= -3,0^{\circ}$  C. Der reiche Schneefall vom 21. auf den 22. Oktober hat die unmittelbare Veranlassung zur ersten Vereisung gebildet. Trotzdem die Wassertemperatur am 23. Oktober  $= 2,0^{\circ}$  C betrug (vor dem Schneefall war sie jedenfalls eine höhere) vermochte der plötzliche Schneefall die oberste Wasserschicht so abzukühlen, dass sich eine solche Schnee-Eisschicht bilden konnte. Die Schmelzung der im Wasser vorhandenen Schneekristalle durch Erwärmung des Seewassers von unten her, reichte eben nicht aus, um einen Kristallisationsprozess zu verhindern. Ueber ähnliche Erscheinungen berichtet uns Müllner in seiner interessanten Arbeit über die Vereisung der österreichischen Alpenseen<sup>2</sup>. Er konnte mehrfach feststellen, dass Schnee, der auf Wasser fiel, das sich dem Gefrierpunkte näherte, die Vereisung beschleunigt. Beispielsweise berichtet er uns über die Bildung des ersten Eises im Traunsee im Winter 1895 folgendes: « Die Schneefälle auf die Seeffläche scheinen das ihre dazu beigetragen zu haben, dass sich die oberste Wasserschicht, die ohne dies durch Ausstrahlung an die kalte Luft fortwährend Wärme verlor, plötzlich derart abkühlte, dass sie gefror ». Die Eisdecke des Vordersees hielt sich jedoch nicht lange. Wenige Minuten nach unserer Ankunft entstehen zunächst vereinzelt, dann immer zahlreicher, zuerst nur kleine, dann aber immer grösser werdende runde Flecken auf der Schnee-Eisschicht. Das obere Bild auf Tafel 29 stellt den Zustand dar, wie der Vordersee sich dem Auge um 1 h 30 p darbot, das untere Bild den Zustand 40 Minuten später. Die Entstehung dieser runden Flecken lassen sich auf zwei Vorgänge zurückführen:

<sup>1</sup> *Die Vereisung der österreichischen Alpenseen in den Wintern 1894-1895-1900-1901.* Leipzig, 1903.

<sup>2</sup> MÜLLNER, J. *Die Vereisung der österreichischen Alpenseen.* Geographische Abhandlungen herausgegeben von Prof. Dr. A. PENCK. Leipzig, 1903.

*Erste Annahme* : Sie hängt mit dem Wechsel der Temperaturschichtung zusammen, wie sie sich im Laufe einer ganzen hydrographischen Periode bildet. Ueber die Seetemperaturen vor Eintritt des Winters gibt uns die am 6. August 1912 ausgeführte Lotung (I) Aufschluss. Nach Beobachtung der dunkeln Flecken, am 19. Februar 1913 ist die Lotung wiederholt worden (II). (Siehe Kapitel XIV und Tafel 17) Lotung I zeigt direkte, Lotung II verkehrte Schichtung. Auch die Oberflächentemperatur am 23. Oktober 1912 wurde, wie bereits erwähnt, zu  $2,0^{\circ}$  C bestimmt. Daraus geht hervor, dass sich die verkehrte Schichtung bereits eingestellt hatte. Ob der Schneefall letztere veranlasst hat oder ob sie schon früher eingetreten ist, kann nicht nachgewiesen werden. Es ist dies auch nicht von Bedeutung, weil wir an der Hand der durchgeführten Oberflächen- und Lufttemperaturen wissen, dass die durch den Schneefall plötzlich abgekühlte oberste Wasserschicht, die hernach die Bildung der Schnee-Eisdecke ermöglichte, nur Wärme von unten empfangen konnte. Eine Schmelzung der nur leicht gefrorenen Schnee-Eisschicht von unten ging der Bildung dieser interessanten kreisförmigen Schneeflecken unbedingt voraus. Damit gelangt die über der Eisschicht befindliche Schneelage in direkte Berührung mit der Seefläche. Die oberste Wasserschicht erhielt aber von den unteren Schichten noch genügend Wärme, um den Verlust, den sie durch den Schneefall erlitten hatte, nach und nach wieder auszugleichen. Wäre nun die Schneelage gleichmässig dicht auf dem See gelagert, hätte auch eine gleichmässige Schmelzung des Schnees eintreten müssen. Nun ist aber bekannt, dass der Wind namentlich in gebirgigen Gegenden die Gleichmässigkeit der Schneedecke stört. Wenn der Schnee auf eine nasse Eisschicht fällt, klebt er sofort an und der Wind kann ihn erst bewegen, nachdem eine dünne Schneeschicht schon an das Eis angefroren ist. Formen, die der Wind bildet, werden auf einer solch leicht gefrorenen Schnee-Eisdecke, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, festgehalten. Wer nun in diesen wilden Gegenden schon je einen Schneesturm mitgemacht hat, weiss, dass der Wind aus frisch gefallenem Schnee eigentliche Schneehügelchen auflagert (Wirbelbildung). Die in ihrer Stärke also niemals homogene dünne Schnee-Eisschicht wird nun durch den Wärmegehalt der unmittelbar darunter ruhenden Wasserschicht so lange zerstörend angegriffen, bis diese Schneehügelchen oder andere Schneeanhäufungen langsam einsinken. Auf diese Weise lässt sich die Entstehung dieser dunkeln Flecken erklären.

*Zweite Annahme*. Wir wissen bereits, dass der grössere Teil des Einzugsgebietes des Vordersees aus Schutthalden besteht. Ein Teil der an den Felshängen der Strahlhörner und des Thälligrates zu Tage tretenden Quellen verschwindet und gelangt erst später in das Becken des Vordersees. Solche kleine Wasseradern können nun in beliebiger Zahl und an verschiedenen Stellen der Seewanne hervortreten. Die Temperatur solcher kleinen Quellen kann eine sehr verschiedene sein. Das wärmere, leichtere Wasser solcher Quellen gelangt an die Oberfläche und verursacht an den betreffenden Stellen ein intensiveres Schmelzen der Schnee-Eisschicht und dann der Schneelage.



Es wird dem Leser überlassen, zu entscheiden, welche von beiden Entstehungsarten er für die richtige betrachtet.

Prof. X. Arnet gibt uns in seiner Arbeit: « Das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz während der Winter 1890-1891 bis 1895-1896<sup>1</sup> » über das Gefrieren des Rotsees bei Luzern in Winter 1894-1895 folgende Original-Aufzeichnung des Beobachters Julius Hurter, Besitzer des Rotsees, bekannt: « Durch Schneefall kommen Löcher im Eise zum Vorschein, durch die sich das Wasser dem Schnee mitteilt und so entstand eine Doppelschicht Eis ». Arnet schreibt hiezu, es sei ihm nicht recht klar, wie diese Löcher durch Schneefall entstanden sind. Nun gibt uns Prof. Dr. J. Müllner<sup>2</sup> hiefür an der Hand eines Beispiels eine Erklärung, die der Verfasser an dieser Stelle um so lieber wiedergibt, weil sie uns den Einfluss einer Schneedecke auf eine Eisfläche, deutlich vor Augen führt.

« Lassen wir auf eine 13 cm dicke Eisschicht des Zürichsees (Müllner behandelt als Beispiel eine Temperaturmessung Forels unter dem Eise von  $+ 0,2^{\circ}\text{C}$ ) eine 10 cm hohe Schneelage fallen, so wird sich nicht bloß die Oberflächentemperatur des Eises ändern, sondern auch das Temperaturgefälle in der Eisschicht selbst. Nehmen wir nach Bühner für 5 cm Schneetiefe einen Wärmeunterschied von  $1,9^{\circ}\text{C}$  zwischen Ober- und Unterfläche des Schnees an, so würde die Wärme der Eisoberfläche nach einiger Zeit auf etwa  $- 1,5^{\circ}\text{C}$  erhöht worden sein, während sie nach Forel früher  $- 5^{\circ}\text{C}$  mass. Unter Voraussetzung des gleichen Temperaturgefälles wird sich auch, freilich erst nach einiger Zeit, die Wärme der Unterfläche des Eises erhöhen. In unserem Falle dürfte sie dem Schmelzpunkte ziemlich nahe gebracht werden. Vermöge der grossen Schmelzwärme des Eises wird jedenfalls zunächst nur ein Stillstand in der Eisentwicklung eintreten; ein Rückgang wird erst dann erfolgen, wenn die Zufuhr von Wärme längere Zeit andauert.

Es kann also durch Schneeanhäufungen auf der Eisdecke eine Minderung der Eismächtigkeit von unten her statthaben, wenn entweder die Schneeschicht so gross oder die Eisfläche so dünn ist, dass der Einfluss der ersteren sich bis zur Unterseite der letzteren in genügend starken Masse geltend zu machen vermag. Schneefälle werden das Eis über der pelagischen Region eines nur halbwegs tiefen Sees zuerst angreifen. Die Bildung von Löchern durch Schneefall in der Eisdecke des schweizerischen Rotsees von der Arnet berichtet, dürfte in dieser Erscheinung ihre Erklärung finden. »

Ein ähnliches Verhalten der Eisdicke wird auch vom Alpachersee (ein Seitenarm des Vierwaldstättersees) berichtet. Alt Pilatusbahn-Direktor R. Winkler, jetzt Direktor der technischen Abteilung des eidg. Eisenbahnwesens, erwähnt in seinem Berichte über das Gefrieren dieses Sees im Winter 1890-1891 (Siehe Arnet, X, S. 78)

<sup>1</sup> ARNET, X. *Das Gefrieren der Seen in der Zentralschweiz während der Winter 1890-1891 bis 1895-1896*. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern, Jahrgang 1895-1896, Heft 1, S. 135.

<sup>2</sup> MÜLLNER, J. *Die Vereisung der österreichischen Alpenseen in den Wintern 1894-1895 bis 1900-1901*. Leipzig, S. 21.

als eigentümlich und charakteristisch das Vorhandensein sehr vieler, warmer Sumpfgasquellen, vom Volke « Kochbrunnen » genannt. Dieselben sind von grösserer und kleinerer Intensität, von denen die bedeutendsten selbst der heftigsten Kälteperiode getrotzt haben und nicht überfrozen sind. Aehnliche Erscheinungen hat Dr. Ch. Tarnuzzer am Canova-See im Domleschg, Graubünden, der Verfasser am Lac des Brenets beobachten können. Nicht immer ist es die Wärme des Quellwassers die das Gefrieren verhindert, sondern oft auch die durch das Auftreten derselben hervorgerufene Wellenbewegung. Tarnuzzer<sup>1</sup> berichtet uns über den Cauma-See im Flimser-Bergsturzgebiet, dass eine Stelle an der Südwestecke des Seebeckens immer eisfrei bleibt, trotzdem das Wasser an dieser Stelle zur Winterzeit eine ganz niedrige Temperatur aufweist. Eine gewöhnliche Wasserader, die Hauptquelle des Sees, speist unterirdisch das Becken und hält die Wassermasse so in Bewegung, dass der See an dieser Stelle nicht gefrieren kann. Prof. Dr. Decoppet, Direktor des eidg. Forstinspektorates hat ähnliche Flecken mit kreisförmiger Gliederung am Neuenburgersee entstehen sehen. Aufsteigende Luftblasen (Sumpfgas) verursachten an der Oberfläche des Sees Wellenbildungen und ermöglichten die Bildung obiger Erscheinung. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass Forel das Vorkommen solcher Wasserlöcher auf dem Lac de Joux durch die Anwesenheit grosser Scharen von Wildenten, die durch ihre Bewegungen das Gefrieren des Wassers verhinderten, zu erklären sucht. Auf dem Balatonsee<sup>2</sup> entstehen runde Flecken durch das Aufsteigen des Wassers aus den, in regelmässigen Reihen sich folgenden Fischereilöchern. Das Wasser durchtränkt den Schnee in regelmässigen Kreisen, wobei Wasser und Schnee zu einer harten Masse frieren und Formen bilden, die denjenigen am Vordersee sehr ähnlich sind.

Beim Hintersee sind die Verhältnisse für eine lamellare Eisbildung überaus ungünstige. Im Laufe ruhiger Nächte vermag sich eine dünne Eisschicht anfänglich nur im östlichen Teil des Sees oder in windgeschützter Lage hinter Eisbergen zu bilden, die aber durch den Wind und die Wärme wieder zerstört wird. Dieser Vorgang wiederholt sich täglich, das Wasser kühlt sich mehr und mehr ab und vermag schliesslich eine dickere haltbarere Schicht zu bilden. Im Gegensatz zum Vordersee, wo sich gleichzeitig über die ganze Seefläche eine Eisschicht bildet, schreitet beim Hintersee das Eis bis gegen den Gletscher vor. Zur Zeit niedriger Wasserstände des Sees vermag der Westwind die Eisberge infolge ihres gewaltigen Tiefganges, — nur ein Neuntel ihrer Masse liegt über dem See — und der Bodengestaltung der Seewanne nicht mehr an die Ostgrenze des Sees zu treiben. Sie bleiben, so lange der Wind nicht wechselt, an denjenigen Stellen stehen, wo sie mit dem Boden in Berührung treten und vermögen dadurch den Hintersee bis zu einem gewissen Grade in ein

<sup>1</sup> TARNUZZER, C. *Temperaturmessungen unter der Eisdecke des Canova-Sees im Domleschg*. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden. Chur, 1907.

<sup>2</sup> VON CHOLNOCKY, E. *Das Eis des Balatonsees*. Resultate der Wissenschaftl. Untersuchungen des Balatonsees. 1. Band, 5. Teil, 4. Sektion.

östliches und westliches Becken zu trennen (siehe Tafel 37). Im Oktober 1908 überspannte sich dieser östliche Teil des Hintersees durch lamellare Eisbildung mit einer 5 cm dicken Eisdecke, bevor der westliche Teil überhaupt Spuren einer solchen aufwies. Die Lage der Eisberge gibt uns also wenigstens für gewisse Fälle auch Auskunft über die Bodengestaltung des Seebeckens. Es gelingt dem See oft während der Nacht, bis an den Gletscher vollständig zuzufrieren. Die Wirkung der Sonnenstrahlung, ein Witterungsumschlag zieht aber oft Gletschereinbrüche (Kalbungen) nach sich, die je nach der Grösse der dadurch verursachten Wellenbewegung einen Teil der Eisschicht oder die ganze zu zerstören vermag. Am 19. Oktober 1908 wurde beispielsweise eine Eisdecke von 7,5 cm Mächtigkeit durch das Kalben des Gletschers vollständig zerstört<sup>1</sup>. Der präzise Zeitpunkt des vollständigen Zufrierens ist deshalb, auch abgesehen von den schon oben erwähnten Schwierigkeiten ein überaus schwer bestimmbarer. Der Verfasser hat eine homogene Eisschicht am Hintersee von etwelcher Mächtigkeit niemals festlegen können (siehe Tafeln 30). Die einzelnen Schollen der zerstörten glatten Eisschicht gefrieren bald wieder zusammen und bilden eine, aus eckigen und mehr oder weniger an den Seiten abgerundeten Eisstücken entstandene Eistafel. (Eine Spezialart der « glaçon gâteau » siehe Tafel 30 und 34.) Dieser Vorgang wiederholt sich oft mehrmals, beziehungsweise solange, bis die Eisschicht kräftig genug geworden ist, um der Wirkung der Kalbungen zu widerstehen oder bis letztere ganz aufhören. In der eigentlichen winterlichen Periode kalbt der Gletscher nämlich nur ausnahmsweise.

Jedes Fallen der Lufttemperatur verursacht eine Zunahme der Eisdicke, jede Erhöhung eine mehr oder weniger lange Beständigkeit der Eismächtigkeit. Das anfänglich rasche Dickenwachstum verlangsamt sich bald, nicht nur des geringen thermischen Leitungsvermögens des Eises wegen (der Ausgleich zwischen Luft und Wasser vollzieht sich innerhalb des Eises), sondern auch infolge der Niederschläge in Form von Schnee. Letzterer bildet eine Art Schutzdecke gegen alle äusseren Einflüsse.

Die Temperatur der Eisoberfläche wird nicht mehr direkt von der Luft beeinflusst. Verdunstung und Ausstrahlung findet wohl noch von der Schneeoberfläche aus statt; ihr Einfluss auf die Temperatur des Eises ist aber nur noch ein kleiner, unwesentlicher; erst wenn der Schnee schmilzt oder sich wie Firn verhärtet, oder wenn er vom Regen übergossen wird, ist er ein besserer Wärmeleiter.

Die untern Eisschichten sind mit Wasser in Berührung, dessen Temperatur nur ganz wenig über 0° C liegt<sup>2</sup>; sein Einfluss auf die Vergrösserung der Eisdicke

---

<sup>1</sup> Am 4. Oktober 1914, 9 h 0 a (Pegelstand 34.86 m) fiel ein gewaltiger Eisberg auf den vollständig gefrorenen See. Die 9 cm dicke Eisdecke hob und senkte sich (c. 10 cm) bis sie in der Mitte entzweibrach. Es bildete sich quer über den ganzen See, von der Pegelgruppe H aus bis an den Fuss des Eggishornes, eine Spalte. Ein neuer bedeutenderer Eiseinsturz, 9 h 15 a, zertrümmerte die ganze Eisdecke. Die lange Querspalte, die sich nach dem ersten Einsturze gebildet hatte, erweiterte sich auf eine Breite von 30 cm, die Eisdecke zerbrach in unzählige Stücke, die sich teilweise aufeinander schoben und eine Menge von kleineren Spalten bildeten. (Mitteilung von Pegelbeobachter J. Margelisch).

<sup>2</sup> Obwohl die Temperaturmessungen des Wassers sowohl an der Oberfläche als in der Tiefe eine Tempe-

ist ebenfalls ein sehr kleiner. Als Grund hierfür dürfte vielleicht der Druck, den die Eisdecke und der Gletscher auf die Wassermasse ausübt, angeführt werden. *Für die Mächtigkeit der eigentlichen Eisschicht ist die Dauer der Kälteperiode vor Eintritt der Niederschläge in Schneeform ausschlaggebend.*

Beide Seen wiesen am 19. Februar 1913 eine verhältnismässig wenig starke, aber gleich dicke, klare Eisschicht (Vordersee 0.35 m, Hintersee 0.32-0.36 m) auf. Die Mächtigkeit der über dieser klaren Eisdecke liegenden Wasserschicht, Schnee-Eisschicht und Schneeschicht ist ebenfalls bei beiden Seen dieselbe. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf Tafel 17, Fig. 1, 2 und 3. Ueber der klaren Eisschicht liegt somit eine Wasserschicht von 18-20 cm Mächtigkeit, dann eine Schnee-Eisschicht von 10-14 cm, hierauf wieder eine Wasserschicht von 41-57 cm und zuletzt eine 9-10 cm hohe von Schnee-Eis. Letztere Schicht wird von einer 33-36 cm hohen Schneemasse zugedeckt. Die Dicke der klaren Eisschicht ist in erster Linie abhängig vom Grad der Temperatur und von der Dauer der Eisperiode vor Beginn der Niederschläge, hernach von der Mächtigkeit und Struktur der sie überlagernden Schnee-, Wasser- und Schnee-Eisschichten. Was nun die Bildung der Wasser- und Schnee-Eisschichten über der klaren Eisdecke, wie sie am 19. Februar 1913 festgestellt wurden, veranlasst hat, darüber sei folgendes bemerkt :

Wasser gelangt hauptsächlich auf drei Wegen an die Oberfläche der ursprünglich, meist klaren ersten Eisschicht, nämlich : *a)* durch Spaltenbildung (Rand und Mittelspalten), *b)* durch atmosphärische Niederschläge in Form von Regen und *c)* durch Schmelzung der Schnee- oder Eisschicht infolge genügender Erhöhung der Lufttemperaturen.

Die Spaltenbildung wird veranlasst, einmal durch Kontraktion des Eises, das sich während seines Wachstums bedeutend unter Null abzukühlen vermag. Dieser Vorgang tritt vorwiegend ein, so lange noch keine oder nur eine ganz leichte Schneedecke auf dem Eise lastet. Ist die Eisdecke aber mit einer bedeutenden Schneeschicht überdeckt, so ist der äussere Einfluss, wie bereits früher bemerkt, ein ungemein kleiner. Spaltenbildungen durch Kontraktion treten dann kaum mehr auf.

Die Entstehungsformen der Spalten sind deutlich sichtbare Sprünge. Öffnungen konnten nirgends nachgewiesen werden. Mit der Entstehung solcher Spalten beginnt ein Knattern, das oft donnerartigen Charakter annimmt und in diesem verlassenem Felsenkessel zur grossartigsten Wirkung gelangt. Dem Verfasser bleibt der 22. Oktober 1908 zeitlebens in Erinnerung. An jenem Tage führte er von der bereits 10 cm dicken Eisdecke des Hintersees Tiefenlotungen aus. Während dieser Zeit arbeitete das Eis so gewaltig, wiederholte sich das Krachen und Knattern so rasch aufeinander, dass man oft Mühe hatte, seine eigenen Worte zu hören. Wenige Tage darauf erfolgte ein intensiver Schneefall. Die seltsamen Töne wiederholten sich nicht wieder.

---

ratur von 0.0° C ergeben haben, dürfte sie in Wirklichkeit infolge des nicht messbaren Einflusses der Verdunstung und der Strahlung vom Thermometer-Kasten aus, etwas höher sein.

Auf Tafel 23 befindet sich eine Aufnahme des Vordersees zur Zeit der Schmelzperiode (18. Juni 1913), die die Entstehungsformen der winterlichen Spalten zum Ausdruck bringt. Wir wissen bereits, dass durch das Kalben des Gletschers die ganze Eisfläche mehr oder weniger zerstört werden kann. Es entsteht ein Netz von Spalten, das aber alsbald wieder zufriert. Auch die Bewegung des Gletschers in das Becken des Hintersees führt zu Spaltenbildung. Der Druck des Gletschers vermag die feste Eisschicht zunächst des Gletschers zu brechen. Die Folge davon ist die Bildung eines eigentlichen Eiswalles mit überschobenem Teil. Dieser Eiswall durchquert den ganzen See, ist aber von der Mitte der Eiswand, an der Stelle des grössten Vorstosses des Gletschers am mächtigsten. Photographiert wurde er am 19. Februar 1913. (Siehe Tafel 32 und 33.) Ein anderes Mal kann eine Spaltenbildung dadurch entstehen, dass eine Senkung des Wasserspiegels die teilweise Zerstörung der Eisdecke nach sich zieht. Die Absenkung des Sees vom 31. Oktober bis 5. November 1908 im Betrage von rund einem Meter veranlasste in der Uferzone die Entstehung einer Randböschung aus Eistafeln. Am Fusse dieser Böschung bildete sich eine mächtige Längsspalte, die auf Tafel 31 photographisch festgehalten worden ist.

Einen wesentlichen Einfluss auf den Gang der Vereisung üben solche Spalten nicht aus. Sie frieren rasch wieder zu und der Eisprozess nimmt seinen normalen Verlauf wieder auf.

Der gewaltige Druck, den der Gletscher auf die Eisdecke ausübt, verändert auch die Struktur des Eises. Die Festigkeit des Eises ist deshalb am Ende der winterlichen Periode sicherlich eine viel kleinere. Der Druck des Gletschers auf die Eisdecke gelangt auch bei der Messung der Eisdicke aufs schönste zur Geltung. Die beiden Führer Margelisch und Bittel vom Hotel Jungfrau am Eggishorn, die die Beobachtungen grösstenteils durchzuführen hatten, erzählten dem Verfasser folgende interessante Beobachtung (Winter 1909). Beim Durchschlagen des Eises schoss oftmals das Wasser springbrunnenähnlich bis 0,70 m in die Höhe. Diese Erscheinung hielt länger an, als die Beobachter an Ort und Stelle bleiben konnten. (Dauer des Aufenthaltes in der Regel eine halbe Stunde). Daraus folgt, dass das Wasser des Sees oft einem ganz bedeutenden Druck unterworfen ist.

Die gleiche Schichtung der Eis- und Schneedecke dieser beiden Seen liefert uns den Beweis, dass auch in dieser Höhe Schwankungen der Temperatur um den Nullpunkt keine Seltenheiten sind.

Bei steigendem See trennt sich die Eisdecke vom Ufer und bildet eine Randspalte. Dieser Fall tritt beim Hintersee in der Regel zu Tage, weil sich eben das Seeniveau gewöhnlich im Winter fortwährend hebt. Pegelbeobachter Margelisch fand auch im Winter fast ausnahmslos das Eis vom Felsen getrennt vor. Diese Tatsache sei besonders hervorgehoben.

Wir haben bereits mitgeteilt, dass auch in der Höhenlage des Märjelensees Temperaturschwankungen über dem Nullpunkt keine Seltenheiten sind. Sobald

statt Schnee, Regen fällt, schmilzt die Schneeschicht mehr oder weniger und setzt das Eis unter Wasser. Durch den Eintritt einer neuen Kälteperiode gefriert die wässrige Schneeschicht, der nämliche Prozess wiederholt sich und es bildet sich eine aus verschiedenen Einzelschichten zusammengesetzte Eisdecke.

Eine charakteristische Eigenschaft des Hintersees ist sein winterliches Steigen. Nun liegt auf der Hand, dass mit wachsender Seehöhe die ganze Eisdecke gehoben wird.

Wie verhält sich nun die Eisdecke gegenüber ihrer Tauchtiefe, sobald eine Schneeschicht auf ihr lastet? Das Gewicht der Eisdecke wird grösser und mit der Zunahme wächst auch ihre Tauchtiefe. Vom Rande des Sees aus vermag das Seewasser auf die erstmalige Eisdecke zu gelangen und dadurch wird die Bildung einer neuen Wasser- und Schnee-Eisschicht ermöglicht. Jeder bedeutende Schneefall führt eine Wiederholung dieses Vorganges herbei. Die Bildung der Eisdecke wie sie am 19. Februar 1913 vorhanden war, lässt sich auf diese Weise einwandfrei erklären.

Beim Vordersee sind die Verhältnisse andere. Im Gegensatz zum Hintersee, findet bei ihm in der Regel eine Senkung des Seespiegels statt, eine Erscheinung die übrigens bei allen hochalpinen Seen von diesem Typus, infolge Rückganges der Quellergüsse zu Tage tritt. Der Bildung einer Wasser- oder Schnee-Eisschicht muss entweder eine Spaltung der Eisdecke oder es müssen Niederschläge in Form von Regen oder Schmelzung vorangehen. Beide Fälle haben jedenfalls mitgewirkt.

Weshalb finden wir aber die nämliche Schichtung bei beiden Seen? Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Die Messung der Eisdicken fand in der Mitte der Seen, beim Vordersee an einer (Km 2,500 des Längensprofils, Tafel 3), beim Hintersee an zwei Stellen statt (Km 3,680 und 3,900). Eislöcher fanden sich keine vor. Differenzen in der Mächtigkeit der einzelnen Schichten sind vorhanden, aber von keiner grossen Bedeutung, da ja eine absolut homogene Schichtung überhaupt nie auftritt.

Die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse (Luft) sind bei beiden Seen ungefähr die nämlichen, verschieden dagegen sind die Niveauschwankungen und die damit im Zusammenhang stehende Art und Weise der Spaltenbildung. Harmonisiert die Hebung der Eisdecke im Hintersee mit dem Einbruch der Eisdecke des Vordersees (infolge Senkung), ein Fall der zutreffen kann, so ist die nämliche Schichtung für beide Seen möglich.

Der Verfasser gelangt an Hand vorstehender Ausführungen zu folgendem Schlusse: *Die Bildung der Wasser- und Schnee-Eisschichten am Vorder- und Hintersee wird einerseits durch aufquellendes Wasser zwischen den Eisspalten, anderseits durch Regen- und Schneelagen oder schmelzenden Schneelagen allein und endlich durch alle Erscheinungen zusammen herbeigeführt.*

Mit dem Eintritt der Frühjahrswärme beginnt auch die Auftau-Periode. Der Schnee schmilzt allmählich über der Eisdecke. Gleichzeitig dringt auch Wärme in das Eis ein. Durch Zuleitung von Wärme durch die Seitenbäche wird auch die

Temperatur des Seewassers erhöht und deshalb das Eis auch von unten angegriffen. Diese Vorgänge vermindern die Dicke des Eises, sie veranlassen das Wiederöffnen alter Spalten. Leider gestatten die Beobachtungen nicht, den Gang der Tauperiode eingehender zu verfolgen. Die durch Kontraktion im Winter entstandenen und später wieder zugefrorenen Risse, treten in vielfach vergrössertem Masstabe zu Tage. Beim Vordersee tritt namentlich eine mächtige Längsspalte zur vollen Wirkung (Tafel 23), beim Hintersee hat die Vorwärtsbewegung des Gletschers die ursprünglich, ebene Eisfläche in eine wellenförmige verwandelt. Das Schmelzwasser der Wellenberge sammelt sich im Wellental und bildet Wasserlachen. Die Entstehung dieser Wellenlinien, die mehr oder weniger gut mit der Umrisslinie der Gletscherwand zusammenfallen, erfolgte nach und nach und zwar von der Gletscherwand aus. Techniker Boissier, Genf, beobachtete am 30. Mai 1913 nur 7 solcher Streifen, je weiter vom Gletscher weg, desto kürzer waren sie. In der Schmelzperiode werden zunächst die dunkeln, unter Wasser stehenden Streifen (Wellentäler) immer breiter. Hernach lösen sie sich vollständig auf und es bleiben nur noch die hellen Streifen übrig, die auch dem Zerstörungsprozess allmählich anheimfallen. Wir haben bereits bemerkt, dass in der Umgebung der beiden Seen die Witterung im Winter nicht so regelmässig ist, wie man dies erwarten dürfte. Die Temperatur schwankt oft um den Gefrierpunkt. Niederschläge in Form von Regen sind wohl eine Ausnahme, aber doch nichts aussergewöhnliches. Natürlicherweise ist kein Jahr dem andern gleich, der Zeitpunkt des Gefrierens und des Schwindens der Eisdecke, die Dauer der Eisbedeckung sind sehr verschiedene. Genügende Daten über das Auftreten und völlige Verschwinden des Eises in den 5 Beobachtungsjahren stehen uns leider nicht zur Verfügung. Wir nehmen deshalb von einer Zusammenstellung solcher Daten Umgang und verweisen in dieser Hinsicht auf die Originalaufzeichnungen (Seite 137-140). Die Messung der Eisdicke gibt zu folgenden Bemerkungen Anlass: Sobald der See zufriert, ist das Betreten desselben anfänglich mit Gefahr verbunden. Ist die Gefahr vorbei, beziehungsweise bietet die Eisdecke auch gegen Gletschereinbrüche genügend Sicherheit, so kann die Messung der Eisdicke ohne besondere Schwierigkeit vorgenommen werden, sie ist nur zeitraubend, weil das Öffnen der Eisdecke mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden muss. Während der eigentlichen Schwindperiode sind derartige Beobachtungen sehr schwer, gefährlich, oft sogar unmöglich.

Der Gedanke, die Wassermassen der hochalpinen Seen und ihrer Zuflüsse in der wasserreichen Zeit durch künstliche Stauung aufzuspeichern, um sie während der wasserarmen Zeit, so weit als tunlich für die Kraftnutzung verwendbar zu machen, ist namentlich in den letzten Jahren zur ungewöhnlichen Entwicklung gelangt. Infolge der hohen Lage dieser Seen sind Kraftanlagen hauptsächlich des grossen Gefälles wegen vorteilhaft. Ueber die Eisverhältnisse sind verhältnismässig noch wenig Aufzeichnungen vorhanden. Deshalb hat sich der Verfasser entschlossen, das Wenige was vorhanden, dem vorstehenden Kapitel über die Eisverhältnisse des

Märjelensees einzuverleiben, in der Meinung, den Wasserbautechnikern damit dienlich zu sein. In der Nachfolge finden sich gebietsweise geordnet, sämtliche Aufzeichnungen mit Quellenangabe übersichtlich zusammengestellt. Daran anknüpfend folgen die Schlussergebnisse.

### Einzelbeobachtungen über die Eisdicke hochalpiner Seen <sup>1</sup>.

*Lago di Saoseo* (Valle di Campo bei Poschiavo) 2489 m ü. M. (Eigene Beobachtungen).

21. März 1906. Seemitte. Klare Eisschicht : 50 cm ; darüber wässrige Eisschicht : 8 cm ; darüber feste Schnee-Eisschicht : 10 cm ; darüber Schneeschicht : 30-35 cm.

Die Wasserspiegelhöhe nach erfolgtem Eis-Aufbruch liegt 14 cm höher als die Oberfläche der klaren Eisschicht.

Die Wasserspiegelhöhe des Sees liegt 4,50 m tiefer als im Sommer. An den Ufern liegen gebrochene Eistafeln.

*Berninaseen.* 2225-2230 m ü. M. Mitte Juni 1895 noch zugefroren.

(Quelle : Dr. P. Lorenz.)

*Lago Bianco* (Bernina-Pass) 2229,72 m ü. M. Fläche = 0,823 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 46,5 m. (Eigene Beobachtungen).

16. März 1906. Seemitte. Klare Eisschicht : 59,5 cm ; darüber wässrige Eisschicht : 25-30 cm ; darüber Schneeschicht : 20-25 cm.

Temperatur der Luft : + 1,5° C, 4 h 15 p; Wasser : 0,2° C, 4 h 27 p.

Ueber das Datum des vollständigen Auftauens des Sees im Frühjahr 1906 sind leider keine Aufzeichnungen mitgeteilt worden. Das Wiederzufrieren des Sees trat schon am 22. November 1906 ein, die hernach erfolgte, allmähliche Zunahme der Eisdicke ist aus der nachstehenden Beobachtungsreihe ersichtlich (Beobachtungen von Carlo Giuliani, Weger der Berninastrasse) :

22. November	1906	Klare Eisdicke	2 cm
23. November	»	»	4 cm
25. November	»	»	10 cm
28. November	»	»	12 cm
3. Dezember	»	»	21 cm
10. Dezember	»	»	27 cm
15. Dezember	»	»	33 cm
19. Dezember	»	»	37 cm
25. Dezember	»	»	42 cm
30. Dezember	»	»	45 cm
5. Januar	1907	»	51 cm
11. Januar	»	»	54 cm
18. Januar	»	»	57 cm
23. Januar	»	»	59 cm
29. Januar	»	»	61 cm

<sup>1</sup> Vorliegende Einzelbeobachtungen erfuhren eine bedeutende Erweiterung durch die liebenswürdige Unterstützung von Seiten des Hrn. Dr. P. Lorenz in Chur. Seine Aufzeichnungen, die sich namentlich auf die Seen im Kanton Graubünden beziehen, sind nach den Jahresberichten der Bündnerischen Naturforschenden Gesellschaft (Band 32, 34, 35, 36, 38 und 39) bearbeitet und stammen her von Privatdozent Dr. E. Imhof und Prof. Dr. Fr. Zschokke in Basel, beobachtet anlässlich ihrer Untersuchungen über die niedere Seefauna einiger graubündnerischer Seen. Einzelne Angaben sind der Arbeit von Dr. P. Lorenz selbst : « Die Fische Graubündens », 1898, andere den im Besitze von Dr. Lorenz befindlichen Aufzeichnungen des ehemaligen Oberingenieurs des Kantons Graubünden Friedr. von Salis sel. entnommen worden. Hrn. Dr. P. Lorenz sei an dieser Stelle der wärmste Dank ausgesprochen.



10. April 1908. 20 m seewärts des linken Ufers. Klare Eisschicht : 65 cm; darüber wässerige Eisschicht : 36 cm; darüber Schneeschicht : 24 cm. (Beobachtungen von Ingenieur J. Näf, Landeshydrographie.)

12. März 1909. 20 m seewärts des linken Ufers. Klare Eisschicht : 60 cm; darüber Wasser : 16,5 cm; darüber Schneeschicht : 51,5 cm.  
Temperatur des Wassers : 0,2° C, 10. April 1908; 0,4° C, 12. März 1909. (Beobachtungen von Ingenieur J. Näf, Landeshydrographie.)

*Lago della Scala.* 2225,3 m ü. M. Fläche = 0,074 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 3,6 m.

17. März 1906. Seemitte. Klare Eisschicht : 87 cm; darüber Schneeschicht : 45-50 cm.  
Temperatur der Luft : + 0,8° C, 8 h 15 a; Wasser : 0,2° C, 8 h 31 a, 17. März 1906.  
(Beobachtungen des Verfassers.)

*Lago della Crocetta.* 2306 m ü. M. Fläche = 0,035 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 9,0 m.

16. März 1906. Seemitte. Klare Eisschicht : 63 cm; darüber wässerige Eisschicht : 51 cm; darüber Schneeschicht : 21 cm. (Beobachtungen des Verfassers.)

Ende April 1912. Klare Eisschicht : 60 cm; darüber Schnee-Eisschicht : 30 cm; darüber Wasserschicht : 10 cm; hernach Schnee-Eisschicht : 30 cm und darüber Schneeschicht : 80 cm. (Beobachtungen des Personals der Bernina-Bahn.)

*Lago Nero.* 2224,98 m ü. M. Fläche = 0,090 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 12,0 m.

10. April 1908. Seemitte. Klare Eisschicht : 51 cm; darüber wässerige Eisschicht : 28 cm; darüber Schneeschicht : 88 cm.

12. März 1909. Seemitte. Klare Eisschicht : 67 cm; darüber Schneeschicht : 75 cm.  
Wasser-Temperatur : 0,4° C, 10. April 1908; 0,4° C, 12. März 1909.

*Lej Pitschen.* 2219,85 m ü. M. Fläche = 0,030 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 5,0 m.

10. April 1908. Seemitte. Klare Eisschicht : 22 cm; darüber wässerige Eisschicht 44 cm; darüber Schneeschicht : 70 cm.  
Wasser-Temperatur : 0,3° C.

12. März 1909. Seemitte. Klare Eisschicht : 77 cm; darüber Schneeschicht : 55 cm.  
Temperatur Wasser : 0,5° C. (Beobachtungen von Ingenieur Näf, Landeshydrographie.)

Dr. E. Rübel gibt uns in seiner Arbeit : « Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes, Leipzig 1912 », über das Auftauen und Gefrieren der Berninaseen wertvolle Daten (Seite 41-43). Ueber die Lage der einzelnen Seen verweisen wir auf Siegfriedkarte 1 : 50 000, Blatt 522.

Am 30. Mai 1905 zeigten sich in der weissen Decke des Lago Bianco und des Lago Crocetta die ersten Wasserpflützen. 1906 schon am 12. Mai, sind aber am 5. Juni 1906 wieder zugefroren, am 23. Juni 1906 jedoch ganz aufgetaut.

Am 1. Juli 1905 ist der Lago Bianco noch am Schmelzen, der Lago Crocetta gerade vollständig eisfrei; im dunkeln, seit 10 Tagen eisfreien, Lago Nero zeigt das Wasser schon 11° C.

Am 2. August 1905 hatte der Lago Nero eine Temperatur von 13,8° C, am 20. September noch 10,5° C, am 12. Oktober zeigt er, wie auch der Lago Crocetta schon zum ersten Mal eine Eisdecke; beim tiefern, grössern Lago Bianco geht es langsamer : 2. August 10,4° C, 20. September 9,0° C, am 18. Oktober nur stückweises Eis, am 22. Oktober scheint er wieder ganz offen, während Nero und Crocetta zugefroren und mit Schnee bedeckt sind; am 29. Oktober ist auch der Bianco zu.

Ueber den Lago Crocetta (Tiefe 9 m) berichtet Rübel weiter : « Das Gefrieren geschieht nicht in einer einfachen, immer dicker werdenden Eisschicht, sondern das Eis bildet sich in mehreren Schichten, Wasser dazwischen lassend. Hat man die oberste Eisschicht durchschlagen, so muss man die folgenden unter Wasser weiter bearbeiten. Am 15. November waren es 3 Lagen Eis von zusammen 49 cm Dicke. Das Wasser in dem gemachten Loch

zeigte 1,5°. Nachdem wir mit Tiefenzügen Plankton gefischt hatten, das Wasser also gemischt worden war durch den Planktonfischapparat, war es 3° C warm.

Am 4. Dezember 1905 : 49 cm Eis, darüber 30 cm Schnee, Wasser zuerst 1,5° C, nachher 3° C.

Am 16. Januar 1906 : 20 cm Schnee, 55 cm Eis, Wasser 2° C.

Am 20. Februar 1906 : 20 cm Schnee, 65 cm Eis, Wasser 2° C.

Am 14. März 1906 : 20 cm Schnee, 70 cm Eis, Wasser 2° C.

Am 3. Mai 1906 : 70 cm Schnee, ? Eis, Wasser 1,5° C.

Wie dick das Eis am 3. Mai war, konnte nicht bestimmt werden; 78 cm tief waren wir durch mehrere Eisschichten gedrungen, das Wasser füllte das Loch immer bis oben, da stiessen wir wieder auf eine weitere starke Eisschicht, die wir unter dem Wasser nicht mehr durchschlagen konnten. Der 12. Mai zeigte dann schon die ersten Wasserflecken des Auftauens. »

*Lej Sgrischus.* 2640 m ü. M. Fläche = 0,080 km<sup>2</sup>.

Die Eisdecke erhält sich oft zwei Jahre lang; gewöhnlich bleibt der See 8-9 Monate geschlossen; 1883 brach das Eis zwischen dem 10. und 15. Juli.

(Quelle : Imhof.)

*Silsersee.* 1800,10 m ü. M. Fläche = 4,148 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 70,8 m (Beobachtungen von 1864 bis 1891).

Dauer des Eisabschlusses : 124-193 Tage.

Mittlere Dauer : 156 Tage.

Mittleres Datum des Gefrierens : 18. Dezember.

Mittleres Datum des Auftauens : 23. Mai.

Dabei erleidet der Moment des Zufrierens Verschiebungen vom 6. Dezember bis zum 7. Januar, derjenige des Eiseinbruches fällt in die Periode vom 29. April bis zum 11. Juni.

(Quelle : Forel.)

*St. Moritzersee.* 1771 m ü. M. Fläche = 0,78 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 44,0 m. Mittl. Tiefe = 25,4 m.

Mitte Dezember 1912 war der See nach dem Ueberfrieren noch einmal künstlich gestaut worden und am 18. Dezember 1912 wurde folgendes gemessen :

Eisschicht : 7 cm; darüber Wasserschicht : 18 cm; darüber Eisschicht : 12 cm.

7. Januar 1913. Beim Bad. Klare Eisschicht : 33 cm; darüber 3,6 cm Schnee-Eisschicht.

13. Januar 1913. Beim Grand Hotel. Eisdicke 41,6 cm.

10. Februar 1913. Durchgefrorene Eisdicke 62,5 cm.

3. März 1914. Maximale Eisdicke 60,5 cm.

Das Einfrieren und Auftauen dieses Sees geht in den einzelnen Teilen ganz verschieden vor sich. In der Regel ist der ganze See in der ersten Dezemberwoche zu und Ende Mai ganz offen. Für Uferpartien verschiebt sich die Zeit etwas.

Die maximale Eisdicke übersteigt 70 cm.

(Quelle : a. Oberingenieur H. Streng und Dr. O. Guyer.)

*Oberer Splügenersee.* Höhe ü. M. 2270 m. Max. Tiefe : 14,4 m. Fläche : 0,06 km<sup>2</sup>.

9. Januar 1881. Eisdicke = 49 cm. Wassertemperatur auf Seegrund gemessen = 2,66° C (12,30 m unter der Eisdecke). Unmittelbar unter dem Eis ging die Temperatur von 0,75-5,25° C.

*Unterer Splügenersee.* Höhe ü. M. : 2196 m. Max. Tiefe : 5,6 m. Fläche : 0,045 km<sup>2</sup>.

9. Januar 1881. Eisdicke = 50 cm. Wassertemperatur auf Seegrund gemessen = 4,66° C (5,6 m unter der Eisdecke). Unmittelbar unter dem Eis ging die Temperatur von 0,75-5,25° C.

*Bernhardinsee* (Lago Moësola). Höhe ü. M. : 2063 m. Max. Tiefe : 17,5 m. Fläche : 0,060 km<sup>2</sup>.

Eisdicke : 55 cm. Wassertemperatur : 0,3-0,9° C (tiefer 2,5° C).

*Flüela-Schwarzsee*. Höhe ü. M. : 2388 m. Max. Tiefe : 2,98 m. Fläche : 0,020 km<sup>2</sup>.

17. Januar 1891. Eisdicke = 65,5 cm. Wassertemperatur auf Seegrund gemessen = 2,3° C.  
Unmittelbar unter dem Eis ging die Temperatur von 0,75-5,25° C.

*Schottensee-Flüela*. Höhe ü. M. : 2386 m. Fläche : 0,060 km<sup>2</sup>.

16. Januar 1891. Eisdicke = 47,75 cm. Wassertemperatur auf Seegrund gemessen = 2,0° C. Unmittelbar unter dem Eis ging die Temperatur von 0,75-5,25° C.

*Davosersee*. Höhe ü. M. : 1562 m. Max. Tiefe : 53,5 m. Fläche : 0,559 km<sup>2</sup>.

20. Januar 1891. Eisdicke = 46,5 cm. Wassertemperatur auf Seegrund gemessen = 4,5° C.  
Unmittelbar unter dem Eis ging die Temperatur von 0,75-5,25° C.

*Schwarzsee-Laret* (Bezirk Landquart). Höhe ü. M. : 1507 m. Fläche : 0,030 km<sup>2</sup>.

5. Januar 1891. Eisdicke = 24 cm. Wassertemperatur auf Seegrund gemessen = 4,5° C.  
Unmittelbar unter dem Eis ging die Temperatur von 0,75-5,25° C.

*Todtalpsee* (Bezirk Landquart). Höhe ü. M. : 2480 m.

26. Juli 1891. Eisdicke = 25 cm. Wassertemperatur = 0,5° C, unmittelbar unter der Eisdecke gemessen.

*Oberer Arosasee*. Höhe ü. M. : 1740 m. Fläche : 0,075 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe : 15,0 m.

Die Temperaturen unmittelbar unter der Eisdecke gemessen.

	Wassertemperatur °C	Eisdicke cm
9. November 1892	4,7	0
17. November 1892	3,8	0
30. November 1892	2,2	10
17. Dezember 1892	2,2	23
5. Januar 1893	0,5	45
28. Januar 1893	0,2	65
8. Februar 1893	1,2	71
4. März 1893	0,1	60
24. April 1893	1,1	eisfrei
30. April 1893	6,1	0
14. Mai 1893	11,8	0
2. Juni 1893	10,8	0
28. Juni 1893	14,6	0

*Kleiner See auf Gredigs Aelpli bei Arosa*. 2400 m ü. M. Bleibt den grössten Teil des Jahres mit Lawinenschnee bedeckt. Er wird im August oder gar nicht eisfrei.

(Quelle : Mettier.)

*Vierekersee* (Rhätikon). Höhe ü. M. : 2316 m.

31. Juli 1892. Eisdicke = 40 cm. Wassertemperatur, unmittelbar unter der Eisdecke gemessen = 1,5° C.

*Partnunsee* (Rhätikon). Höhe ü. M. : 1874 m. Max. Tiefe : 35,0 m. Fläche : 0,040 km<sup>2</sup>.

27. Dezember 1891. Eisdicke = 60 cm. Wassertemperatur, unter der Eisdecke gemessen = 2° C.

*Lünersee* (Rhätikon). Höhe ü. M. : 1943 m.

1. Juni 1895. Eisdicke = 35 cm. Wassertemperatur, unmittelbar unter der Eisdecke gemessen = 1,0° C.

*Wildsee* (Graue Hörner). Höhe ü. M. : 2438 m. Fläche : 0,073 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe : 26,0 m.

Bleibt den grössten Teil des Jahres zugefroren. Er wird hauptsächlich von Gletscher- und Schmelzwasser gespiesen.

24. Juli 1888. Eisdecke noch nicht gelöst.

4. August 1889. Eisblöcke schwimmen auf dem See.  
 6. August 1890. Eisdecke noch nicht gelöst.  
 18. August 1890. Unteres Ende mit Eiskruste bedeckt.  
 (Quelle : Heuscher.)

*Muttsee* (Glarneralpen). Höhe ü. M. : 2448 m.

21. Juli 1896. Eisdecke = 30 cm. Wassertemperatur = 0,5° C.

*Klöntalersee* (Kanton Glarus). Quelle : Mitteilungen der Kraftwerke Bezau-Löntsch.

Ausserordentlicher Hochwasserstand	851,35 m über Meer.
Normaler Hochwasserstand	850,00 m » »
Schwerpunkt des nutzbaren Wasserkörpers	842,00 m » »
Normaler tiefster Stand	827,50 m » »
Ausserordentlicher tiefster Stand (mittelst Pumpwerk)	820,00 m » »

*Wachsen der Eisdecke im Winter 1913-1914.*

	Eisdicke
25. Dezember 1913	5-6 cm
4. Januar 1914	25 cm
8. Februar 1914	40-45 cm
28. Februar 1914	30 cm
7. März 1914	30 cm
27. März 1914	20 cm.

Die grösste Eisdicke betrug im Winter 1912-1913 bis 60 cm. Das Eis ist nur selten in seiner ganzen Dicke tadellos kristallhell, sondern oft durch nachträglichen Schneefall und Regen mit einer 10-15 cm dicken Schnee-Eisschicht behaftet.

Besondere Erscheinungen : Das klare Eis weist oft Einschlüsse von Luft auf, die im allgemeinen die Form eines vergrösserten Nagels mit rundem Kopf aufweisen. Der Beobachter vermutet, es handle sich dabei um Blasen von Sumpfgas, welche bei sinkendem Wasserstand aus dem Grundschlamm aufsteigen und an der gerade bestehenden Eisdecke anfänglich in Form flachgedrückter Kügelchen einfrieren. Während dem Vorrücken des Gefrierprozesses wird ein Teil des eingeschlossenen Gases nach unten aus dem sich vorangehenden Hohlraum herausgedrückt, so dass pflanzenähnliche Gebilde von Hohlräumen entstehen, die gewöhnlich wie Schwämme in Gruppen beisammen stehen.

Ueber das Schwinden der Eisdecke fehlen direkte Angaben. Dagegen kann aus den Pegelkurven der Zeitpunkt des Eintrittes der Schneeschmelze oder des Regens genau nachgewiesen werden :

*Eintritt von Tauwetter (Steigen des Sees).*

Jahr	März	April	Mai	
1902	25	—	—	
1903	20 und	24	—	
1904	19	—	—	Vom Eintritt der definitiven Tauperiode bis zum gänzlichen Schwinden der Eisdecke verfliessen in der Regel 6-8 Wochen.
1905	24	—	—	
1906	—	5	—	
1907	19	—	—	
1908	—	12	—	
1909	—	2 und 7	—	
1910	—	14 und 20	—	
1911	—	2 und 16	—	
1912	25	—	und 4	
1913	21 und	20	—	
1914	6 und	1	—	

*Obersee.* (Bei Amsteg.) Höhe ü. M. : 2240 m. Fläche : 2500 m<sup>2</sup>. Grösste Tiefe : c. 3-4 m.

Zeitpunkt des Beginnes der Vereisung : im Oktober. Zeitpunkt der völligen Schliessung : gewöhnlich Mitte Oktober. Zeitpunkt des gänzlichen Schwindens der Eisdecke : Ende Juni. Eisdicke : 50-60 cm.<sup>1</sup>

*Niedersee.* (Bei Amsteg.) Höhe ü. M. : 2095 m. Fläche : 9320 m<sup>2</sup>. Grösste Tiefe : c. 8,5 m ; mittlere Tiefe : c. 3 m.

Zeitpunkt des Beginnes der Vereisung : im Oktober. Zeitpunkt der völligen Schliessung : gewöhnlich gegen Ende Oktober bis Anfang November. Zeitpunkt des gänzlichen Schwindens der Eisdecke : Ende Juni.

Eisdicke : 50-60 cm.<sup>1</sup>

*Stausee auf Arni.* (Bei Amsteg.) Höhe ü. M. : 1373-1366 m, Fläche : 55000 m<sup>2</sup>. Grösste Tiefe : 9.0 m ; mittlere Tiefe : c. 5 m.

Zeitpunkt des Beginnes der Vereisung : Anfang bis Mitte November. Zeitpunkt der völligen Schliessung des Sees : Mitte bis Ende November. Zeitpunkt des gänzlichen Schwindens der Eisdecke : Ende März bis Anfang April.

*Eisdicke* : Da das Niveau des Sees sich stark verändert, so ist die Dicke der Eisschicht eine verschiedene. Sie beträgt durchschnittlich 40 cm. Die klare Eisschicht schwankt zwischen 25 und 30 cm. Die Eisdecke ist stark mit Schnee vermengt. Die zugefrorene Schneeschicht beträgt stellenweise 5-20 cm. An andern Orten liegt auf der Eisdecke der Schnee ein und mehr Meter hoch.

*Schwinden der Eisdecke* : Die Eisdecke wird, da gegen das Frühjahr der Seespiegel beträchtlich fällt, stark zerrissen ; sie sinkt teilweise auf den Wasserspiegel. Bei eintretendem Föhnwetter taut daher das Eis auf dem Wasser schneller auf, als das Ufereis, das mit Schnee noch zugedeckt ist. Die Eisdecke ist daher c. Mitte März auf dem Wasser schon aufgeweicht.

Die *Seen auf dem Gotthardplateau*, 2100 m ü. M. fand Zschokke am 21. Mai 1893 noch geschlossen.

Eisdicke = 15 cm. Wassertemperatur = 2° C.

(Quelle : Zschokke.)

Die klare Eisschicht variiert zwischen 60 und 70 cm.

Beginn der Vereisung : 10. bis 30. Oktober. Fast vollständiges Auftauen : Ende Juni, ausnahmsweise auch Ende Mai. (Quelle : Ing. C. Ghezzi.)

*Sellasee* (Gotthardplateau). 2231 m ü. M. Fror zwischen dem 10. und 15. Juni 1886 auf.

(Quelle : Fischer-Sigwart.)

*Sella- und Lucendrosee* (2077 m ü. M. ; Fläche = 0,180 km<sup>2</sup>) waren noch Ende Juni 1899 von Eis und Schnee bedeckt. Der erstere trug am 10. Juli kein Eis mehr, auf dem letzteren schwammen am gleichen Tage noch grosse Eisblöcke. (Quelle : Zschokke.)

*Lago di Lucendo.* Dieser See gefriert Ende November ganz zu und taut Mitte bis Ende Juli ganz auf. (Quelle : Ing. C. Ghezzi.)

*Lago Cadlino und Lago Scuro* (Südabhang des Gotthard). 2513 und 2453 m ü. M. (Fläche = 0,080 km<sup>2</sup>). Ende Juli 1896 noch geschlossen.

(Quelle : Fuhrmann.)

*Lago Ritom.* 1831,5 m ü. M. Fläche = 0,904 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 46,7 m.

12. Februar 1907. 50 m seewärts des Auslaufes. Klare Eisschicht : 50 cm. Schneehöhe am Ufer : 80 cm.

<sup>1</sup> Quelle : Centralschweiz. Kraftwerke, Luzern.

Wassertemperatur :  $0.8^{\circ}\text{C}$ , 10 h 30 a bei der Messtelle. Lufttemperatur :  $-3.0^{\circ}\text{C}$ , 11 h 0 a beim Auslauf  $1.0^{\circ}\text{C}$ . Eisdicke beim Ausfluss 5 cm (ruhiges Wasser), (Beobachtungen von Ing. C. Ghezzi.)

	Klare Eisschicht	Schneehöhe am Ufer
26. Februar 1907	65 cm	98 cm
3. März 1907	70 cm	85 cm
17. März 1907	80 cm	135 cm
25. März 1907	80 cm	130 cm
30. März 1907	80 cm	120 cm
6. April 1907	80 cm	120 cm
14. April 1907	75 cm	110 cm
21. April 1907	80 cm	120 cm
28. April 1907	75 cm	100 cm
5. Mai 1907	70 cm	90 cm
14. Mai 1907	Es bilden sich Eisschollen, Messung unmöglich.	

Winter 1907 ausnahmsweise wenig Niederschläge, aber grosse Kälte.

*Lago Tremorgio* (oberhalb Roddi). 1829 m ü. M. (Fläche =  $0.38\text{ km}^2$ .)

Klare Eisschicht : 60-70 cm. (Quelle : Ing. C. Ghezzi.)

*Grimmselsee*. 1875 m ü. M. Fläche =  $0.100\text{ km}^2$ . Max. Tiefe = 16,0 m.

Ueber das Schwinden der Eisdecke sind vom 30. Juni bis 5. Juli 1914 am Grimselsee von Ing. Bossard, Landeshydrographie, interessante Beobachtungen durchgeführt worden.

Am 30. Juni war das Schwinden der Eisdecke schon so weit fortgeschritten, dass sich nur noch eine Unmasse von losen Schollen im See vorfand. Die Messung einer solchen Scholle wurde in der Nähe des Waschhauses des Hospizes vorgenommen.

### Resultate.

Datum	Lufttemperatur C	Wassertemperatur C	Witterung	Schollendicke <sup>1</sup>
30. Juni 1914	$15^{\circ}$ 7 h 5 p	$1.5^{\circ}$ 7 h 10 p	schön, windstill	90 cm, 7 h 0 p
1. Juli 1914 <sup>2</sup>	$12^{\circ}$ 6 h 30 p	$1.5^{\circ}$ 6 h 40 p	Regen, Gewitter	80 cm, 6 h 35 p
2. Juli 1914	$10^{\circ}$ 5 h 25 p	—	schön, windig	72 cm, 5 h 20 p
3. Juli 1914	$8^{\circ}$ 7 h 5 p	$1.5^{\circ}$ 7 h 10 p	Regen	60 cm, 7 h 15 p
4. Juli 1914	$5^{\circ}$ 8 h 35 p	$1.5^{\circ}$ 8 h 40 p	Regen	—
5. Juli 1914	$9^{\circ}$ 7 h 35 a	$1.5^{\circ}$ 7 h 40 a	bedeckt, windstill	58 cm, 7 h 45 a

Völlig eisfrei war der Grimselsee Mitte August.

*Trübsee*. 1764,0 m ü. M. Fläche =  $0.122\text{ km}^2$ . Max. Tiefe = 6,13 m. (Beobachtungen von W. Stumpf, Techniker, Landeshydrographie.)

20. März 1911, 100m vom Seeauslauf. Klare Eisschicht 57 cm, darüber 14 cm Schnee mit Wasser; darüber Eisschicht: 20 cm; darüber 42 cm Schnee mit Wasser; darüber Schneeschicht : 40 cm.

<sup>1</sup> Die an der Oberfläche stark vorgeschrittene Schmelzung liess eine einwandfreie Ausscheidung der Schichtung (klares Eis, Schnee-Eisschicht) nicht mehr zu.

<sup>2</sup> Als interessante Tatsache mag noch erwähnt sein, dass der nur 4,8 km (Luftlinie) entfernte Gelmersee (1829 m ü. M.) am 1. Juli 1914 vollständig eisfrei vorgefunden wurde, was in erster Linie seiner geschützten Lage zugeschrieben werden dürfte.

Temperatur Luft : 3 h 40 p = 0,0° C ; Wasser an der Oberfläche : 0,3° C ; in einer Tiefe von 1,3 m = 0,5° C ; 2,2 m = 1,2° C ; 3,2 m = 2,0° C ; 4,6 m = 3,0° C (Sohle).

*Oeschinensee* (Kanton Bern). 1581,5 m ü. M. Fläche = 1,140 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 63,0 m.

Quelle : Mitteilung der Bernischen Kraftwerke.

Datum	Eisdicke cm	Schneehöhe auf dem Eis cm
3. Dezember 1912	0	0
19. Dezember 1912	20	10
27. Dezember 1912	25,5	8
3. Januar 1913	36	0
14. Januar 1913	39,5	5
22. Januar 1913	41	40
29. Januar 1913	48	14
7. Februar 1913	49	20
21. Februar 1913	60	0
5. März 1913	62	22
12. März 1913	62	27
19. März 1913	62	36
26. März 1913	54	27
2. April 1913	30	28
9. April 1913	30	5
16. April 1913	30	4
23. April 1913	30	0
1. Mai 1913	25	0
7. Mai 1913	0	0

*Bemerkung.* — Es hat sich gezeigt, dass die Stärke der Eisdecke, nachdem sie einen gewissen Grad erreicht hat, nicht mehr nach unten, sondern nach oben zunimmt. Die erstgebildete Schicht ist meistens kompakt, während die obere Schicht eine Schichtung aufweist und deutlich erkennen lässt, dass dieselbe aus Schmelzwasser von überlagerndem Schnee entstanden ist.

Nach der Auffassung des Beobachters (Oberingenieur Stoll) trägt zur Bildung der oberen Schichten auch der Umstand bei, dass die mit Schnee belastete Eisdecke einen Druck auf das Wasser ausübt, wobei dasselbe längs dem Seeumfang aufquillt, über die Eisdecke hinwegläuft und den darauf liegenden Schnee durchtränkt. Die so entstandene gallertartige Masse gefriert dann während der Nacht. Auf diese Weise lagert sich Schicht auf Schicht und es sind nicht selten Gesamteisdecken bis auf 80 cm gemessen worden, wobei die unterste eigentliche kompakte Schicht bloß 20 cm betrug.

*Arnensee*<sup>1</sup>. Höhe ü. M. : 1538,2 m. Fläche : 0,325 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe : 39,2 m.

Die Wassertemperatur ist unter einer Eisdecke von 48 cm gemessen worden und ergab folgende Resultate :

in 1 m Tiefe	+ 1,10° C.
» 5 m »	+ 2,40° C.
» 10 m »	+ 4,20° C.

<sup>1</sup> Die « Société Romande d'Electricité, Territet » übermittelt dem Verfasser noch folgende Angaben über die Eisverhältnisse des Arnensees : im allgemeinen findet das Gefrieren Ende November/Anfang Dezember statt. Die Eisschmelzung tritt im Laufe des Monats April ein. Die Eisdicke nimmt in den ersten Monaten sehr rasch, später langsamer zu. Sie ist verschieden je nach der Schneemenge, die die Eisschicht bedeckt.

Eisdicke. 27. XII. 1905 : c. 40 cm ; 31. I. 1906 : 40 cm ; 29. III. 1906 : 60 cm ; 22. I. 1907 : 50 cm ; 28. I. 1913 : 40 cm.

Eine Eisdicke von 50 cm wird als das Maximum betrachtet, gewöhnlich beträgt sie 25-30 cm. Die im Dienste der Société de Montbovon am Arnensee stehenden Männer behaupten z. B., es sei öfters nicht möglich, auf die Solidität des Eises zu zählen, hauptsächlich wenn es mit einer starken Schneeschicht überdeckt sei. Es darf angenommen werden, dass die fortschreitende Bildung des Eises sich verlangsamt oder gänzlich aufhört, wenn eine Eisdecke von 15-20 cm mit einer starken Schneeschicht überzogen ist. Die Schneeschicht übernimmt die Rolle eines schlechten W  rmeleiters und die Wassertemperatur nimmt gegen die Oberfläche hin zu.

(Quelle : Département des Services industriels, Fribourg.)

See auf dem Grossen St. Bernhard. 2445 m   . M.

	Datum des Gefrierens	Datum des Auftauens	Dauer
1817-1818	6. Oktober		—
1820-1821	30. September	31. Juli	305 Tage
1821-1822	20. Oktober	17. Juni	241 »
1822-1823	30. Oktober	27. Juli	271 »
1823-1824	14. Oktober		—
1824-1825	11. Oktober		—
1839-1840		3. Juli	—
1840-1841		3. September	—
1841-1842	24. Oktober	4. Juli	254 »
1842-1843	22. Oktober	15. September	329 »
1843-1844	16. Oktober	18. Juli	277 »
1844-1845		20. August	—
1845-1846	25. Oktober	15. Juli	264 »
1846-1847		7. Juli	—
1847-1848	2. November	17. Juli	259 »
1848-1849	16. Oktober	10. Juli	268 »
1849-1850		11. Juli	—
1850-1851		21. Juli	—
1851-1852	26. Oktober	6. Juli	255 »
1852-1853	16. Oktober	26. Juli	284 »
1853-1854	4. Oktober	16. Juli	286 »
1854-1855	20. Oktober	29. Juli	283 »
1855-1856	30. Oktober	6. August	282 »
1856-1857	3. Oktober	10. Juli	281 »
1857-1858	21. Oktober	27. Juni	250 »
1858-1859	1. November	18. Juli	260 »
1859-1860	25. Oktober	31. Juli	281 »
1860-1861	4. Oktober	12. Juli	282 »
1861-1862	1. November	13. Juni	225 »
1862-1863	1. November	1. Juli	243 »
1863-1864	14. Oktober	24. Juni	255 »
1864-1865	17. Oktober	15. Juni	242 »
1865-1866	20. Oktober	24. Juli	278 »
1866-1867	7. November	20. Juli	256 »
1867-1868	8. Oktober	17. Juni	254 »
1868-1869	24. Oktober	22. Juni	242 »
1869-1870	23. Oktober	20. Juni	241 »
1870-1871	12. Oktober	17. Juli	279 »
1871-1872	27. Oktober	18. Juli	266 »



	Datum des Gefrierens	Datum des Auftauens	Dauer
1872-1873	30. Oktober	25. Juli	269 Tage
1873-1874	27. Oktober	22. Juni	239 »
1874-1875	. . . . .	12. Juni	—
1875-1876	27. Oktober	3. August	282 »
1876-1877	8. November	. . . . .	—
1877-1878	19. Oktober	. . . . .	—
1878-1879	28. Oktober	3. September	311 »
1879-1880	23. Oktober	7. Juli	259 »
1880-1881	30. Oktober	14. Juli	258 »
1881-1882	18. Oktober	. . . . .	—
. . . . .	. . . . .	. . . . .	—
1883-1884	10. Oktober	. . . . .	—
. . . . .	. . . . .	. . . . .	—
1887-1888	. . . . .	26. Juli	—
1888-1889	11. Oktober	14. Juli	277 »
1899-1890	4. Oktober	23. Juli	293 »
1890-1891	22. Oktober	18. Juli	270 »
1891-1892	. . . . .	2. Juli	—
1892-1893	17. Oktober	14. Juni	241 »
1893-1894	. . . . .	. . . . .	—
1894-1895	. . . . .	. . . . .	—
1895-1896	. . . . .	9. Juli	—
1896-1897	. . . . .	15. Juli	—
1897-1898	12. Oktober	17. Juli	279 »
1898-1899	. . . . .	17. Juli	—
1899-1900	28. Oktober	3. Juli	249 »
1900-1901	25. Oktober	10. Juli	259 »
1901-1902	13. Oktober	1. August	293 »
1902-1903	1.-2. November	8. Juli	250 »
1903-1904	20.-21. Oktober	26. Juli	285 »
1904-1905	30.-31. Oktober	10. Juli	254 »
1905-1906	7.-8. Oktober	1. Juli	268 »
1906-1907	20. November	9. Juli	232 »
1907-1908	10. Oktober	2. Juli	267 »
1908-1909	28. Oktober	29. Juni	245 »
1909-1910	28. Oktober	25. Juli	271 »
1910-1911	20.-21. Oktober	16. Juli	270 »
1911-1912	1. Oktober	13. Juli	287 »
1912-1913	. . . . .	15. Juli	—
1913-1914	21. Oktober	. . . . .	—

Die wichtigsten extremen und mittleren Werte in dieser 54-jährigen Periode sind folgende :

1. Mittlere Dauer der Eisperiode : 266 Tage (rund 9 Monate), demnach ist der See im Mittel nur 99 Tage eisfrei.
2. Zeitpunkt der frühesten Schliessung des Sees : 30. September 1820. Zeitpunkt der spätesten Schliessung des Sees : 20. November 1906. Differenz zwischen den beiden Extremen : 51 Tage. Mittlerer Zeitpunkt des Zufrierens des Sees : 21. Oktober (61 Jahre).
3. Zeitpunkt des frühesten Schwindens der Eisdecke : 12. Juni 1875. Zeitpunkt des spätesten Schwindens der Eisdecke : 15. September 1843. Differenz zwischen den

beiden Extremen : 95 Tage. Mittlerer Zeitpunkt des Schwindens der Eisdecke : 14. Juli (67 Jahre).

*Lac de Joux*. 1008 m ü. M. Fläche = 9,52 km<sup>2</sup>. Max. Tiefe = 33,6 m.

Winter 1891. Dauer der Eisdecke 146 Tage, während die mittlere Dauer seines Ab- schlusses sich sonst auf 94 Tage erstreckt.

*Misurinasee* (Oesterreichischer Alpensee). 1755 m ü. M.

Datum unbekannt. Grösste Eismächtigkeiten 80 cm.

(Quelle : Müllner, J. « Die Vereisung der österreichischen Alpenseen ». Leipzig 1903, S. 42-43.)

**Schlussfolgerungen.** Gestützt auf vorstehende Aufzeichnungen lassen sich nun die Eis- verhältnisse der hochalpinen Seen durch folgende Zahlen festlegen :

		Dauer der Eisperiode Tage	Quelle
1. Lac de Joux	1008 m ü. M.	94 (mittl. Dauer)	Forel
2. Stausee auf Arni	1373-1366 »	135-150	Centralschweiz. Kraftwerke
3. Oeschinensee	1581 »	155 (3. Dez. 1912- 7. Mai 1913)	Bernisch. Kraftwerke
4. Oberer Arosasee	1740 »	150-160	Zschokke
5. St. Moritzersee	1771 »	180 (mittl. Dauer)	Guyer
6. Silsersee	1800 »	156 » »	Forel
7. Partnunsee	1874 »	190-200	Zschokke
8. Lünensee	1943 »	180-190	Zschokke
9. Lago di Lucendro	2077 »	240-260	Ghezzi
10. Niedersee	2095 »	240-260	Centralschweiz. Kraftwerke
11. Tilisunasee	2102 »	220-240	Zschokke
12. Lac de Fully <sup>1</sup>	2131 »	240-260	Seiler
13. Garschinasee	2189 »	220-240	Zschokke
14. Lago nero	2225 »	252	Rübel
15. Lago bianco	2230 »	240	Landeshydrographie 1905-1906
16. Obersee	2240 »	240-270	Centralschweiz. Kraftwerke
17. Lago della Crocetta	2306 »	262	Rübel 1905
18. Märjelensee (Hintersee)	2322 »	270-300	Lütschg
» (Vordersee)	2352 »	240-270	
19. Todtalpsee	2340 »	280-300	Zschokke
20. Gredigs Aelplisee	2400 »	335-365	Mettier
21. Wildsee	2438 »	335-365	Heuscher
22. St. Bernhardsee	2445 »	266 (mittl. Dauer)	Forel
23. Lej Sgrischus	2640 »	240-365	Imhof

<sup>1</sup> Lac de Fully (Lac supérieur). 2131 m ü. M.; Fläche = 0,160 km<sup>2</sup>.

Winter 1912/1913. Im Oktober eisfrei. 26. November : Klare Eisschicht = 10 cm, darüber Schneeschicht = 10 cm. Ende Juni : See vollständig eisfrei.

Winter 1913/1914. Beginn der Vereisung : Anfang November. Im Mai : Eisdicke 40 cm, darüber Schneeschicht 100 cm. Vollständiges Schwinden der Eisdecke : Anfang Juli.

Winter 1914. Beginn der Vereisung : 10. November. Völlige Schliessung des Sees : 19./20. November. Eisdicke am 9. Dezember : c. 30 cm, darüber Schneeschicht = 15-20 cm.

(Quelle : Seiler A., Fully).

Die Dauer der Vereisung ist somit nicht nur von der Höhenlage der Seen (sie nimmt im Allgemeinen mit der Höhe zu), sondern auch von anderen, mehr örtlichen Verhältnissen abhängig. In Betracht fallen namentlich alle diejenigen Faktoren, die die Temperatur des Wassers bestimmen: Die mehr oder weniger exponierte Lage des Sees und seines Einzugsgebietes hinsichtlich der Besonnung und des Windeinflusses; der Charakter der Zuflüsse (ob Quellen, Gletscher oder Schmelzbäche den See speisen); die Grösse der Seefläche und die Tiefe des Sees, die Mächtigkeit der Schneedecken u. s. w. Hoch und schattig gelegene kleine Eis- und Schmelzwasserseen gefrieren oft mehrere Jahre nicht auf (Beispiel: Lej Sgrischus).

Auch grössere Becken in schattiger Lage, die von langsam schmelzenden Schneemassen umgeben und bedeckt sind, öffnen sich sehr spät (Schwarzsee der Grauen Hörner, 2381 m, Muttsee am Kistenpass, 2442 m, See am Pizzo Columbe, 2375 m, Grimsensee, 1875 m).

Ueber die Mächtigkeit der winterlichen Eisdecke bestehen heute noch und auch in Technikerkreisen ganz irrige Anschauungen.

Dr. Othmar Imhof, der bekannte Zoologe und Biologe, der sich neben anderen Studien auch mit den winterlichen Verhältnissen der Seen eingehend beschäftigt hat, berichtet, dass nach seinen Erfahrungen die Eisdicke niemals 80 cm überschreite. Nun hat der Verfasser am 17. März 1906 am Lago della Scala, 2225 m ü. M. (Bernina) eine klare Eisschicht von 87 cm vorgefunden. Uebereinstimmend mit Imhof hat von Salis am 31. Januar 1881 am Lago di Moësel (Bernhardin), 2060 m ü. M., eine grösste Eisschicht von 78 cm konstatiert. Imhof fand in einem kleinen See ebenfalls am Bernhardin unter einer Eisdecke von 55 cm Mächtigkeit noch 58 cm Wasser. Aus diesen Grössen geht hervor, dass Seen von etwelcher Tiefe niemals vollständig einfrieren. Sogar am polaren Märjelensee (Hintersee) mit einer winterlichen Temperatur von fast 0° C hat der Verfasser eine klare Eisschicht von nur 50 cm feststellen können. Sowohl beim Märjelensee, als auch an vielen andern Seen nehmen allerdings die Schnee-, Eis- und Wasserschichten eine bestimmte Stellung ein. Sie für den Vergleich mit anderen Seen zu verwerten, hält der Verfasser nicht für ratsam. Ihre Entstehungsart ist eine zu wechselvolle. Unter allen Umständen sollte aber, was noch lange nicht überall durchgeführt wird, eine präzise Messung jeder einzelnen Schicht durchgeführt werden. Vergleichen wir, um nur ein Beispiel anzuführen, die Totaldicke des Märjelensees, wie sie am 19. Februar 1913 im Betrage von 1,14 m und 1,31 m (siehe Tafel 17, Fig. 2 und 3) vorgefunden wurde, mit der Totaldicke der aus klarem Eis bestehenden Decke des Lago della Scala von 87 cm, so erhellt daraus deutlich genug, zu was für falschen Schlussfolgerungen man gelangen kann. Damit soll nicht gesagt sein, dass Beobachtungen über die Mächtigkeit der Gesamt-Eisschicht (klare Eis-, Schnee- und Wasserschicht) nur untergeordneten Wert besitzen; im Gegenteil, sie sind von bedeutendem Werte, dürfen aber nur mit gleichwertigen verglichen werden. Häufig wird als Grund für

das unvollständige Gefrieren eines Seebeckens von verhältnismässig geringer Tiefe, die Erdwärme angeführt. Der Verfasser schätzt einen solchen Einfluss — in Abrede will er ihn nicht stellen — nur sehr klein ein. Die weitaus grössere Einwirkung findet von oben her statt. Mit der Zeit des vollständigen Schliessens des Sees beginnt auch der äussere Einfluss zu erlahmen; je dicker die Eis- und Schneeschicht, desto kleiner wird er, das Wasserbecken wird nach und nach von jedem äusseren Einflusse abgesperrt. Dies ist nach der Ansicht des Verfassers der wesentlichste Grund, weshalb auch kleine, seichte Becken nicht vollständig zugefrieren können.

## XVI. KAPITEL.

### Transparenz und Farbe.

Die Untersuchung der Sichtbarkeitsgrenze gibt uns ein Mittel in die Hand, die Reinheit des Wassers oder seiner Trübung zu bestimmen. Die ersten wissenschaftlichen Studien über diesen Gegenstand hat Graf Xavier de Maistre im Jahre 1832 mit weissen Scheiben im Golf von Neapel durchgeführt; ihm folgte J. R. Lorenz Ritter von Liburnau mit Messungen im Quarnerischen Golf (1858 bis 1861); P. A. Secchi von Rom hat solche im Jahre 1865 an Bord der päpstlichen Corvette P« Immacolata Concezione » im Mittelmeer durchgeführt. Der Apparat, den er hierbei verwendete, bestand in einer runden Scheibe aus Zinkblech von 2,37 m im Durchmesser, die weiss angestrichen und mit drei Schnüren an einem eingeteilten dünnen Seile befestigt war.

Als Sichtbarkeitsgrenze (Sichttiefe) bezeichnet Forel<sup>1</sup> die Tiefe, bei der ein versinkender, vom Tageslicht beleuchteter Gegenstand dem normalen Auge des Beobachters entschwindet.

Leider steht dem Verfasser über diese Materie für den Märjelsee nur eine Messung zur Verfügung, die Ingenieur Ph. Gosset mit einer Scheibe von 0,20 m Durchmesser durchgeführt hat. Der Verfasser hat keine Messungen vorgenommen, sich aber gleichwohl mit der Farbe durch fleissiges Beobachten eingehend beschäftigt. Gosset hat am 12. August 1888 bei  $\frac{2}{3}$  vollem, durch das Schmelzwasser getrübttem See, die Sichtbarkeitsgrenze in einer Tiefe von nur 3,0 m vorgefunden.

Das Verschwinden eines beleuchteten Gegenstandes hängt nicht nur vom Absorptionsvermögen des Lichtes in reinem Wasser ab, sondern wird namentlich durch die Schirmwirkung der im Wasser schwebenden, von den Zuflüssen herbeigebrachten Schlammengen bestimmt. Beide Faktoren bewirken eine mit der Tiefe zunehmende Schwächung des in den See eindringenden Lichtes<sup>2</sup>. Von den vielen,

<sup>1</sup> FOREL, A. *Handbuch der Seenkunde*. Stuttgart, 1901.

<sup>2</sup> VON AUFSSESS. *Die physikalischen Eigenschaften der Seen*. Braunschweig, 1905.

durch die Zuflüsse (hauptsächlich zur Zeit der Schneeschmelze) und auch vom Ufer in das Wasser gelangenden Partikelchen sinken die schwereren zu Boden, die leichteren gelangen an die Oberfläche. Diejenigen, die das gleiche spezifische Gewicht wie das Wasser haben, bleiben im Wasser schweben. Daraus geht hervor, dass je gleichmässiger die Dichtigkeit des Wassers, desto weniger Staubkörperchen von gleichem spezifischen Gewicht im Wasser suspendiert bleiben. Nun besitzt ja das Wasser des Hintersees, infolge des Einflusses der Gletscherwand und der Eisberge auf die Temperatur des Seewassers, nur wenig verschieden dichte, übereinander gelagerte Schichten; es werden sich also fast gleichgrosse Gewichtsmengen der Staubteilchen schwebend erhalten, ihre Gesamtsumme wird kleiner und daher die Durchsichtigkeit des Wassers eine verhältnismässig grosse sein.

Hinsichtlich des Vordersees sind die Verhältnisse deshalb etwas andere, weil das Wasser mehrere, verschieden dichte, übereinander gelagerte Schichten aufweist.

Der Grad der Durchsichtigkeit unterliegt nun aber nicht nur im Laufe eines Jahres, sondern auch im Verlaufe einer Reihe von Jahren erheblichen Schwankungen, die namentlich von den Niederschlags- und Temperaturverhältnissen herühren.

Der See ist in der warmen Frühjahrszeit infolge des Tauwetters und der Schneeschmelze am stärksten getrübt. Sein Maximum fällt in der Regel mit der Zeit des grössten Zuflusses (Mai/Juni), manchmal auch etwas später, zusammen. Schon Anfang Juli lassen die Zuflüsse etwas nach (siehe Tafel 14); das Seewasser wird langsam klarer; Ende August ist eine leichte Trübung kaum mehr sichtbar. Im September ist das Wasser überraschend durchsichtig und kann nur durch starke Gewitter oder schwächere, aber andauernde Regenfälle vorübergehend wieder leicht getrübt werden. Da das Seewasser von keinen Gletscherbächen gespiesen wird und die Gletschermilch die Farbe nicht beeinflussen kann, ist die Durchsichtigkeit schon kurze Zeit nach der Schneeschmelze eine verhältnismässig grosse. Die höchste Klarheit und Reinheit und damit die grösste Durchsichtigkeit tritt natürlicherweise in der kalten Jahreszeit, im Winter ein. Selbstverständlich findet auch ein örtlicher Unterschied statt, der namentlich bei der Aufnahme des Abflusses des Vordersees deutlich zum Ausdruck gelangt. Mangels einer genügenden Zahl von Messungen, dürfen wir auf diesen Gegenstand zahlenmässig nicht näher eintreten.

Noch ist zu bemerken, dass nicht nur der von den Zuflüssen mitgebrachte Schlamm als alleinige Quelle der Trübung zu betrachten ist, sondern, dass noch andere Faktoren mithelfen. Beispielsweise hat Spring<sup>1</sup> in seinen Untersuchungen über die Durchsichtigkeit des Wassers einen Einfluss der Konvektionsströmungen nachgewiesen.

---

<sup>1</sup> SPRING. *Sur le rôle des courants de convection calorifique dans le phénomène de l'illumination des eaux limpides naturelles*, S. 100.

Mit den Durchsichtigkeitsänderungen geht Hand in Hand der Wechsel der Wasserfarbe.

Zur vergleichenden Untersuchung hat Forel eine Farbenskala aus 11 Tönen hergestellt, die vom Blauen ins Grüne übergeht, indem eine blaue und eine gelbe Lösung in verschiedenen Verhältnissen miteinander vermengt wurden.

Die blaue Lösung enthält : Schwefelsaures Kupfer 1 Teil, Ammoniak 5 Teile, destilliertes Wasser 194 Teile, zusammen 200 Teile.

Die gelbe Lösung enthält : Neutrales Chromsaures Kali 1 Teil, destilliertes Wasser 199 Teile, zusammen 200 Teile. Jede Mischung hat eine besondere Nummer. Die Skala setzt sich aus folgenden Lösungen zusammen :

	Gelbe Lösung	Blaue Lösung
N <sup>o</sup> I	0 Teile	100 Teile
N <sup>o</sup> II	2 »	98 »
N <sup>o</sup> III	5 »	95 »
N <sup>o</sup> IV	9 »	91 »
N <sup>o</sup> V	14 »	86 »
N <sup>o</sup> VI	20 »	80 »
N <sup>o</sup> VII	27 »	73 »
N <sup>o</sup> VIII	35 »	65 »
N <sup>o</sup> IX	44 »	56 »
N <sup>o</sup> X	54 »	46 »
N <sup>o</sup> XI	65 »	35 »

Die Eigenfarbe des Wassers des Märjelensees wurde ein erstes Mal von Dr. Felix-Ernest Bourcart <sup>1</sup> am 15. Juli 1903, ein zweites Mal, von Dr. Collet und dem Verfasser am 5. August 1912 bestimmt.

Die Resultate sind folgende :

- I. 15. Juli 1903, 8 h 0 a. Witterung : schön ruhig. Ort : Hintersee, unteres Ende. Temperatur des Wassers : 2,5 C°. Farbe des Wassers : Forel N<sup>o</sup> VII.
- II. 5. August 1912, 4 h 30 p. Witterung : bewölkt, das Wasser des Sees wurde durch einen starken Regenfall in der Nacht von 4. auf den 5. August ganz schwach getrübt. Ort : Hintersee, Südwestecke. Temperatur der Luft : 7,0 C°, des Wassers : 2,2 C°, 5 h 0 p. Farbe des Wassers : Forel N<sup>o</sup> IV.

Die beiden Messungen zeigen, dass die Grundfarbe des Wassers dieses Sees verhältnismässig stark variiert. Messung I entspricht einer Mischung von 27 % gelber Lösung mit 73 % blauer Lösung, Messung II einer solchen von 9 % gelber Lösung und 91 % blauer Lösung. Während der Schmelzperiode besitzt der See eine mehr grüne Farbe, die jedoch mit Beginn des Herbstes in ein immer reineres Blau übergeht.

Durch die Untersuchungen von Bunsen, Beetz, Spring, u. s. w. ist bekanntlich

<sup>1</sup> BOURCART, F. *Les lacs alpins suisses*. Genève, 1906.

der Beweis endgültig geliefert, dass die Farbe des reinen destillierten Wassers blau ist, ohne Beimischung von grün. Trotzdem nirgends in der Natur chemisch reines Wasser vorhanden sein dürfte, so finden wir doch dessen Farbe in manchen Seen. Der Grund hiefür ist darin zu suchen, dass eben das Wasser auch fast gar *keine* Schlammartikelchen, oder aber gelöste, farblose Salze, enthält. Als Beispiel erwähnen wir den Blau-See in Kandertale (Kanton Bern) und die wunderbare Farbe des Mittelländischen Meeres im Golfe von Neapel. Forel hat die Frage untersucht, ob der Uebergang der Farbe des Wassers gewisser Seen ins Grüne auf einer im Wasser gelösten oder darin schwebenden Substanz zurückzuführen ist <sup>1</sup>. Er fand, dass alle im Wasser aufgelösten Salze einen Uebergang seiner Farbe ins Grüne nicht erzielte. Nach Ausscheidung aller übrigen Substanzen, die eine genügende Erklärung für die grüne Färbung nicht geben, bleibt ihm in dieser Hinsicht nur die, von zersetzten vegetabilischen Stoffen, insbesondere aber vom Torf, herrührende Humussäure übrig. Seine Versuche mit Torf und Wasser aus dem Genfersee stellten für eine Reihe von Schweizerseen wirklich fest, dass die Humussäure im Stande ist, das Wasser grün zu färben. Nach den Beobachtungen von Soret <sup>2</sup> am Genfersee und von Hagenbach <sup>3</sup> am Vierwaldstätter- und Zürichsee wechselt die Farbe mit der Trübung durch Schlammartikelchen <sup>4</sup>. Dagegen stellt von Aufsess in einer eingehenden Untersuchung <sup>5</sup> fest, dass alle Abweichungen von der blauen Eigenfarbe des Wassers einzig und allein als Farben von Lösungen verschiedener Substanzen, die dem Wasser auf irgend eine Weise zugeführt werden, aufzufassen sind.

F. Bourcart, welcher in seiner preisgekrönten Arbeit über die alpinen Seen der Schweiz <sup>6</sup> den Grossteil unserer alpinen Seen auf ihren chemischen Gehalt und ihre Farbe untersucht hat, gibt uns am Ende seines Kapitels über die Farbe des Wassers folgende interessante Aufklärungen :

« Die Analyse der Seewasser, wie wir sie im Laboratorium ausgeführt haben, erlaubte uns nur, die Dosis der durch die Permanganate oxydierten organischen Stoffe zu bestimmen. Daraus folgt, dass wir nicht immer eine ausgeprägte Uebereinstimmung zwischen der Säuerbarkeit (Oxydabilité) und der Farbe herausfinden konnten. Trotzdem sehen wir, dass für Seen, die nur wenig säuerbare Substanzen (Stoffe) enthalten, die Farbe im Allgemeinen mehr gegen blau sich nähert, als für jene Seen, die an solchen reich sind. Die Seen mit felsigem Ufer, deren Einzugsgebiet keine Vegetation aufweist, und hauptsächlich solche, die durch Quellen

<sup>1</sup> FOREL, F. *Transparenz und Farbe des Bodenseewassers in Bodensee-Forschungen aus Anlass der Herstellung der neuen Bodenseekarte*. Lindau, 1893.

<sup>2</sup> SORÉT. Archives des Sciences phys. et nat. de Genève, 1869 und 1870.

<sup>3</sup> HAGENBACH. " " " " " 1870.

<sup>4</sup> GROLL, M. *Der Oeschinensee im Berner Oberland*. Bern, 1904.

<sup>5</sup> VON AUFSSESS, O. *Die physikalischen Eigenschaften der Seen*. Braunschweig, 1905.

<sup>6</sup> BOURCART, F. *Les lacs alpins suisses*. Genève, 1906.



gespriesen werden, sind blauer als die Becken, bei denen das Verhältnis der organischen Substanzen durch das reichliche Auftreten von Erd- und Sumpfboden vergrössert wird. »

Dr. L. W. Collet hatte anlässlich seiner Weltreisen reiche Gelegenheit sich dem Studium der Farbe der Seen zu widmen. Seine Schlussfolgerungen, die er unter Zuhilfenahme der Arbeiten von Spring, Bourcart und von Aufsess in einer noch nicht veröffentlichten Arbeit zusammenfasste, lauten folgendermassen :

« 1. Die Veränderung der blauen Farbe der Seen, Flüsse und Meere kann, abgesehen von der Wirkung der Organismen auf zwei Ursachen zurückgeführt werden, nämlich auf eine physikalische : Ablenkung der Lichtstrahlen durch die im Wasser suspendierten Teilchen, und auf eine chemische : verursacht durch die Lösung von Humusstoffen.

2. Die aufgelösten Kalziumverbindungen haben auf die Farbe keinen Einfluss, besitzen aber, sobald sie sich neben den auflösenden Eisen- und Humusverbindungen befinden, eine klärende Wirkung.

3. Die aufgelösten Eisenverbindungen vermögen die blaue Farbe des Wassers in grün, gelb und sogar in braun zu verwandeln, sobald keine Kalzium- und Humusverbindungen vorhanden sind, was in der Natur auch sehr selten der Fall ist.

4. Die aufgelösten Humusverbindungen üben eine sehr grosse färbende Wirkung aus, sobald sie die Kalzium- und Eisenverbindungen, die sie niederzuschlagen vermögen, überwiegen (Seen von Schottland).

5. Je nach der physikalischen Art der Trübung (beispielsweise durch ultrafeine Partikelchen von Kieselerde in ultrafeiner Suspension) verschwindet die Undurchsichtigkeit allmählich, ohne dass die durch die Ablenkung der Lichtstrahlen erzeugten Farben erscheinen; oder im Falle einer colloidalen Lösung stellt sich die Durchsichtigkeit wieder her, nachdem alle durch die Ablenkung der Lichtstrahlen erzeugten Farben, nämlich vom rotbraun (Rio de la Plata) bis zum blau (gelb, grüngelb, grün und blaugrün) erschienen sind. »

Die *scheinbare* Farbe des Sees ist eine ungemein wechselvolle. Sie ist hauptsächlich abhängig von der Farbe der Gehänge, des Himmels und namentlich vom Zustand der Wasseroberfläche. Vom Ufer aus betrachtet, erscheint die Oberfläche in allen Nuancen zwischen azurblau und tiefgrün. Die Reflexion bei spiegelglattem See ist eine äusserst vollkommene, namentlich beim Vordersee. Jede Wellenbildung ändert sogleich die Farbe. Das Spiegelbild wird verschwommen und verändert die scheinbare Farbe des Sees. Malkünstler und Künstlerinnen, die diesen schönen Flecken Erde auf Leinwand oder Papier verewigten, klagten dem Verfasser oftmals, wie schwer es sei, diese stets wechselnde Farbenpracht festzuhalten. Kaum habe das Auge die richtige Farbe erkannt und der Pinsel das seinige getan, so harmoniere die Farbe des Bildes mit derjenigen der Natur bei weitem nicht mehr.

## XVII. KAPITEL.

### Aufzeichnungen über Seeausbrüche und ihr Verhalten im Gebiet des Aletschgletschers, im Gebiet der Massa und der Rhoneebene.

Eine der ältesten Sagen von Naters erzählt uns von einem schrecklichen und mächtigen « Rollibock », der die Gestalt eines Bockes mit grossen Hörnern und feurigen Augen gehabt haben soll und dessen Leib statt der Haare mit Eisschollen behängt gewesen sei, die bei seinem stürmischen Lauf ein furchtbares Klingeln verursachten. Wenn es Verwegene gab, die den Bock herausgefordert oder über ihn gespottet hatten, so brach er plötzlich und mit so schrecklichem Getöse aus dem Aletsch hervor, dass auch der Schnellste ihm kaum entfliehen konnte. Land, Steine und Tannen soll er mit seinen Hörnern aufgerissen und hoch in die Luft geschleudert haben.

Das poetische Altertum hat unter diesem schrecklichen Bilde den Ausbruch des « Märjelen-Sees » vorstellen wollen, der drei Tage lang sich durch den Aletschgletscher den Weg bahnen musste und laut der Aussage der Aletsch-Hirten ein furchterregendes Rauschen, Krachen, Gepolter und Klingeln in den grausigen Spalten und engen Eisgewölben verursachte und wenn die wütenden Gewässer die Abgründe des Gletschers und des schauerlichen Massa-Chins durchtobt hatten, sich verheerend über die Felder des Walliserlandes ergossen und eine allgemeine Ueberschwemmung verursachten <sup>1</sup>.

Genauere Aufzeichnungen von älteren Ausbrüchen und deren Folgen finden sich jedoch selten und nur vereinzelt.

Eine bittere Klage erhebt Pater Joseph Zurbriggen, Benefiziat zu St. Anton in Saas über das Wallis: « Niemand will schreiben! Man weiss sehr Weniges von dem Vaterlande und dieses Wenige meist aus fremden Schriftstellern, ja man

---

<sup>1</sup> Hochw. TSCHHEIMEN, M. *Walliser-Sagen*. Sitten, 1872.

weiss nur, dass im Wallis Manches vorbeigegangen, das verdient hätte, ganze Bücher davon zu schreiben, man weiss nur, dass mehrere Männer im Wallis gelebt, von denen ein einziger Stoff genug gegeben hätte zu einem grossen Buche. Aber Niemand will schreiben! Dies ist die Klage, die schon vor vielen hundert Jahren ist geführt worden<sup>1</sup>. »

Das nämliche trifft auch zu, für die frühern gewaltigen Ausbrüche des Märjensees und deren Verheerungen an der Massa und im Rhonetal. Aufzeichnungen von historischem Werte fehlen fast ganz. Das wenige, das vorhanden ist und die Aussagen, die dem Verfasser von zuverlässigen Personen gewöhnlich in schlichtester Form mitgeteilt worden sind, sollen nun der Nachwelt erhalten bleiben.

In Nachfolgendem geben wir sämtliches uns bekannt gewordene Material über die Ausbrüche des Sees wieder und gruppieren dasselbe in drei Abschnitte, nämlich:

A. Die Zustände des Sees und der Gletscherwand während der Ausbrüche.

B. Das Verhalten des ausbrechenden Wassers auf den Grossen Aletschgletscher:

C. Die Wirkungen der Ausbrüche auf die Flussgebiete der Massa und der Rhone.

*Ausbruch des Sees am 15. August 1841.*

Quelle: Studer Gottlieb. « Topographische Mitteilungen aus dem Alpengebirge ». Bern und St. Gallen, 1843.

A. « Der See war seit gestern bedeutend kleiner geworden, weil er im Gletscher einen Ausbruch gefunden hatte. Die meisten Eisblöcke lagen auf dem trockenen Grunde. An der hohen Gletscherwand hatten sich drei mächtige Portale gebildet und von Zeit zu Zeit vergrösserten sie sich durch das Einstürzen unterhöhlter Eismassen, von deren Sturz ein gewaltiger Schall weithin donnerte. »

Ueber das Verhalten des Grossen Aletschgletschers und die Wirkungen auf die Flussgebiete der Massa und der Rhone sind keine Aufzeichnungen vorhanden.

*Ausbruch des Sees am 2. August 1872.*

Quelle: Alpenpost. Bd. III. « Repetitorium der gesamten Alpenkunde ». Gegründet und herausgegeben von Walter Senn. Nr. 10. 8. September 1872. S. 133.

Abschrift aus « Times »:

« Wir stiegen zum See nieder, als wir auf der Hälfte des Weges ein schreckliches Getöse von der Seite des Gletschers her hörten. Ungeheure Eisblöcke hatten sich vom obern Theile losgelöst und stürzten mit furchtbarem Krachen in den See. Diese Einstürze wiederholten sich einige Zeit und die Eisblöcke lösten sich einer um den andern von dem Gletscher auf der Seite des Eggishorns ab, so dass nach

<sup>1</sup> Hochw. P. Sigismund FURRER. *Geschichte vom Wallis*. Sitten, 1850, S. VI.

kurzer Zeit der Anblick sich vollständig geändert hatte. Diese glänzende Oberfläche, welche noch vor kurzem in hellem Blau leuchtete, bietet jetzt nur noch eine Masse pulverisierten Eises dar. Der übrige Teil des Gletschers blieb unverändert.

Von unsrer Höhe herab schien es uns, als hätte der See sich gesenkt, und beim Nähertreten konnten wir uns von der Richtigkeit unserer Ansicht überzeugen. Während wir diese Erscheinung mit Erstaunen betrachteten, ertönte ein neues Getöse, eine neue Eismasse löste sich ab und stürzte krachend in den See. Diesmal war der ganze, dem See gegenüberliegende Gletscher heruntergefallen. Das Eis brach nicht mehr in Blöcke, sondern *es bildeten sich Spalten oben am Gletscher, die sich immer mehr erweiterten und bis auf den Grund ausdehnten*, sodass Massen Eis von der Höhe des Gletschers in den See stürzten und ihm bis in seine Tiefen aufwühlten und durch ihre Stösse das Wasser unter dem Gletscher mit furchtbarem Getöse vorwärts drängten. Der See verschwand so schnell, dass wir trockenen Fusses gehen konnten, wo noch am Morgen mehrere Fuss hohes Wasser gestanden hatte. Zwei Tage nachher bestiegen wir das Eggishorn und durchwanderten das Bett des Sees; es war von Eisblöcken angefüllt, die vom Gletscher herabgefallen waren, aber kein Tropfen Wasser war mehr zu sehen. »

Ueber das Verhalten des Grossen Aletschgletschers und die Wirkungen auf die Flussgebiete der Massa sind keine Aufzeichnungen vorhanden.

#### *Ausbruch des Sees am 18. und 19. Juli 1878.*

Quelle : « Bericht des Baudepartements des Kantons Wallis an das eidg. Departement des Innern ». September 1883.

Ebenso von Salis, F. « Jahrbuch S. A. C. » 14. Jahrgang, 1878-1879.

« Am 18. Juli, morgens circa 8 Uhr, begann der Ausbruch auf unsichtbare Weise, der See sank bis abends 4 Uhr nur um 1 Meter, bis morgens früh den 19. Juli um 4 Meter unter den höchsten Wasserstand und erst im Laufe dieses Tages (19. Juli) bis nachmittags halb 3 Uhr entleerte sich die grosse Masse. Die Sektion der Seesenkung um 1 Meter entspricht der Wassermenge von 400 000 (443 000) <sup>1</sup> Kubikmetern, diejenige um 4 Meter entspricht der Wassermenge von 1 530 000 (1 689 000) <sup>1</sup> Kubikmetern. Die ganze ausgeflossene Wassermenge beträgt 9 300 000 (10 707 800) <sup>1</sup> Kubikmeter. Die durchschnittliche Abflussmasse des 19. Juli per Sekunde beträgt 236.6 (274,7) <sup>1</sup> Kubikmeter. »

B. Keine Aufzeichnungen.

C. *Wirkung der Flutwelle auf die Rhonestände.* « Die Anschwellung, welche die Wasserfluth aus dem See in der Rhone veranlasste, betrug bei Brieg und bei Leuk circa 1.50 Meter und verursachte keinen Schaden, weil sie glücklicherweise keinen hohen Wasserstand antraf, was nur 3 Tage später der Fall gewesen wäre. »

<sup>1</sup> Vergleiche : *Morphometrie des Märjelensees*, Seeinhalte 1878. Kapitel VII, Seite 56.

*Ausbruch des Sees vom 1.-4. September 1887.*

Quelle : Ingenieur Gosset, Bern, befand sich zur Zeit des Ausbruches auf Hotel Jungfrau und hatte Gelegenheit den Ausbruch mit anzusehen. Seine Studien über den Märjelensee hat er im Jahrbuch des S. A. C., XXIII, 1887, Seite 340-354 unter dem Titel « Der Märjelensee » veröffentlicht. Das gesamte Originalmaterial, welches noch viele nicht veröffentlichte Beobachtungen dieses Gletscherforschers enthält, ist mir in liebenswürdiger Weise von Frau Gosset in Wabern bei Bern zur Verfügung gestellt worden, was hiemit öffentlich verdankt sei.

**A. — Beobachtungen am See.**

*27. August 1887.* Der Wasserspiegel liegt 0.80 m höher als die untere natürliche Hochwasserlinie (Vegetationsgrenze) des Sees. (Beobachtung von Ingenieur Ph. Gosset.)

*1. September 1887.* Zwischen 6 und 7 Uhr morgens beginnt der See sich zu entleeren. Er sinkt in 12 Stunden 0.15 m (Beobachtung durch den Senn der Märjelenalp).

*2. September 1887.* Der See sinkt um 1.0 m (Beobachtung durch den Senn der Märjelenalp).

*3. September 1887.* W. Borchardt, ein in Zürich lebender Berliner, kommt nachts 12 h 30 a von einer Jungfraubesteigung beim Märjelensee vorbei und beobachtet eine Senkung des Sees von 2-3 m. — Der See sinkt um 3.0 m (Beobachtung durch den Senn der Märjelenalp).

*4. September 1887.* Der See entleert sich so weit, dass das trocken gelegte Seebecken zwischen dem Vorder- und Hintersee eine Länge von 120 m hat. Der entleerte See bietet den nämlichen Anblick wie nach den Ausbrüchen der Jahre 1884 und 1885, nur mit dem Unterschied, dass viel mehr Eis gestrandet ist. 1887 ist der ganze Seeboden, der östliche wie der westliche Arm, mit hunderten von Eisblöcken bedeckt gewesen, während in den früher erwähnten Jahren nur einzelne Eisblöcke den Seeboden zierten.

*5. September 1887.* Ein Engländer durchquert morgens 8 Uhr das Seebecken und legt einen Stein so an den Rand des Sees, dass dessen Oberkante den Wasserspiegel berührt. Abends 4 Uhr hat sich der Seespiegel um 0.03 m gesenkt. Grosse Einstürze von Eismassen am Seerand.

*10. September 1887.* Nämliche Höhe wie am 5 September (Beobachtungen von Ph. Gosset).

*15. September 1887.* Ingenieur Ph. Gosset, auf der Reise nach dem Finster-

aarhorn, lässt um 3 h 0 p durch Alexander Anderegg einen Stein auf die Höhe des Seespiegels legen.

17. *September 1887*. Ingenieur Ph. Gosset misst um 10 h 0 a den Höhenunterschied des Seespiegels und stellt eine Hebung desselben um 0.16 m fest.

### B. — Beobachtungen auf dem Grossen Aletschgletscher.

4. *September 1887*. Joseph Sideler, auf dem Weg von der Riederalp nach der Belalp, findet den linken Teil des Grossen Aletschgletschers unter Wasser, den rechten dagegen frei.

### C. — Beobachtungen an der Rhone in Brig und Sitten.

4. *September 1887, abends*. Die Entleerung des Märjelensees durch den Aletschgletscher hat am 4. September abends eine Erhöhung des Wasserstandes der Rhone am Pegel in Brig von 1.11 auf 2.80 m = 1.69 m und in Sitten eine solche von 2.00 auf 3.20 m = 1.20 m verursacht. (Schweizerische Bauzeitung, Band X, 1887, Nr. 12.)

Im « Bund » vom 8. September 1887 steht über den vorerwähnten Ausbruch folgendes geschrieben :

« Der von den Eismassen des Aletschgletschers umschlossene Märjelensee (2350 m) hat in der Nacht zum 4. ds. den Gletscher durchbrochen und seine trüben Gewässer unter Krachen und Poltern durch die Massa, den Abfluss des Aletschgletschers, der Rhone zugeführt. In Brig wuchs der Strom, der eine Menge Baumstämme mit sich führte, in kurzer Zeit um einige Fuss. Glücklicherweise hat sich die Rhonekorrektur, das grosse Werk der Walliser Volkskraft und schweiz. Brüderliebe, glänzend bewährt. »

Ueber den nämlichen Ausbruch schreibt die « Nouvelle Gazette du Valais », samedi 10 septembre 1887, Nr. 73 :

*Eggishorn :*

C. « Le lac de Märjelen s'est complètement vidé dans la nuit du 3 au 4 septembre. Il en est résulté une crue rapide du Rhône. Heureusement les travaux de correction exécutés le long des rives du fleuve ont prévenu un grave désastre. Les eaux du lac se sont précipitées avec violence dans la plaine, et à Brigue le Rhône a brusquement monté de plusieurs pieds. Les digues ont résisté au choc et l'inondation a été évitée. »

Ebenfalls über den gleichen Ausbruch berichtete F. Schlatter, Biel, in einem Zeitungsartikel, den Ph. Gosset in das Journal der Victoria-Hütte eingeklebt hatte, folgendes :

A. « Durch die Verschiebung des Gletschers sind an der felsigen Sohle des

Gletschers Oeffnungen entstanden, durch welche der See ausgeronnen ist. Diese sind gut sichtbar. Im Grunde desselben liegen gewaltige Eisklötze. Ich habe einen solchen gesehen von ca. 60 m Grösse. »

*Ausbruch des Sees vom 24. Juni 1889.*

Quelle : « Gazette du Valais », mercredi 26 juin 1889.

*Lac de Märjelen :*

C. « Dans l'après-midi de lundi, le petit lac glacier de Märjelen s'est vidé subitement. On s'attendait à une grosse crue du Rhône pour le soir. Mais l'on a heureusement été quitte pour la peur, le niveau du fleuve ne s'étant pas élevé d'une manière inquiétante jusqu'ici. »

*Ausbruch des Sees vom 24./25. Juli 1890.*

Quelle : « Gazette du Valais », samedi 2 août 1890, N° 42.

*Lac de Märjelen :*

A. C. « Le petit lac de Märjelen, situé sur le bord gauche du glacier d'Aletsch au pied de l'Eggishorn, s'est vidé vendredi dernier entre 3 et 4 h. du matin, mais ses eaux ne sont parvenues dans le Rhône que très tard dans la soirée.

C'était un spectacle fort intéressant, que de voir les flots de ce lac mêlés à des quartiers de rochers et à des troncs d'arbres se précipiter dans les crevasses du glacier, d'où ils étaient projetés à une grande hauteur pour retomber de nouveau, plus bas, dans les abîmes de glace de l'Aletsch. Avant d'arriver dans la vallée du Rhône, les eaux avaient à traverser une étroite gorge rocheuse large en quelques endroits de cinq à six mètres à peine, et contre les parois de laquelle a été fixé un de ces canaux d'irrigation nommés bisse. Celui-ci a été malheureusement détruit sur un assez long parcours, de sorte que les plantations qu'il devait fertiliser deviendront sans doute stériles si la sécheresse dure quelque peu. Deux communes sont de ce fait sensiblement atteintes. Elles auront en outre à supporter les frais de réparation du bisse, qui ne laisseront pas que de s'élever à une assez forte somme, vu la difficulté des travaux : les ouvriers occupés à la construction de ces aqueducs aériens sont obligés de se faire suspendre au moyen de cordes pour effectuer leur besogne, si périlleuse qu'un prêtre se rend ordinairement avec eux pour réciter des prières, tandis qu'ils travaillent au-dessus de l'abîme.

A part les dégâts du bisse, les eaux du lac de Märjelen se sont écoulées sans causer de dommage aux propriétés. Le dernier écoulement du lac avait eu lieu en juin 1889. »

*Ausbruch des Sees vom 8. bis 11. Juli 1892.*

Quelle : « Bericht des Baudepartementes des Kantons Wallis an das schweizerische Departement des Innern vom 15. Juli 1892 ».

C. « Nous avons l'honneur de porter à votre connaissance les faits suivants, survenus entre le 8 et le 11 juillet et concernant le régime des eaux du Rhône.

Dans la journée de vendredi, 8 courant, le niveau du lac de Meryelen a commencé à baisser. La baisse n'a été d'abord que de 1.00 m<sup>1</sup> et jusqu'à samedi, à 10 heures du matin, que de 3.40 m<sup>2</sup>, mais à partir de ce moment le lac s'est écoulé rapidement et le soir il était complètement vide<sup>3</sup>.

Le lac était à la cote 488.14 m<sup>4</sup> de notre projet d'abaissement des eaux du lac de Meryelen, dépassant ainsi d'environ 7 mètres la cote de l'entrée occidentale du tunnel.

Cet écoulement rapide a provoqué une hausse immense et subite des eaux du Rhône mais heureusement, de peu de durée. Au limnimètre de Brigue, la cote de 5.70 m fut un instant atteinte dans la soirée de samedi, dépassant ainsi de 2 m la cote ordinaire des hautes eaux; à Viège, à Lalden et Baltschieder, les eaux du Rhône mouillèrent la couronne de l'arrière-bord, ainsi qu'à St-Léonard sur le trajet où l'arrière-bord n'a pas encore été exhausé.

Au point de Sion, la crue a atteint son maximum entre 1 et 2 heures du matin, heures auxquelles le limnigraphe accusait 6.60 m, soit la lecture maximum. D'après les traces laissées par les eaux, il y a lieu d'ajouter à cette lecture 0.20 m pour obtenir le niveau atteint par les eaux.

Les eaux de 1883 ont été ainsi dépassées de 0.20 m (cote 492,186 m contre 491,986 m).

Une petite brèche (13 mètres de longueur) s'est produite alors à Aproz, rive gauche, commune de Sion. Les dégâts sont insignifiants et la brèche était provisoirement fermée dans la journée du 11 déjà.

En amont du pont d'Aproz, les travaux de prolongement et d'exhaussement des épis ont donné d'excellents résultats au point de vue de la concentration du courant d'eau; mais l'exhaussement des douves devra être exécuté à une plus grande hauteur que ne l'indique le projet de 1884, car les exhaussements exécutés en 1884 et 1885 sur la rive gauche sont actuellement insuffisants. L'exhaussement de la douve droite était prévue pour la campagne 1892/1893. Les eaux ont coulé sur tout ce trajet à pleins bords, et l'eau morte heureusement, a mouillé le couronnement de la douve sur plusieurs points.

<sup>1</sup> 1.00 m = 2358.44 m = 69.22 du limnimètre.

<sup>2</sup> 3.40 m = 2356.04 = 66.82 m du limnimètre.

<sup>3</sup> 2289.22 m = 0.00 m du limnimètre.

<sup>4</sup> 488.14 m = 2359.44 m = 70.22 m du limnimètre.



Le pont de Saillon a aussi été recouvert par les eaux et endommagé, quoique la crue s'y soit déjà moins fait sentir qu'à Sion et que de là en aval, les eaux soient restées en dessous des eaux de 1883. »

B. Hinsichtlich des Verhaltens des ausbrechenden Sees gegenüber dem Grossen Aletschgletscher telegraphiert Salzmann, Präsident der Gemeinde Naters von der Belalp aus am 9. Juli 1892 3 h 52 p folgendes :

« Märjelensee strömt seit einer Stunde und noch fortwährend *über* den Aletschgletscher herunter. »

C. In Bezug auf die in der Rhone verursachte Flutwelle sei auf Tafel 11 verwiesen.

Ein gewisser Cretton in Brig telegraphiert am 9. Juli 12 h 25 p an das Bau-departement Sitten folgendes :

« Lac se déverse, crue 1.50 m environ. »

Brigadier in Brig telegraphiert am nämlichen Tage an Staatsrat Chappex in Sitten :

« Rhone wird immer höher. »

Die « Gazette du Valais » berichtet in ihrer Nummer 57 vom Samstag, den 16. Juli 1892 über den nämlichen Ausbruch folgendes :

*Crue d'eau.*

« Ces jours derniers, par suite du brusque écoulement du lac Märjelen survenu dans la soirée de samedi le Rhône a subi une hausse rapide dans la plaine, comme cela a toujours lieu en pareil cas. Tandis qu'à la station de Granges, il atteignait le niveau de la voie ferrée, à Sierre il menaçait les terrains en amont du pont à l'entrée du bois de Finges, où les hommes de manœuvre, réunis à la hâte, ont dû travailler toute la nuit autant pour préserver le pont que pour lutter par des endiguements contre la violence de son courant.

Dimanche matin, il avait baissé de près d'un mètre.

Le Rhône a débordé près de Granges et a un instant menacé la voie ferrée sur un parcours de quelques cents mètres. A Viège, la rivière du même nom avait considérablement grossi et menacé de déborder. »

Kaplan Bamatter, Naters, berichtet in seinen « Aufzeichnungen über den Ausbruch des Sees im Juli 1892 » folgendes :

« Dieses Jahr brach der Märjelensee aus und verheerte ziemlich vieles. So ziemlich am meisten litten dabei die Geteilen der Wasserleitung von Mörel, Bitsch und Ried deren Schaden im Massakinn an der Wasserfuhr gross war. In den Feldern von Naters schadete es auch viel. Die Pfeiler der provisorischen Rhonebrücke waren noch da, an diese drängten sich Holz zwischen welchen Steingeröll und abgerissene Stauden, hinweggeschwemmtes Heu und Korn dem Wasser den Durchgang wehrte und so ein See entstand der beinahe bis ans Dorf langte. Das abgeschnittene Korn war entweder fortgeschwemmt oder eingesandet. Die Maisstengel entwurzelt, die schönen Kartoffeln und das Heu zum Teil eingesandet, zum Teil

aufgegraben und fortgespült. Die geschwemmten Früchte fingen teils an zu faulen, teils blieben sie ohne Wachstum. Die Ernte daselbst war also dünn. »

*Ausbruch des Sees vom 15./16. August 1907.*

Quelle : « Gazette du Valais », N° 97, jeudi 22 août 1907.

*L'eau dévastatrice.*

C. « Les orages de la semaine dernière ont eu pour conséquence le débordement du lac de Märjelen. La Massa en fut subitement grossie dans une très forte proportion et détruisit les travaux faits au pied du glacier d'Aletsch pour la prise d'eau qui alimente le bisse Ried-Merel.

Une vague énorme descendit jusqu'au Rhône, causant au confluent de la Massa une inondation assez étendue.

Les dégâts matériels sont considérables. Les travaux de maçonnerie détruits au pied du glacier avaient coûté beaucoup de temps et d'argent. »

*Ausbruch des Sees vom 22./23. September 1909.*

Quelle : Beobachtungen des Verfassers.

Die Wasserspiegellhöhe des Sees erreichte am 21. September 1909 4 h 10 p einen Pegelstand von 56.72 m.

Bianco Clovis, Träger des Hotel Jungfrau, beobachtete am 22. September 1909, 12 h 0 a, auf seiner Rückreise von der Konkordiahütte nach dem Hotel Jungfrau, eine Absenkung des Sees um 0.4 m (Pegelstand 56.32 m). Am nämlichen Tage, um 9 Uhr abends, erhielt der Verfasser auf telegraphischem Wege in Binu (Hauptort des kleinen Seitentales der Rhone bei Fiesch) Kenntnis von der Absenkung und dem voraussichtlichen Ausbruche des Sees. Nach einem nächtlichen Gewaltmarsche erreichte er am 23. September 1909, morgens um 7 h 47 a, den See bei einem Pegelstande von 51.81 m. Mithin hatte sich der See seit seinem maximalen Stande schon um  $56.72 - 51.81 = 4.91$  m gesenkt. Glücklicherweise besorgte das Personal des Hotel Jungfrau auf Veranlassung des Besitzers, Herrn Emil Cathrein, in der Zwischenzeit die Beobachtungen, so dass wir für diesen Ausbruch über ein vollständiges Beobachtungsmaterial verfügen. Der See hatte sich nämlich am 22. September 1909 von 12 h 0 a bis 3 h 0 a um  $56.32 - 56.01 = 0.31$  m  $= 0.103$  m pro Stunde, von 3 h 0 p bis 7 h 30 p um  $56.01 - 55.30 = 0.71$  m  $= 0.158$  m pro Stunde und von 7 h 30 p bis 7 h 47 a des andern Tages (23. September 1909) um  $55.30 - 51.81 = 3.49$  m  $= 0.285$  m pro Stunde gesenkt. Schon diese wenigen Daten zeigen, dass die Absenkung des Sees rascher vor sich geht.

Bei unserer Ankunft lagen am oberen Ende des Hintersees, sowie am Fusse des Eggishornes und Strahlhornes, auf dem vom See seit kurzer Zeit verlassenen Boden, mächtige Eisberge. Ein unheimliches Rauschen vom Gletscherrande her,

ein Gepolter, ein Krachen wie Flintenschüsse und Kanonendonner, vergewisserte uns, dass das Wasser des Sees wirklich im Begriffe stand, die majestätische Eiswand zu überwältigen und eine schwache Stelle derselben auszunützen um dem engen Felsenkessel zu entrinnen. Margelisch, des Verfassers steter Begleiter, übernahm den Wasserstands-Beobachtungsdienst, währenddessen der Verfasser selbst seine volle Aufmerksamkeit dem sich jeden Moment wechselnden Naturwunder zuwandte. Was sich hier dem Auge bot, spottet jeder Beschreibung.

10 h 10 a. Eine gewaltige Eismasse löst sich vom Gletscher, stürzt mit furchtbarem Krachen in den wütend gewordenen See und taucht unter, um sich unmittelbar darauf in seiner neuen, glanzvollen Gestalt zu zeigen. Wie ein Betrunkener neigt sich der Eisberg bald nach rechts, bald nach links, bis er endlich in seine Gleichgewichtslage kommt. Die durch diesen grossen Gletschereinsturz hervorgerufenen Wellen verursachen noch viele kleinere Nachstürze. Die Höhe der Wellen, die nach diesem Einbruche das Ufer des Sees bespülen, erreichen einen Betrag von 3 m.

10 h 45 a (Pegelstand 50.95 m). Der unter Wasser gelegene Teil der Gletscherwand tritt immer deutlicher zu Tage. Der Wärmegehalt des Seewassers hat das Gletschereis längs seiner Spalten bis weit in den Gletscher hinein aufgelöst. Prismen, runde Säulen, Treppen, ungeheure Löcher, die das Wasser ausgefressen, bieten dem Auge ein feenhaftes Bild. Tiefblau ist das Eis, tiefgrün der See, glänzend sind die schwimmenden Eisberge. In den Eishöhlen hört man ein dumpfes Tosen und Krachen. Das Rauschen des Wassers an der Absturzwand ist deutlich vernehmbar. Das niederrieselnde Wasser bildet im Eise senkrechte Rinnen. Das Abbrechen der Eisberge im innern der Oeffnungen und die damit verbundene Wellenbildung tritt oft gar nicht zu Tage, was auf eine ganz beträchtliche Tiefe dieser Löcher schliessen lässt.

Die Absenkung des Sees geht nur allmählich vor sich. Sie ist aus der nachfolgenden Zusammenstellung der durchgeführten Pegelbeobachtungen deutlich ersichtlich.

24. *September 1909.* Die Absenkung des Sees schreitet langsam weiters.

25. *September 1909.* Ungeheure Eisblöcke lösen sich vom obern Teil der Gletscherwand ab. Die Wellen, die durch diese Einstürze entstehen, schleudern eine Unmasse von Eisblöcken an die Ufer. Die Brandung vermag Steinblöcke weg zu wälzen.

10 h 50 a. In der Mitte der Gletscherwand stürzt eine ungeheure Eismasse auf einmal in den See. Nach wenigen Augenblicken zerfällt sie in tausend Stücke. Infolge der Veränderung des Druckes erweitern sich die Spalten des Gletschers zunächst dem See.

26. *September 1909.* Die am Ufer des Sees, auf trockenem Böden liegenden Eisberge, verändern langsam ihre Gestalt. Bei näherem Zusehen trennen sich grössere Eisberge in parallelen Schichten. Versucht man mit dem Eispickel in die

Spalten einzudringen, so gelingt es häufig grössere Teile von einander zu trennen. Nimmt man irgend ein kleineres Eisstück in die Hand, so lassen sich die einzelnen Gletscherkörner, die eine Grösse von 5-8 cm aufweisen, leicht trennen.

27. *September 1909.* Am Fusse des Eggishornes, am Rande des Aletschgletschers, wo das Eis stellenweise nicht fest auflag, sondern hohe Wölbungen bildete, ist das Rauschen des ausbrechenden Wassers deutlich hörbar.

300 m unterhalb des Sees, am Fusse der Eggishornkette, hat der dem See entströmende Bach einen offenen Kanal im Eise des Gletschers erodiert. (Siehe Tafel 7, Fig. 8.) Das Wasser des Sees hat sich längs der Randklüfte langsam einen Weg gesucht und ist syphonartig von einer Höhlung zur andern, von einer Spalte in die andere vorgedrungen. Durch die Ausfressungen an der Gletscherwand, durch das Abschmelzen des Gletscherrandes infolge der Ausstrahlung des durch die Sonne erwärmten felsigen Ufers, werden einzelne Spalten zu geschlossenen Leitungen miteinander verbunden. Die Wasserstände in den einzelnen Spalten, denen der Charakter von Piezometerröhren zukommt, bilden anfänglich eine horizontale Linie. Wird in einer oder mehreren der vielen mit Wasser gefüllten Spalten durch fortschreitende Ausfressungen oder durch die Bewegung des Gletschers ein mehr oder weniger grosser Abfluss ermöglicht, so senkt sich der Wasserspiegel in den Piezometerspalten nach einer geneigten Geraden, die der hydraulischen Drucklinie gleichkommt. Je nach der Grösse des Widerstandes beim Eintritt in die Spalten und im Innern der einzelnen Verbindungs-Eisröhren ist die Neigung der hydraulischen Drucklinie und damit auch die Differenz der einzelnen Wasserspiegelhöhen in den Spalten eine verschiedene. (Vergleiche Tafel 40.)

28. *September 1909.* — Mit Hilfe von zwei Führern gelingt es dem Verfasser an einem Gletscherseil längs einer Randklüft zum Seebach hinunterzukriechen. (Siehe Tafel 7, Fig. 4). Der Bach fliesst auf eine weithin sichtbare Strecke am Fusse der Randspalte zwischen dem Fels und der blauen Eismasse des Gletschers talwärts.

Ein Bild über die Art und Weise der Absenkung des Sees im September 1909 liefert uns Tafel 7. Fig. 6 stellt eine Situationsskizze der Ueberlaufstelle dar, die den Namen « Kühle Ecke » trägt; daraus geht die Lage der Profile 8, A, B, C und D hervor. Sie geben uns ein Bild über die Gestaltung des Gletschers und der Felspartie zunächst der Ueberlaufstelle. Fig. 5 stellt das Längenprofil des Talweges des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishornes dar, und zwar für den Zustand am 28. September 1909, nach erfolgter Entleerung des kleinen Sees, aber mit Angabe der maximalen Wasserstandshöhe des durch das ausbrechende Wasser des Märjelensees entstandenen Eis-Sees. Wie lange dieses Interimsseelein existiert hat, lässt sich nicht genau nachweisen; lange sehr wahrscheinlich nicht.

Die auflösende Tätigkeit des Wassers, die auch eine genaue Bestimmung der maximalen Seehöhe (siehe Tafel 39 und 40) ermöglicht, hat eine Verbindung mit der nächstliegenden Spalte herbeigeführt und dem Wasser des kleinen Sees Abfluss

gewährt. Die erodierende Wirkung des ausbrechenden Wassers formte im Gletscher einen eigentlichen Kanal, dessen Wände im tiefblauen Lichte erstrahlten. Um nun den Beweis zu erbringen, dass das ausbrechende Wasser sich einzig und allein nur dieses Kanals bediente, ist eine Wassermessung im Kanal vermittelt Schwimmer durchgeführt worden. Die Resultate sind folgende :

Datum der Messung : 28. September 1909.

Dauer der Messung : 2 h 30 p — 2 h 58 p.

Mittlere Wasserspiegelhöhe im Messprofil (Profil 8, Tafel 7)  $H_m = 2330.27$  m.

Wasserspiegelbreite im Messprofil  $b = 3.00$  m.

Maximale Wassertiefe im Messprofil  $t \text{ max.} = 0.50$  m.

Durchflussfläche  $F = 1.349$  m<sup>2</sup>.

Maximale Oberflächengeschwindigkeit  $V_o \text{ max.} = 2.50$  m.

$V_m = 1.87$  m.

Wassermenge pro Sek.  $Q = 2.528$  m<sup>3</sup>.

Vergleichen wir nun obiges Resultat mit der mittleren Abflussmenge, berechnet aus den Pegelbeobachtungen und den zugehörigen Seeinhalten, so stehen sich folgende Daten gegenüber :

$Q$  Kanal = 2.528 m<sup>3</sup> pro Sek.

2 h 30 p — 2 h 58 p.

Mittl.  $Q$  See = 0.801 m<sup>3</sup>

9 h 30 a — 5 h 42 p.

Im Zeitraum von 2 h 30 p — 2 h 58 p ist somit eine um  $2.528 - 0.801 = 1.727$  m<sup>3</sup> grössere Wassermenge abgeflossen als die mittlere Abflussmenge der Periode von 9 h 30 a — 5 h 42 p. Wir ziehen daraus den Schluss, dass aller Wahrscheinlichkeit nach, die Absenkung des Sees nur durch diesen einzigen Kanal stattgefunden hat, dass ferner, wie schon früher bemerkt, die Abflussmenge eine ungemein wechselvolle ist. (Siehe auch Tafeln 7 und 39.)

Der offene Graben im Gletschereis ist ferner noch durch eine Situationsskizze in Tafel 7 (Fig. 7) und ein Querprofil E (Fig. 8) dargestellt. Photographische Reproduktionen finden sich auf den Tafeln 39 und 40 vor.

Der Druck des Gletschereises auf die felsige Unterlage ist so gross, dass man mit dem Pickel Mühe hat das Eis vom Felsen zu trennen. Die Farbenpracht, die sich in dieser langgestreckten Spalte entwickelt, ist bezaubernd. Bei diesem Anlasse konnte auch zwischen dem Eis und dem Felsen an denjenigen Stellen, wo beide aufs engste miteinander verbunden waren, eine dünne aus Schlamm und verschiedenen grossen Sandkörnern gebildete Schicht deutlich erkannt werden. Der Vollständigkeit halber geben wir in der Nachfolge sämtliche, während des Ausbruches — dem einzigen, der vollständig beobachtet werden konnte — durchgeführten Pegelbeobachtungen, ebenso die zugehörigen mittleren Abflussmengen wieder. Es geht daraus hervor, dass nur eine langsame Absenkung des Sees (längs des südlichen Randes des Gletschers) stattgefunden hat.

**Wasserstandsbeobachtungen an den Pegeln  
und zugehörige mittlere Abflussmengen während der Absenkung  
des Sees im September 1909.**

Datum	Zeit	Pegelstand	Seehalt m <sup>3</sup>	Differenz der Seehalte m <sup>3</sup>	Mittlere Abflussmenge pro Sekunde m <sup>3</sup>
21. IX. 1909	4 h 10 p	56.72 m	4 459 640		
22. IX. 1909	11 h 0 a	56.32 m	4 359 500	100 140	1.477
22. IX. 1909	3 h 0 p	56.01 m	4 285 250	74 250	5.156
22. IX. 1909	7 h 30 p	55.30 m	4 125 880	159 370	9.838
23. IX. 1909	7 h 47 a	51.81 m	3 413 390	712 490	16.112
„	8 h 0 a	51.73 m	3 397 950	15 440	19.795
„	8 h 15 a	51.66 m	3 384 440	13 510	15.011
„	8 h 30 a	51.60 m	3 372 860	11 580	12.867
„	8 h 45 a	51.535 m	3 360 450	12 410	13.789
„	9 h 0 a	51.45 m	3 344 270	16 180	17.978
„	9 h 15 a	51 375 m	3 329 955	14 315	15.906
„	9 h 30 a	51.30 m	3 315 780	14 175	15.750
„	9 h 45 a	51.23 m	3 302 750	13 030	14.478
„	10 h 0 a	51.16 m	3 289 800	12 950	14.389
„	10 h 15 a	51.09 m	3 276 850	12 950	14.389
„	10 h 30 a	51.02 m	3 263 540	13 310	14.789
„	10 h 45 a	50.95 m	3 250 230	13 310	14.789
„	11 h 0 a	50.89 m	3 238 890	11 340	12.600
„	11 h 15 a	50.82 m	3 225 660	13 230	14.700
„	11 h 30 a	50.76 m	3 214 400	11 260	12.511
„	11 h 45 a	50 695 m	3 202 390	12 010	13.344
„	12 h 0 a	50.63 m	3 190 400	11 990	13.322
„	12 h 15 p	50.56 m	3 177 560	12 840	14.267
„	12 h 30 p	50.50 m	3 166 640	10 920	12.133
„	12 h 45 p	50.44 m	3 155 800	10 840	12.044
„	1 h 0 p	50.37 m	3 143 200	12 600	14.000
„	1 h 15 p	50.32 m	3 134 200	9 000	10.000
„	1 h 30 p	50.26 m	3 123 420	10 780	11.978
„	1 h 45 p	50.21 m	3 114 470	8 950	9.944
„	2 h 0 p	50.155 m	3 104 700	9 770	10.856
„	2 h 15 p	50.09 m	3 093 260	11 440	12.711
„	2 h 30 p	50.04 m	3 084 580	8 680	9.644
„	2 h 45 p	50.00 m	3 077 660	6 920	7.689
„	3 h 0 p	49.95 m	3 069 010	8 650	9.611
„	3 h 15 p	49.90 m	3 060 360	8 650	9.611
„	3 h 30 p	49.85 m	3 051 710	8 650	9.611
„	3 h 45 p	49.81 m	3 044 790	6 920	7.689
„	4 h 0 p	49.76 m	3 036 140	8 650	9.611
„	4 h 15 p	49.72 m	3 029 220	6 920	7.689
„	4 h 30 p	49.675 m	3 021 435	7 785	8.650
„	4 h 45 p	49.63 m	3 013 650	7 785	8.650
„	5 h 0 p	49.60 m	3 008 460	5 190	5.767
„	5 h 15 p	49.56 m	3 001 540	6 920	7.689
„	5 h 30 p	49.52 m	2 994 620	6 920	7.689
„	5 h 45 p	49.48 m	2 987 700	6 920	7.689

Datum	Zeit	Pegelstand	Seehalt m <sup>3</sup>	Differenz der Seehalte m <sup>3</sup>	Mittlere Abflussmenge pro Sekunde m <sup>3</sup>
23. IX. 1909	5 h 45 p	49.48 m	2 987 700		
"	6 h 0 p	49.44 m	2 980 780	6 920	7.689
"	6 h 15 p	49.40 m	2 973 860	6 920	7.689
"	6 h 30 p	49.36 m	2 966 960	6 900	7.667
"	6 h 45 p	49.33 m	2 961 800	5 160	5.733
"	7 h 0 p	49.30 m	2 954 640	7 160	7.956
24. IX. 1909	8 h 0 a	48.32 m	2 791 820	162 820	3.479
"	8 h 15 a	48.315 m	2 791 005	815	0.906
"	8 h 30 a	48.31 m	2 790 190	815	0.906
"	8 h 45 a	48.30 m	2 788 560	1 630	1.811
"	9 h 0 a	48.29 m	2 786 930	1 630	1.811
"	9 h 15 a	48.28 m	2 785 300	1 630	1.811
"	9 h 30 a	48.27 m	2 783 680	1 620	1.800
"	9 h 45 a	48.26 m	2 782 060	1 620	1.800
"	10 h 0 a	48.25 m	2 780 440	1 620	1.800
"	10 h 15 a	48.24 m	2 778 820	1 620	1.800
"	10 h 30 a	48.23 m	2 777 200	1 620	1.800
"	10 h 45 a	48.22 m	2 775 580	1 620	1.800
"	11 h 0 a	48.21 m	2 773 960	1 620	1.800
"	11 h 15 a	48.20 m	2 772 340	1 620	1.800
"	11 h 30 a	48.19 m	2 770 720	1 620	1.800
"	11 h 45 a	48.18 m	2 769 100	1 600	1.778
"	12 h 0 a	48.17 m	2 767 500	1 620	1.800
"	3 h 15 p	48.06 m	2 749 880	8 050	1.578
"	4 h 40 p	48.01 m	2 741 830	91 765	1.577
25. IX. 1909	8 h 50 a	47.445 m	2 650 065	142 265	1.688
26. IX. 1909	8 h 15 a	46.53 m	2 507 800	50 890	1.450
"	6 h 0 p	46.19 m	2 456 910	65 820	1.230
27. IX. 1909	8 h 52 a	45.75 m	2 391 090	91 610	1.033
28. IX. 1909	9 h 30 a	45.12 m	2 299 480	23 635	0.801
"	5 h 42 p	44.945 m	2 275 845	48 175	0.936
29. IX. 1909	8 h 0 a	44.59 m	2 227 670	12 170	0.099
30. IX. 1909	6 h 15 p	44.50 m	2 215 500	145 680	2.840
1. X. 1909	8 h 30 a	43.40 m	2 069 820	117 570	0.975
2. X. 1909	6 h 0 p	42.49 m	1 952 250	149 990	2.659
3. X. 1909	9 h 40 a	41.25 m	1 802 260	141 760	0.794
5. X. 1909	11 h 15 a	39.98 m	1 660 500	264 220	1.015
8. X. 1909	11 h 35 a	37.46 m	1 396 280	99 420	0.595
10. X. 1909	10 h 0 a	36.42 m	1 296 860	68 860	0.401
12. X. 1909	9 h 40 a	35.68 m	1 228 000	71 500	0.259
15. X. 1909	2 h 15 p	34.88 m	1 156 500	61 000	0.229
18. X. 1909	4 h 10 p	34.18 m	1 095 500	16 900	0.050
22. X. 1909	2 h 30 p	33.98 m	1 078 600	830	0.003
25. X. 1909	1 h 35 p	33.97 m	1 077 770	415	0.002
28. X. 1909	2 h 0 p	33.965 m	1 077 355	1 660	0.004
2. XI. 1909	11 h 35 a	33.945 m	1 075 695		

Die Wasserspiegellhöhe des Sees hat die Ueberlaufstelle einer Randkluft am Fusse des Eggishornes erreicht. Mit steigendem Seespiegel beginnt ein Ueberfließen an dieser Stelle und zugleich die erodierende Tätigkeit des Wassers. Die mittlere sekundliche Abflussmenge erreicht am 23. September 1909 von 7 h 47 a

— 8 h 0 a ihr Maximum. Vom 22. September 7 h 30 abends bis zum 23. September 7 h 47 morgens fehlen die Beobachtungen. Tragen wir die Wasserstände als Funktion der Zeit auf, so geht daraus hervor, dass in der Nacht vom 22. auf den 23. eine wenn auch nicht viel, doch grössere Wassermenge zum Abflusse gelangte. Aus den verschiedenen Daten der Abflussmenge ist ersichtlich, dass sie einen sehr unregelmässigen Verlauf nimmt, was auf ein zeitweises Verstopfen der Ueberlaufstelle durch Eisberge zurückzuführen ist. Selbstverständlich treten hier ganz verwickelte Abflussverhältnisse in Funktion. (Siehe Kapitel . . .)

Die mittlere Abflussmenge variiert beträchtlich; beispielsweise betrug sie am 28. September 1909 von 9 h 30 a — 5 h 42 p =  $0.801 \text{ m}^3$  pro Sek., vom 28. September 5 h 42 p — 29. September 1909 =  $0.936 \text{ m}^3$  pro Sek., vom 29. September 8 h 0 a — 30. September 1909 6 h 15 p nur  $0.099 \text{ m}^3$  pro Sek., dagegen vom 30. September 1909 6 h 15 p — 1. Oktober 1909 =  $2.840 \text{ m}^3$  pro Sek.

Aus den vorstehenden Beobachtungen ist weiter ersichtlich, dass sich der See sehr langsam abgesenkt hat. Er brauchte für eine Entleerung von 4 459 640 — 1 075 695 = 3 383 945  $\text{m}^3$  mehr als einen Monat. Natürlicherweise vermochte das ausbrechende Wasser auf die Wasserführung der Massa und der Rhone fast keinen Einfluss auszuüben.

#### *Ausbruch des Sees vom 22. Juni—16. Juli 1911.*

Führer Bittel, Hotel Jungfrau, Eggishorn, berichtet dem Verfasser, dass er am 29. Juni auf dem Wege vom Märjelensee zum Gletscherabsturz unterhalb Belalp keine Spuren an der Oberfläche des Gletschers beobachten konnte. Der Verfasser, der erst am 15. Juli 1911 an Ort und Stelle eintraf, untersuchte den Gletscherteil zunächst abwärts der Absturzwand und konnte ebenfalls keine Spuren vorfinden. Das ausbrechende Wasser des Sees hat sich also auf inter- oder subglazialen Wege einen Abfluss durch den Gletscher gebahnt.

Am 15. Juli 1911 hat der Verfasser über einer horizontal gelagerten Felsfläche eine Schlammschicht von 14 mm gemessen. Die maximale Schlammschicht erreichte eine Mächtigkeit von 200 mm.

#### *Ausbruch des Sees vom 30. auf den 31. Juli 1913.*

Der See erreichte am 21. Juli seinen höchsten Stand mit 56.87 m am Pegel. Darauf folgte vorerst eine allmähliche, langsame Absenkung bis zum 29. Juli (Pegelstand 55.92 m), dann eine raschere bis zum 30. nachmittags 2 Uhr. Am 31. morgens 8 Uhr war der See bis in den tiefsten Grund ausgelaufen. Der Verfasser konnte die interessante Gegend erst am 3. August besuchen. Eine Grundspalte ermöglichte den vollständigen Ausbruch des Sees. Auf Tafel 42, etwas rechts von der Mitte des Bildes, ist sie teilweise sichtbar. Hinsichtlich der freigelegten, rund 70 m hohen



Eiswand verweisen wir auf Kapitel III, Seite 25. Ungefähr an der nämlichen Stelle wie 1911, auf horizontal gelagerter Felsfläche, wurde eine Schlamm- schicht von 16 mm gemessen. Die maximale Schicht in der Nähe des Moränensees, erreichte einen Betrag von 225 mm. Der Verfasser untersuchte am nämlichen Tage den Gletscher vom See bis zur Massaschlucht, in Bezug auf Zeichen des Ausbruches, er fand auch nicht eine einzige Spur.

Es existieren nur wenige Aufzeichnungen über das Verhalten des ausbrechenden Wassers gegenüber dem untern Teile des Grossen Aletschgletschers im Gebiete zwischen dem Aletschwald und den Sennhütten von Ober- und Unteraletsch. Trotz lebhaften Nachforschungen sind dem Verfasser nur zwei Aufzeichnungen in die Hände gelangt<sup>1</sup>: nämlich diejenige von Ingenieur Ph. Gosset (siehe Ausbruch des Sees im September 1887, Seite 170):

« 4. Sept. 1887. Joseph Sideler befindet sich auf dem Weg von der Riederalp nach der Belalp. Er findet den linken Teil des Grossen Aletschgletschers unter Wasser, den rechten dagegen ohne Wasser. »

und das Telegramm von Präsident Salzmann in Naters (siehe Ausbruch des Sees vom 8.-11. Juli 1892, Seite 173):

<sup>1</sup> Eine nachträglich noch vorgefundene Aufzeichnung über den Ausbruch des Sees am 25. Juli 1890, aus der Hand unseres grossen Dichters J. V. Widmann (Spaziergänge in den Alpen; 3. Auflage, Frauenfeld 1896, S. 256-258), der sich an diesem Tage auf der Belalp befand, lautet folgendermassen:

« Für den anderen Morgen (25. Juli 1890) hatte ich mir einen Führer bestellt, um den Aletschgletscher zu überschreiten und dem Eggishorn einen Besuch abzustatten. Ein paar Minuten vor 6 Uhr verliessen wir den Gasthof. Noch hatten wir denselben aber nicht aus dem Gesicht verloren, als plötzlich vom Gletscher her ein donnerähnliches Getöse erscholl, erst ein Krach und dann ein fortgesetztes Tosen. Erstaunt blickte ich hinüber. Da rannte auch schon mein Führer an mir vorbei, zum Hotel zurück und rief: « Der Märjelensee! Der Märjelensee ist ausgebrochen! » Als bald kam der Wirt gelaufen, dann das Gesinde. Alle schauten sie starr nach dem Schauspiel, das sich ihnen darbot; mein Führer aber lud meinen Tornister ab und sagte, es könne natürlich keine Rede davon sein, unsere Partie auszuführen. Denn solange der Märjelensee ausfliesst, was gewöhnlich ungefähr 24 Stunden dauert, ist wenigstens der Weg von Belalp nach der Riederfurka vollständig unterbrochen.

Es bedurfte keiner Worte, mir dies begreiflich zu machen; ich sah es ja. Am jenseitigen Ende des Gletschers wälzte sich, zwischen dem Gletscher und dem Berge, ein starker Strom schmutzig-gelben Wassers mit furchtbarer Schnelligkeit in die Tiefe, da und dort Wasserfälle bildend, wie das abschüssige Terrain dergleichen mit sich brachte. Wer sich in dem Augenblicke, da der Strom aus dem von ihm durchfressenen Ende der Gletscherwand hervorbrach, auf seinem Wege befunden hätte, wäre verloren gewesen; wie eine Schlange würde der Strom ihn ereilt und mit sich fortgerissen haben. »

« Der schlimmste Schaden, die die diesmalige Entleerung anrichtete, scheint in der Zerstörung einer unterwegs befindlichen Wasserleitung zu bestehen. »

« Als ich an jenem Vormittag (25. Juli) die Massabrücke, eine kleine Stunde oberhalb Brieg, überschritt, wo der Abfluss des Märjelensees mit der Rhone sich vereinigt, waren « die schwarzen Fluten » schon lange vor mir angelangt; sie boten ein wildes Schauspiel dar, wie sie einander schäumend in tollen Sprüngen übertrafen und schwere Steine unter sich fortrollerten; doch hielten sie sich in dem Flussbett, und die Rhone selbst, von ihnen schmutzig gefärbt, war nur ganz unbedeutend ausgetreten. »

« 9. Juli 1892, 3 h 52 p. Märjelensee strömt seit einer Stunde und noch fortwährend über den Aletschgletscher herunter. »

Diesem Mangel an Aufzeichnungen hat der Verfasser zu begegnen gesucht, indem er Personen, die sich viele Jahrzehnte in dieser Gegend aufgehalten haben, aufgesucht und ihre Beobachtungen über dieses interessante Phänomen niedergeschrieben hat. Durch die Liebenswürdigkeit seiner Hochwürden Pfarrer Imesch in Naters sind ihm die hiezu geeigneten Personen bekannt geworden.

Schmied, Moritz von Naters, über den Ausbruch des Sees im *Jahre 1858*.

« In diesem Jahre riss das ausbrechende Wasser des Sees am linken Ufer im « Aletsch » Stall und Scheuer « zum Plattier » genannt, mit sich fort, nachdem 1-2 Jahre früher der *Gletscher* einen Stall und Scheuer weggeschoben hatte. »

Walden, Anton. Bergführer, Geimen ob Naters, über den Ausbruch im *Jahre 1864*.

« Das ausbrechende Wasser hat im « Aletsch » einen Stall weggerissen, der Hauptstrom floss auf der rechten Seite des Gletschers. »

Ueber den Ausbruch im Jahre 1873 berichtet er :

« Der Weg von der Belalp über den Gletscher nach der Riederalp konnte infolge des ausbrechenden Seewassers zwei volle Tage nicht ausgeführt werden. Das Rumpeln des dickflüssigen Wassers wurde auf grosse Strecken gehört. Das Wasser stieg paar Stuben hoch, es bildeten sich neue Spalten, so dass man glaubte, es breche alles ein. »

Walden berichtet weiter, dass das ausbrechende Wasser fast immer am Fusse der Eggishorn-Fiescherhorn-Bettmerhornseite entlang und erst im unteren Teil oftmals über den Gletscher oder auch längs des rechtsufrigen Randes abflüsse. Mit Fremden sei er bei Hochwasserständen vorsichtshalber niemals am Rande, sondern immer über die Mittelmoräne nach der Conkordiahütte marschiert.

Hotelier Cathrein, Emil. Ausbruch des Sees im *Juli 1873*.

« Vor dem Ausbruche des Sees bildete sich auf dem Gletscher zunächst der Gletscherwand ein kleiner See, der nach dem Ausbruche verschwand. Unter donnerartigem Getöse stürzten gewaltige Wassersäulen aus den Gletscherspalten. »

Ejer, Auxilies, Naters, über den Ausbruch im *Juli 1892*.

« Das Wasser sei über die Ueberlaufschwelle der Absturzwand des Gletschers gegen den See abgeflossen und nur teilweise in den Gletscherspalten verschwunden; von den Alphütten im « Aletsch » aus, habe er durch den Anprall an Eisvorsprüngen tannenhohe Wellen beobachten können. »

Im allgemeinen über die Ausbrüche befragt, bestätigt er, dass das Seewasser mehrmals längs des rechten Ufers dem Gletschertore zugeeilt sei. Um künftigen Schaden auf der rechten Seite « Im Aletsch » zu vermeiden, soll sogar der Versuch gemacht worden sein, gewisse Hindernisse (Gletschervorsprünge) zu beseitigen, um ein Ueberfliessen des Baches von der linken nach der rechten Seite zu verunmöglichen.

Minnig, Ferdinand, Bitsch, über den Ausbruch des Sees am *1. September 1901*.

« An beiden Ufern des Gletschers, längs des Aletschwaldes und « Im Aletsch » flossen mächtige Bäche. Rechts und links der Mittelmoräne drang das Wasser aus den Spalten hervor und formte Wasserrinnen. »

Vizepräsident Kummer, Theodor, Vogt der Wasserleitung Ried. Mitteilung vom 7. Juni 1913.

« Vor ungefähr 10 Jahren (es handelt sich sehr wahrscheinlich um den Seeausbruch im *Jahre 1901*) floss das Wasser des Sees an der Riederseite (Linkes Ufer) den Gletscher herunter. Das Wasser war schmutzig dick. »

## XVIII. KAPITEL.

### Die Abflussquerschnitte im Gletscher bei Seeausbrüchen.

Der Wasserdruck auf die Gletscherwand entspricht an jeder Stelle dem Gewicht einer lotrechten Wassersäule, die als Grundfläche den in Betracht fallenden Teil der Wand und als Höhe den vertikalen Abstand des Schwerpunktes der Fläche vom Wasserspiegel hat. Dieser Druck wirkt normal zur Gletscherwand. Es ist nun interessant, die Grösse der Spalten, Oeffnungen oder Risse, durch welche sich der See entleert, zu kennen. Der ganze Vorgang ist in der Tat genau wie bei der Entleerung eines gewöhnlichen Reservoirs, das seinen Inhalt durch einen sich bildenden und nur langsam erweiternden Riss entleert. Die Entleerung geschieht am Punkte des geringsten Widerstandes.

Nehmen wir als Beispiel den Ausbruch des Sees im Jahre 1878<sup>1</sup>. Die Höhendifferenz zwischen dem Seespiegel vor und nach dem Ausbruche betrug :  $h = 89.55$  m. Wie gross müsste nun die Oeffnung  $F$  sein, damit sekundlich folgende Wassermengen ( $Q$ ) ausfliessen :

$$Q_1 = 0.1 \text{ m}^3 \quad Q_2 = 1 \text{ m}^3 \quad Q_3 = 10 \text{ m}^3 \quad Q_4 = 100 \text{ m}^3 \quad Q_5 = 200 \text{ m}^3 \quad Q_6 = 500 \text{ m}^3$$

Wir nehmen den Ausschnitt der Oeffnung quadratisch an, also  $F = x \cdot x$ . Die ausfliessende Wassermenge kann nun annähernd genau nach folgender Formel berechnet werden :

$$Q = \mu F \sqrt{2gh}$$

Der Ausflusskoeffizient  $\mu$  ist stets erheblich kleiner als 1.

Es ist klar, dass für jede Form und Grösse der Oeffnung, wie auch für jede

---

<sup>1</sup> Als tiefster Punkt des Taltroges wurde eine Cote von 2277.0 m angenommen, was einer maximalen Wassertiefe von 89.55 m entspricht.

Lage unter dem Wasserspiegel ein besonderer Wert  $\mu$  gilt. Setzen wir nun für  $\mu$  einen Wert von 0.65 ein, dann ist angenähert

$$Q = 0.65 F \sqrt{2gh}, \text{ wobei } F = x \times x = x^2 \text{ m}^2,$$

Die verschiedenen Werte von  $Q$  geben uns für die Seite  $x$  der quadratischen Ausflussöffnung folgende Werte :

$$Q_1 = 0.1 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 0.65 F_1 \sqrt{2gh} = 0.65 F_1 \sqrt{19.62 \times 89.55} ; \\ \text{daraus folgt } F_1 = 0.00367 \text{ m}^2; x_1 = 0.060 \text{ m}$$

$$Q_2 = 1.0 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 0.65 F_2 \sqrt{2gh} = 0.65 F_2 \sqrt{19.62 \times 89.55} ; \\ \text{daraus folgt } F_2 = 0.03670 \text{ m}^2; x_2 = 0.192 \text{ m}$$

$$Q_3 = 10.0 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 0.65 F_3 \sqrt{2gh} = 0.65 F_3 \sqrt{19.62 \times 89.55} ; \\ \text{daraus folgt } F_3 = 0.36703 \text{ m}^2; x_3 = 0.606 \text{ m}$$

$$Q_4 = 100 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 0.65 F_4 \sqrt{2gh} = 0.65 F_4 \sqrt{19.62 \times 89.55} ; \\ \text{daraus folgt } F_4 = 3.67030 \text{ m}^2; x_4 = 1.916 \text{ m}$$

$$Q_5 = 200 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 0.65 F_5 \sqrt{2gh} = 0.65 F_5 \sqrt{19.62 \times 89.55} ; \\ \text{daraus folgt } F_5 = 7.3407 \text{ m}^2; x_5 = 2.709 \text{ m}$$

$$Q_6 = 500 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 0.65 F_6 \sqrt{2gh} = 0.65 F_6 \sqrt{19.62 \times 89.55} ; \\ \text{daraus folgt } F_6 = 18.3516 \text{ m}^2; x_6 = 4.284 \text{ m}$$

Wie gross muss nun die Ausflussöffnung  $F$  in halber Höhe des Sees sein, also für  $h = 44.77 \text{ m}$ , damit sekundlich die nämlichen Wassermengen ausfliessen ?

Der Koeffizient  $\mu$  muss etwas kleiner angenommen werden, da die Ausflussöffnung über dem Boden liegt :  $\mu = 0.60$ . Im übrigen bleibt die Rechnung dieselbe :

$$Q = \mu F \sqrt{2gh}$$

Wir erhalten folgende Resultate :

für $Q_1$	0.1 m <sup>3</sup> Sek.	$F_1 = 0.00562 \text{ m}^2; x_1 = \mathbf{0.075 \text{ m}}$
$Q_2$	1.0 m <sup>3</sup> Sek.	$F_2 = 0.0562 \text{ m}^2; x_2 = \mathbf{0.237 \text{ m}}$
$Q_3$	10.0 m <sup>3</sup> Sek.	$F_3 = 0.5623 \text{ m}^2; x_3 = \mathbf{0.750 \text{ m}}$
$Q_4$	100.0 m <sup>3</sup> Sek.	$F_4 = 5.6235 \text{ m}^2; x_4 = \mathbf{2.371 \text{ m}}$
$Q_5$	200.0 m <sup>3</sup> Sek.	$F_5 = 11.2470 \text{ m}^2; x_5 = \mathbf{3.354 \text{ m}}$
$Q_6$	500.0 m <sup>3</sup> Sek.	$F_6 = 28.1174 \text{ m}^2; x_6 = \mathbf{5.303 \text{ m}}$

Aus den vorstehenden Resultaten geht hervor, dass die Oeffnungen, durch die sich der Märjelensee entleert, von gar nicht aussergewöhnlichen Dimensionen sind. Bei rechteckigen Oeffnungen von grösserer Breite sind die Werte von  $\mu$  nach den von Hamilton Linth im Jahre 1886 gesammelten Ergebnissen etwas grösser, bei kreisförmigen Oeffnungen etwas kleiner, zu nehmen.

Untersuchen wir noch, wie und nach welchem Gesetz die ausfliessende Wassermenge  $Q$  in  $m^3$  pro Sekunde für eine Oeffnung von  $F = 1.0 m^2$  mit wechselnder Druckhöhe zunimmt. Legen wir der Berechnung wiederum den Seestand vom 17. Juli 1878 zu Grunde und berechnen für nachfolgende Tiefen  $h$  die Abflussmengen, so erhalten wir folgende Werte :

für $h = 1.0$	$Q = 2.658 m^3$ Sek.
$h = 5.0$	$Q = 5.943 m^3$ Sek.
$h = 10.0$	$Q = 8.404 m^3$ Sek.
$h = 15.0$	$Q = 10.293 m^3$ Sek.
$h = 20.0$	$Q = 11.885 m^3$ Sek.
$h = 30.0$	$Q = 14.557 m^3$ Sek.
$h = 40.0$	$Q = 16.809 m^3$ Sek.
$h = 50.0$	$Q = 18.793 m^3$ Sek.
$h = 60.0$	$Q = 20.586 m^3$ Sek.
$h = 70.0$	$Q = 22.236 m^3$ Sek.
$h = 80.0$	$Q = 23.771 m^3$ Sek.
$h = 89.55$	$Q = 27.246 m^3$ Sek.

Tragen wir nun die einzelnen Punkte graphisch auf, so erhalten wir für die verschiedenen Druckhöhen als Ordinaten der Abflussmengenkurve genau eine Parabel mit der Scheitelgleichung  $y^2 = 2 p x$ , worin  $p$  die Ordinate des Brennpunktes bedeutet. Wenn also für irgend eine Druckhöhe, z. B.  $h = 80 m$ , die ausfliessende Wassermenge  $Q = 23.771 m^3$  pro Sekunde gegeben ist, so kann man leicht für jede beliebige andere Druckhöhe die Abflussmenge bestimmen. Bei der Behandlung obiger Frage drängt sich unwillkürlich die weitere Frage auf: Wie muss eine Oeffnung  $F$  in einer senkrechten Wand zunehmen, damit bei veränderlichen Druckhöhen  $h$  die abfliessende Wassermenge konstant bleibt, z. B.

$$Q = 1.000 m^3 \text{ pro Sekunde.}$$

Es sei  $F = x \times x = x^2$ , dann ist, wenn  $h > \frac{x}{2}$  die Wassermenge  $Q$  annähernd genau :

$$Q = \mu F \sqrt{2gh} = 0.60 x^2 \sqrt{19.62 h} = 2.6576 x^2 \sqrt{h}$$

$$\text{und für } Q = 1.000 m^3 \text{ pro Sekunde: } x^2 \sqrt{h} = \frac{1.0}{2.6576}$$

$$x^2 = \frac{1.0}{2.6576 \sqrt{h}} = \frac{0.37627}{\sqrt{h}} = F.$$

Berechnen wir nun an Hand der obigen Formel für verschiedene Druckhöhen  $h$  die zugehörigen Werte der Oeffnung  $F$  ( $Q = 1 \text{ m}^3/\text{Sek.}$ ), so ergeben sich folgende Resultate :

für $h = 0.5 \text{ m}$	wird $F = 0.5321 \text{ m}^2$
$h = 1.0 \text{ m}$	$F = 0.3763 \text{ m}^2$
$h = 5.0 \text{ m}$	$F = 0.1681 \text{ m}^2$
$h = 10.0 \text{ m}$	$F = 0.1190 \text{ m}^2$
$h = 15.0 \text{ m}$	$F = 0.0972 \text{ m}^2$
$h = 20.0 \text{ m}$	$F = 0.0841 \text{ m}^2$
$h = 30.0 \text{ m}$	$F = 0.0687 \text{ m}^2$
$h = 40.0 \text{ m}$	$F = 0.0595 \text{ m}^2$
$h = 50.0 \text{ m}$	$F = 0.0532 \text{ m}^2$
$h = 60.0 \text{ m}$	$F = 0.0486 \text{ m}^2$
$h = 70.0 \text{ m}$	$F = 0.0450 \text{ m}^2$
$h = 80.0 \text{ m}$	$F = 0.0421 \text{ m}^2$
$h = 89.55 \text{ m}$	$F = 0.0398 \text{ m}^2$

Graphisch aufgetragen erhalten wir eine, einer Parabel ähnlichen Kurve mit einer Axe, die annähernd unter  $45^\circ$  gegen die Horizontale geneigt ist.

Mit dieser Kurve können wir noch nicht viel anfangen. Nun ist die Scheitelformel der Parabel  $y^2 = 2 p x$

$$\text{Unsere Gleichung lautete } F = \frac{0.37627}{\sqrt{h}} = \frac{1}{\mu \sqrt{2g}} \cdot \frac{1}{\sqrt{h}}$$

$$\text{oder } F^2 = \frac{0.37627^2}{h} = \frac{0.141579}{h}$$

Es entsprechen sich die Werte  $F^2$  und  $y^2$ ;  $\frac{1}{h}$  und  $x$ ; 0.141579 und  $2 p$ , daraus berechnet sich die Abscisse des Brempunktes zu

$$\frac{p}{2} = 0.035395 = \frac{1}{8 g \mu^2}$$

Ferner ist  $F^2 h = 0.141579 = \text{konstant}$ , mit andern Worten : *das Produkt aus Druckhöhe und dem Quadrat der Abflussfläche ist konstant = 0.141579.*

$$\text{Nun ist } F^2 = \frac{0.141579}{h}$$

$h$	$\frac{1}{h} = x$	$F = y$ (für $Q = 1.0 \text{ m}^3 \text{ Sek.}$ )
0.5 m	2.0	0.5321 m <sup>2</sup>
1.0 m	1.0	0.3765 m <sup>2</sup>
5.0 m	0.2	0.1683 m <sup>2</sup>
10.0 m	0.1	0.1190 m <sup>2</sup>
15.0 m	0.06667	0.0972 m <sup>2</sup> (0.097152)
20.0 m	0.05	0.0841 m <sup>2</sup>
30.0 m	0.0333	0.0687 m <sup>2</sup>
40.0 m	0.025	0.0595 m <sup>2</sup>
50.0 m	0.02	0.0532 m <sup>2</sup>
60.0 m	0.0166	0.0486 m <sup>2</sup>
70.0 m	0.01429	0.0450 m <sup>2</sup>
80.0 m	0.0125	0.0421 m <sup>2</sup>
89.55 m	0.011167	0.0398 m <sup>2</sup>

Wenn wir nun die Werte von  $\frac{1}{h}$  und  $F$  als Abscissen und Ordinaten auftragen, so bekommen wir wieder eine Parabel mit dem Abstände des Brennpunktes vom Scheitel :

$$\frac{1}{2} p_1 = \frac{1}{8 g \mu^2} = 0.035395$$

Gestützt auf die vorstehenden Erläuterungen und Berechnungen und die dem Verfasser zur Verfügung stehenden Aufzeichnungen über die Ausbrüche der Jahre 1878 und 1892 und die Pegelbeobachtungen während der Ausbrüche der Jahre 1909 bis 1913 sind nun für gewisse Zeitperioden die zugehörigen Seeinhalte  $S$ , die mittleren Abflussmengen  $Q$ , die Grösse der quadratisch gedachten Abflussöffnungen (Fläche  $F$ , Seite  $x$ ) berechnet worden :

Periode	Pegelstand in m	Seeinhalte $S$ in m <sup>3</sup>	Abflussmen- gen $Q$ in m <sup>3</sup> pro Sek.	Abfluss- öffnung $F$ in m <sup>2</sup>	Seite $x$ in m
<b>I. Ausbruch vom 18.-19. Juli 1878.</b>					
Vollständiger Ausbruch in 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Stunden.					
A. Periode vom 18. VII. 8 h 0 a- 4 h 0 p	77,33-76,33 m	443200	15,4	0,57	0,75
B. Periode vom 18. VII. 4 h 0 p- 19. VII. 6 h 0 a	76,33-73,33 m	1245500	24,7	0,92	0,96
C. Periode vom 19. VII. 6 h 0 a- 2 h 30 p	73,33-12,22 m	9019100	294,7	11,07	3,33
D. Totale Absenkung vom 18. VII. 8 h 0 a-19. VII. 2 h 30 p	77,33-12,22 m	10707800	97,5	3,58	1,89
<b>II. Ausbruch vom 8. VII. 1892.</b>					
Vollständiger Ausbruch in 30 Stunden.					
	70,22-0,00 m	7518600	69,6	2,66	1,63



Periode	Pegelstand in m	Seeinhalte S in m <sup>3</sup>	Abflussmen- gen Q in m <sup>3</sup> pro Sek.	Abfluss- öffnung F in m <sup>2</sup>	Seite x in m
<b>III. Ausbruch von 21. IX.-22. X. 1909.</b>					
Langsame Absenkung des Sees in einem Monat.					
A. 21. IX. 4 h 10 p-22. IX. 11 h 0 a	56,72-56,32 m	100100	1,5	0,11	0,33
B. 22. IX. 11 h 0 a-3 h 0 p	56,32-56,01 m	74200	5,2	0,38	0,62
C. 22. IX. 3 h 0 p-7 h 30 p	56,01-55,30 m	159400	9,8	0,73	0,86
D. 22. IX. 7 h 30 p-23. IX. 7 h 47 a.	55,30-51,81 m	712500	16,1	1,26	1,12
E. 23. IX. 7 h 47 a-8 h 0 a	51,81-51,73 m	15400	19,8	1,63	1,28
F. 23. IX. 8 h 0 a-7 h 0 p	51,73-49,30 m	443300	11,2	0,95	0,98
G. 23. IX. 7 h 0 p-24. IX. 8 h 0 a	49,30-48,32 m	162800	3,5	0,31	0,56
H. 24. IX. 8 h 0 a-4 h 40 p	48,32-48,01 m	50000	1,6	0,15	0,38
J. 24. IX. 4 h 40 p-10. X. 10 h 0 a	48,01-36,42 m	1445000	1,1	0,13	0,36
K. 10. X. 10 h 0 a-22. X. 2 h 30 p	36,42-33,98 m	218300	0,2	0,06	0,25
<b>IV. Ausbruch vom 10. VIII.-26. IX. 1910.</b>					
Langsame Absenkung des Sees in 16 Tagen.					
A. 10. VIII. 2 h 5 p-11. VIII. 2 h 0 p	56,72-56,65 m	17900	0,2	0,02	0,12
B. 11. VIII. 2 h 0 p-12. VIII. 8 h 30 a	56,65-55,00 m	379400	5,7	0,42	0,65
C. 12. VIII. 8 h 30 a-12 h 40 p	55,00-54,33 m	144400	9,6	0,74	0,86
D. 12. VIII. 12 h 40 p-17. VIII. 11 h 5 a	54,33-40,12 m	2242000	5,3	0,50	0,71
E. 17. VIII. 11 h 5 a-22. VIII. 2 h 30 p	40,12-34,00 m	595600	1,3	0,27	0,52
F. 10. IX. 5 h 0 p-26. IX. 11 h. 15 a	33,96-24,98 m	644200	0,5	0,08	0,28
<b>V. Ausbruch vom 23. VI.-16. VII. 1911.</b>					
Langsame Absenkung des Sees in 23 Tagen.					
A. 23. VI. 2 h 10 p-15. VII. 10 h 0 a	46,44-18,15 m	2366200	1,3	0,11	0,33
B. 15. VII. 10 h 0 a-16. VII. 4 h 30 p	18,15-16,82 m	36000	0,3	0,12	0,35
<b>VI. Ausbruch vom 18. X.-26. XI. 1912.</b>					
Langsame Absenkung des Sees in 39 Tagen.					
A. 18. X. 8 h 35 a-21. X. 9 h 35 a	53,42-49,18 m	790400	3,0	0,32	0,57
B. 21. X. 9 h 35 a-9 h 45 a	49,18-49,15 m	5200	8,6	1,03	1,02
C. 21. X. 9 h 45 a-23. X. 2 h 10 p	49,15-46,99 m	352600	1,9	0,24	0,49
D. 23. X. 2 h 10 p-26. XI. 11 h 15	46,99-41,32 m	767600	3,1	0,59	0,76
<b>VII. Ausbruch vom 21. VII.-31. VII. 1913.</b>					
Erst langsame Absenkung des Sees, darauf rapider vollständiger Ausbruch in einer Nacht.					
A. 21. VII. 2 h 0 p-30. VII. 2 h 0 p	56,87-49,92 m	1433100	1,8	0,08	0,28
B. 30. VII. 2 h 0 p-31. VII. 8 h 0 a	49,92-(-12,17) m	3063800	47,3	2,08	1,44

Aus den vorstehenden Ergebnissen ist zu ersehen, wie ungemein verschieden die Ausbrüche des Sees im allgemeinen und im einzelnen vor sich gehen. Um hierüber ein deutliches Bild zu erhalten, sind in Fig. 8, Seite 58 die Aenderungen der Abflussmenge während der Ausbrüche des Sees im Jahre 1909, 1910, 1911 und

1912 in graphischer Weise dargestellt worden. Daraus ist ersichtlich, dass ein einigermaßen regelmässiger Ausbruch für die betreffenden Jahre nicht stattgefunden hat. Die Abflussmenge ändert innerhalb kurzer Zeiträume. Die Ursache dieser Erscheinung ist der Kalbung des Gletschers, die jeweilen zur Zeit der Ausbrüche eine ungemein rege ist, zuzuschreiben. Die Eisberge verstopfen zeitweise mehr oder weniger die Abflussöffnung und ermöglichen dadurch ein gänzlich un-stetes Abfliessen des Seewassers.

Zwei Ausbrüche verdienen noch besonders erwähnt zu werden. Es sind die der Jahre 1878 und 1913, die beide eine vollständige Entleerung des Sees zur Folge hatten und denen jedenfalls die nämliche Ursache zu Grunde liegt.

In der Periode vom 19. Juli 1878 von 6 h 0 a bis 2 h 30 p entleerte sich ein Seebecken von 9019000 m<sup>3</sup>. Es entspricht dies einer mittlern sekundlichen Abflussmenge von 295 m<sup>3</sup> und einer Ausflussöffnung von 11 m<sup>2</sup>. Im Jahre 1913, am 30. Juli von 2 h 0 p bis zum 31. Juli 8 h 0 a floss eine Wassermenge von 3063800 m<sup>3</sup> aus. Die mittlere sekundliche Abflussmenge betrug 47 m<sup>3</sup>, die Ausflussöffnung 2 m<sup>2</sup>. Wenn wir uns nun die gewaltige, mehr als 500 m lange und im Maximum 70-90 m hohe Gletscherwand vorstellen und damit die Grösse der Abflussöffnung vergleichen, so ersehen wir recht deutlich, was für kleine Oeffnungen sogar für solch gewaltige Ausbrüche und Abflussmengen genügen.

## XIX. KAPITEL.

### Verlauf der Flutwellen in der Massa und Rhone, verursacht durch die Ausbrüche des Märjelensees.

Die systematischen Beobachtungen an den Pegeln und die Aufzeichnungen der Limmigraphen über die Wasserstandsbewegungen der fließenden Gewässer bilden das einzige Mittel, um den wirklichen Verlauf einer Flutwelle sicher festzustellen.

Der graphischen Darstellung sind ohne weitere Bearbeitung zugänglich die Elemente der Wasserstandsbewegung, nämlich die Lage, der Zeitpunkt und die Höhe des Wasserspiegels.

Wir unterscheiden an jeder Durchgangsstelle einer Flutwelle: Anfang und Ende, die Durchgangsdauer (zeitlicher Abstand zwischen Anfang und Ende der Flutwelle) und die Höhe des Wellenscheitels. Als Höhe des Wellenscheitels setzen wir die Differenz der Maximalhöhe gegen die rekonstruierte, zeitlich gleichgestellte Normalhöhe in Rechnung. Sie auf die Anfangshöhe der Welle zu beziehen, ist deshalb nicht wohl möglich, weil der Einfluss der täglichen Periode auf die Scheitelhöhe ein viel zu grosser ist.

Bearbeitet und untersucht wurden die Bewegungserscheinungen der in der Rhone, durch die Seeausbrüche der Jahre 1892, 1895, 1900, 1901, 1907 und 1913, verursachten Flutwellen.

Ueber die Lage des Beobachtungsortes orientiert uns das auf Tafel 11 generell aufgetragene Längenprofil des Grossen Aletschgletschers, der Massa und der Rhone vom Märjelensee bis zum Genfersee. Als Längennullpunkt wurde der Märjelensee gewählt. Die Lage jedes Beobachtungsortes wird durch seine Entfernung in Kilometern vom See ausgedrückt. Die Wasserspiegelgefälle in ‰ und die entsprechenden horizontal gemessenen Längen in Kilometern sind in einem Streifen unterhalb des Längenprofils eingetragen worden. Dabei bedeutet die vor dem Zeichen «  $\pm$  » sich befindende Zahl stets das Gefälle in ‰, der nach diesem Zeichen stehende

Zahlwert dagegen die entsprechende, horizontal gemessene Länge. Der Zeitpunkt der Beobachtung und das Mass der Erhebung des Wasserspiegels über einen Fixpunkt ergibt sich aus den Pegelbeobachtungen und den Linnigraphenaufzeichnungen. An sämtlichen im Längenprofil aufgeführten Stationen sind feste Pegel erstellt worden, die täglich drei mal beobachtet werden. An den wichtigeren Pegelstationen werden aussergewöhnliche Beobachtungen durchgeführt, sobald der Wasserstand eine bestimmte, für jede Station festgelegte Höhe erreicht oder überschritten hat. Die letztern haben den Zweck, besonders für jene Beobachtungsstellen der Rhone und ihrer wichtigeren Seitenbäche, an denen selbstregistrierende Pegel nicht bestehen, genauere Aufzeichnungen, als sie die täglichen Beobachtungen bieten, für alle zur Feststellung der Abflussverhältnisse vergangener wichtigen Perioden der aussergewöhnlichen Wasserstandsbewegung, zu beschaffen. Namentlich sollte der Eintritt des Maximums und dessen Höhe, wenn irgend möglich festgelegt werden. Nachstehende Beobachtungsstationen sind mit Registrierinstrumenten ausgestattet worden: 1. Platten (Gebidem), Massa (1913); 2. Bitsch, Massa (1898); 3. Sitten, Rhone (1891); 4. Porte du Scex, Rhone (1891). Die im Jahre 1913 in Platten neu erstellte Linnigraphenstation fällt für vorliegende Arbeit noch nicht in Betracht, dagegen sind die täglich ein oder mehrere Male durchgeführten Pegelbeobachtungen verwendet worden. Die Aufzeichnung der Wasserstandsbewegung erfolgt durch eine Punktiernadel<sup>1</sup>, die in einstündigen Intervallen feine Nadelstiche einzeichnet. Die Höhenschwankungen werden in  $\frac{1}{20}$  der wirklichen Grösse aufgezeichnet. Der Zeitmasstab ist 1 Tag = 36 mm. Das vorgedruckte feine Netz der Linnigraphenbogen ist derart gehalten, dass der Zeitpunkt und die Höhe mit Leichtigkeit, ohne Zeitverlust herausgelesen werden können.

Ein Vergleich der an den festen Pegeln erhobenen Beobachtungen mit den Aufzeichnungen des Linnigrapheninstrumentes bietet Gewähr für die Richtigkeit der letztern. Als Beobachtungsmaterial stehen zur Durchführung der Untersuchungen ausschliesslich Wasserstandsaufzeichnungen zur Verfügung, die teils in den « Tabellarischen Zusammenstellungen der Hauptergebnisse der Schweiz. hydrometr. Beobachtungen », teils in den « Graphischen Darstellungen » niedergelegt sind.

Auf Tafel 9 finden sich nun die linnimetrischen Kurven über den Verlauf der Flutwelle in der Rhone am 9. und 10. Juli 1892, wie sie uns die ausgeführten Pegelbeobachtungen in Brig und die Aufzeichnungen der Linnigraphenstationen in Sitten und Porte du Scex ergeben haben, vereinigt. Auf Tafel 10 sind die entsprechenden Kurven über den Verlauf der Flutwellen in den Jahren 1895 und 1901 übersichtlich dargestellt. Der normale Verlauf der Wasserspiegelschwankungen

---

<sup>1</sup> Einzig der Linnigraph im Gebidem zeichnet kontinuierlich auf.

zur Zeit der Flutwelle ist jeweilen mit Hilfe der vorangehenden und nachfolgenden Tagesschwankungen rekonstruiert und durch Eintragung einer punktierten Linie deutlich gekennzeichnet worden. (Vergleiche auch Tafeln 12 und 13.)

Es ist klar, dass die Gestalt, die Fortbewegung der Flutwelle, eine vielfach zusammengesetzte Erscheinung darstellt. Auf die in der Massa und im Rhonebett eintretende Welle wirken, als die beiden wichtigsten Faktoren, einerseits, das nach Längen- und Querprofil verschieden gestaltete Flussbett, andererseits der seitliche Wasserzufluss durch die teilweise bedeutenden Seitenbäche in wechselndem Masse umgestaltend ein.

Die Erörterung der vorliegenden Frage kann natürlicherweise mangels einer genügenden Zahl von Limmigraphenstationen und infolge des ausserordentlich raschen Verlaufes der Flutwelle keine erschöpfende sein. Die Darstellung der Zeitkurve und der mittleren Geschwindigkeiten ( $V_{mF}$ ) des Scheitels der Flutwelle, wie sie auf Tafel 11 enthalten ist, verzeichnet die aufeinanderfolgenden Eintrittszeiten der Scheitel der Flutwellen der Rhone an den bestehenden Pegel- und Limmigraphenstationen des Flussgebietes mit Hilfe eines rechteckigen Koordinatensystems, in welchem die Abszissen die Zeiten des Hochstandes, die Ordinaten die Lage der Stationen bestimmen. Die Lage der Station ist durch ihre gegenseitige Entfernung in der abgewickelten Flusstrecke in Kilometern ausgedrückt. Die einzelnen Punkte sind der Reihe nach durch einen Linienzug verbunden worden, welcher uns die Zeitkurve liefert. Die Zeitkurve ist das Bild der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Wellenscheitels. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist um so grösser, je steiler sich der Linienzug gegen die Abszissenaxe stellt.

Betrachten wir den Verlauf der Flutwelle im allgemeinen und vergleichen ihn mit Hochfluten, verursacht durch starke Niederschläge, so ist die Höhe der Flutwelle im Vergleich zu ihrer Länge eine sehr grosse. Von einem bestimmten Zeitpunkte an beginnt nach den Aufzeichnungen des Limmigraphen der Wasserstand plötzlich zu steigen, erst langsam, dann stärker, allmählich wieder langsamer bis zum Höchststande, um sich sofort oder nach einem Stillstand (September 1900) anfangs wieder langsam, dann aber rasch und stetig zu senken. Das Mass des Steigens und des Fallens kann natürlich nur ausnahmsweise gleich sein. Die tägliche Periode der Wasserführung der Rhone, die ihre Entstehung in erster Linie der Gletscherschmelzung zu verdanken hat, zeigt so grosse Variationen, dass die Höhenlage beim Beginn und am Ende der Flutwelle im engsten Zusammenhange mit der täglichen Variation der Wasserspiegelhöhe der Rhone steht. Fällt Anfang und Ende der Flutwelle in die nämliche Stunde zweier aufeinanderfolgender Tage mit genau denselben periodischen Abflussverhältnissen, so muss das Mass des Steigens gleich demjenigen des Fallens sein. (Vergleiche Tafeln 12 und 13.)

Bevor wir auf den Verlauf der einzelnen Flutwellen näher eintreten, wollen wir über den Einfluss der Korrektion auf die Wasserführung der Rhone im allgemeinen zu sprechen kommen. Der Einfluss der Beschaffenheit und Gestaltung des

Flussbettes auf den Verlauf der Flutwellen ist ein überaus grosser. Hat das in Betracht fallende Gewässer auf eine lange Strecke ein einheitliches Querprofil und Gefälle, wie dies bei der Rhone einigermassen der Fall ist, sind ferner die zu betrachtenden Flutwellen nicht sehr lang, so könnte man die nach Dr. Ing. Henry Struve<sup>1</sup> bezeichnete Wasserspiegelmethode verwenden. Man stellt an möglichst vielen Stationen einer solchen regelmässigen Strecke zu einer bestimmten Zeit die Höhe des Wasserspiegels fest und erhält so im Längsschnitt ein deutliches Bild der gesamten Flutwelle. Leider kann diese Methode für den vorliegenden Fall keine Verwendung finden, weil jede der in Betracht fallenden Beobachtungsstrecken, nämlich Bitsch, Sitten und Porte du Scex viel zu weit auseinander liegen und deshalb ganz andere Verhältnisse aufweisen.

Die Rhone von Brig bis zum Genfersee hat den Charakter eines zum grössten Teile in die beweglichen Alluvialablagerungen einer breiten Talsohle gebetteten Gebirgsflusses, der auf seinem 120 km langen Laufe eine grosse Zahl, teilweise sehr mächtiger Wildbäche, aufnimmt.

Die gewaltigen Hochwasser-Katastrophen der Jahre 1834, 1839, 1841, 1846, 1860 und 1862 führten Verwüstungen an Wiesen und Feldern, Beschädigungen der Strassen und Brücken herbei und veranlassten den Kanton Wallis, nachdem viele Gemeinden Jahrhunderte lang mit zäher Ausdauer den Kampf gegen die vernichtende Gewalt des Wassers geführt hatten, zu einer systematischen Verbauung der Rhone von der Eimmündung der Massa bis zum Genfersee. Im Längenprofil auf Tafel 11 fallen auf den ersten Blick zwei Stellen mit grossem Gefälle auf, nämlich diejenigen zwischen der Leukerfeldbrücke und Sidens (km 43.0-52.9), Gefälle 8.4 ‰ und zwischen Branson und St. Maurice (km 97.6-112.9), Gefälle 3.59 ‰.

Zwischen Leuk und Sidens hat ein ehemaliger Felssturz das Rhonetal verschüttet. Eine Korrektion an dieser Stelle wurde, weil weniger notwendig, nicht ausgeführt. Bei St. Maurice bildet ein Felsriegel das Hindernis. Aus dem Längenprofil geht hervor, dass abgesehen von den bereits erwähnten Gefällsstufen das Gefälle von oben nach unten abnimmt.

Das zur Anwendung gebrachte Bausystem besteht aus zwei, das Profil auf Hochwasser abschliessenden Paralleldämmen und an diese angelehnt, gegen das Flussbett geneigte Traversen, die sich gegenüberliegen und sich in Abständen von 30 Meter folgen. Die flusswärts gelegenen Böschungen der Hochwasserdämme sind mit einem 0,50-0,60 m starken Steinpflaster bekleidet, ausgenommen die Strecken mit schwachem Gefälle, welche nur mit kleinerem Steinmaterial versichert sind. Die Traversen bestehen aus Bruchsteinmauerwerk, laufen etwa 0,50 m unter der Krone an den Hauptdamm an und stehen an der Mittelprofillinie (beim Kopf) etwa 0,50 m

<sup>1</sup> STRUVE, H. *Einfluss von Niederungen und Eindeichungen auf den Verlauf von Hochwasserwellen*. Sammlung wasserwirtschaftlicher Schriften. Bd. 3. Halle a. S. 1911.

über Niederwasser, was einer Neigung von 1 : 5 entspricht. Am untern Ende der Traverse ist ein breiter, kreisförmiger Kopf angebracht.

Für die nachstehend verzeichneten Stationen (siehe Längenprofil Tafel 11) gestalten sich nun die Profilverhältnisse folgendermassen.

	Hochwasser. Profilbreite in m.	Niederwasser. Profilbreite in m.
Bitsch, Massa	ohne Korrektion	Profilbreite beim Pegel 18 m
Brig, Rhone	43,7	35,0
Raron, Rhone	73,0	38,4
Leukerfeldbrücke	83,4	41,3
Leukerfeldbrücke-Siders	natürliche Gefällstufe ohne Korrektion	
Granges, Rhone	99,3	41,3
Sitten, Rhone	61,3	39,4
Riddes, Rhone	98,8	46,3
Brançon, Rhone	103,0	52,0
St. Maurice, Rhone	natürliche Gefällstufe mit teilweiser Korrektion	
Porte du Scex, Rhone	96,5	60,0

Daraus ist ersichtlich, dass das Rhoneprofil nach unten eine, wenn auch nicht immer regelmässig verlaufende Erweiterung erfährt. Der Uebergang der Flutwelle von engen zu weiten Querschnitten bedingt deshalb eine Senkung des Scheitels der Flutwelle im untern Rhonegebiet.

Welch' grossen Einfluss das Gefälle auf die Höhe der Flutwelle ausübt, geht aus dem Verlauf der Flutwelle der Massa bei Bitsch hervor. Trotzdem die Profilverhältnisse der Rhone in Brig eher grössere sind als in Bitsch, tritt eine bedeutende Anschwellung in Brig ein (1901, siehe Tafel 10).

In der folgenden Tabelle sind für die Ausbrüche der Jahre 1892, 1895, 1900, 1901 und 1907 für die in Betracht fallenden Beobachtungsstationen die Zeitangabe (Anfang, Scheitel, Ende und Dauer der Flutwelle), die zugehörigen Pegelstände, die Scheitelhöhe, der zeitliche Abstand, die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Scheitels der Flutwelle und der mittlere normale Pegelstand im Scheitel einander gegenübergestellt <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Auf Tafel 12 und 13 finden sich die Flutwellen der Rhone in Porte du Scex (Ausbruch 1900) und in Sitten (Ausbruch 1913) und zwar sind den Limnigraphenkurven auch noch die absoluten Wassermengenkurven in m<sup>3</sup> pro Sekunde und die Abflussmengenkurven in l pro km<sup>2</sup> beigelegt worden.

Station	Kilometerung	DATUM — ZEIT				PEGELSTÄNDE				VERLAUF DES SCHEITELS DER FLUTWELLE			Mittlerer normaler Pegelstand m		
		Anfang		Ende		Anfang		Scheitel		Ende		Zeitlicher Abstand		Mittlere Fortpflanzungsschwindigkeit V <sub>m</sub> in m pro Sekunde	
		Datum	Zeit	Datum	Zeit	Datum	Zeit	Datum	Zeit	Stunde	Minute				
Märjelensee	0.000	8. VII.	— a	9. VII.	c. 4 <sup>h</sup> 0 p	9. VII.	6 <sup>h</sup> 0 p	—	—	0.00	70.22	—	—	—	—
Brig	18.400	9. VII.	3 <sup>h</sup> 00 a	9. VII.	10 <sup>h</sup> 00 p	10. VII.	7 <sup>h</sup> 30 a	3.79	5.71	3.50	1.85	—	—	—	3.60
Sitten	71.700	9. VII.	10 <sup>h</sup> 00 a	10. VII.	1 <sup>h</sup> 00 a	10. VII.	6 <sup>h</sup> 00 p	5.22	6.61	5.40	1.00	—	—	—	5.85
Porte du Scex	131.300	9. VII.	6 <sup>h</sup> 00 p	10. VII.	7 <sup>h</sup> 30 a	10. VII.	10 <sup>h</sup> 00 p	4.64	5.34	4.85	0.42	—	—	—	4.80
<b>23.-24. IX. 1895</b>															
Märjelensee	0.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Brig	18.400	23 IX.	6 <sup>h</sup> 00 p	24 IX.	7 <sup>h</sup> 00 a	24 IX.	6 <sup>h</sup> 30 p	3.10	3.80	3.20	0.98	—	—	—	—
Granges	62.300	24 IX.	1 <sup>h</sup> 30 a	24 IX.	8 <sup>h</sup> 56 a	25 IX.	4 <sup>h</sup> 30 a	3.97	4.38	3.99	0.64	—	—	—	2.98
Porte du Scex	131.300	24 IX.	4 <sup>h</sup> 30 a	24 IX.	4 <sup>h</sup> 00 p	25 IX.	6 <sup>h</sup> 30 a	3.88	4.05	3.96	0.39	—	—	—	3.84
<b>8.-10. IX. 1900</b>															
Märjelensee	0.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bitsch	15.500	8. IX.	8 <sup>h</sup> 00 p	9. IX.	5 <sup>h</sup> 00 a	9. IX.	4 <sup>h</sup> 00 p	3.51	3.95	3.54	0.51	—	—	—	3.47
Sitten	71.700	9. IX.	2 <sup>h</sup> 30 a	9. IX.	10 <sup>h</sup> 50 a	9. IX.	7 <sup>h</sup> 00 p	4.75	5.04	4.71	0.59	—	—	—	4.63
Porte du Scex	131.300	9. IX.	4 <sup>h</sup> 00 a	9. IX.	5 <sup>h</sup> 30 p	10. IX.	4 <sup>h</sup> 00 a	3.71	3.99	3.77	0.49	—	—	—	3.64
<b>31. VIII - 1. IX. 1901</b>															
Märjelensee	0.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bitsch	15.500	31. VIII.	1 <sup>h</sup> 30 p	31. VIII.	10 <sup>h</sup> 00 p	1. IX.	10 <sup>h</sup> 30 a	—	—	—	—	—	—	—	—
Sitten	71.700	31. VIII.	5 <sup>h</sup> 30 p	1. IX.	2 <sup>h</sup> 23 a	1. IX.	4 <sup>h</sup> 00 p	3.48	4.02	3.40	0.52	—	—	—	3.48
Porte du Scex	131.300	31 VIII.	11 <sup>h</sup> 30 p	1. IX.	6 <sup>h</sup> 45 a	1. IX.	6 <sup>h</sup> 00 p	4.60	5.37	4.74	0.54	—	—	—	4.73
<b>15.-16. VIII. 1907</b>															
Märjelensee	0.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bitsch	15.500	15. VIII.	10 <sup>h</sup> 30 p	16. VIII.	4 <sup>h</sup> 00 a	16. VIII.	12 <sup>h</sup> 00 m	—	—	—	—	—	—	—	—
Sitten	74.700	16. VIII.	2 <sup>h</sup> 30 a	16. VIII.	5 <sup>h</sup> 00 a	16 VIII.	4 <sup>h</sup> 00 p	3.63	3.77	3.59	0.15	—	—	—	3.61
Porte du Scex	131.300	—	—	16. VIII.	11 <sup>h</sup> 00 a	—	—	6.26	6.38	5.86	0.23	—	—	—	6.10

<sup>1</sup> 8. VII. 1892 vormittags; Beginn der Absenkung 12<sup>h</sup> 0 p; Absenkung 1.0 m; 9. VII. 10<sup>h</sup> 0 a; totale Absenkung 3.40 m, abends 6<sup>h</sup> 0 p; Seebecken vollständig leer.



Bevor wir auf eine Diskussion der vorstehenden Zusammenstellung näher eintreten, sei Folgendes bemerkt :

Ueber den Zusammenhang der Niveauschwankungen des Märjelensees mit dem Verlauf der Flutwelle stehen uns nur für den Ausbruch des Jahres 1892 einige Aufzeichnungen zur Verfügung<sup>1</sup>. Für die andern Jahre fehlen präzise Angaben. Es ist dies umsomehr zu bedauern, als gerade die Kenntnis der Dauer, die das Wasser des ausbrechenden Sees gebraucht, um vom See bis in die Rhone zu gelangen, ungemein wertvoll wäre. Wir haben für das Jahr 1892 die maximale Absenkung mit einigem Recht auf 1 Uhr mittags angesetzt. Der Scheitel der Flutwelle erreichte Brig um 10 Uhr abends. Es entspricht dies einer mittlern Fortpflanzungsgeschwindigkeit von ungefähr 0,50 m. Vergleichen wir nun diese Geschwindigkeit mit den mittlern Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Flutwelle zwischen Brig-Sitten (4,94 m) und Sitten-Porte du Scex (2,55 m), so erhellt daraus deutlich genug, was für eine, relativ gesprochen, bedeutende Zeit das Wasser des Sees gebraucht, um den Weg durch, über oder unter dem Gletscher zurückzulegen. Seit der Erstellung des Linnigraphen in Gebidem an der Massa, unterhalb des Aletschgletschers, ist es nun einigermaßen möglich, die Geschwindigkeit der Flutwelle, die durch die bedeutende tägliche Periode bedingt wird, zu verfolgen. Neben der Station Gebidem steht uns hiezu noch der Linnigraph von Bitsch, ebenfalls an der Massa, zur Verfügung. Trotzdem, wie bereits früher bemerkt, die Wasserführung der Massa in Bitsch durch den Leerlauf der Wasserkraftanlage an der Rhone bei Mörel, beeinträchtigt wird, ist die Bestimmung der Zeitdauer möglich, weil eine Aenderung in der Wasserführung des Leerlaufes nur ausnahmsweise die Tagesflutwelle beeinträchtigt. Die beiden Stationen liegen nur 5,4 km voneinander entfernt. Seitenbäche von irgend welcher Bedeutung münden nicht ein, daher kann auch nur der Gletscherabfluss auf die tägliche Periode des Wasserstandes der Massa wirken. Nun die Resultate :

Im Mittel von 14 Beobachtungen beträgt die Geschwindigkeit des Fortschreitens der täglichen Periode in der Massa rund 1,50 m. Die Beobachtungen beziehen sich auf Pegelstände, die innerhalb der Höhen von 3,08 m und 3,76 m liegen. Der Linnigraphenapparat in Gebidem registriert kontinuierlich, derjenige in Bitsch dagegen nur alle Stunden einmal. Daraus geht hervor, dass der Fehler in der Zeitbestimmung ein sehr grosser sein kann und nur durch einen Mittelwert einigermaßen verbessert wird. Selbstverständlich lässt sich auch ein Wachsen der Geschwindigkeit bei höheren Ständen nicht nachweisen. Kehren wir zum Ausbruche des Jahres 1892 zurück und setzen als Zeitwert für das Fortschreiten der Flut-

---

<sup>1</sup> Die neueren Ausbrüche des Sees in den Jahren 1909, 1910, 1911 und 1912 hatten keine ausgesprochene Flutwelle in der Rhone zur Folge. Der charakteristische Ausbruch im Jahre 1913 erfolgte nachts und entzog sich den Beobachtungen an den Pegeln. Die Linnigraphen in Gebidem, Bitsch und Porte du Scex wurden durch die Intensität der Welle ausser Betrieb gesetzt.

welle vom Gletscherende bis Brig einen Wert von einer Stunde ein, so ergibt sich für die mittlere Geschwindigkeit, die die Flutwelle gebraucht, um den Gletscher zu durchqueren, eine Grösse von 0,3 m, wobei als Länge des Gletschers die direkte Linie, nämlich 9,2 km in Rechnung gebracht worden ist.

Hinsichtlich der Zeitbestimmung ist ferner zu bemerken, dass auch die Limmigraphen in Sitten und Porte du Scex nur stündlich registrieren. Ein Fehler im ungünstigsten Falle von 1 Stunde zwischen zwei benachbarten Limmigraphenstationen übt namentlich auf die Berechnung der mittleren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten einen wesentlichen Einfluss aus. Für deren Beurteilung muss dieser Einfluss mitberücksichtigt werden.

Leider sind nun nicht alle Beobachtungsstationen für die vorliegenden Ausbruchsjahre dieselben. In den Jahren 1892 und 1895 existierte die Limmigraphenstation von Bitsch (Massa) noch nicht. Vergleichen wir aber die Beobachtungsstationen *Brig* und *Porte du Scex* für die Jahre 1892 und 1895 miteinander, so stellen sich für den Verlauf des Scheitels der Flutwelle folgende Werte ein:

	Zeitlicher Abstand.	Mittlere Geschwindigkeit.	Mittlerer normaler Pegelstand.
1892	9 h 30'	3,30 m pro Sek.	{ Brig 3,60 m { Porte du Scex 4,80 m
1895	9 h 0'	3,48 m pro Sek.	{ Brig 2,98 m { Porte du Scex 3,80 m

Schon dieses Resultat ist interessant. Trotz der verhältnismässig kleinen Differenz, die im zeitlichen Abstand in beiden Jahren zu Tage tritt, erhalten wir für die mittlere Geschwindigkeit der Flutwelle bei einem Pegelstand von 4,80 m und 3,80 m in Porte du Scex nur wenig verschiedene Werte.

Nun hat Brückner in seiner bedeutenden Arbeit über die tägliche Periode der Wasserführung und die Bewegung von Hochfluten in der obern Rhone <sup>1</sup> an Hand der Aufzeichnungen der beiden Limmigraphen in Sitten und in Porte du Scex über die tägliche Periode des Wasserstandes den Nachweis erbracht, dass mit wachsendem Wasserstand auch die Geschwindigkeit der Fortbewegung der Flutwelle zunimmt, bis zu einem Pegelstand von 5,00-5,25 m am Pegel in Sitten. Hernach aber nimmt die Geschwindigkeit wieder ab, erst langsam, dann rascher. Brückner hat für alle Tage, für die gleichzeitige Beobachtungen von Sitten und Porte du Scex vorliegen, die Zeit bestimmt, die die Welle zum Zurücklegen der

<sup>1</sup> BRÜCKNER, E. *Untersuchungen über die tägliche Periode der Wasserführung und die Bewegung von Hochfluten in der obern Rhone*. Petermanns Mitteilungen, Bd. 41, 1895, Gotha.

60 km langen Strecke brauchte. Hierauf sichtete er die Tage nach der Höhe des Pegelstandes und gelangte auf diese Weise zu folgenden Resultaten :

Wasserstand in Sitten (Höhe des Wasser- standes in m) . . .	bis 4.25	4.26-4.50	4.51-4.75	4.76-5.00	5.01-5.25	5.26-5.50	5.51-5.75	über 5.75
Zahl der täglichen Hochwasser* . . .	21	31	27	34	24	32	16	6
Zeit, die das Hoch- wasser für 60 km Weg gebrauchte .	6 <sup>h</sup> 34 min.	6 <sup>h</sup> 21 min.	6 <sup>h</sup> 4 min.	5 <sup>h</sup> 48 min.	4 <sup>h</sup> 47 min.	5 <sup>h</sup> 17 min.	5 <sup>h</sup> 26 min.	8 <sup>h</sup> 30 min.
Geschwindigkeit des Vorschreitens des Hochwassers . . .	2.54 m	2.65 m	2.75 m	3.14 m	3.36 m	3.12 m	3.07 m	1.96 m

\* Darunter sind die täglichen, periodischen Anschwellungen zu verstehen.

Auf den Verlauf der Flutwelle übt nun auch die Rhonekorrektion einen Einfluss aus. Ueber das zur Anwendung gebrachte Bausystem haben wir bereits im Vorstehenden berichtet. Daraus geht hervor, dass die Traversen nur von einem bestimmten mittlern Wasserstande unter Wasser gesetzt werden. Eine unbedeutende Erhöhung des Rhonestandes bedingt aber eine ganz bedeutende Vergrößerung des Abflussprofils, was auch eine Verminderung der mittlern Geschwindigkeit zur Folge hat. Ein weiteres Moment, auf das Brückner besonderes Gewicht legt, ist das Anfüllen der Flusstrecken zwischen den Traversen beim Herannahen des Kammes der Wellen. Es ist klar, dass ein Teil des Wassers, sofern das Rhonebett beim Eintritt der Flutwelle einen gewissen Tiefstand hatte, hiebei verloren geht bzw. zurückgehalten wird, so dass das Maximum der Wassermenge, je weiter wir rhoneabwärts kommen, auch immer kleiner wird. Brückner sagt ganz richtig, dass sich die Welle selbst aufzehrt. Je nach dem Grad der Auffüllung dieser Zwischenräume durch Kies und Sand ist der Einfluss auch ein mehr oder weniger grosser. Natürlich spielt auch die während des Verlaufes der Flutwelle erhöhte Kiesführung eine gewisse Rolle. Die allgemeine Verbreiterung des Flussbettes nach unten ist ein weiterer wichtiger Faktor. Die Folge all dieser Erscheinungen ist eine Verzögerung und Verflachung der Flutwelle.

Nun liegt der normale Pegelstand in Sitten (5,35 m) für den Ausbruch im Jahre 1892 etwas höher als der kritische Pegelstand Brückner's mit 5,00-5,25 m. Deshalb trägt auch der etwas kleinere Wert für die mittlere Geschwindigkeit der Fortbewegung der Flutwelle im Jahre 1892 nichts abnormes an sich.

Für die Flutwellen der Jahre 1892, 1900, 1901 und 1907 besitzen wir nun gleichwertige Aufzeichnungen der Limmigraphen in Bitsch (Massa), Sitten (Rhone) und Porte du Scex (Rhone). Es stellen sich folgende Resultate ein :

	ZEITLICHER ABSTAND		MITTLERE GESCHWINDIGKEIT		MITTLERER NORMALER PEGELSTAND		
	Bitsch-Sitten	Sitten-Porte du Scex	Bitsch-Sitten	Sitten-Porte du Scex	Bitsch	Sitten	Porte du Scex
8.-10. IX. 1900	5 <sup>h</sup> 50 min.	6 <sup>h</sup> 40 min.	2.68 m	2.48 m	3.47 m	4.63 m	3.64 m
31. VIII. - 1 IX 1901	4 <sup>h</sup> 23 min.	4 <sup>h</sup> 22 min.	3.56 m	3.79 m	3.48 m	4.73 m	3.78 m
15.-16. VIII. 1907	4 <sup>h</sup> 0 min.	6 <sup>h</sup> 0 min.	3.90 m	2.76 m	3.61 m	6.10 m	—
10 VI. 1892	—	6 <sup>h</sup> 30 min.	—	2.55 m	—	5.35 m	4.80 m

Vergleichen wir die vorliegenden Resultate der Strecke Sitten-Porte du Scex mit den korrespondierenden Ergebnissen Brückners, so ist zunächst hervorzuheben, dass die Ergebnisse Brückners *Mittelwerte*, die vorliegenden *Einzelwerte* sind.

Stellen wir die Resultate einander gegenüber :

	Pegelstand in Sitten.	Mittlere Geschwindigkeit. (Flutwelle Märjensee)	Mittlere Geschwindigkeit. (tägl. Anschwellungen der Rhone, Brückner)
1900	4,63 m	2,48 m	2,75 m
1901	4,73 m	3,79 m	2,75 m
1892	5,35 m	2,55 m	3,12 m
1907	6,10 m	2,76 m	1,96 m

Wenn wir nun die bedeutende Fehlergrenze, die, wie früher erwähnt, in der Zeitbestimmung zu Tage tritt und im Maximum eine Stunde erreichen kann, in Berücksichtigung ziehen, so stimmen die Resultate der Märjenseeflutwellen mit den täglichen Flutwellen (Mittelwerte) nicht schlecht überein. Deutlich genug geht hervor, dass mit wachsendem Wasserstande die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Flutwelle erst zu-, dann aber abnimmt. Dass der von Brückner bestimmte Grenzpunkt nicht zum Ausdruck gelangt, ist an Hand der wenigen Beispiele auch ganz selbstverständlich.

Was nun die obere Strecke Bitsch-Sitten anbelangt, so liegen die Resultate etwas anders als im untern Gebiet. Von der Massabücke bei Bitsch bis Brig bestand zu Zeiten der vorliegenden Flutwellen noch keine Korrektion der Rhone. Unterhalb Brig sind auf längere Strecken nur teilweise Traversen (Sporren) eingebaut. Die Strecke Leuk-Chippis ist noch heute in unkorrigiertem Zustande. Das Gefälle auf der ganzen Strecke ist bedeutend grösser als auf der Strecke Sitten-Porte du Scex. Es sind dies alles Faktoren, die einer Abnahme der Geschwindigkeit der Flut-

welle bei höhern Ständen entgegenwirken. Wenn wir nun auch noch die Fehlerquelle, die in der Zeitbeobachtung zu Tage tritt, mitberücksichtigen, so erscheinen auch die vorliegenden Resultate, die keine Abnahme der Geschwindigkeit bei höhern Ständen zeigen, normale zu sein.

Nicht vergessen dürfen wir den Einfluss, den die Schwankungen der Seitenbäche durch Regen und durch ihre tägliche Periode auf die Flutwelle des Märgelsees ausüben. Ein solcher ist sicherlich vorhanden, eine vollständige Ausgleichung kann aber nur dann eintreten, wie Brückner richtig bemerkt, wenn jedes Hochwasser (jede Flutwelle) durch ein gleichzeitig eintreffendes Niederwasser ausgeglichen wird. Dass ein solcher Zufall überhaupt nie eintritt, braucht kaum erwähnt zu werden.

Die Flutwelle erreicht ihr Ende im Genfersee. Merkliche Anschwellungen infolge der Flutwelle konnten an den am Genfersee sich befindenden Linnigraphenstationen nicht nachgewiesen werden. Dies rührt wohl einerseits von der Grösse der Seefläche (582,9 km<sup>2</sup>) und anderseits von den im Genfersee immerwährend bemerkbaren Oszillationen (Seiches) her.

## XX. KAPITEL.

### Die Ursachen der Ausbrüche.

Die Frage nach der Ursache der Ausbrüche ist schon in frühern Abschnitten vielfach berührt worden. Wir haben den Vorgang bereits klar gelegt, wie sich der See verhält, wenn er den niedrigsten Punkt des Gletschers am Fusse des Eggishornes erreicht hat. Es findet ein Ueberfliessen des Sees statt; die erodierende Wirkung des ausbrechenden Wassers ermöglicht einen Ausbruch. Solche Ausbrüche durch *Ueberlaufen* verursachen niemals eine vollständige, sondern immer nur eine teilweise Entleerung, eine *Absenkung* des Sees. Als typisches Beispiel sei der Ausbruch im Jahre 1909 erwähnt, worüber in Kapitel XVII<sup>1</sup> eingehend berichtet worden ist. Selbstverständlich spielt hiebei die Höhenlage der Gletscheroberfläche eine ausschlaggebende Rolle. Je mächtiger die Gletscherwand, desto höher liegt die Ueberlaufschwelle und desto mehr Zeit braucht der See um die Höhe derselben zu erreichen. Zu Zeiten höherer Gletscherstände fanden deshalb Ausbrüche infolge Ueberlaufens in grösseren Intervallen statt als zur Zeit des jetzigen Gletschertiefstandes. Die morphometrischen Werte der Seeinhalte lassen erkennen, dass beispielsweise im Jahre 1878 das Seevolumen mehr wie doppelt so gross war als im Jahre 1909, deshalb muss auch ein Ausbruch des Sees unter gleichen Verhältnissen bei Gletscherhochständen zeitlich viel später eintreten als bei Tiefständen. Hiezu ist weiters zu bemerken, dass Seeausbrüche über den Gletscher, vor dem Bau des Grabens und spätern Stollens nur so lange möglich waren, als die Ueberlaufstelle beim Gletscher niedriger als der tiefste Punkt der Einsattlung am Ostende des Sees lag.

Seit dem Bau des Grabens, beziehungsweise Stollens, ist aber ein Ueberfliessen des Sees längs der Gletscherwand nur dann möglich, wenn die Ueberlaufschwelle tiefer liegt als die Sohle einer dieser künstlichen Ableitungen.

Der vollständige Ausbruch im Jahre 1913 ist durch die plötzliche Bildung einer *Grundspalte* veranlasst worden. Der See hat sich nach vorangegangener

---

<sup>1</sup> I. Teil. Kapitel XVII. Aufzeichnungen über Seeausbrüche. S. 176-182.

schwacher Absenkung in der Nacht vom 30./31. Juli entleert und an der Oberfläche des Gletschers nicht eine Spur hinterlassen. Das Wasser ist auf subglazialem Wege der Massaschlucht zugeeilt. *Der zeitliche Ausbruch im Jahre 1913 fällt mit dem Temperaturmaximum des Thermographen bei der Konkordiahütte des S. A. C. zusammen.*

Die Spaltenbildung, oder besser gesagt, die Bewegung des Gletschers, die die Spaltenbildung veranlasst, bildet also eine weitere Ursache der Ausbrüche. Selbstverständlich kann auch jede andere Spalte einen Ausbruch herbeiführen. Je nach der Lage ihrer Entstehung ist die Entleerung eine mehr oder weniger vollständige.

Aus der Bodengestaltung des Seebeckens geht hervor, dass wir im Bereiche der Gletscherwand ungemein wechselvolle Verhältnisse vorfinden. Namentlich am Fusse des Eggishornes treten Felserrhebungen, eine Art Riegel zu Tage, die auf das Mass der Ausbrüche, den Grad der Absenkungen, bestimmend einzuwirken vermögen. Der Verfasser hat anlässlich des Besuches einer tiefen Randkluft am Fusse des Eggishornes den Anfang eines Felsriegels festlegen können. Zwei Höhenlagen sind namentlich von Bedeutung. Aus den Pegelkurven (Tafel 14) geht hervor, dass die Hochwasserstände der Jahre 1909 (Pegel 56.72 m), 1910 (Pegel 56.72 m) und, 1913 (Pegel 56.87 m)<sup>1</sup> fast die nämliche Höhe erreicht haben; es ist dies eine Erscheinung die mit der Höhenlage der Gletscheroberfläche im engsten Zusammenhang steht. Ebenso sind die Absenkungen der Jahre 1908, 1909 und 1910 auf der nämlichen Pegelhöhe von rund 34 m stehen geblieben. Nach Ansicht des Verfassers ist einzig und allein die Bodengestaltung die Ursache dieser interessanten Tatsachen. Eine gewisse Ueberlaufstelle im Felsen bietet den Anlass zur Absenkung des Sees und zwar dürfte sie anfänglich horizontal, dann stark geneigt sein, so dass die erodierende Tätigkeit des Wassers nach einer gewissen Zeitperiode zur vollen Wirkung gelangen kann. In der Höhenlage von Pegel-Teilstrich 34 m dominiert vermutlich eine Felspartie ebenfalls in gewisser horizontaler Ausdehnung, die wieder für den Grad der Ausbrüche bestimmend wirkt. Hinsichtlich der Spaltenbildung ist weiters zu bemerken, dass ihre Lage eine überaus verschiedene ist und dementsprechend auch der Verlauf der Ausbrüche. (Vergleiche Kapitel III, Seite 30.)

Eine weitere Ursache der Ausbrüche ist die Wirkung der schmelzenden Tätigkeit des Seewassers und der Wasserbewegung auf die Gletscherwand. Schon Venetz hat in seinem Berichte vom 15. November 1827<sup>2</sup> auf diesen Punkt aufmerksam gemacht und ihr die Hauptursache der Seeausbrüche zugeschrieben. Nach jedem Seeausbruch tritt die zerstörende Tätigkeit des Seewassers und des Wellenschlages aufs deutlichste zu Tage.

Es entstehen Löcher von gewaltigen Dimensionen. Nähert sich nun eine solch' erweiterte Spalte einer andern, welche gletscherabwärts direkt oder heberartig

<sup>1</sup> Der Hochwasserstand des Jahres 1914 erreichte ebenfalls annähernd dieselbe Höhe (57.02 m, 13. IX.).

<sup>2</sup> I. Teil. Kapitel XXI. Die baulichen Vorkehrungen gegen die Ausbrüche des Sees. S. 212 u. 213.

dem Wasser freien Abzug gewährt, so sind die Bedingungen für einen Ausbruch vorhanden und es steht ihm nichts mehr im Wege. Ganz selbstverständlich können hier viele kleinere Umstände mitwirken und die direkte Veranlassung der Ausbrüche herbeiführen. Es sei in dieser Hinsicht nur auf die gewaltige Wirkung des Wellenschlages, verursacht durch das « Kalben » des Gletschers hingewiesen.

Die Ausbrüche lassen sich also auf drei verschiedene Ursachen zurückführen :

1. durch *Ueberlaufen* ; 2. durch *direkte Spaltenbildung, infolge der Bewegung des Gletschers* und 3. durch *Bildung und Erweiterung der Spalten vermöge der auflösenden Tätigkeit des Seewassers*.

Die Ausbrüche des Sees werden je nach ihrer Ursache durch verschiedene Umstände begünstigt :

*Ausbrüche durch Ueberlaufen.* Je grösser die Niederschlagsmengen hauptsächlich im Winter und Frühjahr sind und je höher die Lufttemperaturen, desto wirksamer setzt die Schneeschmelze ein. Der See steigt sehr rasch und erreicht je nach der Höhe des Wasserstandes des Vorjahres früher oder später die Höhe der Ueberlaufschwelle am Fusse des Eggishornes, was eine Absenkung des Sees zur Folge hat.

*Ausbrüche durch Spaltenbildung.* Die Spaltenbildung wird ermöglicht durch die Bewegung des Gletschers und die Gestalt des Gletscherbettes. Man unterscheidet deshalb auch zweierlei Spalten, Bewegungsspalten und Terrainspalten. Durch die starke Bewegung des Gletschers entsteht noch ein Netz von Querspalten, deren Entstehung von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt. Da das Gletscherbett bei der Absturzwand eine Biegung nach aufwärts erfährt, so müssen auch Grundspalten entstehen. Die Spaltenbildung im Bereiche der Gletscherzunge im Becken des Märjelensees ist deshalb eine ungemein mannigfaltige und rasch ändernde. Das Bild das sich dem Auge bietet, wechselt mit jedem Jahre und auch innerhalb eines Jahres, namentlich in der Schmelzperiode, ständig. Durch den Wechsel der Höhenlage der Eisdecke ändert auch der Druck auf den Untergrund. Die Tiefe der Spalten ist für den Grad der Ausbrüche oft von bestimmendem Einfluss. Die Bildung einer Grundspalte hat beispielsweise den plötzlichen Ausbruch des Sees im Jahre 1913 herbeigeführt. Mit dem Wechsel der Jahreszeiten erweitern und verengern sich die Spalten, sie sind am grössten im Sommer, am kleinsten im Winter, deshalb fallen die Ausbrüche auch hauptsächlich in die Monate Juli und August. Aus vorstehendem ist ersichtlich, dass Ausbrüche durch Spaltenbildung auf verschiedene Weise und an verschiedenen Orten vor sich gehen können. Der eigentliche Durchbruch der Eiswand findet in der Regel weit innerhalb der Gletscherwand statt und ist deshalb in der Regel dem Auge vollständig entzogen.

*Ausbrüche durch Bildung und Erweiterung der Spalten vermöge der auflösenden Tätigkeit des Seewassers.* Je wärmer das Wasser, desto grösser ist seine schmelzende Tätigkeit. Folgt auf einen schneearmen Winter ein warmer Sommer, so sind die Verhältnisse für die Erwärmung des Seewassers und die Möglichkeit eines Ausbruches am günstigsten.



Schon Forel hat die Ausbrüche des Sees mit dem Anwachsen und Abnehmen des Gletschers, also mit den Gletscherschwankungen in Zusammenhang bringen wollen<sup>1</sup>.

« Ein solcher Zusammenhang besteht », sagt Forel, « jedenfalls bei andern gleichartigen Erscheinungen. Die gewaltigen Ausbrüche der Seen von Giétroz, Allalin oder Vernagt, die Gletscherlawine am Bietschgletscher, die grossen Einbrüche des Defdoraki stehen in Verbindung mit maximalen Hochständen. Handelt es sich bei den Ausbrüchen des Märjelensees um die nämliche Erscheinung? »

Die dem Verfasser bekannt gewordenen Aufzeichnungen über die Wasserstände und Ausbrüche des Märjelensees finden sich in Kapitel VIII<sup>2</sup> übersichtlich zusammengestellt. Hinsichtlich der Ausbrüche ist zunächst zu bemerken, dass es auch dem Verfasser nicht möglich war, alle Daten derselben festzulegen. Immerhin konnte die Zahl der bisher veröffentlichten Aufzeichnungen, hauptsächlich infolge Einsichtnahme des im Staatsarchiv von Sitten befindlichen, wohlgeordneten Aktenmaterials bedeutend vermehrt werden.

Hinsichtlich der Herkunft der Daten ist in der Zusammenstellung für jede Aufzeichnung die Quelle angegeben. Soweit es dem Verfasser möglich war, sind auch frühere Aufzeichnungen einer genauen Prüfung unterworfen worden. Die Qualität der Aufzeichnungen darf daher als eine gute bezeichnet werden. Wenden wir uns nun dem Inhalte der Zusammenstellung zu, so können wir zunächst feststellen, dass die Ausbrüche in der Regel im Sommer stattfinden und zwar in den Monaten Juni bis September. (Die Ausbrüche verteilen sich auf die Monate wie folgt: Juni 4, Juli 10, August 8, September 9, unbestimmt 12.) Nur zweimal wurde ein solcher im Spätherbst oder im Winter bemerkt. (Januar 1883 und 19. Oktober 1912.) In der 101 jährigen Periode von 1813-1913 hat sich der See unter Zugrundelegung der vorstehenden Aufzeichnungen achtmal vollständig entleert und zwar in den Jahren 1828, 1870, 1872, 1878, 1882, 1892, 1901 und 1913. Eine teilweise Entleerung fand 36 Mal statt.

Ueber die Schwankungen des Grossen Aletschgletschers stehen uns leider nur wenig Aufzeichnungen zur Verfügung.

Nach Vervollständigung der Aufzeichnungen Forels<sup>1</sup> durch einige Angaben, sind folgende Tatsachen bekannt :

#### *Wachsen des Grossen Aletschgletschers.*

September 1653<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> FOREL, F. A. *Les variations périodiques des glaciers des Alpes*. Jahrbuch S. A. C., 1889/1890, 24. Jahrgang.

<sup>2</sup> I. Teil. Kapitel VIII. Wasserstandsverhältnisse des Märjelensees. S. 66-73.

<sup>3</sup> *Historia Societatis Jesu in Vallesia* (eine Kopie befindet sich im Staatsarchiv Sitten).

1815, 1816 und 1817 viel Schnee in den Bergen (Venetz) <sup>1</sup>.  
 1826 (Venetz).  
 1841 (Escher von der Linth).  
 1853-1867 (Huber).  
 1856 (Collomb) (Bamatter) <sup>2</sup>.  
 1880 (Forel).

*Schwinden des Grossen Aletschgletschers.*

1579 Tiefstand des Gletschers <sup>3</sup>.  
 1811 (Venetz) <sup>4</sup>.  
 1854 (Fritz).  
 1860 (Tyndall).  
 Vor 1869 (Grad).  
 1870 (Im Hasli, Fiesch).  
 1873 (Cathrein).  
 Vor und nach 1880 (Forel).

Forel stellt sich nun den Gang der Gletscherschwankungen folgendermassen vor :

Bis 1855 Zunahme des Gletschers; von 1855 bis 1870 Beharrungszustand; von 1870 oder 1875 an Beginn der Abnahme, hernach Abnahme bis 1888 (nach Angabe von M. W. A. B. Coolidge, Cambridge, der von 1887 auf 1888 eine Abnahme festgestellt hatte). Von 1888 an soll sich nach Gosset wieder eine leichte Anschwellung des Gletschers in seiner höhern Lage bemerkbar gemacht haben. In der Annahme, dass die vorliegenden Angaben richtig sind, gelangt nun Forel zu folgenden Schlussfolgerungen :

1. In der Schwindperiode von 1871 bis 1887 haben zahlreiche Ausbrüche (11) stattgefunden.

2. In der Hochstandperiode von 1855 bis 1870, in der ein Beharrungszustand stattgefunden haben soll, haben sich nur einige Ausbrüche (5) ereignet.

3. Hinsichtlich der Vorstossperiode fehlen zuverlässige Daten, um den Anfang und das Ende dieser Zeitabschnitte näher zu bezeichnen.

Die Feststellung eines solchen Zusammenwirkens bleibt deshalb einer Untersuchung der nächsten Periode vorbehalten.

<sup>1</sup> VENETZ, M. *Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse*. Rédigé en 1821 in Denkschriften der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften. Zürich, 1833.

<sup>2</sup> Nach Aufzeichnungen von Kaplan Bamatter in Naters erreichte der Aletschgletscher im Jahre 1856 (Erdbeben am St. Jakobstag) den höchsten Stand. Von da an fing er an zu schwinden.

<sup>3</sup> Gemeindearchiv Naters, Bd. 24.

<sup>4</sup> Siehe Anmerkung 3.

Aus diesen Tatsachen zieht Forel den Schluss, dass wahrscheinlich kein Zusammenhang zwischen den Ausbrüchen des Märjelensees und den Gletscherschwankungen besteht.

Zu den Ausführungen Forels hat der Verfasser folgendes zu bemerken :

Der ehemalige Alpweg von Naters nach Aletsch führte die Hirten mit ihrem Vieh über die Gebidembrücke und dem linken Massaufer entlang bis zum sogenannten « Kohlplatz » (740 m aufwärts der Gebidembrücke). Von dieser Stelle aus folgte man dem Gletscher bis nach der Alp Aletsch.

Nach einer Aufzeichnung von Kaplan Bamatter von Naters und in Uebereinstimmung mit vielen Talbewohnern, hatte der Gletscher seinen höchsten Stand im Jahre 1856 erreicht. Anno 1875 kam der Gletscher noch bis zum « Kohlplatz », hernach ging er kontinuierlich zurück. 1886 wurde das Vieh zum letzten Male über den Gletscher nach der Aletschalp geführt.

Betrachten wir nun das Jahr 1856 als Uebergangsjahr der Vorstossperiode zur gewaltigen Schwindperiode, die voraussichtlich bald ihr Ende erreicht haben dürfte und vergleichen wir die Zeiträume von 1836-1856 und 1856-1913 hinsichtlich der Zahl der Ausbrüche miteinander, so ist ein gewisser Zusammenhang zwischen den Ausbrüchen und den Gletscherschwankungen aber unzweifelhaft vorhanden. Die Zahl der Ausbrüche nach 1856<sup>1</sup>, auch prozentual gerechnet, ist doch eine bedeutend grössere als vor 1856. Sie nimmt mit dem Grad des Schwindens des Gletschers zu und hat zur Zeit ein Maximum in der Weise erreicht, dass alle Jahre ein Ausbruch eintritt. Schon im Kapitel XX, S. 204, über die Ursache der Ausbrüche hat der Verfasser erwähnt, dass das zeitliche Eintreffen der Ausbrüche in gewissem Sinne eine Funktion des Gletscherstandes sei.

Schwerer ist es schon, einen Zusammenhang zwischen den Ausbrüchen und den Niederschlagsmengen und Temperaturen herauszufinden. Dass ein solcher besteht, liegt ausser Zweifel. Nun hat Dr. J. Maurer in seiner interessanten Arbeit « Die Entwicklung des meteorologischen Landesdienstes und seine Beziehungen zur schweizerischen Wasserwirtschaft »<sup>2</sup> eine graphische Darstellung der Niederschlags- und Temperaturschwankungen in der Schweiz für die 50 Jahre 1864-1913, repräsentiert durch die drei Hauptstationen Genf, Zürich und Lugano in der Weise veröffentlicht, dass er die Abweichungen sowohl des Niederschlages, als auch der Temperatur in Prozenten vom 50-jährigen Mittel bildlich vor Augen führt. Vergleichen wir nun die Jahre der *vollständigen* Ausbrüche mit dieser Tabelle, so fallen die Ausbrüche der Jahre 1872, 1878, 1882, 1901 und 1913 mit niederschlagsreichen Jahren, die also bedeutend über dem 50-jährigen Mittel liegen, die Ausbrüche der Jahre 1864, 1870, 1873 und 1892 aber mit niederschlagsarmen

<sup>1</sup> In der Annahme, dass uns alle Seeausbrüche bekannt geworden sind.

<sup>2</sup> *Die Wasserwirtschaft in der Schweiz*. Herausgegeben von der Gruppe 34 « Wasserwirtschaft » der Schweiz. Landesausstellung. Bern, 1914.

Jahren zusammen. Hinsichtlich der Temperaturschwankungen stellen sich folgende Verhältnisse ein : Die Ausbrüche der Jahre 1872, 1873 und 1913 fallen mit warmen, diejenigen von 1864, 1870, 1878, 1882 und 1901 (1870 und 1901 stehen nur wenig unter normal) mit kalten Jahren, derjenige von 1892 mit einem normalen Jahre zusammen. Niederschlagsreich und warm zugleich sind die Ausbruchsjahre 1872 und 1913, niederschlagsarm und kalt diejenigen der Jahre 1864 und 1870, niederschlagsarm und warm das Jahr 1873, niederschlagsreich und kalt das Jahr 1878.

Der Ausbruch im Jahre 1913 fällt, wie bereits mitgeteilt, mit der maximalen Temperatur, die der Thermograph bei der Konkordiahütte im Sommer registriert hat, zusammen.

Nun muss von vorneherein zugegeben werden, dass ein Vergleich der Ausbruchsjahre mit den Niederschlags- und Temperaturschwankungen, wie sie uns Maurer gibt, nicht einwandfrei ist und zwar deshalb, weil nur die Periode des Ausbruchsjahres vor dem Ausbruche in Betracht fällt. Ferner vergleichen wir die Ausbrüche mit Beobachtungen, die in Genf durchgeführt wurden. Dies ist wieder nicht ganz richtig. Immerhin dürfen wir hiezu bemerken, dass der Gang der Niederschläge und Temperaturen von Genf mit andern hochgelegenen Rhonestationen in der Regel ein harmonischer ist.

Aus dem bisher Gesagten ist deutlich ersichtlich, dass nur an Hand eines vollständigen Beobachtungsmateriales an Ort und Stelle über die Niveauschwankungen des Sees und die Bewegung des Gletschers, über die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse einwandfreie Schlüsse über den Zusammenhang des Ausbruches mit solchen Faktoren gezogen werden dürfen.

## XXI. KAPITEL.

### Die baulichen Vorkehrungen gegen die Ausbrüche des Sees<sup>1</sup>.

#### A. — Allgemeines.

Die Ausbrüche des Märjelensees verursachten früher in der Rhoneebene gewaltige Ueberschwemmungen: Kulturen wurden zerstört und der Verkehr unterbrochen. Die Verhütung oder Abschwächung solcher Ausbrüche wurde zur dringenden Notwendigkeit. Es liegt in der Natur der Gletscherbewegung, dass die Mittel zur Vermeidung solcher Ausbrüche beschränkte sind. Der Techniker weiss sehr wohl, dass den Gletscherbewegungen keine Schutzbauten zu widerstehen vermögen. Von der gänzlichen Verhinderung solcher Erscheinungen muss deshalb in der Regel abgesehen werden. Fast ausnahmslos handelt es sich in den einzelnen Fällen nur darum, einerseits diejenigen Vorkehrungen zu treffen, die die Wirkung solcher Naturereignisse auf das kleinstmögliche Mass reduzieren, sei es durch Ablenkung der grössten Gefahr besonders exponierter Objekte, oder durch Teilung bzw. Zersplitterung der Grundwirkung, andererseits den Eintritt durch einen gewissenhaft durchgeführten Beobachtungsdienst vorauszusehen.

Grundlegende Studien über diesbezügliche Hilfsmittel wurden zuerst von Kantonsingenieur Ignaz Venetz und dem Gerichtspräsidentensubstitut Inalbon durchgeführt. Kurze Zeit nach dem Ausbruche des Sees, im Oktober 1820, schlug Venetz in einem Berichte an den Staatsrat des Kantons Wallis den Bau einer Galerie vor, um damit die unheilbringende maximale Wasserspiegelhöhe des Sees zu senken, beziehungsweise den Inhalt des Seebeckens zu verkleinern. Andererseits vertrat Inalbon, der die Sachlage an Ort und Stelle ebenfalls geprüft hatte, die Ansicht, dass durch Umleitung der beiden von den Strahlhörnern herkommenden, sich in den

---

<sup>1</sup> Der Staatsrat des Kantons Wallis gewährte dem Verfasser in zuvorkommender und verdankenswerter Weise Einsicht in sämtliche, im Kantonsarchiv vorhandenen, diesen Gegenstand betreffenden Akten.

See ergiessenden Gletscherbäche, nach der Fieschertalseite, ein Auffüllen des Sees fast verhindert werden könne, somit die Ausbrüche auf alle Fälle nicht mehr so oft stattfinden würden und dass infolge der jedenfalls vorhandenen Durchsickerung im Seebecken, dieses sich vielleicht überhaupt nicht mehr zu füllen vermöchte. Venetz war anderer Meinung. Er bemerkte, dass durch Lawinen, Schneestürme, Niederschläge und Schneeschmelze das Seebecken gleichwohl gefüllt werde. Der See müsse sich auf diese Weise füllen, denn nach einem Ausbruch schliesse sich der Gletscher niemals plötzlich und komme der Herbst, so seien die Zuflüsse so klein, dass sie kaum einen Viertel des Beckens zu füllen vermögen. Als Beweis für obige Ausführungen erwähnt Venetz, dass sich der See im Jahre 1820 entleert, anno 1821 wieder gefüllt habe und dass er dann im Jahre 1822 neuerdings ausgebrochen sei. Dagegen betrachtet er die früher vernachlässigte Idee des Inalbon betreffend Ableitung der beiden vorgenannten Gletscherbäche in das Gebiet des Fiescherbaches von einem andern Gesichtspunkte aus als richtig. Da die beiden Wildbäche vom Gletscher herkämen, deren unterste Enden sich weit oberhalb des Sees befänden, so seien sie den Sonnenstrahlen und der atmosphärischen Wärme ausgesetzt. Die Temperatur des Wassers dieser beiden Bäche betrüge bei ihrer Mündung in den See während der Wärmeperiode mehrere Grade. Infolgedessen trügen sie sehr viel zur Schmelzung der sich während des Winters angesammelten Schneemassen bei. Sei dieser Schnee einmal geschmolzen, so erhöhe die Sonne die Wassertemperatur des Sees und verstärke dadurch die Wirkung der Zuflüsse. Es sei leicht zu erklären, wie sich der See den Weg durch den Gletscher verschaffe. Da das Wasser bei 4° Celsius sein grösstes Gewicht habe, weil ferner die Flüssigkeitsmoleküle ohne Mithilfe eines festen Körpers einander nicht erwärmen können, müssen die Wassermoleküle, die eine Temperaturerhöhung erhalten haben, hinuntersinken und diejenigen, die den Gletscher berühren und sich abgekühlt haben, zum Wasserspiegel des Sees hinaufsteigen. Es bilde sich somit während der Sommerszeit eine ständige Zirkulation der Wassermoleküle, die dem Eis ihre Wärme abgeben und es langsam auflösen müsse. Dies sei die Ursache der sich jeden Sommer wiederholenden Ausfressungen der Gletscherwand im See und der Einbrüche grosser, auf der Oberfläche des Sees schwimmender Eisblöcke. Die durch die Wasserbewegung verursachte Eisschmelzung vergrössere den See. Es bilden sich Unterspühlungen am Gletscher, die durch den Einfluss der zugeführten Wärme immer grösser werden. Nähern sich diese Ausfressungen einer der Spalten, wovon der Gletscher durchquert sei, so gebe ein Teil dieses Eises plötzlich nach und der See entleere sich und verursache die Verwüstung der ganzen Rhoneebene. Die von diesem See verursachten Ueberschwemmungen können jedoch nur dann eintreten, wenn auf einen schnee-armen Winter ein warmer Sommer folge, wie dies im Jahre 1827 der Fall gewesen sei. Der See hätte schon im vorangehenden Jahre ausbrechen müssen, wenn nicht im vorherigen Winter so viel Schnee in den Bergen gefallen wäre.

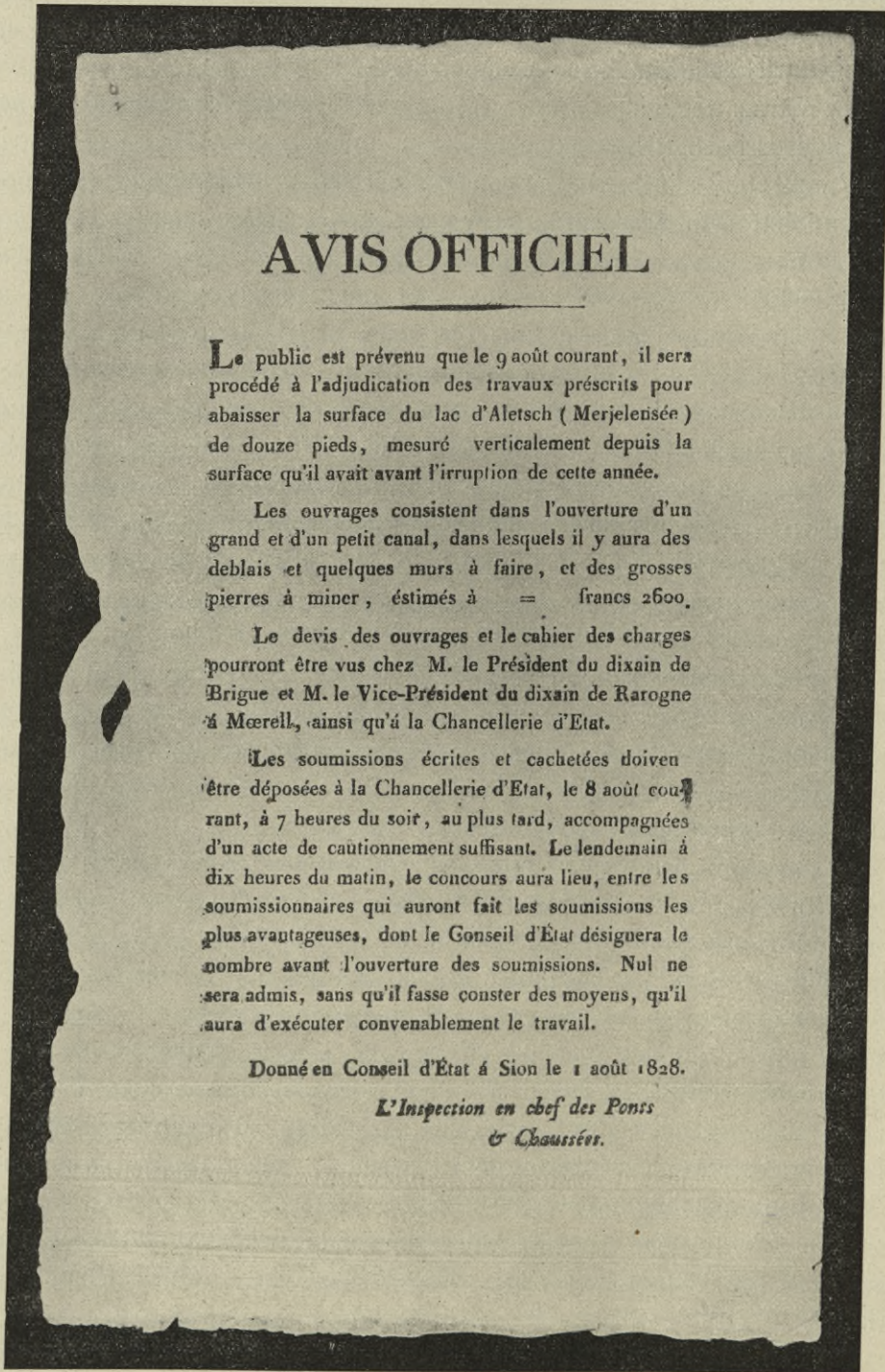
Venez gelangt durch diese, seine Ueberlegungen somit zum Schluss, dass

namentlich zwei Umstände die Ausbrüche des Sees begünstigen, nämlich: Wenig Schnee im Winter, was eine rasche Schmelze zur Folge hat und ein darauf folgender warmer Sommer, wodurch die Wärme des Wassers mit grösserer Energie auf den Gletscher einwirken kann. Nimmt man auf künstliche Weise dem See den grössern Teil seiner Wärme weg, indem man vermittelst eines Grabens die beiden Gletscherbäche nach der Fiescherthalerseite hin ableitet, so müssen die Ausfressungen an der Gletscherwand stark abnehmen. Der minder unterhöhlte Gletscher könne sich nach der Seeseite hin mehr ausdehnen, die Wände würden stärker und der See würde sich keinen Weg mehr durch den Gletscher bahnen können. Venetz schlug deshalb in seinem neuen Berichte vom 15. November 1827 an das Baudepartement des Kantons Wallis, Herrn Staatsrat Allet vor, einen Kanal zu bauen, der den Zweck haben sollte, die beiden wichtigsten Zuflüsse des Sees nach der Fieschertalerseite abzuleiten. Um zu vermeiden, dass der Aletschgletscher möglicherweise nach der Umleitung der beiden Bäche den grössten Teil des jetzt vom See bedeckten Bodens überdecken könnte, wovor die Eigentümer der benachbarten Berge grosse Befürchtungen hegen müssten, empfiehlt er im vorgeschlagenen Graben eine Schütze einzubauen, um das Wasser, je nach Bedarf, in den östlichen Teil des Seebeckens hinüberzuleiten. Venetz schätzte die Kosten des Kanals, Augenschein und Unkosten inbegriffen, auf nicht mehr als 500 Franken. In seinem Schlussworte betont er, dass mit wenig Geld einem Uebel abgeholfen werden könnte, das oft die Walliser Ebene verwüstete. Weiter schlug er vor, es möchte eine Kommission von 3 Mitgliedern ernannt werden, der die Aufgabe zufallen würde, jedes Jahr dem Staatsrate einen Bericht über die Zustände am Kanal, am See und über die sich als notwendig erweisenden Vorkehrungen zu erstatten.

Der Bericht Venetz vom 15. November 1827 an den Staatsrat hatte zur Folge, dass die Studien für die Abwendung der Gefahr, die dem Rhonetal vom Märjelensee her droht, energisch fortgesetzt und in der ersten Hälfte des Jahres 1828 zu Ende geführt wurden. Das endgültige Projekt, auf das man sich einigte, sah einen kleinen und einen grossen Kanal vor, im Kostenvoranschlag von Fr. 2600.—. Der kleine Kanal hat die Aufgabe, das Wasser der beiden Wildbäche, die von den Gletschern der Strahlhörner her dem See zufließen, durch das Tal der Märjelenalp dem viel tiefer liegenden Fieschergletscher zuzuführen, während der grosse Kanal direkt eine Absenkung des Sees von 12 Schuh (1 Schuh = 30 cm) gegenüber der Wasserspiegelhöhe des Sees vor seinem Ausbruche im Jahre 1828 bezwecken sollte. Wie schon früher erwähnt, bildet eine schwache Bodenerhebung gegen das Fieschertal die Ostgrenze des Sees. Mittelst Bau eines Grabens durch diesen Rücken sollte also das Niveau des Maximalstandes des Sees gesenkt werden.

Mit Schreiben vom 24. Juni 1828 an den Staatsrat Allet teilte Venetz der Regierung mit, dass aus Rücksicht auf günstig vorhandene Schneeverhältnisse die Arbeiten am Märjelensee ohne Verzug begonnen werden sollten. Er befürchtete eine Verzögerung der Arbeiten könnte den Ausbruch des Sees infolge des Einflusses des

warmen Wassers herbeiführen, der für das ganze Land die schwersten Folgen



## AVIS OFFICIEL

Le public est prévenu que le 9 août courant, il sera procédé à l'adjudication des travaux prescrits pour abaisser la surface du lac d'Aletsch (Merjelsée) de douze pieds, mesuré verticalement depuis la surface qu'il avait avant l'irruption de cette année.

Les ouvrages consistent dans l'ouverture d'un grand et d'un petit canal, dans lesquels il y aura des déblais et quelques murs à faire, et des grosses pierres à miner, estimés à = francs 2600.

Le devis des ouvrages et le cahier des charges pourront être vus chez M. le Président du dixain de Brigue et M. le Vice-Président du dixain de Rarogne à Meerell, ainsi qu'à la Chancellerie d'Etat.

Les soumissions écrites et cachetées doivent être déposées à la Chancellerie d'Etat, le 8 août courant, à 7 heures du soir, au plus tard, accompagnées d'un acte de cautionnement suffisant. Le lendemain à dix heures du matin, le concours aura lieu, entre les soumissionnaires qui auront fait les soumissions les plus avantageuses, dont le Conseil d'Etat désignera le nombre avant l'ouverture des soumissions. Nul ne sera admis, sans qu'il fasse constater des moyens, qu'il aura d'exécuter convenablement le travail.

Donné en Conseil d'Etat à Sion le 1 août 1828.

*L'Inspection en chef des Ponts  
& Chaussées.*

FIG. 10.

haben würde. Venetz, der mit dem Bau der Kantonsstrasse von Sembrancher nach



Orsières beschäftigt war, bemerkte im nämlichen Schreiben noch, dass ihm die Arbeiten am See doppelt so wichtig erscheinen, als der Bau der soeben erwähnten Strasse, indem ein neuer Ausbruch die Dammbauten der Rhone von Ritti, Baltchieder, Rarogne, Conthey, Saillon, Saxon, Martigny etc. ohne die « recettes » zu zählen, zerstören würde.

### B. — Bauausführung der beiden Kanäle.

Am 1. August 1828 bewilligte der Grosse Rat des Kantons Wallis den gewünschten Kredit von Fr. 2600. — für den Bau der beiden Kanäle. Die Ausschreibung der Bauarbeiten erfolgte öffentlich. Eine getreue Wiedergabe des « Avis officiel » findet sich auf Seite 214 vor. Als Endtermin wurde der 8. August festgesetzt; am 9. sollte die Submission stattfinden. Staatsrat Allet ersuchte Vizepräsident Hüser in Mörel, in den Gemeinden Lax, Fiesch, Fieschertal (Nachbardörfer des Märjelensees) nachzufragen, ob sich nicht jemand aus den letztgenannten Gemeinden entschliessen könnte, die Arbeiten am See zu übernehmen, worauf sich Peter Joseph Bodmann von Fiesch und Joseph Wällig von Fieschertal bereit erklärten, an der Submission teilzunehmen, wenn ihnen noch Zeit eingeräumt werde, die vorzunehmenden Arbeiten an Ort und Stelle zu besichtigen.

Mit Schreiben vom 8. August setzte Staatsrat Sepibus seinen Kollegen Allet von der Sachlage der Dinge in Kenntnis und empfahl ihm, Verschiebung der Submission, bis die Unternehmer Bodmann und Wällig die notwendigen Vorbereitungen getroffen hätten.

An der Submission, die trotzdem stattfand, beteiligten sich drei Unternehmer, nämlich Giovanni Bonillio, Pierre Rosazza und Besser. Letzterer machte einen Einschlag im Betrage von 355 Franken. Der Staatsrat beschloss hierauf, den Bewohnern von Goms die Arbeit anzuvertrauen, falls sie den Einschlag von Besser um einen kleinen Betrag, auch wenn er nur einen Franken betrüge, erhöhen würden. Die Bewohner von Fieschertal und Goms erklärten sich damit einverstanden, worauf der Staatsrat die Arbeiten an Joseph Bodmann und Konsorten zum Betrage von 2244 Franken übertrug. Der kleine Kanal wurde zuerst in Angriff genommen.

Am 27. August verfügte sich Unterinspektor Jost auf das Begehren der Unternehmer an den See. Er fand die Wasserfuhr (kleiner Kanal) so fortgeschritten, dass die Wildbäche, die sich früher in den See ergossen hatten, wirklich vollkommen abgeleitet waren und ins Fieschertal flossen. Mit den Erdarbeiten für den grossen Kanal war erst vor wenigen Tagen begonnen worden. Die Unternehmer versicherten Herrn Jost, die Arbeiten vom 1. September an mit 20 Personen nach Möglichkeit, d. h. solange es die Witterung und die Unterkunftsverhältnisse gestatten, zu fördern.

Zufolge einer am 31. August abgehaltenen Gemeindeversammlung ersuchte aber die Gemeinde Fieschertal die Unternehmer, die Arbeiten aufzuschieben, indem die Gemeinde die Gefahr und den Schaden zum Voraus zu sehen glaube, die ihr und ihren Nachkommen durch das Oeffnen eines 12 Fuss tiefen Kanals entstehen könnte. Infolge dessen verfügten sich die Unternehmer Peter Joseph Bodmann und Joseph Wällig am 1. September 1828 zu Unterinspektor Jost nach Lax. Sie glaubten auf diese Anzeige der Gemeinde Fieschertal keine Rücksicht nehmen zu müssen, umsoweniger als sie von Ingenieur Venetz den Auftrag erhalten hatten, die Arbeit nicht weiter zu verzögern. Jost liess sofort den Vorstand der Gemeinde Fieschertal und alle Interessenten zu sich nach Lax berufen, um ihre Bedenken anzuhören. An der Beratung beteiligten sich der Vorstand der Gemeinde Fieschertal, Färber Urban Heimen von Fiesch, und die Unternehmer des Kanals.

Die Konferenz nahm einen stürmischen Verlauf. Die Vorstände des Fieschertales und die Mitinteressierten waren überzeugt, « dass 1tens durch die Oeffnung dieses Kanals ihr Thal in Gefahr stehen werde unterzugehen, wenn er 12 Schuh tief im Höchsten, und 29 Fuss breit zu oberst im Talus werden soll, das heisst 45 de Grés de Talus sur 5 pieds de Large au fond, welches 29 Fuss ausmachen, wo keine Mauer gemacht wird, 2tens S. V. ihr Vieh zu Grund gehen müsse, wenn dieses zu Nachtszeit allda herum sich befindet, theils durch hineinfallen in den 12 Fuss tiefen Graben, theils durch stechen und stossen oder wenn es niedrig ist, hineingesprengt werden könne, (derowegen begehren sie, dass auf beyden Seiten Mauern gemacht werden), 3tens dass sie durch die Errichtung dieses Kanals, unmöglich mehr ihre Alpen auf der linken Seite abätzen können, ohne dass eine Brücke gemacht werde. 4tens dass ihnen durch den Auswurf des Kanals und der Wasserleite Alp-Boden weggenommen und verwüstet werde. 5tens dass mehrere Wasserleitungen mit der Zeit durch das Wasser gefällt zu werden in Gefahr stehen, namentlich: die Bergwasserleite, die Weisswasserleiten von Lax und Fiesch etc. endlich 6tens dass auch Fiesch selbst sich opponiere, allein es ist ausser dem Urban Heimen Färber allda, Niemanden erschienen diese werden wahrscheinlich ihre Einlagen selbst machen. »

Infolge dieser Oppositionsgründe verlangte die Talschaft Fiesch und mehrere Partikulare, wie auch Urban Heimen von Fiesch, der Staatsrat möchte sogleich eine Kommission an Ort und Stelle einberufen, wo alsdann alle Interessenten ihre Einwendungen mündlich der Kommission vorzubringen hätten.

Unterinspektor Jost fand wirklich gewisse Einwendungen für richtig. Er ersuchte die Unternehmer, auf seine Verantwortung hin, bis am nächsten Sonntag, den 8. September 1828, die Arbeiten einzustellen. In seinem Schreiben vom 4. September 1828 theilte er Staatsrat Allet den Sachverhalt mit und ersuchte ihn, sowohl im Namen der Gegner als auch der Unternehmer, das vorliegende Geschäft unverzüglich dem Staatsrat zu unterbreiten, damit der Unterbruch der Arbeiten auf ein Minimum beschränkt werden könne.

Am 4. September brachte die Gemeinde Fiesch in einem ausführlichen Bericht ihre Wünsche über diese Angelegenheit der Regierung zur Kenntnis. Das Schreiben hat folgenden Wortlaut :

« In denen man Letzthin vernommen, dass Sie verordnet oder veraccorziert den Merjelen See um einen Theil aufzugraben, um dadurch den Ausbruch desselben zu verhindern, So sehnlich wir unsererseits wünschten dadurch den Schaden unserer Mitbriederen zu verhindern, anderseits aber betrachtend die grosse Gefahr für unsere Gemeind für einen grossen Theil unserer Güeteren und Gebetdten, die sich in der Ebne befinden, So wegen dieses unter Nehmens in grösster Gefahr stehen, Gantz verruwiniert zu werden. Sie werden vileicht sagen oder denken dass dieses für uns keine Gefahr machen kenne, weil nur der See dadurch um so vil Gemindert und dan erst den überfluss des Wassers durch diesen Graben weggeführt werde, mithin werde Nit mehr Wasser auf unsere Seiten fliessen als vorher, welcher Meinung ich auch gänzlich beistimte, Wan nit die erfahrung uns eines Anderen belerte, ich Wil ihnen die ursach dieser Gefahr in etwas fasbar machen. Den Winter fliesst kein Wasser auf unsere Seiten aus dem See, der Graben aber wird den Winter vom Grosen Schnee, Gugsen, und Lauwinen, ganz angefüllt und eingefrohren, das Wasser in dem See aber wachst meistens nur im Austag vom Schne Wasser dan Schne macht es gewöhnlich über 12 Schue hoch der Graben aber ligt in der tiefe, da ohnehin der Schne bis im heuwmonath ligen bleibt, mithin muss das Wasser seine alte Grentzen anfilen, wo nit noch höher, dan der aus Wurt des Grabens erhebert noch den ausgang und wan im Sommer die Hitz einfällt im Graben der Schne auf ein Mal lindt wird, so muss das Wasser auf ein Mal heraus brechen so tief der Graben ist, und rolt mit allem Gewalt den berg hinunder bis auf den Gletscher, alwo es dan vil Sandt und stein Wegnimt wodurch es noch unferglicht anwachst, und weil um selbe Zeit der Luf des gewöhnlichen Wassers ohne den ausbruch des Seewassers vol ist, so stehn unsere Gieter in höchster Gefahr in einer stundt in ein steinruflin verwandelt zu werden, wohl wissend aber, dass durch Verhinderung des grösseren Schadens, der kleinere Nachgeben muss gegen Vergietung, mithin hat unsere Gemeind nichts wider ihre verordnung wohl aber begehrt unsere L. Gemeind bevor, dieses Werck volkomen zustande gebracht wirdt, eine hinlengliche genuegsame trostung für allen Schaden und Nachtheil so daraus erfolgen möchte, an welchem begehrt wir gar kein Zweifel tragen Laut aller billigkeit, Weil unsere Staatsvätter so wol für uns als unsere Mitbrieder Sorge tragen. ich meinerseits glaubte, dass diser grossen Gefahr wo nit gänzlich doch wenigstens zum Theil kente vorsehung gethan werden, zu disem Endt wurde wol thunlich sein.

« Wan die hochweise Herr des Staats Rath, etwan den Herrn fenesch der solcher Sachen die beste bekantschaft hat und ohne hin wirklich bis ob Mörel komet wirdt, oder jemand Nach ihrem belieben dahin schiken, um die Nöthige einsichten zu Nehmen, und Mass Regeln zu treffen, ich werde wans gefällig jenen

dort hin begleiten, um mit ihm zu consultieren wie solchem am besten kente abgeholfen werden hinmit verhäre ich under demietigster empfehlung dero gehorsamster Diener aus befehl und im Nahmen der L. Gemeindt Fiesch Johan Joseph Bortis vorsteher der gemeinde Fiesch.

Vallethin bortis, alt gmeind President. »

Durch diese Kundgebungen sah sich nun die Regierung veranlasst, die Untersuchungen wieder aufzunehmen.

Der Staatsrat ernannte eine Kommission, die den Sachverhalt an Ort und Stelle zu prüfen hatte. Das Ergebnis derselben war der Sache günstig. Die Abhilfe des Uebels für die Gemeinde Fieschertal durch den Bau einer Schütze wurde gutgeheissen.

Im fernern versprach die Regierung den Gemeinden die gewünschte Entschädigung (« Tröstung ») für jeglichen Schaden, der den Gemeinden durch den Bau des Grabens entstehen könnte.

Mit Schreiben vom 2. Juni 1829 ersuchte Unterinspektor Jost den Staatsrat, die Absteckung des Grabens durch einen Ingenieur zu veranlassen, ferner den verheissenen Akt der Gemeinde Fieschertal unfehlbar zu übersenden, damit die Unternehmer die Arbeiten anfangs Juni 1829 ungehindert fortsetzen könnten.

Die weitere Leitung der Arbeiten wurde einem gewissen Camina übertragen. Am 20. Juli 1829 nahm Ingenieur Venetz eine Inspektion der Arbeiten vor. Nach Durchführung eines Nivellements fand er, dass es möglich sei, den Kanal tiefer als 12 Fuss zu erstellen, ohne auf Felsen zu stossen; infolgedessen schlug er dem Staatsrate vor, den See bis auf das Niveau des im Kanal zu erwartenden Felsens abzusenken. Ende August 1829 fanden die Arbeiten ihren Abschluss. Die Regierung anerkannte sie. Die Dimensionen des Grabens nach seiner Vollendung sind nicht bekannt.

Aus dem Vorstehenden ersehen wir, dass die ersten Vorkehrungen gegen Ueberschwemmungen, die den Gefahren nach Tunlichkeit begegnen sollten, mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden waren. Leider stunden dem Verfasser für die Periode 1829-1846 nur ganz wenige Aufzeichnungen zur Verfügung. Aus diesen geht hervor, dass der Wasserstand des Sees im Jahre 1839<sup>1</sup> ein hoher war und dass 1840<sup>2</sup> und 1844<sup>3</sup> Ausbrüche stattgefunden haben. Ueber die Wirkung des Grabens in dieser Spanne Zeit fehlen jegliche Aufzeichnungen. Sehr wahrscheinlich dürfte er den beabsichtigten wohltätigen Zweck in Bezug auf die Senkung der Hochwasserstände erreicht haben<sup>4</sup>. Wie sehr die Einwendungen der Gemeinde Fieschertal berechtigt waren, werden die nachfolgenden Daten beweisen.

<sup>1</sup> DESOR, E. *Die Besteigung des Jungfrauornes durch Agassiz und seine Gefährten*. Solothurn, 1842.

<sup>2</sup> ALPINA. Herausgegeben von Hermann A. Berlepsch, No. 6 und 7, 1856.

<sup>3</sup> STOCKALPER. *Bericht an den Staatsrat des Kantons Wallis vom 19. Juli 1844*. Staatsarchiv Sitten.

<sup>4</sup> Vergleiche das Schreiben der Gemeinde Fieschertal an den Staatsrat vom 13. Juli 1849 (Seite 220) und Augenschein von Klemenz Bircher, Regierungsstatthalter in Fiesch (Seite 221).

## C. — Zustände des Sees und des Grabens nach dessen Vollendung.

*Zustand des Märjelensees am 8. Juli 1846.*

Bericht von Landjäger-Commandant Furrer vom 9. Juli 1846 an den Staatsrat des Kantons:

« Den 8ten dieses verfügten sich die unterzeichneten begleitet vom Hrn. Gemeinds Präsidenten Minnig von Filet, als sachkundigen Führer, von Fiesch durchs Thal und Alpen zum Merjelle See, und längs desselben nordseitlich bis zur Nähe des Aletsch Gletscher.

Im Aletsch Gletscher befinden sich ungefähr 4-5 Schue oberhalb dem Wasserspiegel zwei Oeffnungen oval gebildet, Die einte wo der Gletscher am Höchsten ist, die Anderte mittäglich gegen den Berg, wo die Gletscher Masse am schwächsten scheint, durch diese sollen die Ausflüsse statt haben. In diesen Nähen beinahe keine Eisdecken mehr. Auf dem Ganzen See mögen noch ungefähr  $\frac{2}{3}$  mit Eis zugedeckt sein, meisten die der Mitte. Das nördliche Gestad längs Eis entlastet. Auf der Eisfläche zeigen sich Furchen, welche die baldige Auflösung ankünden. Die wirkliche Wasserhöhe liegt ungefähr 5 Schue tiefer als sich die höchsten Anschwellungen des Sees an den am Ufer gelegenen Steinen zeigt.

Etwas östlich oberhalb der Mitte des Sees ergiebt sich eine Enge, welche eine kleine Abtheilung bildet, und vielleicht den Wasserabfluss durch den Kanal hemmt. Im nach Fiescherthal führenden Kanal mag das auslaufende Wasser zu  $2\frac{1}{2}$  Schue Höhe auslaufen. Die grösste und tiefste Wasser Masse liegt gegen den Gletscher zu.

Die meisten Schnee Massen sind erst jüngst verschmolzen, und die noch gegenwärtigen Schmelzungen vermögen keine Ueberschwemmung mehr zu bezwecken.

Dazu kundige Männer nach Mittheilung der gegenwärtigen Verhältnissen trösteten uns diesjähriger Sicherheit für jeden Fall, wen nicht auf einmal die Ganze Eisdeke einbreche oder ein donnerndes Sturmwetter einbreche.

Rettende Mittel für die Zukunft glaubten wir nur zwei zu finden, nämlich Vertiefung und Verbreiterung des Kanals und auf eine Strecke von 15 Minuten, und Sachkundige Untersuchung ob die gemeldte Enge Tiefe genug habe um die westlichen Wasser Anschwellungen nach sich zu ziehen, im verneinenden Fall läfe blos der östliche See Theil durch den Kanal aus, und durch die Mittelwand müsste durch Tieferlegung derselben der Ausfluss in den Kanal befördert werden.

Unsere Ansichten sind, ein Ausbrechen sei nicht vorhanden, zufällige Ereignisse lassen sich indessen keineswegs vorsehen, und eine Ingenieurs Kommission würde, von nicht Alles Verhindern könnenden, doch von beruhigenden Wirkungen für alle betreffenden Behörden sein. »

Ein Durchbruch des Eis- und Schneewalles im Ablaufgraben des Märjelen-sees, infolge starker Regenfälle und hoher Temperaturverhältnisse, veranlasste dann das Hochwasser vom 19. bis 21. Juni 1849, das namentlich das obere Wallis schwer heimsuchte. Eine aussergewöhnlich grosse Wassermenge ergoss sich durch den Graben, so dass der Fiescherbach nicht nur sein Bett an vielen Stellen änderte, sondern auch sämtliche kleinen Brücken wegriss. Die Gemeinde Fiescherthal verlangte deshalb mit Schreiben vom 13. Juli 1849 neuerdings, dass im Kanal eine Schütze erstellt werden soll, damit auf einmal keine allzugrosse Wassermenge abfliessen würde.

« Dieses Werk von keiner grossen Arbeit, ist zwar schon von früheren Regierungen als nötig erachtet und beschlossen worden. Da übrigens dieser Graben ihm zur Entladung des Sees, welcher vorher zimlich periodisch zu allen 7 Jahren auf der Glötscher- Seite nicht ohne Verheerungen lossbrach, den beabsichtigten wohlthätigen Zweck, durch Verhinderung so mancher Schäden erreicht habe, ist ausser allem Zweifel. Es ist daher nicht billich, dass eine Dorfschaft Fiescherthall, beschädigt werde, durch ein Werk, welches dem Allgemeinen grosse Nutzen gewährt. Fiescherthall begehrt schlüsslich auch eine Entschädigung zu bestimmen durch wen immer, die Regierung auf Ort und Stelle zu beordnen belieben wird. »

Im Juli 1851 sprachen die Vorsteher der Gemeinde Fiescherthal in Begleitung vieler Bürger beim Regierungsstatthalter Bircher in Fiesch vor. Sie ersuchten ihn, der Regierung zu berichten, dass sie infolge der Kanal-Eröffnung beim Märjelensee abermals Schaden erlitten hätten. Als sie das Vieh auf die unterhalb des Sees liegende Stockalpe treiben wollten, seien sie genötigt worden, beim Seebach wieder umzukehren. Das andauernde Regenwetter vermochte den Seespiegel auf die Höhe des eingefrorenen Kanals zu heben. Das Wasser brach plötzlich los und stürzte sich durch den steilen Seebach auf den Fieschergletscher herunter. Sämtliche Brückchen über diesem Bach wurden weggerissen und verschiedene Uebergangsstellen durch Verbreiterung des Bergbaches unmöglich gemacht. Das Wasser sei so gross, dass kein Vieh dasselbe durchwaten könne, ohne Gefahr fortgerissen zu werden. Die durch das Ungewitter hoch angeschwollene und durch das überlaufende Seewasser noch gewaltsamer gewordene Fiescher-Rhone (Fiescherbach) verursachte zur nämlichen Zeit auch im Fieschertal « in den Brunnen » einen Einbruch in das Eigentum des bedrängten Ignatz Zeiter.

Bircher verfügte sich auf Wunsch der Bittsteller am 14. Juli 1851 auf die Märjelenalpe, um wirklich zu sehen, ob der vor wenigen Jahren ausgelassene See schon wieder angefüllt sei. Er fand den See wirklich durch Schnee, Eis und niedergegangenen Lawinen so voll, dass eine Menge Wasser durch den Kanal abfloss.

Da nun die Gemeinde Fieschertal seit der Kanaleröffnung schon öfters kleine und grössere Schäden erlitten hatte und fortwährend noch neuen Schäden ausgesetzt sein werde, so beehrte das Fieschertal, wie schon ehemals, dass die von einer frühern Regierung versprochenen Sicherheitsmassregeln, das heisst die

Errichtung einer zweckmässigen Abhilfe im Kanal, bewerkstelligt werde, wo nicht, so würde das Fieschertal genötigt, den Kanal zuzumachen und einzufüllen. Die Gemeinde beehrte auch die Herstellung einiger kleiner Holzbrücken oder eine billige Entschädigung, sowohl für diese Brücken, als auch für die sonstigen Schäden.

Regierungsstatthalter Bircher betrachtete die vorliegende Bitte der Gemeinde Fieschertal nicht nur als eine regierungsrätliche Schuldigkeit, sondern auch als eine Gunstbezeugung und hoffte, dass der Staatsrat dieselben nicht länger mehr unberücksichtigt lassen werde.

Diese jüngsten Beschwerden hatten aber neuerdings keinen Erfolg. Am 9. Mai 1852 erneuerten die Fieschertaler ihre Reklamationen. Sie beschlossen, im Kanal keine Ausbesserungen mehr machen zu wollen, und drohten dem Staatsrat, falls alle ihre bis dahin gemachten Einwendungen fruchtlos seien, ohne Verzug den Graben wieder zuzumachen, um doch wenigstens zukünftige Schäden zu vermeiden. Die Gemeinde Bellwald unterstützte die Bestrebungen der Gemeinde Fieschertal.

Am 10. April 1853 erfolgte eine neue Eingabe. Die Gemeinde Fieschertal meldete der Regierung kurz und klar, dass ihre Geduld nun zu Ende sei. Sie verlangte von der Regierung eine Entschädigung von 700 Franken und beschloss, falls der Betrag bis am 1. Mai 1853 nicht bezahlt sei, den Kanal zu « verscharren ».

Dem zur Folge wurde im Oktober 1853 an einer Konferenz in Ernen ob Fiesch beschlossen, auf der Märjelenalp eine Kommission einzuberufen, um die Beteiligten anzuhören und die nötigsten Massnahmen zu treffen, künftigen Schaden zu verhindern und soweit möglich den frühern Schaden zu vergüten. Wie gewohnt wurden wohl Beschlüsse gefasst, aber nicht ausgeführt. Im Herbst 1854 verlangte die Gemeinde Fieschertal nochmals eine Kommission betreffend dem Märjelen-Kanal.

Aus den Akten ist nicht ersichtlich, ob eine Zusammenkunft für die Prüfung der Einwendungen der Gemeinde Fieschertal stattgefunden hat.

Der Regierungsstatthalter von Brig, L. Anton von Stockalper, berichtete am 13. August 1857 dem Staatsrat, dass der Märjelensee angefüllt sei. Er setzte ihn gleichzeitig in Kenntnis, dass eine Ueberschwemmung bevorstehen müsse. Durch die grossen Erdestürze im Märjelenseekanal, der in den letzten Jahren leider nicht gereinigt wurde, sei der Zustand so anzusehen, als ob überhaupt nie Mildeungs- oder Vorbeugungsmittel getroffen worden wären.

Im August 1858 fand eine sehr rasche Entleerung des Sees statt. Am 26. Herbst 1859 begab sich Klemenz Bircher, Regierungsstatthalter in Fiesch, im Auftrage des Staatsrates nach dem See, um über die Zustände desselben einen Augenschein vorzunehmen. Er fand ihn beinahe angefüllt. Das Wasser des Sees erreichte bereits den grossen Kanal. Bircher konstatierte, dass für das laufende Jahr 1859 nichts zu befürchten sei, dagegen um so mehr für das kommende. Durch Zufluss, Schnee und Lawinen wird das Seeniveau im Winter gehoben. Das in den

Kanal vordringende Wasser gefriert und verhindert jeglichen Wasserabfluss. Bei plötzlich eintretenden Witterungsumschlägen schmilzt das Eis im Kanal, das Wasser bricht plötzlich aus und verursacht im Fieschertal Verheerungen. Um diesem Uebelstande vorzubeugen, empfahl Bircher dem Staatsrat den Einbau einer « Abschelte ». Dadurch würde der Wasserabfluss mittelst Hebung eines Brettes nach Belieben reguliert werden können.

Bircher berichtete ferner, dass sich durch den Bau des Kanals die Wasserspiegelhöhe des Sees um zirka 38 Fuss Schweizermass gesenkt und dass sich die Wirkung des Grabens gegen Ueberschwemmungen bewährt habe.

Ein weiterer Augenschein wurde am 24. September 1860 von Alphonse de Sepibus, Präsident von Mörel, im Auftrage der Regierung vorgenommen.

Sepibus fand :

1. das Seeniveau 6 Fuss tiefer als vor dem Bau des Grabens;
2. eine Senkung des Seespiegels um einen Fuss (offenbar im Verlaufe des 24. September 1860);
3. die Tiefe des Sees beim Gletscher bedeutend grösser als gegen den Kanal;
4. den grössten Teil der Gletscherwand unter dem Seeniveau.

Er zieht aus obigen Punkten den Schluss, dass ein Ausbruch des Sees nicht mehr verhindert werden könne. Als Mittel zur Abwehr der schädlichen Einflüsse der Ueberschwemmung in der Rhoneebene schlug er vor, den Kanal 150 Schritt unterhalb des Sees um 6 Fuss zu vertiefen. Es sei dies die einzige Arbeit, die er in diesem Momente empfehlen könne, um die Verwüstungen einigermaßen zu mildern. Um später bedeutende Arbeiten ausführen zu können, empfahl er die Aufnahme eines Situationsplanes des Sees im gegenwärtigen Zustand und im Zustande nach dem Ausbruche.

Am 17. August 1861 verfügte sich Sepibus, in Begleitung von Abraham Walker von Bitsch, neuerdings nach dem See, um nachzusehen, ob die Zustände des Sees die Reinigung des Grabens ermöglichen. Er hielt es für notwendig, die Arbeiten sofort zu beginnen, und betraute Abraham Walker mit der Durchführung derselben. Die Gemeinde Fieschertal opponierte neuerdings und verlangte, dass der Staatsrat sich vor Beginn der Arbeit mit ihr verständige. Ingenieur Stockalper machte mit Schreiben vom 18. August 1861 den Staatsrat aufmerksam, dass in einer Woche mit acht Arbeitern die Wiederherstellung des Grabens bewältigt werden könnte, eine Arbeit, die dem Fieschertal keine Nachteile, dem Rhonetal aber grosse Vorteile bringen würde. Es sei höchste Zeit, die Gemeinde Fieschertal zu veranlassen, die Verordnungen des Staatsrates zu respektieren. Unter keinen Umständen sollte mehr geduldet werden, dass die Bewohner des Tales den Kanal mutwilligerweise mit Steinen zufüllen. Mit Schreiben vom 25. August 1863 legte Kantonsingenieur de Torrenté dem Baudepartement den von Strasseninspektor Jordan und ihm projektierten Plan nebst Kostenvoranschlag für eine Schütze am Ausfluss des Sees vor. Letzterer hat folgenden Wortlaut:



« L'emplacement sera désigné sur les lieux à l'Entrepreneur. Les bois seront en mélèze rouge, équarris de 10 sur 8 pouces excepté les deux contrefiches seulement de 7 sur 8 pouces d'équarrissage.

« Le ventail d'écluse est composé de trois poteaux placés verticalement sur des moises horizontales à tenon et mortaise et retenu par des contrefiches. L'encadrement extérieur est composé de quatre pièces dont le vide sera de huit pieds de largeur sur six de hauteur.

« A l'extrémité pour contenir les moises horizontales immuables on y placera une pièce de bois en travers et entaillée en queue arrondie.

« Dans chaque poteau on fera une rainure pour les traverses qui pourront être remuées à volonté, pour laisser des ouvertures pour l'écoulement des eaux et empêcher les glaçons d'entrer et obstruer le Canal. Les dimensions des bois sont indiquées sur le croquis. Les fers nécessaires seront fournis par l'Etat. Les bois nécessaires sont fournis par la Commune de Fiesch, dans les localités les plus rapprochées.

« La confection de cette écluse, ainsi que le transport des pièces selon les dimensions indiquées sur le plan le pied courant des bois est évalué à 3.00 francs pour environ 100 pieds de longueur . . . . . Fr. 300.—

Entretoises horizontales au nombre de trois . . . . . » 30.—

Faux frais » » » » » . . . . . » 30.—

Fr. 360.— »

**D. — Bau des Stollens.**

Nach dem vollständigen Ausbruche des Sees im Anfang des Brachmonates 1870 wandte sich die Gemeinde Fieschertal neuerdings an den Staatsrat und ersuchte ihn, die vor einigen Jahren durch Strasseninspektor Jordan projektierten Arbeiten, nämlich den periodischen Ausfluss des Sees durch künstliche Arbeiten derart zu regulieren, dass bei jedem bevorstehenden Ausbruche die Wassermasse mittelst einer auf der Seite des Fieschertales zu erstellenden Schleuse allmählich in den Fieschergletscher abgeleitet und unschädlich gemacht würde, in Angriff zu nehmen.

Diese Arbeiten konnten früher des hohen Wasserstandes wegen nicht mehr ausgeführt werden. Sie erachtete den gegenwärtigen Augenblick als sehr günstig (weil das Seebecken bis in den Grund trocken sei), um den frühern Entwurf zu verwirklichen, und die Gemeinde wäre bereit, die bezüglichen Arbeiten gegen eine angemessene Entschädigung zu übernehmen.

Am 25. November 1881 übermittelte der Staatsrat des Kantons Wallis dem Grossen Rat einen Bericht über den Stand des Märjelensees, dem wir nachfolgendes entnehmen :

« Schon wiederholt haben wir auf die ungeheure Gefahr hingewiesen, die sich für die Eindämmung der Rhone im Oberwallis ergeben würde für den Fall, dass

der Ausbruch des Märjelensees jemals mit dem gewöhnlichen Hochwasserstand der Rhone zusammenfielen.

« Wir möchten hiermit neuerdings unsern Befürchtungen in dieser Beziehung Ausdruck geben.

« Durch den Engpass gegen das Fieschertal, in dem ein künstlicher Kanal geöffnet worden ist, findet nun das Wasser seinen natürlichen Abfluss, wenn das Seebecken vollständig gefüllt ist. Allein bei einem See-Ausbruch drängt das Wasser durch den Aletschgletscher, mag nun das Becken voll sein oder nicht. Nach dem letzten Ausbruch, im Laufe des 18. Juli 1878, welcher die Rhone bei Brig um 1.50 m steigen liess, haben wir sofort eine Aufnahme des Seebeckens mit den erforderlichen Profilen vornehmen lassen. Es ergab sich dadurch die Tatsache, dass das volle Becken, mit seinem Ausfluss gegen das Fieschertal, ungefähr 10300000 m<sup>3</sup> fasst.

« Man vergegenwärtige sich die Wirkung, welche diese enormen in der Zeit von nur 12 Stunden abfliessenden Wassermassen auf die Verhältnisse der Rhone, speziell im obern Kantonsteil, ausüben würde! Das Wasservolumen in der Rhone würde sich in diesem Fall um 235 m<sup>3</sup> pro Sekunde erhöhen, d. h. es würde sich mehr als verdoppeln. Die Katastrophe könnte bei rascherem Abfluss noch grösser werden, wie sie umgekehrt, bei langsamerem Wasserabfluss weniger gefährlich sein könnte. Zur Beseitigung dieser, insbesondere den obern Kantonsteil beständig bedrohenden Gefahr gibt es unseres Erachtens nur einen Weg, ein Mittel: wir meinen die Erstellung eines Tunnels durch den Engpass gegen das Fieschertal.

« In der Tat haben wir, wie bemerkt, im Süden und Norden das Eggishorn und die Strahlhörner, 2940 m ü. M., welche jede Arbeit unmöglich machen würden. Im Westen haben wir den mächtigen Aletschgletscher und alle in dieser letztern Richtung unternommenen Arbeiten wären nach unserer Meinung nur von ganz vorübergehendem Erfolg, wenn sie auch momentan vielleicht eine gute Wirkung hätten. Est ist ja jedermann bekannt, dass das Gletschermassiv fortwährend in Bewegung ist, sodass jedwelche unternommene Arbeit niemals zu einem sichern und dauernden Erfolg führen könnte.

« Würde dagegen durch den Engpass gegen das Fieschertal ein Tunnel von ca. 390 m Länge erstellt, so würde dadurch die Seehöhe um 12.50 m tiefer gelegt und die Wassermenge um ca. 4900000 m<sup>3</sup> vermindert. Das Seebecken enthielte auf diese Weise nur mehr ca. 5400000 m<sup>3</sup> und die Gefahr wäre, wenn nicht ganz beseitigt, so doch beträchtlich vermindert. Ueberdies würde das Wasser infolge des weniger starken Druckes mit gemässiger Geschwindigkeit abfliessen.

« Diese Arbeit wäre übrigens ausser dem Bereich jeder Bewegung des Gletschers.

« Die für den *Tunnel* vorgesehenen Kosten würden approximativ Fr. 50000 betragen, d. h. jedenfalls mehr als die Hälfte weniger, als für die Erstellung eines offenen Kanals von ebensolcher Tiefe erforderlich wäre.

« Angesichts der bedeutenden Gefahr und zur Vermeidung des Risikos von enormem Schaden an Gelände und Eindämmungsarbeiten, erachten wir die Ausführung der projektierten Vorkehrungsarbeit als geboten.

« Hinsichtlich Deckung der Kosten wird man mit verschiedenen Faktoren rechnen. Zunächst denken wir, dass der Bund eine Subvention gewähren wird; das übrige wäre einerseits dem Fonds für Wasserbeschädigte zu entnehmen und anderseits auf eine bestimmte Strecke auf das Flussgebiet zu verteilen.

« Unmittelbar nach Eingang des Resultates der bei den Bundesbehörden unternommenen Schritte werden wir dem grossen Rate davon Kenntnis geben, gegebenfalls unter Vorlage der letzten Vorschläge zu dem in Frage kommenden Projekt. »

Die zum Zwecke einer Berichterstattung über diese Angelegenheit eingesetzte Kommission gelangte einstimmig zur Erkenntnis, dass diese Frage vom Standpunkte des öffentlichen Interesses und der öffentlichen Sicherheit aus eine dringende sei. Sie erkannte die bedeutende Gefahr, die ein Seeausbruch im Moment des Hochwasserstandes der Rhone für die Eindämmung dieses Flusses und die Eisenbahn bedeuten würde und zögerte daher nicht, sie den Behörden ganz besonders nahezu legen.

Die 1828 unternommenen Arbeiten, um den Abfluss des Seewassers in das Fieschertal abzuleiten, waren insofern von Erfolg, als ein teilweiser Abfluss ermöglicht wurde; immerhin fand sie auch die Kommission ungenügend. Noch im Jahre 1878 trat eine Verheerung ein, sodass eine Freilegung des verschütteten Kanals als notwendig zu erachten war.

Die Zustände am Kanal im Jahre 1878 vor dem Ausbruche des Sees waren eben solche, wie wenn überhaupt nie ein Kanal gebaut worden wäre. Ob sich der Kanal auf natürliche Weise gefüllt hat oder ob die Fieschertal-Bewohner ihrem berechtigten Zorne Ausdruck geben wollten, indem sie den von ihnen verwünschten Kanal « mit Schaufeln nivellierten », sei nicht untersucht.

Die Kommission war der Ansicht, es sollte mit der Ausführung des Projektes nicht gezögert werden, auch wenn sich die bezüglichen Kosten auf Fr. 50000.— belaufen würden. Es sei entschieden angebracht, vom Bund eine Spezial-Subvention zu verlangen, da diese Arbeit eine notwendige Folge der Rhonekorrektion sei. Für den noch verbleibenden Betrag solle die Regierung klare und formelle Vorschläge einbringen.

Sie schlägt vor, den für die Wasserbeschädigten bestimmten Fonds in Anspruch zu nehmen, die meist interessierten Ufergemeinden mit Beiträgen zu verpflichten und schliesslich vom Kanton eine Subvention zu verlangen.

Am 26. September 1883 übermittelte der Staatsrat dem eidg. Departement des Innern die ausgeführten topographischen Aufnahmen, nebst einem neuen Projekt mit den notwendigen Erläuterungen für die Absenkung des Sees. Die Umstände, die zum vorliegenden Projekte Veranlassung gaben, sind bekannt.

Um die Gefahr abzuwenden, oder besser gesagt, um sie erheblich zu vermindern, besteht nach der Ansicht des Staatsrates nur ein Mittel, nämlich einen Kanal<sup>1</sup> durch den Fieschertal-Sattel zu öffnen.

Durch den Ausbau des im Jahre 1828 erstellten, rund 4 m tiefen Kanals, auf eine Länge von 540 m, kann die Höhe des Sees um 12.50 m niedriger gelegt und das Wasservolumen um 4900000 m<sup>3</sup> verkleinert werden. Das Seebecken würde dann nur noch 5800000 m<sup>3</sup> enthalten und die Gefahr wäre, wenn auch nicht vollständig gehoben, so doch bedeutend vermindert.

Da der Druck des Seewassers auf den Gletscher bedeutend geringer ist, würde die Entleerung des Sees auch langsamer vor sich gehen.

Die Kosten sind auf rund Fr. 149500.— voranschlagt worden. Der Kostenvoranschlag geht von der Voraussetzung aus, der Kanal werde gegen Westen auf eine Länge von 390 m in Moränengebiet, auf der übrigen, ungefähr 150 m langen Strecke, in Felsen ausgehoben.

Die bei den Profilen km 0.150 und 0.240 (km 0.000 = jetziges Westende des Vordersees) ausgeführten Sondierungen haben in einer Tiefe von 1.60 m grosse, lose Blöcke erkennen lassen, während bei Profil km 0.400 bei 1.30 m Tiefe Felsen angetroffen wurden.

Der Kostenvoranschlag setzt sich aus folgenden Posten zusammen :

1. Wegräumen von Erde, Kies, Steinen, Sprengen von grossen Blöcken :	
47250 m <sup>3</sup> à Fr. 2.50 . . . . .	Fr. 118125 —
2. Wegräumen von Felsen durch Sprengen : 1650 m <sup>3</sup> à Fr. 5.— . . . . .	» 8250 —
3. Mauerwerk : 3850 m <sup>3</sup> à Fr. 4.— . . . . .	» 14400 —
4. Unvorhergesehenes und Aufsicht . . . . .	» 8725 —
Zusammen . . . . .	<u>Fr. 149500 —</u>

Kaum hatte das Baudepartement die Pläne etc. dem eidg. Departement des Innern übermittelt, so folgte die Mitteilung, man möchte infolge finanzieller Schwierigkeiten bis auf weiteres auf den Gegenstand nicht eintreten. Weitere vorbereitende Schritte sind daher nicht getan worden.

Erst am 5. März 1884 überreichte dann der Staatsrat von Wallis dem Bundesrate zu Händen der Bundesversammlung ein Subventionsgesuch betreffend die Senkung des Märjelensees, das sich auf das früher eingesandte Projekt bezog.

Am 18. Juli 1884 unterbreitet dann das Departement des Innern dem Bundesrat den Entwurf zu einer Botschaft nebst Beschlussesentwurf betreffend Bewilligung eines Bundesbeitrages an die Tieferlegung des Märjelensees. Diese Vorlage wird genehmigt und damit der Bundesversammlung beantragt, dem Kanton Wallis für diese Arbeiten einen Bundesbeitrag von 50 % der wirklichen Kosten bis zum

<sup>1</sup> Im Bericht des Staatsrates an den Grossen Rat vom 25. November 1881 war ein Tunnel von 390 m Länge vorgesehen.

Maximum von Fr. 75000, der Hälfte der Vorschlagssumme von Fr. 150000 zuzusichern.

Die gesetzgebenden Räte teilten am 20. Dezember 1884 den Beschluss dem Bundesrate zur Vollziehung mit.

Nun tritt die Zusicherung des Bundesbeitrages erst in Kraft, nachdem von Seite des Kantons Wallis die Ausführung der projektierten Arbeiten gesichert ist. Der Bundesrat setzte der Regierung eine Frist von 6 Monaten. Trotzdem eine am 4. September 1886 vorgekommene vollständige Entleerung des Sees der Rhonekorrektur diese drohende Gefahr neuerdings in Erinnerung brachte, gelang es der Regierung erst am 2. Juni 1888, den nötigen Ausweis zu erbringen. Laut dem Walliser Gesetz fallen nämlich im Prinzip sämtliche Eindämmungs- und Flusskorrekturen zu Lasten derjenigen Gemeinden, auf deren Boden sie ausgeführt werden. Die in Rede stehende Arbeit ist aber der Gemeinde Fieschertal, in der sie ausgeführt wird, nicht nur vollständig gleichgültig, sondern sogar unwillkommen, während die Gemeinden der Rhoneebene unbestreitbares Interesse daran haben, da ihr Grund und Boden von der Rhone durchflossen wird. Art. 2 des Grossratsdekretes bestimmt deshalb, dass die sich nach Abzug des Bundesbeitrages ergebenden Kosten vom Staate und von den Ufergemeinden der Rhone und der Massa je zur Hälfte getragen werden sollen.

Nach Antrag des Departementes des Innern wird am 20. Juli 1888 die Zusicherung des Bundesbeitrages als in Kraft getreten erklärt und überdies in Entsprechung des von der Regierung von Wallis gestellten Gesuches die Bauzeit auf 3 Jahre, nämlich von 1888 bis 1890 festgesetzt.

Am 26. Juli 1888 sandte der Präsident der Gemeinde Fieschertal, Ignatz Volken, im Auftrage seiner Gemeinde nachstehendes Schreiben an den Staatsrat des Kantons :

« Angesichts Ihres Antrages von Tieferlegung des Merjelen Sees, welches Sie im letzten Kreisschreiben oder im vorletzten Amtsblatt Nr. 28 eingerückt haben, bin ich von der Gemeinde beauftragt Sie in Kenntnis zu setzen, dass Sie uns für alles und jegliche was durch dessentwillen Schaden geschehen sollte auf der Alpe und im Grunde uns zu vergüten. Dafür wir Bürge und Garantie begehren ehe bevor Sie zur Arbeit schreiten. Die Arbeit können wir Ihnen zwar nicht verbieten, wenn Sie das vorgeschriebene ersetzen. Unterdessen werden wir aber Einhalt machen bis das geschieht. Nehmen Sie es nicht für Ungut. »

Infolgedessen beauftragte der Staatsrat eine Kommission, bestehend aus den Herren Jos. Anton Roten, V. von Castonay und E. Stockalper, Ingenieur, mit der Begutachtung der von der Gemeinde Fieschertal erhobenen Einsprache gegen die geplanten Korrektionsarbeiten. Die Kommission hat am 18., 19. und 20. Oktober 1888 in Begleitung des Kantonsingenieurs Zen-Ruffinen eine Ortsbesichtigung vorgenommen und ihren folgendermassen lautenden Bericht am 27. November 1888 dem Staatsrate zugestellt :

« In Bezug auf die technische Seite der Frage macht die genannte Gemeinde folgende Einwürfe geltend :

« 1. Sie behauptet, mit der Tieferlegung des Sees dürfte der Aletschgletscher wachsen und dadurch einerseits die Weidplätze der Merjelenalpe einnehmen und andererseits in Folge seines Anschlusses an den Fiescherthalgletscher die Wassermenge vermehren.

« Wir finden diese Befürchtung unbegründet, indem der Wasserstand des Sees nur um 12 Meter im Maximum tiefergelegt wird. Nun aber ist der See durchschnittlich 47<sup>m</sup>50 tief, so dass der Wasserstand am Fusse des Gletschers immerhin 35<sup>m</sup>50 beträgt, eine Höhe, die eine weitere Ausdehnung des Letztern ausschliesst.

« 2. Sie führt sodann an, dass das beim Bau des Werkes zu Tage geförderte Material würde auf dem Abhange oberhalb des Fieschergletschers abgelagert, und vom Wasser dem Bache zugeführt. Nun aber beruht dieser Einwand auf einer durchaus irrigen Voraussetzung, da nach dem Plane das Material auf dem zu diesem Zwecke zu expropriierenden Boden der Ebene auf der Ostseite der Tunnelmündung abgelagert werden soll.

« 3. Sie hegt die Befürchtung, es möchte der Abfluss des Seewassers durch den Kanal mit einem Hochwasser des Fiescherthalbaches zeitlich zusammenfallen und einen Austritt des Letztern zur Folge haben.

« Die Kommission ist der Ansicht, dass die durch den neuen Kanal zu Abfluss gelangende Wassermenge im Vergleich zu derjenigen des Beckens vom Fiescherthal zu gering ist, um im Falle einer Ueberschwemmung Schaden anrichten zu können.

« Da man indess an Hand der Theorie immer behaupten kann, ein einziger Tropfen sei im Stande ein Gefäss überlaufen zu machen, und mit Rücksicht darauf, dass einerseits der Fiescherbach nicht eingedämmt ist und andererseits stellenweise das Hochwasser gegenwärtig die Höhe des Ufers erreicht, mag es geboten erscheinen, der Gemeinde ein Mittel an die Hand zu stellen, um sich augenblicklich vor dem durch den Kanal abfliessenden Wasser zu schützen. Ein solches Mittel besteht in der Errichtung einer den Ausfluss des Sees regulierenden Schleuse an der westlichen Tunnelmündung.

« Was die rechtliche Seite der Frage anbetrifft, verbietet nach unserm Dafürhalten sowohl bürgerliches wie administratives Recht dem Staate unzweifelhaft, Arbeiten auszuführen, die die Gemeinde Fiescherthal schädigen würden, ohne zugleich für die Gegenwart und die Zukunft, die aus der Erstellung des neuen Werkes für die genannten Gemeinden sich ergebenden Folgen zu übernehmen. Zur Verhütung dieser Folgen und künftiger Zwistigkeiten würde es angezeigt sein, der Gemeinde Fiescherthal die Aufsicht über die Schleuse am westlichen Ausgange des Tunnels zu übertragen, da sie am Besten dieselbe auszuüben vermag und in der Stunde ernster Gefahr ihr wie Niemand anders daran gelegen sein muss, den Abfluss des Wassers durch den Kanal augenblicklich abzuschliessen. Diese Ueber-

wachung bildet aber eine Last für die Gemeinde Fiescherthal und es dürfte ihr dafür eine Entschädigung von 500 Franken zugesprochen werden, welchen Betrag wir jedoch als hinreichend betrachten, da sich schon beim gegenwärtigen Stand der Dinge der Abfluss gegen das Fiescherthal zu vollzieht, sobald der See höher steigt als die höchste Höhe der Merjelen-Alpe. Uebrigens wird die Gemeinde Fiescherthal voraussichtlich nur in seltenen Fällen den Kanal abzuschliessen gezwungen sein. »

Mit Schreiben vom 31. Oktober 1888 hat nun die Regierung des Kantons Wallis das definitive Ausführungsprojekt und den Ausführungsmodus dem eidg. Departement des Innern eingereicht. Das eidg. Oberbauinspektorat hat das Projekt geprüft und sich damit einverstanden erklärt.

Am 28. November 1888 hat der Bundesrat der eingereichten Vorlage seine Genehmigung erteilt.

Abweichend vom ersten Projekt, welches für den Ablauf dieses Sees einen offenen Einschnitt vorsah, ist hier ein Tunnel angenommen von 547.9 m Länge, 1.85 m Höhe und 1.20 m Breite und einem Gefälle von 2 ‰. Die Kosten sind zu Fr. 112000 devisiert, gegenüber dem früheren von rund Fr. 150000. Die Vorteile eines Tunnels gegenüber einem offenen Einschnitte erblickt die Regierung darin, dass letzterer bei ungünstigen Witterungsverhältnissen, wie sie in einer Höhe von 2250 m immerhin öfters eintreten können, während eines grossen Teiles des Jahres durch Lawinenschnee etc. verstopft sein könnte, während dies beim Tunnel nicht stattfindet und dann in der wohlfeileren und sicheren Ausführung der Baute selbst. Was die Ausführung der Baute selbst anbelangt, so ist sie in Art. 8 des Pflichtenheftes festgesetzt und sollen die Arbeiten unter günstigen Umständen bis 30. Oktober 1890 und unter ungünstigen bis 30. Juni 1891 resp. 30. Oktober 1892 vollendet sein, es sei denn, dass auf genannte Zeitpunkte der See, bis über die Oeffnung des Tunnels hinaus, mit Wasser gefüllt und ein Durchschlagen desselben nicht möglich wäre, in welchem Falle dann bis nach seiner natürlichen Entleerung zugewartet werden muss.

Am 7. April 1889 erfolgte die Antwort der Gemeinde Fieschertal auf das ihr zugestellte Gutachten über ihre Einsprachen gegen die geplante Korrektionsarbeit.

Entgegen der Ansicht der Kommission in Nr. 1 ihres Berichtes, behauptet die Gemeinde dennoch, dass die Tieferlegung des genannten Sees durch den Absenkungskanal, das Vordringen des Aletschgletschers über die Märjelenalp nur mit der Zeit Anschluss an den Fieschergletscher zur Folge habe.

Sie ist ferner der Ansicht, dass infolge des dem Fieschertale zugeführten Wassers die Talebene noch mehr Ueberschwemmungen ausgesetzt sein wird. Die Gemeinde geht von dem Grundsatz aus, dass derjenige, der den Nutzen und den Vorteil des zu erstellenden Werkes hat, auch die daraus erwachsenden Beschwerden und Verantwortlichkeiten für alle aus den Korrektionsarbeiten am See und deren Folgen entstehenden Schäden und Verluste übernimmt. Sie verlangt deshalb

für den Fall, dass sich ihre Befürchtungen früher oder später in der einen oder andern Weise oder auch in unvorhergesehenen Fällen verwirklichen sollten, vom Staate aus volle Garantie für alle aus dieser Korrektion ihrer Gemeinde entstehenden Schäden und Verluste. Das erste, was ihr die Korrektion bringen wird, sei jedenfalls eine starke Vermehrung der Eindämmungsarbeiten am Fiescherbach. Für diesen Fall erbittet sich die Gemeinde einen den Verhältnissen entsprechenden Beistand des Staates. Sie schlägt ferner vor, während der Schmelzezeit im Juli und August das Wasser etwas zurückzuhalten, um so das Schmelzen der Eisberge und des Gletschers zu fördern, dann anfangs September die Schleuse ganz zu öffnen, damit sich der See wieder bis zur geplanten Tiefe entleere. Die Bewachung der Schleuse sei am besten in ihren Händen, aber nicht um den vorgeschlagenen Preis.

« Wir müssen jetzt drei Brücken über den Seebach machen, von denen zwei alljährlich von der Lawine weggefegt werden, dann die Schleuse überwachen und wenn der Fall eintritt, wegen Ungewitter die Schleuse zu schliessen, so ist es eben kein Leichtes unter Donner und Blitz in den meisten Fällen im Schnee und Lawinengefahr bei grosser Kälte dahinauf zu kommen und soweit wir das Klima dieser Region kennen — und wir kennen es — ist das Besorgen der Schleuse in den meisten Fällen nur mehreren starken den Strapazen einer solchen Gegend gewachsenen Männern möglich. Für diese Arbeit und für die jährliche Erstellung der zwei Seebachbrücken, also für die Leistung wie dieselbe beim gegenwärtigen Stand der Dinge vorauszusehen ist, machen wir die gewiss sehr bescheidene Forderung von alljährlich einhundert Franken an die Gemeinde zu entrichten. »

Die Einsprache der Gemeinde Fieschertal wurde der nämlichen Kommission überwiesen, die die erste Eingabe zu prüfen gehabt hatte. Mit Schreiben vom 16. März 1892, also fast 3 Jahre später, nachdem die Gemeinde Fieschertal noch ohne Antwort war, erneuerte sie ihr Bittgesuch mit dem Zusatze, dass seither die Alp mit mehreren tiefen Gräben verwüstet worden sei und dass die dort sich befindenden Hütten dieser Ursache halber zu Grunde gerichtet worden seien. Sie verlangt eine möglichst rasche Erledigung der Angelegenheit. Infolgedessen beauftragte die Regierung mit Schreiben vom 24. Mai 1892 eine Kommission, bestehend aus den Herren Anton Guntern, Präfekt von Münster, Fridolin Albrecht, Präfekt von Mörel und Ingenieur Zen-Ruffinen, die Reklamationen der Gemeinde Fieschertal einer Prüfung zu unterziehen. Die Kommission begab sich am 13. Juli 1892 in Begleitung des Präsidenten und eines weitem Vertreters der Gemeinde Fieschertal, ferner des Partikulars Clemens Zeiter von Fiesch an Ort und Stelle und lieferte dem Baudepartement ihren diesbezüglichen Bericht am 21.-22. Juli 1892 ab.

Laut Schreiben des Baudepartements hatte sie zu untersuchen :

1. Welcher Schaden der Gemeinde Fieschertal aus der Tieferlegung des Sees erwachse und
2. Welcher Schaden durch die Ausführung der Tunnelarbeiten selbst verursacht werde.



In Bezug auf die erste Frage beruft sich die Kommission auf den diesbezüglichen Bericht vom 27. November 1888 (siehe Seite 228) der dahin geht, dass am westlichen Ende des im Bau begriffenen Tunnels eine Schleuse erstellt und der Gemeinde Fieschertal eine Entschädigung von Franken 500 zugesprochen werde.

Was die zweite Frage anbelangt, hat die Kommission festgelegt, dass die vom Haupttunnel, sowie von zwei Abzugsgraben, die zu den Seitengalerien führen, herührenden Schuttablagerungen gegenwärtig auf der Alp einen Flächenraum von ungefähr 2500 m<sup>2</sup> einnehmen und ihn als Viehweide unbenützbar machen. Bis zur Vollendung der Arbeit dürfte diese Ablagerungsfläche wohl noch um 500 m<sup>2</sup> vergrößert werden, sodass im Ganzen ein Flächenraum von 3000 m<sup>2</sup> expropriert werden muss.

« Der Boden als solcher besitzt zwar keinen grossen Werth; hingegen ist in Betracht zu ziehen, dass wegen den zwei erstellten Gräben der Viehauftrieb und die Ausbeutung der Alpe mit vielen Schwierigkeiten und Unannehmlichkeiten verbunden ist und dass nach Fertigstellung des Tunnels die zwei Canäle ganz ausgeebnet oder jedenfalls mehrere Uebergänge über dieselben erstellt werden müssen. Auch sind gegenwärtig schon Vorsichtsmassregeln zu treffen, damit das Vieh keinen Schaden leide.

« Die Kommission ist der Ansicht, dass für den Bodenwerth sowohl, als für alle durch die Arbeiten auf der Merjelen-Alpe entstehenden Inconvenienzen der Gemeinde Fieschertal eine Entschädigung von Franken fünfhundert zuzusprechen sei, in der Voraussetzung, dass die Gemeinde Fieschertal selbst die für das Vieh nothwendigen Uebergänge zu erstellen und die für dasselbe nöthigen Vorsichtsmassregeln zu treffen habe.

« Die Einfüllung respective Ausebnung der zwei Abzugscanäle nach vollendeter Arbeit würde gleichfalls auf derselben lasten.

« Oestlich von den Hütten der Merjelen-Alpe und ca. 200 bis 300 m unterhalb führen zur Abnutzung steiler Abhänge von ziemlicher Ausdehnung drei Stege über den Seebach. Die Nothwendigkeit der Erstellung dieser Stege tritt nur ein, falls der Merjelensee seine vollständige Höhe erreicht hat und seinen Abfluss nach dem Fieschertal findet.

« Da nach der Tieferlegung des Seespiegels mit Sicherheit anzunehmen ist, dass dieser Abfluss nach dem Fieschertal öfter, als bis dahin vorkommt und demnach eine häufigere Erstellung dieser Wege erforderlich wird, wird hiefür eine Entschädigung von Fr. hundert der Gemeinde Fieschertal zuerkannt. Mittelst der Zahlung der drei oben erwähnten Summen im Gesamtbetrage von Franken tausend einhundert soll, nach unserm Dafürhalten, die Gemeinde Fieschertal, auf jede weitere Entschädigung für alle aus der Tieferlegung des Merjelensees und aus den Arbeiten sich ergebenden Folgen und Inconvenienzen, verzichten. »

Der Entscheid der Kommission wurde nach vorgängiger Reklamation (9. Juli 1893) der Gemeinde Fieschertal am 18. Juli zugesandt. Der Staatsrat bewilligte

für den durch die Tieferlegung des Sees entstandenen und noch entstehenden Schaden eine Summe von Fr. 800.—.

Mit Schreiben von 5. August 1893 benachrichtigt die Gemeinde Fieschertal das Baudepartement in Sitten, dass sie die vom Staatsrate bewilligten Fr. 800.— nicht annehme. Sie verlangt für den wertlos gemachten Boden, für die Herstellung von Uebergängen, für allfällige Unbequemlichkeiten der Fussgänger und des Viehs; eine Entschädigung von Fr. 1500.—, ohne die Gefahr für die Grundgüter und die sonstigen, davon herrührenden Schäden in Betracht zu ziehen.

Hinsichtlich des Schadens, der der Gemeinde durch das Austreten des ohnehin höher als die Grundgüter liegenden Bettes des Seebaches erwächst, ist die Gemeinde nicht gesinnt, zum voraus sich an Geld entschädigen zu lassen. Da die Regierung im Seebach eine Schleuse bauen will, so kann sie Massregeln treffen, damit im Momente, indem der Seebach durch anhaltenden Regen oder Föhn hochangeschwollen ist, die Schleuse gänzlich geschlossen werde.

Die jährliche Entschädigung von Fr. 30.— für die Ueberwachung der Schleuse fand keine Opposition.

Mit Schreiben vom 26. August 1893 ersucht das Baudepartement die Gemeinde Fieschertal, eine Kommission zu ernennen, die, gemeinschaftlich mit der früheren vom Staatsrate vorgeschlagenen, eine Besichtigung vorzunehmen hätte. Am 13. August 1894 droht die Gemeinde Fieschertal dem Baudepartement, ihre langjährigen Begehren um Entschädigung für den erlittenen Schaden dem zuständigen Gerichte zu übergeben.

Endlich, am 13. September 1894, kam, nachdem die Vertreter einen nochmaligen Augenschein vorgenommen hatten, folgender Vertrag zu Stande :

Sitten, den 25. September 1894.

#### Zwischen

den Herren Jodoc Burgener Regierungsstatthalter, in Visp; Julius Zen-Rufinen Ingenieur in Sitten u. Ludwig Salzmann Gerichtsschreiber in Naters handelnd für den Staat Wallis einerseits

u.

Den Herren Johann Bortis Vicepräsident in Fiescherthal u. Clemenz Zeiter alt-Präsident in Fiescherthal handelnd für die Gemeinde Fiescherthal anderseits

ist nach vorgenommener Ortsschau u. eingehender Besprechung vereinbart u. abgeschlossen worden, was folgt :

ART. 1. Der Staat Wallis zahlt innert Monatsfrist an die Gemeinde Fiescherthal eine Abfindungssumme von Franken tausend

a) für den Schaden, welcher der Gemeinde Fiescherthal durch die Tieferlegung des Merjelsees erwachsen u. zu dessen Vergütung der Staat gehalten werden könnte;

b) den Schaden, welcher durch die Ausführung der betreffenden Arbeiten bereits verursacht worden sein mag;

c) den Schaden, der durch Erstellung des Tunnels vom Staate in Anspruch genommen worden;

ART. 2. Der Staat Wallis verpflichtet sich innert Jahresfrist am Ein- und Ausgang des erwähnten Tunnels, der nun im Laufe dieser Woche durchschlagen sein wird, solide Eisengitter anzubringen u. den Seitenstollen (Camin) zu vermauern u. einzufüllen.

So von den Vertragsschliessenden Parteien angelobt u. eigenhändig unterzeichnet zu Fiesch den 13<sup>ten</sup> September 1894.

sig. J. Burgener Prefekt  
sig. J. Zen-Ruffinen Ing.  
sig. Salzmann.

sig. Bortis Johann vizepräsident  
sig. Zeiter Klemens.

Die gesetzlich einberufene Gemeindeversammlung von Fiescherthal hat vorstehendem Vertrag die Genehmigung ertheilt.

Fiescherthal, den 14<sup>ten</sup> September 1894.

Der Präsident abwesend  
Der Vicepräsident sig. Bortis Johann  
Der Schreiber ad hoc :  
sig. Franz Zeiter.

Der Staatsrath hat in seiner Sitzung vom 25. September obigen Vertrag gutgeheissen.

Der Präsident des Staatsrathes :  
sig. Roten.  
Der Staatskanzler :  
sig. R. Dallèves.

Das definitive Ausführungsprojekt sieht einen Stollen von 547.90 m Länge, 1.85 m Höhe und 1.20 m Breite vor. Das Tracé des Tunnels bildet eine zwei Mal gebrochene Linie in der Weise, dass sich an das gerade Mittelstück von 448.90 m Länge ein Stück von 53 m Länge unter  $145^{\circ}51'$  gegen den Westausgang und ein solches von 46 m unter  $166^{\circ}5'$  gegen den Ostausgang anschliesst. Das Gefälle des Tunnels wurde zu  $2\text{‰}$  bemessen. Die Schwellenhöhe beim Westportal soll rund 0.20 m höher als die normale Höhe des Vordersees zu stehen kommen. Zur Beschleunigung der Tunnelarbeiten ist in einer Entfernung von 240 m vom Westausgang eine Seitengalerie projektiert. Die Kosten für die Erstellung des Stollens und dieser Galerie in den vorerwähnten Dimensionen sind zu Fr. 160.— pro Laufmeter veranschlagt (inbegriffen die Sprengungen, Felsabhebungen, Wegräumung des ausgehobenen Materials und dessen Ablagerung an den bezeichneten

Stellen in der Nähe des Stollens). Ebenfalls im Preise inbegriffen sind die Eventualitäten, denen der Unternehmer ausgesetzt ist infolge unvorhergesehener Ereignisse, die sich bei Ausführung der Arbeiten durch die Art und Gestaltung des Terrains, durch Wassererguss, Eisbildungen oder aus irgend einer andern Ursache ergeben könnten. Sprengarbeiten, die in unmittelbarer Nähe des Tunnels und der Galerien vorzunehmen sind, werden mit Fr. 16.—, das Wegräumen von Blöcken, Gestein und Erde mit Fr. 4.— pro m<sup>3</sup> entschädigt. Sollte die Erstellung eines Gewölbes notwendig werden, so sind zur Ausmauerung gehauene Bruchsteine mit hydraulischem Kalk zu verwenden. Diese Arbeit wird mit Fr. 30.— pro m<sup>3</sup> entschädigt (Beschaffung des Holzes für das Gerüst inbegriffen).

Die Arbeiten sollen bis zum 30. Oktober 1890 vollständig beendigt sein, in der Voraussetzung, dass an 4 Punkten zugleich angefangen wird. Sollte der Wasserstand am Westausgang das Arbeiten nicht zulassen, so wird der Termin zur Vollendung der Arbeiten auf den 30. Juli 1891 hinausgeschoben und falls schliesslich die Durchsickerung des Wassers die Arbeiten an den Angriffspunkten der Galerie unmöglich macht und nur an einem Punkte, nämlich vom Ostausgang aus in steigender Richtung, gearbeitet werden kann, so wird der Vollendungstermin auf den 30. Oktober 1892 festgesetzt.

Sollte vor dem Durchstich das Niveau des Sees höher liegen als die Basis des Stollens, so kann der Unternehmer den nächsten Ausbruch des Sees abwarten.

Der Voranschlag ist folgender :

1) Tunnel : 547 Laufmeter à Fr. 160.— . . . . .	Fr. 87520 —
2) Galerie : 40 Laufmeter à Fr. 160.— . . . . .	» 6400 —
3) Sprengungen zunächst dem Tunnel : 200 m <sup>3</sup> à Fr. 16.— . . . . .	» 3200 —
4) Wegräumarbeiten zunächst dem Tunnel : 1200 m <sup>3</sup> à Fr. 4.— . . . . .	» 4800 —
5) Unvorhergesehenes und Aufsicht . . . . .	» 10080 —
Total . . . . .	<u>Fr. 112000 —</u>

Die Ausschreibung der Bauarbeiten erfolgte anfangs Januar 1889. An der Submission beteiligten sich : Emile Baur, Unternehmer; Emile Cathrein in Brig, im Auftrage eines Konsortiums; Georges Maynat, Bauführer in Chaux-de-Fonds; Luigi Lanfranchi und Jean Marie Donazola. Cathrein offerierte einen Rabatt von 26.75 ‰, Donazola einen solchen von 15 ‰ der devisierten Totalsumme von Fr. 112000.—. In seiner Sitzung vom 12. Februar 1889 beschloss der Staatsrat, die Ausführung der Arbeiten dem Konsortium Cathrein, bestehend aus J. J. Borter in Brigerberg, O. Zen-Ruffinen in Leuk, A. Seiler, F. Clausen und E. Cathrein in Brig, mit einem Rabatt von 26.75 ‰ der devisierten Summe zu übergeben.

Mit den Vorbereitungen für die Ausführung wurde sofort begonnen. Die Beaufsichtigung der Arbeiten übertrug der Staatsrat dem Kantonsingenieur Zen-

Ruffinen. Letzterer führte anfangs August die Absteckung der Tunnelaxe aus. Die Ausführung der Arbeiten erfolgte nach dem Projekt. Der Stollen wurde im Jahre 1889 nur von der Ostseite, im Jahre 1890 dagegen, ausser von den beiden Enden aus, noch durch einen Seitenstollen westwärts des Ostportals in Angriff genommen, wodurch sich vier Angriffspunkte ergaben. Zum Zwecke einer besseren Ventilation sind ferner zwei Kamine, das eine an der West-, das andere an der Ostseite, erstellt worden.

Im September 1889 wurde durch den Adjunkten des Oberbauinspektorates von Salis eine Inspektion der Arbeiten vorgenommen. Die Folge davon war, dass man den Entschluss fasste, den Stollen gegen den See hin bis zum Seespiegel zu verlängern und zwar in dem Sinne, dass an Stelle eines offenen Einschnittes eine künstliche Ueberwölbung im gleichen Querschnitt wie der Stollen selbst ausgeführt werden solle. Die Gefahr einer Ausfüllung des Einlaufes mit Schnee und Geröll beziehungsweise einer Verstopfung des Kanals und eines nachherigen plötzlichen Durchbrechens des Seewassers, wie dies beispielsweise am Absenkungsgraben des Sees auf der Passhöhe des Albula<sup>1</sup> eingetreten war, soll damit verhindert werden.

Die diesbezüglichen Arbeiten wurden im Juli 1890 in Angriff genommen. In nachstehender Tabelle finden sich die wichtigsten Angaben über den Fortschritt des Stollenbaues tabellarisch vereinigt.

---

<sup>1</sup> Auf der Passhöhe des Albula wurde für die Tieferlegung des Seeniveaus ein offener Einschnitt angelegt, der sich im Winter verstopfte. Der Schnee und das Eis leisteten im Frühjahr Widerstand. Es fand eine Ueberstauung statt und der Durchbruch verursachte in dem tiefer gelegenen Gelände bedeutenden Schaden.

## Angaben über den Bau des Stollens zur Absenkung der Hochwasserstände des Märjelenses. 1889-1894.

DATUM	Inspektion ausgeführt durch:	Länge des Stollens			Seitengalerie m	Kamin		Wegräumen der Erde, Steine und Blöcke m <sup>3</sup>	Felsprägnungen ausserhalb d. s. Stollens m <sup>3</sup>	Gewölbter Stollen Westseite		Bemerkungen:
		Ostseite m	Westseite m	Total m		Ostseite m	Westseite m			Gewölbe m	Pfeiler u. Sohle m	
12. Juli 1889		10.50										
21. August 1889		40.00						68.33				
30. August 1889		40.00						170.00				
Oktober 1889		84.00 <sup>1</sup>						170.00				
30. Januar 1890	Baufseher Brin	108.50	55.50 <sup>2</sup>	155.00	12.00							
22. Oktober 1890		112.00	43.00	209.00	15.00			196.50				
6. Juli 1891		141.00	68.00	246.00	25.90			196.50				
15. Oktober 1891		166.00	80.00	308.00				196.50				
15. Juli 1892		208.00	95.00	347.50								
6. September 1892	Eidg. Oberbauinspektorat	217.50	130.00	344.00								
20. Oktober 1892		233.00	111.00	398.80								
25. Mai 1893		263.80	135.00	432.30								
19. Juni 1893	Emil Cathrein	274.86	167.00	441.86								
27. Juni 1893	Eidg. Oberbauinspektorat	314.50	163.60	478.10								
15. September 1893				502.00 <sup>3</sup>								
15. September 1893	Ingenieur Zen-Ruffinen			527.00								
8. Oktober 1893	Emil Cathrein			504.50 <sup>4</sup>								
15. November 1893				538.60								
1. April 1894	Baufseher Travaletti	325.50	179.00	554.63 <sup>5</sup>								
15. Mai 1894	» Adolf Bortier	325.46	208.14	554.63 <sup>5</sup>								
15. Mai 1894	» Brin	vom 27. III - 15. V. 1890		218.00								
31. Mai 1894	» Brin	336.50	218.00	554.50 <sup>5</sup>								
10. Juni 1894	Emil Cathrein	22 m in	22 Tagen									
19. Juni 1894		337.35	192.55	529.90								
5. Juli 1894	Baudepartement des Kantons Wallis			529.90 <sup>6</sup>								
20. August 1894	Eidg. Oberbauinspektorat	343.46	218.44	561.90								
20. September 1894	Eidg. Oberbauinspektorat	357.56	218.44	576.00								
15. Oktober 1894		Durchschlag										
19. Juli 1895				563.00								
30. Oktober 1895				583.00 <sup>7</sup>								
6. Juli 1896												
12. Juli 1897												

<sup>1</sup> Stollen und Galerie.  
<sup>2</sup> Stollen und Galerie.

<sup>3</sup> Es fehlen noch 87 m.  
<sup>4</sup> Es fehlen noch 62 m.

<sup>5</sup> ab 15. Mai fehlen noch 34.72 m;  
Stollen und Galerie.

<sup>6</sup> Es fehlen noch 28.90 m.

<sup>7</sup> Stollen und Galerie  
(Zen-Ruffinen, Abrechnung).

Aus den vorstehenden Angaben mögen noch folgende Daten besonders hervorgehoben werden: Der Absenkungsstollen besitzt vom West- bis zum Ostportal eine Gesamtlänge von 583 m, der Seitenstollen eine solche von 25.90 m. Die Höhe des Kamins auf der Ostseite beträgt 14.0 m, auf der Westseite 9.0 m. Der Stollen durchfährt vom Westportal weg auf eine Länge von 27.3 m Moränenmaterial, dann bis an das Ostende harten Gneisfelsen. Der Seitenstollen und die Kamine mussten ebenfalls im Felsen vorgetrieben werden. Die Widerlager des Stollenmauerwerks und das Gewölbe sind in zugespitztem Bruchsteinmauerwerk erstellt, die Sohle ist mit Steinpflaster versehen worden.

Die mittlere Arbeitsleistung im Felsen betrug:

Vom 18. Januar bis 30. September 1890: Fortschritt 13 m = 0.28 m pro Tag (2 Angriffspunkte).

Vom 28. Mai bis 15. September 1893: Fortschritt 78 m = 0.71 m pro Tag (2 Angriffspunkte).

Im Mai 1894 in 22 Tagen: Fortschritt 12 m = 0.545 m pro Tag (Zahl der Angriffspunkte nicht bekannt).

Vom 25. bis 29. Juni 1894: Fortschritt 0.40 m pro Tag.

Vom 5. Juli bis 20. August 1894: Fortschritt 0.35 m pro Tag.

Die Stollenarbeiten dauerten vom 1. Juli 1889 bis 1. Oktober 1894 mithin 5 Jahre und 3 Monate. Während dieser Zeit wurden die Arbeiten, solange die Witterungsverhältnisse es erlaubten, ohne Unterbruch fortgesetzt; der *mittlere Tagesfortschritt* beziffert sich auf

$$\frac{583}{1919} = 0.30 \text{ m.}$$

Unterziehen wir nun obige Daten einer genauen Prüfung, so fällt uns hauptsächlich ins Auge, dass die Bauarbeiten viel mehr Zeit in Anspruch genommen haben, als vorgesehen wurde. Statt die Arbeiten laut Pflichtenheft am 30. Oktober 1890 zu vollenden, erfolgte der Durchschlag erst am 20. September 1894, also vier Jahre später.

In erster Linie ist diese gewaltige Verzögerung der örtlichen Lage und den damit verbundenen Witterungsverhältnissen zuzuschreiben. Die Unterkunftsverhältnisse der Arbeiter, namentlich in der kalten Jahreszeit, waren überaus schwierige. Der Transport der Baumaterialien nahm viel Zeit in Anspruch. Die Unternehmung hat jedoch sicherlich ihr Möglichstes getan.

Ein weiteres Hindernis verursachte das gewaltige Steigen des Sees während der Schneeschmelze im Juni<sup>1</sup> und Juli 1894. Der See erreichte beispielsweise am 5. Juli 1894 einen Stand, der 2.60 m höher war als die Einlaufschwelle am Westportal. Selbstverständlich musste der Vortrieb von dieser Seite her so lange ausgesetzt werden, als der Stollen unter Wasser stand. Glücklicherweise begann sich der See am 27. August 1894 langsam zu entleeren, sodass der Durchschlag am 20. September 1894 ohne Gefahr erfolgen konnte. Bemerkenswert ist ferner, dass das Entfernen des Eises im Innern des Stollens und das Wegschaffen des Schnees an den Oeffnungen in den Jahren 1893 und 1894 Fr. 2341.49 kostete. In Anbetracht, dass die Unternehmer durch den Bau des Stollens grossen finanziellen Schaden erlitten, übernahm der Kanton die Kosten dieser Wegräumung bis zu einem Höchstbetrage von Fr. 2000.—. Eine weitere Inspektion der Arbeiten durch das eidg. Oberbauinspektorat wurde am 19. Juli 1895 vorgenommen. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich im Innern des Stollens ganz bedeutende Eisansammlungen gebildet hatten.

Im Jahre 1895 mussten an Bauarbeiten noch ausgeführt werden :

1. Vertiefung einiger Stellen der Stollensohle,
2. Befestigung von 2 eisernen Gittern mit Türen, nebst einer Holzverschalung hinter denselben zur Vermeidung der Eisbildung im Innern des Stollens,
3. Zumauerung der Seitengalerien und der Kamine und besseres Zudecken des 28 m langen Gewölbes am Westende.

Am 29. Oktober 1895 sind die letzten Arbeiten vollendet und die Türen am West- und Ostausgang geschlossen worden.

Am 6. Juli 1896 fand ein neuer Augenschein durch das eidg. Oberbauinspektorat statt. Die Holzverschalung der Gitter, die im Herbst 1895 angebracht worden war, hatte gute Dienste geleistet und die Vereisung im Innern des Stollens bedeutend vermindert. Eine weitere Inspektion wurde am 12. Juli 1897 durch Ingenieur J. Chappex vorgenommen. Das Ostportal war vollständig mit Schnee zugedeckt; das Innere des Tunnels, soweit es sichtbar war und dessen Zugänge boten nichts aussergewöhnliches, der Seestand war ein tiefer.

Ende Juli 1896 erreichte der See die Höhe der Schwelle des Westportals. Das Wasser des Sees floss erstmals während 6 Wochen durch den Stollen, bis unmittelbar vor der Entleerung, die anfangs August stattfand. Nach einer postalischen

---

<sup>1</sup> Am 19. Juni 1894 lag der Stollen schon unter Wasser, der See stieg pro Tag rund 0.10 m.



Mitteilung von Hotelier Cathrein an Ingenieur Chappex konnte festgelegt werden, dass die mittlere Höhe des Wasserspiegels am Westeingang 0.30 m, am Ostausgang 0.20 m betrug. Seither hat der See nie mehr die Höhe der Sohle des Absenkungstollens erreicht; mithin konnte der Stollen seit seiner Erstellung nur einmal seine ihm zukommende Funktion ausüben. Die gewaltige Gletscher-Schwindperiode der letzten Jahrzehnte, ist natürlich nicht ohne Einfluss auf die Seestände geblieben. Seit der Erstellung der Pegelanlage (1908) und voraussichtlich schon viele Jahre vorher, vermochte sich der Hintersee nicht mehr mit dem Vordersee zu vereinigen. Der mächtig zurückgegangene Gletscher vermag nur noch den Druck einer kleineren Wassersäule auszuhalten. Die Ueberlaufschwelle des Gletschers liegt gegenwärtig tiefer als die Schwelle des Tunnelportals. Es findet deshalb ein natürliches Ueberfliessen des Sees längs des Südrandes des Gletschers statt, bevor der Wasserspiegel die Schwelle des Stollenportals erreicht hat. Hochwasserstände, die die Höhe des Absenkungstollens erreichen (und diesen in Wirkung treten lassen), werden aber in der Zukunft eintreten, wie sie sich in der Vergangenheit gezeigt haben. Eine neue Generation wird die Vorteile dieser, mit so grossen Opfern durchgeführten Arbeit geniessen und hoffentlich auch zu würdigen verstehen.



## II. TEIL.

### Fiescherbach und Massa.

#### I. KAPITEL.

#### Allgemeine geographische und geologische Verhältnisse.

##### A. — Der Fiescherbach.

Das Tal des Fiescherbaches, « Fieschertal » genannt, ist eine rechtseitige Eintiefung des Rhonetals im Bezirk Goms, Kanton Wallis. Es erstreckt sich von seiner Ausmündung unterhalb Fiesch bis zum Finsteraarhorngebiet. Das obere Gebiet ist vom Fieschergletscher erfüllt, der am Finsteraarrothorn beginnt. Hier vereinigt sich der Walliser Fiescherfirn mit dem Studer-, bzw. Galmifirn und bildet den spaltenreichen Fieschergletscher. Letzterer bewegt sich in eng gewundener Schlucht, erst in südlicher, dann in südwestlicher und zuletzt wieder in südlicher Richtung zwischen den Walliser Fiescherhörnern im Westen und der Wasenhornkette im Osten vorbei gegen das Rhonetal hinab (siehe Tafel 16).

Die grösste Länge des Fieschergletschers beträgt 7,3 km, die mittlere Neigung des Firms  $24^{\circ}$ , die der Zunge  $16^{\circ}$ , seine mittlere Höhe 3130 m, die Firngrenze liegt auf 2910 m ü. M. Das Flächenverhältnis von Firn zu Zunge (wobei die Fläche der Zunge = 1) ist gleich 3,4<sup>1</sup>. An seinem untern Ende mündet der Fieschergletscher in eine schmale (linksufrige) und eine breitere (rechtsufrige) Zunge aus, zwischen

---

<sup>1</sup> Siehe auch Hess : Die Gletscher, Seiten 72 und 73.

denen eine inselförmige Rippe emporragt, die sich gegen die Mitte des Gletschers zu verliert. Dieser Riegelberg trägt den Namen « Titer ». Die sogenannte « Burg » am Ende des rechtsufrigen Armes des Fieschergletschers, ein Querriegel, der den Riegelberg mit dem « Hohstock » verbindet, ist eine klassische Fundstelle für Mineralien. In den 70<sup>er</sup> Jahren wurden hier prachtvolle Exemplare kristallisierten Adulars und mächtige farblose Bergkristalle erbeutet<sup>1</sup>. Ueber die Entstehung solcher Riegelberge gibt uns A. Penck folgende Erklärung<sup>2</sup>:

« Die übertieften Täler der schweizerischen Alpen weisen eine Reihe von Riegelbergen auf, deren Entstehung sich meist auf eine mehrfache Zerschneidung von Felsriegeln zurückführt, welche durch Gletscherbäche erfolgte. In andern Fällen dürfte die Entstehung eines Riegelberges dadurch zu erklären sein, dass ein Gletscher an seinem Ende einen sekundären Gletscherbach über einen Riegel oder einen seitwärts ins Tal ragenden Sporn hinwegsandte, der durch Eingraben einer Schlucht ein Stück vom Talgehänge abtrennte. »

Als Beispiel für diese Entstehungsweise führt Penck gerade unsern Fall, nämlich das heutige Ende des Fieschergletschers an. Der « Titer » wird links und rechts durch die Tälchen der links- und rechtsarmigen Quellbäche des Fiescherbaches vom eigentlichen Talgehänge getrennt. Beim heutigen Tiefstand des Gletschers vermag nur noch der linke Arm des Gletschers den obersten Teil des Tälchens zu berühren. (Siehe Tafel 47 und 48.) Der rechte Arm des Gletschers bleibt ungefähr in der Mitte des eigentlichen Querriegels stehen. Nur eine kleine Teilzunge am linken Ufer vermag noch schwach den untern Talboden zu erreichen. Beim letzten Gletscherhochstand (1860) waren diese beiden Seitentäler noch grösstenteils vom Gletscher erfüllt. « Sie erfuhren dabei eine Eintiefung (siehe Penck, S. 622), während der inselförmige Berg selbst der Abtragung entzogen ist. Derselbe musste daher an relativer Höhe gewinnen; doch verliert er durch Eintiefung der Täler zu seinen Seiten und Abböschung ihrer Gehänge an Breite und wird einmal dieser Abtragung von der Seite, « nach erfolgtem neuen Gletschervorstoss » zum Opfer fallen. » Heute werden diese beiden durch den « Titer » getrennten Tälchen von den beiden Quellbächen des Fiescherbaches durchflossen. Währenddem der linke, mächtigere Quellarm<sup>3</sup> durch hohe Felswände eingeschlossen ist (siehe Tafel 48), weist der rechte Arm ein bedeutend leichter ansteigendes Ufergelände auf (siehe Tafel 46). Letzterer empfängt, neben andern kleinen Quellbächen, die grösstenteils von Westen, aus dem Gebiet der Walliser Fiescherhörner herkommen, bei km 1,644 des Längenprofils durch eine, nach Aussage der Talbewohner, künstlich angelegte Rinne das Wasser des Seebaches. (Siehe

<sup>1</sup> VON FELLEBERG, E. und SCHMID, C. *Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz*. 21<sup>te</sup> Lieferung. Bern, 1893.

<sup>2</sup> PENCK, A. und BRÜCKNER, E. *Die Alpen im Eiszeitalter*. S. 622. Leipzig, 1909.

<sup>3</sup> Zur Zeit des letzten Gletscherhochstandes soll der rechte Quellarm bedeutend mächtiger gewesen sein. (Ziprian Bircher, Fiesch.)

Tafel 2 und Figuren 1 und 2.) Durch diese Felsschlucht wälzte sich früher das Wasser des Märjelensees, nachdem es die Höhe der niedern Einsattlung im Osten des Sees überschritten hatte und verschwand in den Spalten des tiefer liegenden

Querprofil 2 (km. 0.762)  
« Weisse Platte »  
1 : 800

FIESCHERBACH.  
Rechter Arm.

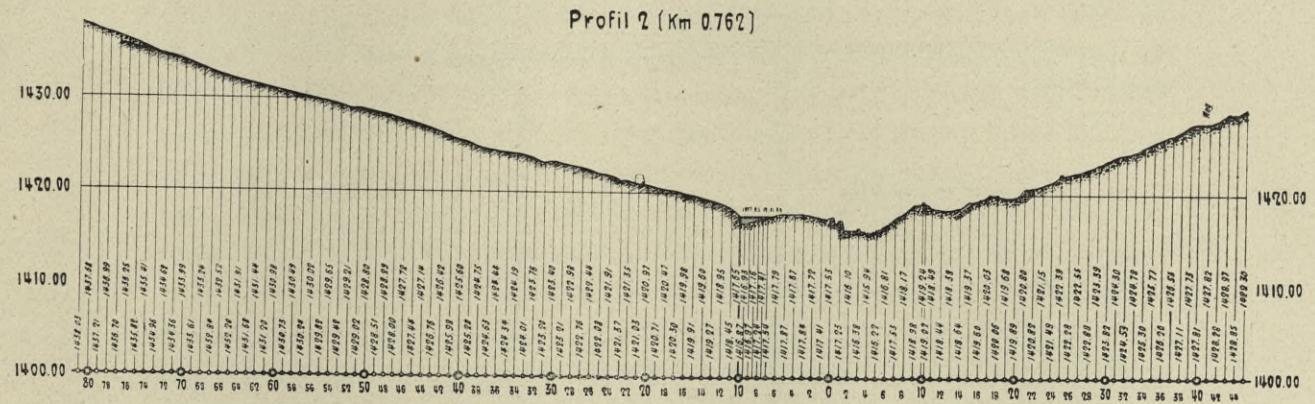


FIG. 12.

Fieschergletschers. Heute, beim Tiefstand des Grossen Aletschgletschers, wird dieser Seitenbach nur noch von ganz unbedeutenden Wasseradern gespiesen.

Das Tal des rechten Quellarmes des Fiescherbaches lässt die alte Gletscherbette charakterisierende Trogform in geradezu wunderbarer Gestalt erkennen

Profil 4 (km. 0.172)  
« Glingelsteg »  
1 : 250

FIESCHERBACH.  
Rechter Arm.

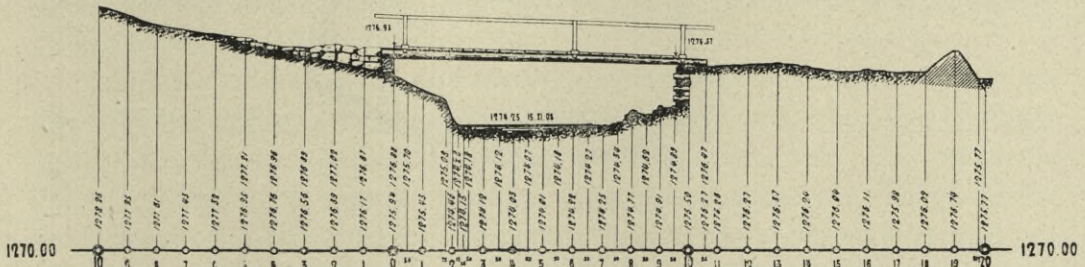


FIG. 13.

(siehe Tafel 46). Bei km 0,762 trennt ein neuer, mit prachtvollen, tiefen Furchen (Gletscherschliffen) durchzogener Talriegel « Weisse Platte » (siehe Querprofil 2, Fig. 12) genant, das rechte Seitentälchen in zwei sich in der Hauptsache durch

das Gefälle (siehe Tafel 1) unterscheidende Teile. Der obere Teil von km 0,762 bis km 1,794 hat mehr den Charakter eines Talbodens und besitzt ein mittleres Gefälle von 145 ‰. Der untere Teil dagegen bildet namentlich von km 0,350 bis

FIESCHERBACH. Linker Arm.  
 Querprofil 4 (km. 5.420) 1 : 250

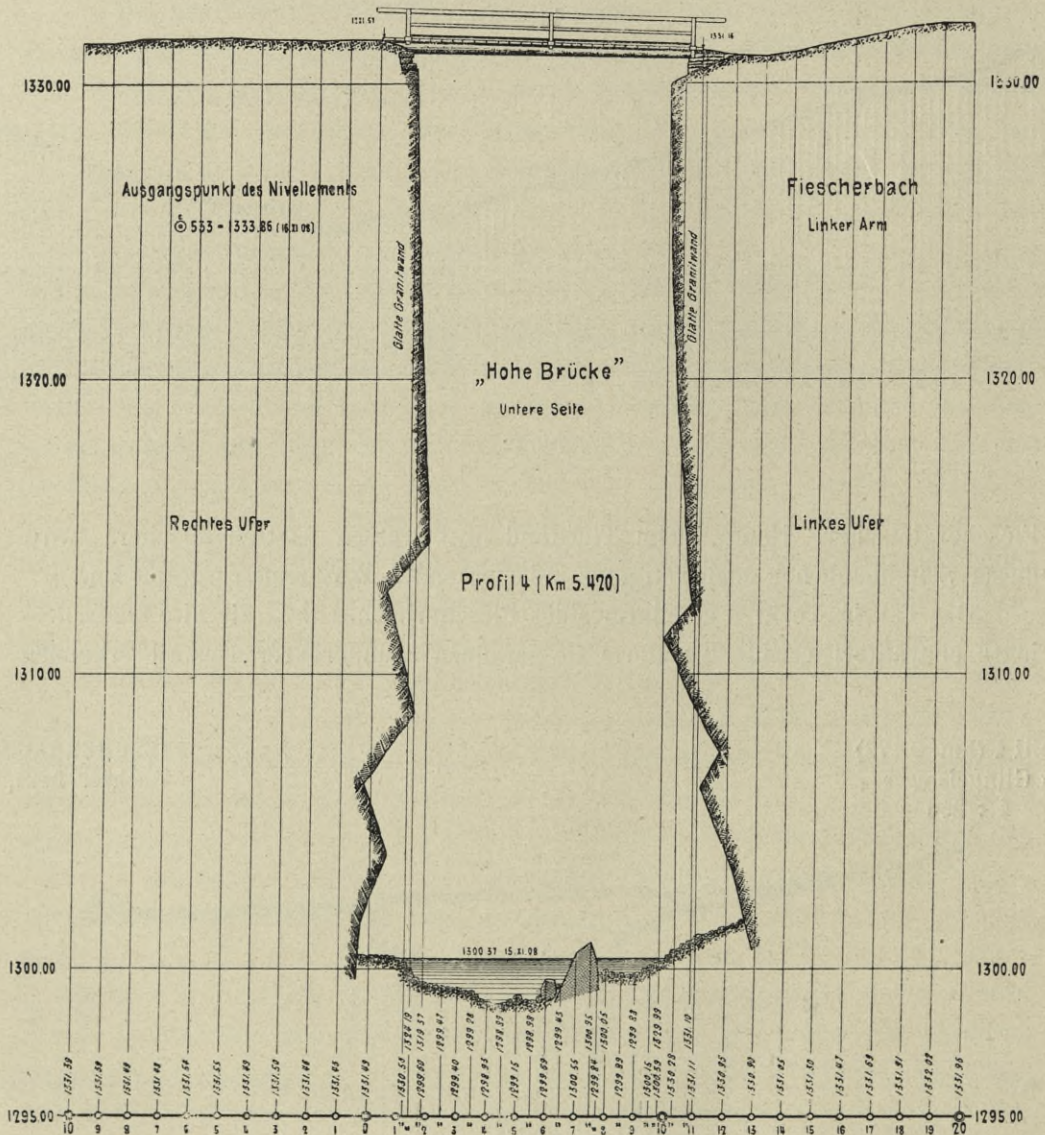


FIG. 14.

km 0,762 eine ausgeprägte Talstufe mit 291 ‰ Gefälle. [Querprofil 1 (km 0,172) dieser Gefällsstufe findet sich in Fig. 13 vor.] Die Bildung des Querriegels hängt mit dem Auftreten widerstandsfähiger Gesteine zusammen.

Der linke Quellarm durchfließt vom Gletschertore weg bis zu seiner Vereinigung mit dem rechten Arm (km 4,880), am südlichen Ende des Riegelberges, eine enge, scharf eingeschnittene Felsrinne (siehe Tafel 48 und Querprofil 4, Fig. 14). Der Gletscherbach hat diesen Riegel, entsprechend seiner Erosionskraft, gänzlich durchsägt, bzw. eine Schlucht eingegraben, in die sich heute noch eine kleine, schmale, aber hohe Zunge hineinstreckt. Diese steil abfallende Gletscherzunge findet sich auf Tafel 47 photographisch dargestellt. Von der Vereinigung der beiden Quellbäche an beginnt sich die Talsohle allmählich zu erweitern; das Gefälle des Fiescherbaches wird kleiner und erreicht im Fiescherboden (oberhalb Fiesch) nur noch einen Betrag von 20 ‰. Auf der linken Talseite von Ried und Bellwald senken sich die Berghänge ziemlich steil, doch sind sie teilweise mit Rasen bekleidet und nur von wenigen Felspartien unterbrochen. Häusergruppen beleben die Gegend. Auf der andern Talseite erhebt sich das Gebirge viel kraftvoller und höher. Die untern Teile sind mit Wald bekleidet, hernach folgen fruchtbare Alpen, die sich stellenweise bis in die Felsregionen des aussichtsreichen, unvergleichlichen Eggishornes hinaufziehen.

Auch der mittlere Teil des Fieschertales, nämlich von der Vereinigung der beiden Quellbäche bis zum Dorfe Fiesch, zeigt Trogform. Es ist klar, dass einzig und allein der alte Fieschergletscher zur Erklärung dieser Form herbeigezogen werden kann. In diesem mit den malerischen Weilern «Wirbel» und «Platten» geschmückten Teil, hebt sich das schwächere Gefälle des «Fiescherbodens» deutlich ab. Der «Fiescherboden» hat den Charakter einer flachbeckenförmigen Niederung. Beim Dorfe Fiesch markiert eine alte Moräne das frühere Ende einer ehemaligen Zunge des Fieschergletschers. Sehr wahrscheinlich handelt es sich hier um einen, durch Gletscherschutt erhöhten Felsriegel. Es scheint, dieser Talriegel habe nach dem Schwinden des Gletschers den Abfluss gestaut und dadurch die Bildung eines Sees ermöglicht. In dem Masse, wie sich der Fiescherbach in den Moränendamm einschneidet, ist auch der See zurückgegangen. Im früheren Zungenbecken ist ein ebener Aufschüttungsboden entstanden, der heute den «Fiescherboden» bildet.

Auf der Seite gegen Bellwald erhebt sich, gleich hinter Fiesch, die gewaltige, durch Gletscherschutt erhöhte Felsrippe der «Gibelegg», an deren steilen Böschungen entlang sich die Furkastrasse und die Furkabahn entwickeln. Der Bau dieser Bahn veranlasste die teilweise Anschneidung und Durchquerung dieses hohen Kammes und legte dabei den aus kompaktem Urgestein bestehenden Kern frei. Der überlagerte Moränenwall trägt das Dörfchen Furg und die St. Anna's Kappelle und erstreckt sich gegen Bodmen ins Fieschertal und gegen Bellwald ins Rhonetal. Wir sehen hier das Zusammentreffen einer alten Fieschertalmoräne mit dem Rest einer Rückzugsmoräne des Rhonegletschers, wobei wahrscheinlich erstere aber vorherrscht (v. Fellenberg). Der unterste, wieder steilere Teil des Fieschertales von Fiesch bis zur Rhonemündung ist aber der stärkern Eintiefung des Haupttales

gegenüber dem Seitental, verursacht durch den Rhonegletscher, zuzuschreiben, während der obere Stufenbau des Fieschertales seine Entstehung ausschliesslich dem Auftreten der Querriegel zu verdanken hat.

Der Fiescherbach sucht heute diesen Stufenbau zu vernichten, indem er sich in die Stufe einschneidet und eine allmähliche Ausgleichung nach oben, bezw. eine Verlängerung der Gefällsstrecke herbeizuführen trachtet.

Die Mündungsstelle des Fiescherbaches gegenüber dem Haupttal ist eine verhältnismässig wenig hohe. Der Grund hierfür dürfte sehr wahrscheinlich nicht nur der Grösse des Seitentales, sondern namentlich der Mächtigkeit seines Gletschers zuzuschreiben sein. Im Rhonetal weisen fast ohne Ausnahme, alle grösseren Seitentäler kleine Mündungsstufen auf. Die grössten Seitentäler, wie beispielsweise das Tal der Drance, der Borgne, der Visp, liegen sogar bei ihrer Mündung ungefähr auf der Höhe des Haupttales. Dabei darf man allerdings nicht ausser Acht lassen, dass das Rhonetal durch Alluvion schon eine bedeutend höhere Lage erhalten hat.

Die geologische Durchforschung solcher alten Gletschergebiete wie das Fieschertal und ihr Vergleich mit Gebirgsgegenden, die niemals vergletschert waren, hat schon hinsichtlich der Auffassung über den Taltrug zu grossen Diskussionen Anlass gegeben. Nach Davis würde ein Gletscher einen Trog erzeugen, der bis zur oberen Grenze der Vergletscherung reicht. Penck und Brückner dagegen betrachten, dem Augenschein in den Alpen entsprechend, nur den untersten Teil der Täler als trogförmig, während Hess aus Profilen der Alpen, die er aus der Siegfriedkarte abgeleitet hatte und auf Grund seiner Beobachtungen an Ort und Stelle den Schluss zieht, es seien vier solche Tröge ineinander geschachtelt, deren jeder während einer der vier Vergletscherungen entstanden sei. Der Verfasser hat die vier Taltröge im Gebiet des Fieschertales, die Hess vom Wege beim Jungfrauhotel aus photographisch festgestellt hat<sup>1</sup>, gesucht und wirklich auch gesehen.

J. Früh<sup>2</sup> und F. Nussbaum<sup>3</sup> führen die Bildung der höher gelegenen Terrassen auf die Wirkung der Seitentäler zurück, die vom Hauptgletscher auf die Seite gedrängt wurden und das Gehänge des Haupttales unterhalb der Mündung des Seitentales abhobeln. Nussbaum erwähnt als Beispiel den Ausgang des Nendaz-Eringer-, Eifisch- und Turtmantales, alles Seitentäler des grossen Rhonetales.

## B. — Die Massa.

Im Kapitel über die allgemeinen geographischen und geologischen Verhältnisse des Märjelensees haben wir den Grossen Aletschgletscher beim Märjelensee

<sup>1</sup> HESS, H. *Die präglaziale Alpenoberfläche*. In Petermanns Mitteilungen. 59. Jahrgang, 1913, S. 282.

<sup>2</sup> FRÜH, J. *Form und Grösse der glazialen Erosion*. S. 18.

<sup>3</sup> NUSSBAUM, F. *Die Täler der Schweizeralpen*. Bern, 1910.



verlassen. Es erübrigt uns nun noch eine kurze Beschreibung des untern Verlaufes zu geben.

Gegenüber dem aussichtsreichen Eggishorn empfängt der Gletscher an seinem rechten Ufer den mit ihm verwachsenen bedeutenden Mittel-Aletschgletscher. Nach seiner Vereinigung fliesst der gewaltige Eisstrom zwischen den Ausläufern des Aletschhornes im Westen und der Kette, die das Eggishorn mit dem Riederhorn verbindet, im Osten vorbei. Oberhalb der Sennhütten der Aletschalp vereinigte sich zur Zeit höherer Gletscherstände auch der Ober-Aletschgletscher mit seinem stärkern Bruder. Heute ist dem nicht mehr so. Das Zungenende, das noch im Jahre 1856 nur um eine Manneslänge vom grossen Gletscher entfernt war, liegt heute viele hunderte von Metern von ihm entfernt. Unter dem Namen Aletsch versteht man das ganze Alpenthal, das sich vom Mittelaletsch bis an das Ende des Grossen Aletschgletschers erstreckt. Das Tal wird durch den Ober-Aletschgletscher in zwei Teile : das innere und äussere Aletsch getrennt. Gegenüber den Sennhütten von Ober- und Unter-Aletsch am südlichen Ufer des Grossen Aletschgletschers liegt der arvenreiche Aletschwald. Von der prächtig gelegenen Belalp führt ein steiler Weg hinunter zu den Hütten von Unter-Aletsch und von hier über den Gletscher durch den Aletschwald nach der wunderbar gelegenen Riederfurka und der Riederalp.

Im untersten Teile des Tales wird die Gletscherzunge schmal, ihr Gefälle aber immer grösser. In diesem Gebiete tritt der ungeheure Rückgang des Gletschers in den letztverflossenen Jahrzehnten am deutlichsten hervor. Der früher in die wilde Schlucht der Massa abfallende Gletscher, vermag heute kaum mehr in sie einzudringen. An diesem Zerstörungswerk, das namentlich am rechten Ufer in der Nähe der Sennhütten von Unter-Aletsch am anschaulichsten zu Tage tritt, nimmt auch der Abfluss des Ober-Aletschgletschers hervorragenden Anteil.

Der Grosse Aletschgletscher endigt heute unmittelbar am gewaltigen Riegelberg, der sich weit über seine Oberfläche hinaus hebt. In gewissem Sinne bildet dieser, durch das Hotel Belalp auf der rechten Seite und die Häusergruppe der Alp Nessel auf der linken Seite gekrönte Felsriegel, den Talabschluss des jetzigen Grossen Aletschgletschers. Das ganze Tal dieses Gletschers bietet ein Bild einer alpinen Landschaft der Eiszeit. Nussbaum schildert dasselbe mit folgenden trefflichen Worten<sup>1</sup> :

« Aus breiten, gealterten, im Halbkreis den Talabschluss umgebenden Ursprungskaren quellen mächtige Firnmassen, die sich zu der 19 km langen Gletscherzunge vereinigen, und in den steilen, aber nicht trichterförmigen Seitenkurven, liegen Firnmassen, die sich dem Hauptgletscher zum Teil noch anschliessen, zum Teil aber als Gehängegletscher über ihm endigen, was ehemals nicht der Fall

<sup>1</sup> F. NUSSBAUM. *Die Täler der Schweizeralpen*. Bern, 1910.

war, als die Schneegrenze tiefer lag. Dass der Gletscher bedeutend zusammengeschrumpft ist, geht nicht nur daraus hervor, dass unterhalb des Conkordiaplatzes an den Seiten die steile Trogwand auftaucht, sondern dass heute — im Gegensatz zu einst — auch die Firnmassen der Ursprungskare in einer Stufe zum Gletscher abbrechen. »

Die erodierende Wirkung des Abflusses des einstigen und jetzigen Gletschers, in Verbindung mit der erodierenden Tätigkeit des Gletschers, hat das heutige Tal der Massa erzeugt.

Das Tor des Grossen Aletschgletschers am Eingang der Schlucht und die Massaschlucht unmittelbar unterhalb des Gletschertors finden sich auf Tafel 49 photographisch wiedergegeben. Die Schlucht, die die Massa brausend und schäumend durchfließt, ist wohl eine der imposantesten Erosionslandschaften der ganzen Alpenwelt. (Vergleiche Tafel 50 und 51.) Die Erosionskraft dieses Gletscherbaches wird namentlich durch die Ausbrüche des Märjelensees bedeutend erhöht, hängt ja die Tiefenerosion nicht nur vom Gesteinscharakter des Untergrundes, sondern auch von der Wassermenge ab. Bei km 6,270 (Tafel 52) gelangen wir zum sogenannten « Kohlplatz ». Von diesem Orte aus führte der ehemalige Viehweg über den Gletscher nach der Aletschalp. Zur Zeit des Gletscher-Hochstandes im Jahre 1856 fand sich das Gletscherende noch an dieser Stelle vor.

Verfolgen wir den Lauf der Massa weiter talabwärts, so gelangen wir zu der Gebidembrücke. Sie verbindet die Weiler Platten, Rischen und Eggen mit der Riederfurka und der Riederalp. Auf einer kleinen Terrasse über der Massa liegt auf grüner Weide die Häusergruppe « Gebidem ». 37 m oberhalb der Brücke befindet sich in geschützter Lage die Pegelstation. Wir werden an anderer Stelle darüber berichten. Unterhalb der Gebidembrücke durchfließt die Massa zunächst eine, an verschiedenen Orten noch zugängliche Felsschlucht. Bei km 3,627 verengt sie sich aber zu einer derart engen Schlucht, dass nur noch dem wild durchströmenden Wasser Raum verbleibt. Die senkrechten und teils überhängenden, von grossartigen Höhlen und Kesseln in vielfacher Form erodierten Felswände, erheben sich an vielen Stellen 200-250 m hoch über dem Fluss. Die Schlucht trägt den Namen Massakinn. An ihrem untern Ende bei Bitsch ist sie nur noch wenige Meter breit und weist Erosionsspuren von grossartigster Wirkung auf. (Siehe Tafel 51.) Unmittelbar beim Ausgang der Schlucht, am linken Ufer, liegt der mächtige Steinbruch für den Bau des Simplontunnels.

155 m oberhalb der Mündung der Massa in die Rhone wird die Furkastrasse vermittelt einer hohen steinernen Bogenbrücke über sie hinweg geführt. Am rechten Ufer der Massa, gegen die Furkastrasse, endigt eine mächtige Seitenmoräne des Aletschgletschers, die den Namen Massaeggen trägt.

Hinsichtlich einer geologischen Beschreibung des vorliegenden Flussgebietes sei auf die wertvolle Arbeit von Dr. Edmund von Fellenberg: « Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz », Lieferung 21. Bern 1893, verwiesen.

## II. KAPITEL.

### Die Begrenzung der Flussgebiete.

#### A. — Das Fieschertal.

Das Gebiet des Fiescherbaches findet im Westen eine deutlich ausgeprägte natürliche Begrenzung durch den Höhenzug, der das Gross-Fiescherhorn mit den Walliser Fiescherhörnern und der Eggishornkette verbindet. Die Kette der Walliser Fiescherhörner und die des Eggishorns wird durch das kleine Seitental der Märjelenalp getrennt. Das Verbindungsglied bildet die Einsattelung an der Ostgrenze des Vordersees. An dieser Stelle entsandte der Märjelensee ehemals seinen Wasserüberschuss dem tieferliegenden Fieschertale zu. Im Südwesten findet die Begrenzung durch eine schwache Erhebung im Kühboden und Wilerwald, im Osten durch die Kette, die die Felspyramide des Galmihorns, Wasenhorns, Setzenhorns mit der Gibelegg verbindet und endlich im Nordosten durch die gewaltige Finsteraarhorngruppe.

#### B. — Der Grosse Aletschgletscher und die Massa.

Das Flussgebiet der Massa umfasst das grösste Gletschergebiet des gesamten Alpengebietes, nämlich dasjenige des Grossen Aletschgletschers. Die Massa entspringt dem letztern und mündet nach rund 7 km langem Laufe zwischen Naters und Mörel in die Rhone.

Das Gebiet der Massa findet eine noch fast bestimmter ausgeprägte, natürliche Begrenzung als das Gebiet des Fiescherbaches. Vom nördlichsten Punkte des Fieschergrates ausgehend, bildet im Nordwesten die Jungfraugruppe vom Mönch

bis zum Mittaghorn und zur Lötschenlücke, hernach die Kette, die das Sattelhorn mit dem Breithorn verbindet, die Grenze. Im Süden findet die Begrenzung erst durch das Nesthorn und seine Ausläufer, hernach in südwestlicher Richtung vom Sparrhorn weg über den Fussgrat und den Kamm, der das Massakinn vom Blindtal trennt, bis Massaeggen statt. Im Osten bildet der mit dem Grossen Aletschgletscher ungefähr parallel verlaufende, zuerst vom Fiescherhorn bis zu den Strahlhörnern in südöstlicher, hernach vom Eggishorn bis Riederhorn in südwestlicher Richtung sich hinziehende imposante Längsgrat die Grenze. Er wird ungefähr in der Mitte der ganzen Westgrenze durch das kleine Seitental der Märjelenalp unterbrochen.

### III. KAPITEL.

## Die Flussgebiete.

#### A. — Allgemeines.

*Orographische Verhältnisse.* — In orographischer Hinsicht gehört das Gebiet des Fiescherbaches und der Massa vorwiegend dem Hochgebirge an. (Siehe Seiten 258 u. 259.) Beide Täler sind tief eingeschnitten und werden von gewaltigen Berggruppen eingeschlossen. So finden wir zuoberst im Flussgebiet des Fiescherbaches die gewaltige Finsteraarhorngruppe, deren höchster Gipfel, das Finsteraarhorn — zugleich auch der höchste der ganzen Nordalpen — eine Höhe von 4275 m erreicht. Im Gebiete der Massa dominiert im obersten Teile die gewaltige Jungfraugruppe, deren weltbekannte Spitze, die Jungfrau (4166 m ü. M.) ungefähr in der Verlängerung der Axe des Grossen Aletschgletschers gelegen ist. Fast in der Mitte der Nord-Südrichtung, an der Westgrenze erhebt sich mehr inselförmig die imposante Gruppe des Aletschhornes mit dem schneebedeckten Aletschhorn als höchster Punkt des Gesamtgebietes. Es erreicht eine Höhe von 4182 m ü. M.

*Eigentliches Flussgebiet.* — Das eigentliche Flussgebiet des Fiescherbaches und der Massa umfasst nur einen kleinern Teil des Gesamtgebietes. (Vergleiche die Einzugsgebiete, Kapitel III, S. 257.) Der Fiescherbach entspringt dem Fieschergletscher, die Massa dem Grossen Aletschgletscher; beide sind Gletscherbäche im wahren Sinne des Wortes. Der Fiescherbach empfängt namentlich von der rechten Seite her, neben einigen kleineren Wildbächen, eine reichliche Zahl von Quellbächen, eine Erscheinung, die von der Mündung der Massa bis hinauf zum Distelgrat, einem Ausläufer des Wannehorns und den Walliser Fiescherhörnern angehörend, nachweisbar ist. Dieses Hervortreten von starken Quellen in einer verhältnismässig grossen Zahl, ist für die winterliche Wasserführung des Fiescherbaches, der Massa und auch der Rhone, allerdings nicht im nämlichen Sinne von Bedeutung. Wir werden später darauf zurückkommen.

Die Quell- und Seitenbäche, die der Massa zufließen sind von ganz untergeordneter Bedeutung, dagegen empfängt der Grosse Aletschgletscher von seinen Seitenhängen her eine Unmasse von kleineren und grösseren Gletscherbächen. Von den Quellzuflüssen sind dem Verfasser nur einige unbedeutende bekannt. Für die sommerlichen Wassermengen sind namentlich die Schmelzwässer des Triest- und Oberaletschgletschers, die dem Gletscher direkt zufließen, von grosser Bedeutung.

Die Schlamm- und Sandzufuhr, von Haupt- und Nebengletschern der Massa, ist namentlich in der Wärmeperiode eine bedeutende, zur Zeit der Ausbrüche des Märjelensees sogar eine enorme. Es sei in dieser Beziehung auf die demnächst erscheinende Arbeit von Dr. L. W. Collet<sup>1</sup>: « Le transport des alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse » hingewiesen, die diesen Gegenstand eingehend behandelt.

*Gefällsverhältnisse.* — In dieser Hinsicht sei auf Tafel 1 (Fiescherbach) und Tafel 52 (Massa) hingewiesen, die ein übersichtliches Bild der Längenprofile des Fiescherbaches und der Massa und aller damit in Verbindung stehenden Faktoren, enthalten. Was nun die, für die klare Darstellung verwendeten Symbole anbelangt, sei auf die in Tafel A enthaltenen graphischen und tabellarischen Zeichenerklärungen hingewiesen.

Hinsichtlich der Aufnahme des Längenprofils des Fiescherbaches haben wir im I. Teil, Kapitel V, S. 40 berichtet. Die Methoden, die bei der Aufnahme zur Anwendung gelangten, sind mit Ausnahme der Längenmessung dieselben. Der Verfasser hat im nämlichen Kapitel V, Seite 45, schon darauf aufmerksam gemacht, dass sich bei der Durchführung der trigonometrischen Höhenmessung, die direkte Längenmessung vermittelst Stahldrahtkabel nicht bewährt hat. Die Aufnahme des Längenprofils der Massa erfolgte deshalb vermittelst eines Höhenkreisinstrumentes mit Distanzmesser 1 : 100 und entsprechend umgeänderten Visieren. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass die Durchführung dieser Aufnahme, infolge der vielfachen Terrainschwierigkeiten eine überaus gefahrvolle war.

*Gestalt des Flusslaufes.* — a) *Fiescherbach.* — Im untern Laufe des Bachbettes ragen viele Felsblöcke hervor. Die Ufer sind meist bestockt oder berast. Uferschutzbauten: Holzwerk, Trockenmauern, Traversen sind nur an wenigen Stellen im untern und mittlern Laufe und auf kürzere Strecken zum Schutze von Wiesland, Strassen, Häusern, Brücken und Eisenbahnen ausgeführt. Für die Bachverhältnisse sind sie ohne eingreifende Bedeutung. Im obern Gebiete zwischen « Wirbel » und der Vereinigung der beiden Quellbäche, finden sich einige Uferbruchhalden. Nur bei den höchsten Ständen tritt das Wasser über die Ufer und vermag

<sup>1</sup> COLLET, DR. L. W. *Annales suisses d'Hydrographie*. Vol. II, Berne.

fruchtbares Gelände unter Wasser zu setzen, nirgends aber in erheblicher Ausdehnung.

Zur Charakterisierung des Flusslaufes gehören eine Anzahl typischer Quer-

Profil 1 (km 2.863). «Wichelsteg». 1 : 250

FIESCHERBACH.

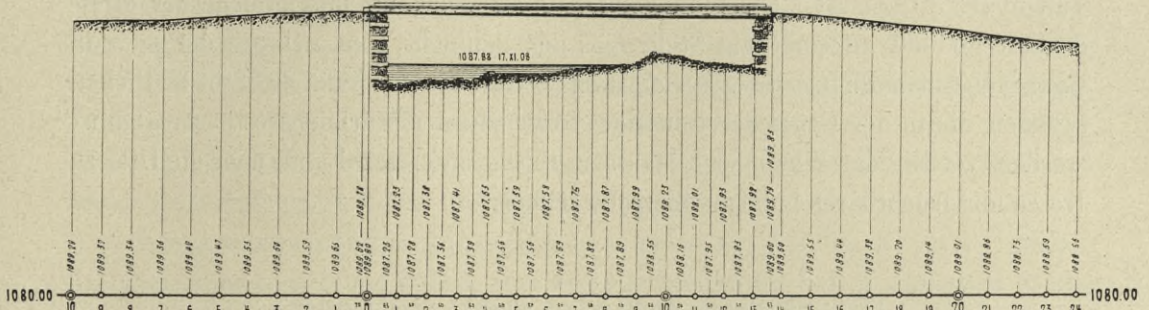


FIG. 15.

Profil 2 (km 3.936). «Bei der Brücke». 1 : 250

FIESCHERBACH.

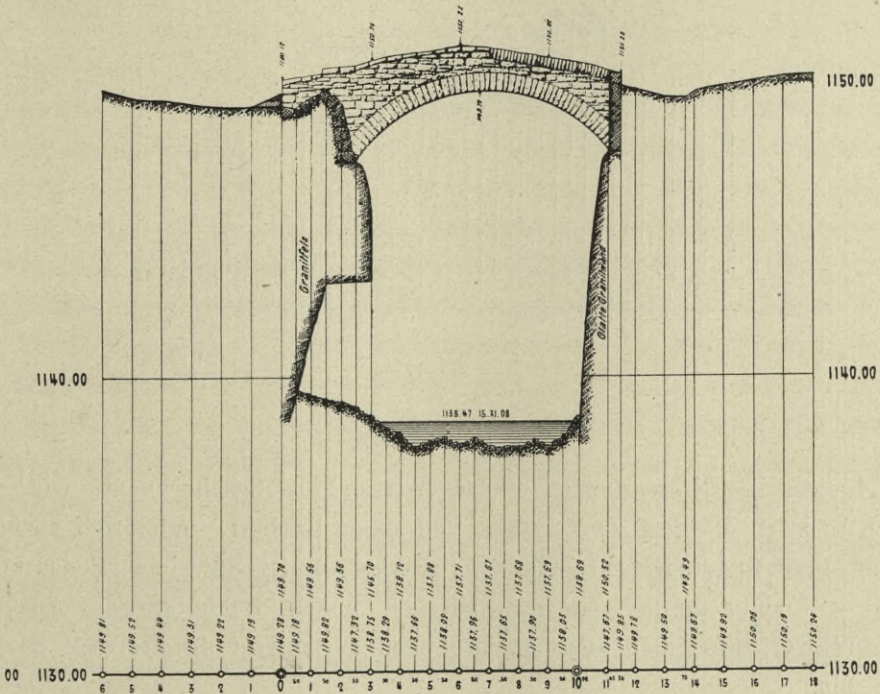


FIG. 16.

profile. (Siehe Fig. 15, 16 und 17.) Sie sind, um Zeit und Geld zu sparen, fast ausschliesslich an solchen Stellen erhoben worden, wo sich bereits Brücken vorfinden.

Solche Profile sind auch später einwandfrei wieder auffindbar und für eintretende Veränderungen in der Sohlenhöhe nach gewissen Perioden von grösstem Werte.

b) *Massa*. — Die Massa durchfliesst, mit Ausnahme ihres untersten Teiles (km 0.000 bis km 0.697) eine wilde, romantische Felsschlucht und zeigt dementsprechend den Charakter eines deutlich ausgeprägten Wildbaches. (Siehe Tafeln 49, 50 und 51.) Uferschutzbauten finden sich nur im Bereiche der Mündungsstelle und an einzelnen Stellen in der Schlucht zum Schutze der sich in ihrer Nähe befindlichen Bewässerungskanäle vor. Nur bei ganz ausserordentlichen Ständen, die in der Regel durch heftige Ausbrüche des Märjelensees herbeigeführt werden, vermag das Wasser der Massa in ihrem untersten Laufe über die Ufer zu treten und fruchtbares Land zu überschwemmen.

FIESCHERBACH. Profil 3 (km 4.588). « Gehrensteg ».

1 : 250

(Steinbach-Brücke).

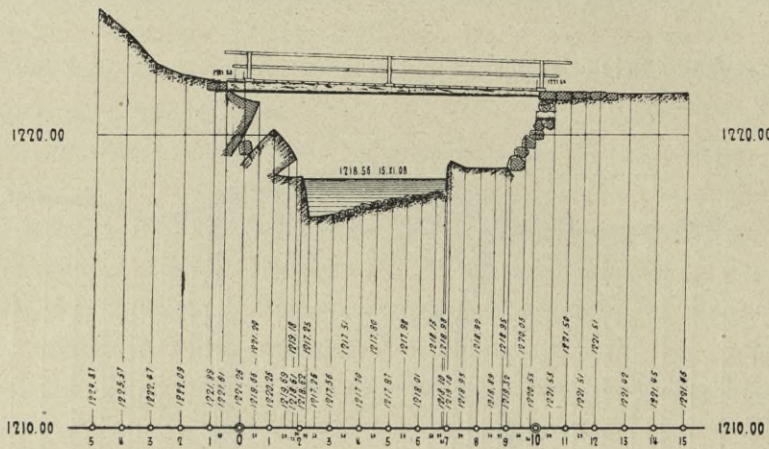


FIG. 17.

*Ausgenutzte Wasserkräfte*. — Das Wasser des Fiescherbaches wird nur in Fiesch in zwei Mühlen, zwei Sägen und einer Färberei industriell ausgenutzt. An der Massa findet sich zur Zeit keine Anlage von irgendwelcher Bedeutung vor. Damit will nicht gesagt sein, dass sich die beiden Bäche für die Ausnutzung ihrer Wasserkräfte nicht eignen. In einem besonderen Kapitel soll davon die Rede sein.

*Bewässerung*. — Reichlich ausgenutzt wird das Wasser für Bewässerungszwecke. Infolge der vollständigen Abgeschlossenheit des Rhonetales durch die gewaltige Hauptkette des Alpenzuges — im Norden die Berner-, im Süden die



Walliser Alpen — bildet das Wallis eine jener trockenen Gegenden, deren Kulturen in niederschlagsarmen Perioden nur durch künstliche Bewässerung erhalten werden können. Die Bewässerungskanäle werden im deutschen Kantonsteil « Wasserfuhren », im französischen « Bisses » genannt. Das Wasser derselben wird fast ohne Ausnahme den Seitenbächen der Rhone entnommen. Deren Länge ist eine sehr verschiedene, die längste Wasserfuhr (Bisse de Saxon) beträgt 26 km. Die Qualität des Wassers steht natürlich im Zusammenhang mit den geologischen Verhältnissen der betreffenden Gegend. Wasser aus dem Urgebirge ist für die Bewässerung infolge seiner kali- und phosphorhaltigen Nährstoffe besser als nur kalkhaltiges Wasser, weil eben ersteres auch noch Nährsalze besitzt. Die meist primitive Wasserfassung wird « Schöpfe » genannt. Die Zuleitung in das eigentliche Bewässerungsgebiet erfolgt oft durch die wildesten Gegenden.

Fast unüberwindliche Schwierigkeiten treten den kühnen Erbauern solcher Kanäle, namentlich längs hohen, zum Teil überhängenden Felsen, entgegen. Halbgalerien und Stollen sind nichts Ungewöhnliches. Die Kanäle bestehen längs hoher Felswände fast durchwegs aus Holz. Einzelstücke werden « Bännen » genannt und es gelangten, namentlich in früheren Zeiten, als das Lärchenholz noch billiger war, ausgehöhlte Tannen und Lärchenbäume zur Verwendung. Heutzutage stehen Bretterkanäle im Gebrauche, die durch hölzerne Zangen zusammengehalten werden. Die Bännen ruhen je nach den Verhältnissen auf Längsbäumen, die durch Querbalken sicher gelagert werden. Zum Begehen der Kanäle führt gewöhnlich ein Brett über oder längs derselben hinweg. Das Begehen derselben ist für die Talbewohner ein Kinderspiel, für ungeübte, nicht schwindelfreie Personen sehr gefährlich. Selbstverständlich verursachen diese Kanäle jedes Jahr bedeutende Unterhaltungskosten. Durch Lawinen, Steinschläge, Rutschungen u. s. w. werden immer einzelne Teile unbrauchbar und müssen ersetzt werden. Das Gefälle solcher Wasserfuhren ist sehr verschieden und passt sich in der Hauptsache den vorhandenen Verhältnissen an. Die Querschnittsdimensionen der Kanäle variieren auch stark. Die Mehrzahl der älteren Leitungen sind 25-40 cm tief und 40-60 cm breit. Die Wasserführung ist eine sehr ungleiche, sie variiert zwischen 10 und 400 Sekundenlitern. Ein Teil des Wassers geht natürlich durch Versickerung und Verdunstung verloren. Die Fuhren gehören grösstenteils Korporationen, selten sind sie Gemeindegut. Die Verteilung des Wassers ist je nach den Ortschaften eine verschiedene; die Bewässerung dauert meistens von Mai-Juni bis September. Die Bewässerungsanlagen sind für das Rhonetal eine Lebensbedingung. Dem Fiescherbache und seinen Zuflüssen wird hauptsächlich für folgende Fuhren Wasser entnommen :

NAME	FASSUNG	ORT DER BEWÄSSERUNG
Eggerin	Jennenalp. Linker Quellarm des Fiescherbaches	Bellwald
Bregerin	Fiescherbach, linkes Ufer, unterhalb Vereinigung der Quellbäche	Fiesch
Weisse	Brucherer, rechter Quellarm des Fiescherbaches	Fiesch
Reckholtere	Quellwasser aus Bächen vom Eggishorn	Fiesch bis St. Jakob
Leera	Quellwasser aus Bächen vom Eggishorn	Fiesch
Lehnwasser	Quellwasser aus Bächen vom Eggishorn	Fiesch bis Fürnegarten
Elmiwasser	Fiescherbach, rechtes Ufer, Fiesch	Fiesch bis Elmi
Hofwasser	Quellwasser aus Bächen vom Eggishorn	Fiesch bis Stirnig
Sangiwasser	Fiescherbach, rechtes Ufer, oberhalb Rhonemündung	Fiesch bis Z'Brigg
Bergerin	Abfluss Wannigletscher	Martisberg bis Deisch
Laxerweisse	Brucherer, rechter Quellarm des Fiescherbaches	Lax bis Deisch

Die bedeutendste Wasserfuhr ist die « Bergerin ». Sie entnimmt ihr Wasser vom Abfluss des Wannegletschers und führt es in einer 15 km langen Leitung über den Martisberg bis zum Dorfe Deisch. Mit Ausnahme der Bergerin, die an einzelnen Stellen längs Felsbändern vorbeigeführt werden musste, war die Erstellung der Bewässerungskanäle im Fieschertal-Gebiet mit keinen besonderen baulichen Schwierigkeiten verbunden.

Ganz anders steht es mit den Wasserfuhren im Gebiet der Massa. Es sind deren drei vorhanden, nämlich :

1. « Riederin », auch obere Bitscherin genannt (km 5.664, Schöpfe am rechten Ufer), für die Bewässerung des Dorfes Ried. (Siehe Tafel 50.)
2. « Bitscherin », auch untere Bitscherin genannt (km 3.200, Schöpfe am linken Ufer), für die Bewässerung des Dorfes Bitsch.
3. « Kehrwasser » (km 1.269, Schöpfe am rechten Ufer), für die Bewässerung des Dorfes Bitsch.

Die beiden ersteren gehören hinsichtlich der baulichen Schwierigkeiten zu den kühnsten und grossartigsten Anlagen des ganzen Kantons. Hw. Pfarrer Dionys Imesch<sup>1</sup> gibt uns über die Verteilung des Wasserwassers und die Erhaltung der Leitungen, wie sie heute für die Gemeinde Naters noch im Gebrauche sind, folgende interessante Auskunft :

« Die Wasserleitungen sind nicht Eigentum der Gemeinden, sondern der Geteilen der betreffenden Güter. Jedes Geteile hat je nach der Grösse seines Besitzes, abwechslungsweise das Recht, das Wasser zu benützen. Bei einigen Wasserleiten dauert der Kehr 8, bei andern 14 Tage. Für alle Rechnungen und für Feststellung des Anrechtes eines jeden Genossen sind noch die Tessleren allgemein im Gebrauch.

<sup>1</sup> IMESCH, D. *Beiträge zur Geschichte und Statistik der Pfarrgemeinde Naters*. Bern, 1908.

Das sind kleine Hölzchen, auf welchen an einem Ende das Hauszeichen des Betreffenden, am andern die Grösse der Berechtigung nach der Zeitdauer angegeben ist. Die Einheit ist das Viertel. Das erste Viertel dauert in Birgisch und Naters von 3-7 Uhr früh, das zweite von 7-11, das dritte von 11-3 Uhr nachmittags, das vierte von 3-7 Uhr, und das letzte von 7 Uhr abends bis 3 Uhr morgens; letzteres also 8, die übrigen 4 Stunden. Wenn also das Wasser nur während des Tages verteilt ist, so wird der Tag zu 16, und wenn das Wasser auch während der Nacht verteilt ist, zu 20 Stunden gerechnet. Diese Einteilung ist für die Wasserleiten in Birgisch schon 1488 nachweisbar<sup>1</sup>.

Die Tessle gibt Auskunft, wie viel Anrecht jedes Geteile hat. Ein ganzer Querschnitt | bedeutet 1 Viertel (= 4 Stunden), ein halber ' =  $\frac{1}{2}$  Viertel (= 2 Stunden), ein viereckiger Einschnitt  $\square$  =  $\frac{1}{4}$  (= 1 Stunde), ein dreieckiger Einschnitt  $\triangle$  =  $\frac{1}{8}$  Viertel (=  $\frac{1}{2}$  Stunde). Alle zwei Jahre wählen die Geteilen einen Hüter oder Vogt für die Wasserleiten, die in 8 Tagen, und zwei Hüter für diejenigen, welche in 14 Tagen umgehen. Diese Hüter verwahren die Tesslen, ordnen die nötigen Arbeiten an und beaufsichtigen die Wasserfuhr.

In der Regel wird jeweilen im Frühjahr ein « Schorrtag » bestimmt, an dem die Wasserleitung gereinigt und gehörig in Stand gesetzt wird. Bricht im Sommer die Wasserfuhr infolge irgend eines Unfalles, so müssen die erforderlichen Reparaturen sofort vorgenommen werden ».

## B. — Die Flächeninhalte.

Die Resultate der Untersuchungen über die Grösse der Flächeninhalte der Rhone und seiner Seitengewässer sind schon im Jahre 1898 der Oeffentlichkeit übergeben worden<sup>2</sup>. Diese Arbeit bildet die Grundlage für die Ermittlung der Grösse und Oberflächenbeschaffenheit der Einzugsgebiete des Fiescherbaches und der Massa.

Die von Ingenieur F. Bräm durchgeführten Planimetrierungen wurden ausschliesslich unter Anwendung eines grossen Amsler'schen Polarplanimeters, dessen Polararmlänge zu 270 mm und dessen Rollendurchmesser zu 32 mm bemessen sind, vorgenommen. Die Abgrenzung der Einzugsgebiete, bezw. die Eintragung der Wasserscheiden, erfolgte ausschliesslich mit Rücksicht auf die Gestaltung der Bodenoberfläche.

Was nun die Ergebnisse der ausgeführten Planimetrierungen anbelangt, so sind diese in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

<sup>1</sup> ARCH, G. *Birgisch E.* Nr. 5.

<sup>2</sup> *Wasserverhältnisse der Schweiz.* Rhonegebiet von den Quellen bis zum Genfersee. Erster Teil. Die Flächeninhalte, 1898.

Fiescherbach von den

Einzugsgebiete				Flächen-					
Bezeichnung	Summiert		Beschreibung	Flächeninhalte in Quadratkilometer		Höhen-			
	von :	von den Quellen bis u. mit		einzelne	summierte	unter 300	300-600	600-900	900-1200
	Ab 8	—		—	Fiescherbach bis zum Brucherbach . . . . .	67.407	—	—	—
Ab 9	—	—	Rechtseitige Zuflüsse des Fiescherbaches vom und mit dem Brucherbach bis zur Rhone . . . . .	12.215	—	—	—	—	1.546
Ab 10	—	—	Linkseitige Zuflüsse des Fiescherbaches vom Brucherbach bis zur Rhone . . . . .	4.305	—	—	—	—	1.236
—	b 8-b 10 <sup>1</sup>	—	Fiescherbach bis zur Rhone. . . . .	—	83.927	—	—	—	2.782
				33					

Verzeichnis der bei den Planimetrierungen verwendeten Atlasblätter

N <sup>o</sup>	Benennung	Datum der Aufnahme	Datum der Revision
489	Jungfrau	1851	1883
490	Obergestelen	1879-1893	—
493	Aletschgletscher	1880-1881	—
494	Binnenthal	1847-1885	1884

<sup>1</sup> Einzugsgebiet der Pegelstation Fiesch, Fiescherbach = 81,051 km<sup>2</sup>.

Massa von den

Einzugsgebiete				Flächen-					
Bezeichnung	Summiert		Beschreibung	Flächeninhalte in Quadratkilometer		Höhen-			
	von :	von den Quellen bis u. mit		einzelne	summierte	unter 300	300-600	600-900	900-1200
	A 41 <sup>1</sup>	—		—	Massa bis zur Rhone. . . . .	205.110	—	—	—
				2 3					

Verzeichnis der bei den Planimetrierungen verwendeten Atlasblätter

N <sup>o</sup>	Benennung	Datum der Aufnahme	Datum der Revision
489	Jungfrau	1851	1883
493	Aletschgletscher	1880-1881	—
497	Brig	1883-1884	—

<sup>1</sup> Einzugsgebiet der Pegelstation :  
Bitsch, Massa = 205,07 km<sup>2</sup>  
Gebidem, Massa = 201,99 km<sup>2</sup>

Quellen bis zur Rhone.

inhalte in Quadratkilometer und in Promille der Einzugsgebiete												Felsen u. Schutthalde	Wälder	Firn u. Gletscher	Seen	Übrige Gebiete
stufengebiete von 300 zu 300 m über Meer																
1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400	2400-2700	2700-3000	über 3000	3000-3300	3300-3600	3600-3900	über 3900						
0.775	1.874	4.400	5.023	7.370	12.362	35.603	—	—	—	—	17.149	0.095	41.746	0.027	8.390	
12	28	65	75	109	183	528	—	—	—	—	255	1	619	0	125	
2.094	2.119	1.969	2.443	1.770	0.274	—	—	—	—	—	1.630	3.510	—	—	7.075	
171	174	161	200	145	22	—	—	—	—	—	134	287	—	—	579	
1.609	1.155	0.303	0.002	—	—	—	—	—	—	—	0.080	0.750	—	—	3.475	
374	268	70	1	—	—	—	—	—	—	—	19	174	—	—	807	
4.478	5.148	6.672	7.468	9.140	12.636	35.603	18.343	11.666	4.939	0.655	18.859	4.355	41.746	0.027	18.940	
53	61	80	89	109	151	424	218	139	59	8	225	52	497	0	226	

Planimetrierung auf Ausgabe von :

1884  
1893  
1882  
1896

Höchster Gipfel :  
Finsteraarhorn = 4275 m  
Mündung in die Rhone : 1004 m

Quellen bis zur Rhone.

inhalte in Quadratkilometer und in Promille der Einzugsgebiete												Felsen u. Schutthalde	Wälder	Firn u. Gletscher	Seen	Übrige Gebiete
stufengebiete von 300 zu 300 m über Meer																
1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400	2400-2700	2700-3000	über 3000	3000-3300	3300-3600	3600-3900	über 3900						
1.899	3.851	8.880	17.685	30.137	43.384	98.352	42.682	39.462	15.402	0.806	39.580	3.750	146.052	0.325	15.403	
9	19	43	86	147	242	479	208	192	75	4	193	18	712	2	75	

Planimetrierung auf Ausgabe von :

1884  
1882  
1888

Höchster Gipfel :  
Aletschhorn = 4182 m  
Mündung in die Rhone : 687,8 m

Der Verlauf der Wasserscheiden liess sich an Hand der Karte überall genau und sicher feststellen. Anlässlich der Bearbeitung der Einzugsgebiete sind, ausser der Bestimmung ihrer jeweiligen Flächeninhalte, hauptsächlich auch die Areale der Unterstufen, in Vertikalabständen von 300 zu 300 m, sowie die Ausdehnung der Fels- und Schutthalden, der Wälder, der Firne und Gletscher, der Seen und der übrigen Gebiete zur Ermittlung gelangt.

Hiebei sind nicht nur die absoluten Zahlen, sondern auch die Relativzahlen, ausgedrückt in  $\frac{0}{00}$ , berechnet worden.

Die betreffenden Ergebnisse finden sich in der beigefügten Tabelle (S. 258 und 259) zusammengestellt.

Aus dieser letztern mögen nur kurz die nachstehenden Angaben besonders hervorgehoben werden :

Einzugsgebiet des Fiescherbaches bis zur Rhone	83.927 km <sup>2</sup>	42.4 % des Einzugsgebietes des Fiescherbaches liegen höher als 3000 m über Meer.
hievon Firn- und Gletschergebiet	41.746 »	
Vergletscherung des Einzugsgebietes in %	49.7	
 Einzugsgebiet der Massa bis zur Rhone	 205.110 km <sup>2</sup>	 47.9 % des Einzugsgebietes der Massa liegen höher als 3000 m über Meer.
hievon Firn- und Gletschergebiet	146.052 »	
Vergletscherung des Einzugsgebietes in %	71.2	

Die hypsographischen Kurven der Einzugsgebiete des Fiescherbaches und der Massa sind in Tafel 18 dargestellt. Man erhält sie, indem man auf die Abszissenaxe eines rechtwinkligen Koordinatensystems die Flächeninhalte der planimetrierten Höhenstufen und in den Endpunkten dieser Längen als Ordinaten die Grenzwerte der Höhenstufen aufträgt. Verbindet man die Endpunkte dieser Ordinaten durch eine Kurve, so erhalten wir die hypsographische Kurve. Das Areal das von ihr und den Koordinaten ihrer Grenzpunkte umschlossen wird, ist proportional dem Produkt aus der Grundfläche und ihrer mittleren Höhe. Planimetriert man das zugehörige Areal, sowohl für den Fiescherbach, als auch für die Massa und dividiert die erhaltenen Werte durch die Zahl der Längeneinheiten, so erhalten wir folgende Werte :

	Mittlere Höhe über der Mündung	Mittlere Höhe in m über Meer
<i>Fiescherbach</i>	1678 m	2682 m
<i>Massa</i>	2233 m	2918 m

Ein noch übersichtlicheres Bild für den Vergleich und die Ausdehnung der einzelnen Höhenstufen der beiden Flussgebiete erhält man durch die graphische Darstellung jeder einzelnen Höhenstufe. Hiezu benutzen wir das nämliche Koordinatensystem, wie für die hypsographische Kurve. Die Höhenstufen finden sich

bereits als Ordinaten eingezeichnet. Die Flächen der einzelnen Höhenstufen werden nun als Abszissen aufgetragen, hierauf der Raum einer jeden Höhenstufe durch eine Senkrechte abgegrenzt.

Für die graphische Ermittlung der Schwerpunktlage dieser Flächen durch ein Kräfte- und Seilpolygon muss berücksichtigt werden, dass jede Flächenzahl mit der Höhenstufe von 300 m multipliziert ist, mit andern Worten, wir sind gezwungen, die Flächen der untersten und obersten Höhenstufe, die zum Teil kleiner, zum Teil grösser als 300 m sind, zu reduzieren.

Beispielsweise beträgt für den Fiescherbach die Fläche (F) zwischen der Höhenlage von 1004 und 1200 m = 2.782 km<sup>2</sup>. Um diesen Wert in der graphischen Darstellung auf Tafel 18 auf gleiche Höhenbasis von 300 m zu bringen, ist eine Umformung vorzunehmen, die als Abszisse  $F^* = \frac{F \cdot H}{H^*} = \frac{2782 \cdot 300}{196} = 4.258 \text{ km}^2$  ergibt, wobei  $H^* = 1200 - 1004 = 196 \text{ m}$ . Die reduzierten Werte sind von den wirklichen in Tafel 18 durch Einklammerung unterschieden worden.

Die Schwerpunktlage der beiden Flächeninhalte ist durch folgende Entfernungen vom Nullpunkte des Koordinatensystems bestimmt:

*Fiescherbach*: Der Nullpunkt der Abszissenaxe entspricht einem Flächeninhalt von 0.000 km<sup>2</sup>, derjenige der Ordinatenaxe ist der Höhe der Mündungsstelle des Fiescherbaches bei seinem Einlauf in die Rhone (= 1004 m ü. M.) gleichgestellt worden. Die Koordinaten erhalten folgende Werte:

Entfernung von der Abszissenaxe: 2691 — 2695 m ü. M. = Mittlere Höhe in m über Meer.

Entfernung von der Ordinatenaxe: 5.30 km<sup>2</sup>.

*Massa*: Der Nullpunkt der Abszissenaxe entspricht ebenfalls einem Flächeninhalt von 0.000 km<sup>2</sup>, derjenige der Ordinatenaxe ist auf der Höhe der Mündungsstelle der Massa bei ihrer Vereinigung mit der Rhone (= 685 m ü. M.) entsprechend gewählt worden. Es stellen sich folgende Zahlen ein:

Entfernung von der Abszissenaxe: 2245 m = 2930 m über Meer = Mittlere Höhe in m über Meer.

Entfernung von der Ordinatenaxe: 16.65 km<sup>2</sup>.

Die Differenzen, die sich aus der Berechnung der mittleren Höhe unter Zuhilfenahme der planimetrierten Fläche und eines Kräfte- und Seilpolygons ergeben, sind verhältnismässig unbedeutende, nämlich für den

Fiescherbach: 2691 — 2682 = 9 m, für die

Massa: 2930 — 2918 = 12 m.

Aus den Resultaten ist ersichtlich, dass die mittlere Höhe des Einzugsgebietes der Massa im Mittel um  $2924 - 2688,5 = 235,5$  m höher liegt als die des Fiescherbaches.

Mit Rücksicht auf die meteorologisch und klimatisch ähnlichen Verhältnisse der beiden Gebiete ist diese Tatsache von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Sowohl die hypsographischen Kurven als die Grössendarstellung der einzelnen Höhenstufen geben nun über die Höhenverhältnisse nähern Aufschluss. Im speziellen ersehen wir aus der Kurve, dass sich für den Fiescherbach der grössere Teil, nämlich  $84.4\%$  innerhalb der Isohypsen von 1800-3900 m befindet. Die grösste Ausdehnung innerhalb der Höhenstufen von je 300 m liegt zwischen 3000 und 3300 m. Vom gesamten Einzugsgebiet liegen  $0.8\%$  über der Meereshöhe von 3900 m,  $14.8\%$  unter der Meereshöhe von 1800 m.

Für die Massa sind die Verhältnisse etwas andere. Innerhalb der nämlichen Isohypsen von 1800-3900 m liegt ebenfalls der grösste Teil der Einzugsgebiete, aber mit  $96.4\%$  der Gesamtfläche.

Während beim Fiescherbach die ausgedehnteste Fläche in der Höhenstufe von 3000-3300 m ganz wesentlich verschieden ist von denjenigen, die sich unmittelbar an sie anschliessen, liegt bei der Massa die grösste Fläche in der Höhenstufe von 2700-3000 m, also tiefer, sie unterscheidet sich aber von den beiden obern Stufen nur ganz unwesentlich. Die Fläche in der Höhenstufe von 2700-3600 m umfasst beim Fiescherbach  $= 84.4\%$  des Gesamtgebietes, dieselbe bei der Massa bedeutend mehr, nämlich  $96.4\%$ . Vom gesamten Einzugsgebiet der Massa liegen nur  $0.4\%$  (Fiescherbach  $0.8\%$ ) über einer Meereshöhe von 3900 m und bei der Massa  $3.3\%$  (Fiescherbach  $14.8\%$ ) unter 1800 m. Für die Vergleichung der Abflussverhältnisse der beiden Bäche ist namentlich der letztere Unterschied wichtig.

## IV. KAPITEL.

### Die Pegelstationen im Gebiete des Fieschertales und der Massa.

#### A. — Allgemeines.

Die Pegelstation des *Fiescherbaches* befindet sich in Fiesch, am rechten Ufer unterhalb der gewölbten Brücke der Furkastrasse, 840 m oberhalb der Mündungsstelle, in einer Höhe von 1044,23 m ü. M. (Pegelnulldpunkt). Der Pegel ist am 22. Oktober 1896 erstellt, an das Landesnivellement angeschlossen und seither ununterbrochen beobachtet worden<sup>1</sup>. Bis und mit April 1907 wurde er täglich einmal und zwar mittags, vom 1. Mai 1907 an dagegen täglich dreimal beobachtet.

An der *Massa* wurde ebenfalls im Jahre 1896 eine Pegelstation an der untern Seite der gewölbten Brücke der Furkastrasse im Massaboden bei Bitsch erstellt und mit einem Linnigraphen-Apparat ausgerüstet. Die Aufzeichnungen am Linnigraphen werden täglich durch eine Pegelbeobachtung auf ihre Richtigkeit geprüft. Der Pegel liegt am linken Ufer der Massa in einer Höhe von 685,29 m ü. M. (Pegelnulldpunkt). Seine Entfernung von der Mündungsstelle der Massa in die Rhone beträgt nur 152 m. Durch die Inbetriebstellung der Wasserkraftanlage an der Rhone bei Brig für den Bau des Simplontunnels im Jahre 1905, ist leider infolge Einleitung des Ueberlaufes des Wasserschlosses in die Massa, 168 m oberhalb der Pegelstation der Wert der letztern bedeutend beeinträchtigt worden. In der wasserreichen Zeit kommt der Wassermenge des Ueberlaufes — sie variiert zwischen 100-1000 Sekundenliter — im Regime der Massa nur eine untergeordnete Bedeutung zu, in höherem Masse aber in der Niederwasserperiode. Bedenkt man, dass die minimale Wasserführung der Massa nur 200-300 Liter pro Sekunde beträgt, so ist leicht begreiflich, dass der Wert einer solchen Station in dieser Periode nur noch ein ganz bescheidener sein kann. Ein weiterer Uebelstand für die Station ist

---

<sup>1</sup> Siehe : • Wasserverhältnisse der Schweiz. Rhonegebiet. • II. Teil. Die Pegelstationen. Tafel IV. 1898.



dadurch entstanden, dass beim Ausgang der Schlucht, ebenfalls für den Bau des Simplontunnels, ein mächtiger Steinbruch angelegt wurde. Eine Verlegung der Station erschien deshalb als dringende Notwendigkeit, bot aber grosse Schwierigkeiten, weil das eigentliche Tal der Massa mehr oder weniger einer einzigen Felsschlucht gleichkommt und jedem bewohnten Weiler oder Dorfe fernsteht. In Betracht konnte einzig und allein die Gebidembrücke fallen, die von Platten aus in einer guten halben Stunde erreichbar ist. Nicht alle Bedingungen, die man an eine einwandfreie Pegelstation stellt, können an solchen Wildbäche wie die Massa, erfüllt werden. 37 m aufwärts der Brücke, am rechten Ufer, fand sich eine geschützte Stelle für einen Pegel vor, ihr gegenüber eine solche für einen Linnigraphen. Pegel und Linnigraph sind im Mai 1913 erstellt worden. Die Beobachtungen am Pegel erfolgen täglich einmal. Der Linnigraphenapparat funktionierte anfänglich nicht einwandfrei, weil die Pulsation des Wassers eine zu grosse war und eine richtige Abdämpfung des Wellenschlages erst gegen den Herbst, bei tieferem Stande durchgeführt werden konnte. Deshalb stehen uns für 1913 auch keine befriedigenden kontinuierlichen Aufzeichnungen zur Verfügung. Die Ableesungen am Pegel wurden von Anfang an, während der ganzen Zeit täglich einmal, im Frühjahr und Herbst um 5 Uhr, im Sommer um 6 Uhr abends vorgenommen.

Die Ableesungen am Pegel werden nach ganzen Zentimetern notiert, obwohl die Schwankungen zur Zeit der höhern Wasserstände ganz bedeutende sind. Sie erreichen oftmals Beträge bis zu 20 cm. Der geübte Beobachter ist aber gleichwohl im Stande, ein richtiges, vergleichbares Mittel herauszulesen.

#### B. — Bestimmung der Nullpunksthöhe des Pegels an der Massa oberhalb der Gebidembrücke.

Unter Beachtung der im Kapitel V, Seiten 40-45 niedergelegten Prinzipien, ist das Nivellement von Brig über das Dorf Naters längs dem steilen Bergsträsschen nach « Geimen » und « Platten » bis zur Gebidembrücke durchgeführt worden. Als Ausgangspunkt des Nivellements sind zwei Punkte in Brig gewählt worden, nämlich :

**NF 84** : Kilometerstein an der südöstlichen Ecke des « Hôtels des Couronnes et Poste » =  $376.860 + 307.366 = 684.226$  m ü. M. und

⊕ 88 : Hôtel des Couronnes et Poste =  $376.860 + 306.743 = 683.603$  m ü. M., 22. April 1903. (Siehe : « Die Fixpunkte des schweizerischen Präzisionsnivellements, Lieferung 9, 1899, Seite 52, herausgegeben durch das Eidg. topographische Bureau »).

Die Ausführung dieses Präzisionsnivellements wurde in der Zeit vom 22. Mai bis 23. Oktober 1913 bewerkstelligt. Infolge anderweitiger Inanspruchnahme des Verfassers konnte die Höhenvermessung nicht in einem Zuge bewerkstelligt werden.

Zur dauernden Sicherung der Höhenlage des Nivellements sind, wie üblich, längs dem Wege und an der Massa zahlreiche Höhenfixpunkte (Eisennieten) im Felsen oder an festen Gebäuden angebracht und die Höhen dieser Marken bestimmt worden. Die Durchführung des Nivellements erfolgte in doppelter Weise. Die Abstände von der Mire für Rück- und Vorblick sind immer durch Schrittmasse annähernd gleich gemacht worden. Nach Vornahme des ersten Nivellements einer durch 2 oder mehr Punkte begrenzten Strecke, wurde das Instrument in seiner Höhenlage um mindestens 10 cm verändert, hierauf sind sämtliche Höhenbestimmungen wiederholt worden. Da diese 2ten Lattenablesungen von den 1ten gänzlich verschieden ausfallen mussten, ist ein grober Ablesungsfehler, beziehungsweise ein Höhenfehler fast ausgeschlossen.

Die Ablesungen sind durchgehend auf Zehntelmillimeter vorgenommen worden. Die Ausrechnung der Höhengoten erfolgte gleichzeitig mit der Durchführung des Nivellements. Sämtliche Beobachtungen wurden mit dem Nivellier-Instrument III von Carl Zeiss in Jena durchgeführt. Das mit innerer Fokussierlinse und zwei Objektiven ausgerüstete Fernrohr hat 36-fache Vergrößerung und ist mit einem Distanzenmesser 1 : 100 versehen. Der freie Objektivdurchmesser beträgt 45 mm. Zu Korrekturzwecken gestattet das Fernrohr eine Benutzung in zwei Richtungen, wodurch eine vollkommene Justierung in sehr kurzer Zeit ermöglicht wird. Die Reversionslibelle wird durch ein neues Prismensystem vom Okular-resp. Objektivende des Fernrohes aus beobachtet. Die beiden Enden der Libellenblase werden nicht gegen eine Teilung, sondern direkt auf Koinzidenz eingestellt. Das Instrument ist mit einem abnehmbaren Dreifuss versehen. Die Verbindung mit dem Stativ findet durch eine zentrale Schraube ohne Feder statt. Das sehr stabile Stativ erfordert keine Festklemmung. Die Justierung des Instrumentes wurde je alle 2 Tage vorgenommen. Eine Veränderung konnte nicht festgestellt werden. Das Nivellierinstrument III ist ferner mit einer « Keil-Strich-Einstellung » nach Wild versehen. Um bei den Präzisionsnivellements die höchste Genauigkeit zu erzielen, gestattet diese Einrichtung eine optische Parallelverschiebung der Ziellinie, so dass das Schätzen an der Latte durch eine Einstellung auf den nächstliegenden Strich oder auf die nächstliegende Feldmitte ersetzt wird. Diese Einrichtung besteht aus einer, um eine horizontale Achse drehbaren, genau geschliffenen Planparallelplatte, einem Mechanismus, der die Drehung dieser Platte vermittelt und die Höhenverschiebung der Ziellinie abzulesen gestattet. Die Einstellung geschieht mittelst eines in der Höhe der Vertikalachse befindlichen Knopfes, der mit Trommelteilung versehen ist. Die Höhenverschiebung kann an der Trommel in zwanzigstels mm abgelesen werden. Die Handhabung geschieht in folgender Weise: Man bringt, wie beim gewöhnlichen Instrument, mit der Kippschraube die Libelle zum Einspielen. Statt nun die Schätzung im Millimeter- oder Centimeterfeld vorzunehmen, dreht man den Knopf, der mit der Trommelteilung in Verbindung steht, bis der Horizontalfaden mit dem nächstliegenden Teilstrich der Lattenteilung zusammen fällt. Man

notiert die grobe Ablesung an der Latte und die Stellung der Trommel. Die Summe beider Zahlen gibt die richtige Ablesung, gleichgültig, in welcher Entfernung die Latte steht. Da der Bereich der Parallelverschiebung der Ziellinie etwas über 5 mm beträgt, so konnte bei der in mm eingeteilten Mire unter allen Umständen das Fadenkreuz auf einen Strich oder auf die besonders deutlich markierte Feldmitte der Centimeterteilung eingestellt werden. Diese Keil-Strich-Einstellung wurde nur im ebenen und leicht geneigten Terrain benützt. Für vorliegendes Bergnivellement, bei dem die Visierlinien gering sind und fast durchwegs unter 12 m bleiben, ist ein Abschätzen auf dem verhältnismässig gross erscheinenden Millimeterfelde genügend genau. Sobald aber die Distanzen 20 m überschritten, ist die Keil-Strich-Einstellung mit Vorliebe angewendet worden. In diesen Fällen hat sich eine grosse Erleichterung der Ablesung ergeben.

Die aus der Werkstätte der Firma Kern & Cie in Aarau hervorgegangene, mit zwei Dosenlibellen ausgerüstete, aus Tannenholz hergestellte Nivellierlatte von 3 Meter Länge mit Millimeteerteilung wurde an jedem Operationstage mittelst des Meterstahlstabes auf ihre wirkliche Länge geprüft. Aus der Zusammenstellung der Höhengoten der Fixpunkte ist ersichtlich, dass die Höhendifferenzen zwischen den Fixpunkten ganz bedeutende sind. Zur Berichtigung der abgelesenen Höhenunterschiede auf das normale Mass wurden die folgenden Werte für die wahre Länge des Lattenmeters in Rechnung gebracht :

1.	VII.	1913	1 m der Mire	=	0.999939	(Mittel aus 10 Beobachtungen.)
2.	VII.	1913	1 m der Mire	=	1.000004	» »
3.	VII.	1913	1 m der Mire	=	0.999969	» »
4.	VII.	1913	1 m der Mire	=	0.999969	» »
23.	VII.	1913	1 m der Mire	=	1.000002	» »
24.	VII.	1913	1 m der Mire	=	0.999993	» »
25.	VII.	1913	1 m der Mire	=	1.000037	» »
25.	IX.	1913	1 m der Mire	=	1.000068	» »
26.	IX.	1913	1 m der Mire	=	1.000003	» »
23.	X.	1913	1 m der Mire	=	1.000011	» »

Diese Zusammenstellung zeigt die ganz erheblichen, von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängenden Veränderungen des mittleren Lattenmeters. Nun beträgt der maximale Höhenunterschied im vorliegenden Nivellement 771 m, so dass ein Fehler in der Bestimmung des mittleren Lattenmeters von nur einem Hundertstelsmillimeter schon 7.71 mm ausmacht. Aus dieser Zahl geht zur Genüge hervor, wie notwendig es ist im Gebirge die Längenänderung des Lattenmeters alle Tage festzustellen. Für die Berechnung der Nivellementsnoten wurden die üblichen Methoden angewendet. Die Resultate finden sich in nachstehender Tabelle vereinigt.

C. — Höhenversicherungen in Brig, Naters und auf der Strasse  
Naters-Platten-Gebidem.

## BRIG

			m ü. M.	
NF	84	<i>Kilometerstein</i> an der südöstlichen Ecke des « Hôtel des Couronnes et Poste », 1.09 m über dem Strassenpflaster . . . . .	<b>684.226</b>	22. IV. 1903
⊕	88	<i>Hôtel des Couronnes et Poste</i> . Ecke bei der Durchfahrt neben der Kapelle. Sockelquader des Pfeilers, 0.75 m über dem Pflaster. . . . .	683.603	22. IV. 1903

## NATERS

⊕	1075	<i>Kirche</i> . Westseite. Hauptportal. Im Sockel des linksseitigen Türpfostens, 0.33 m über der Türschwelle . . . . .	687.180	24. IV. 1903 25. IX. 1913
⊕ <sup>B</sup>	220	<i>Schulhaus</i> . (Ehemals alter Turm.) Westseite. Ecke gegen die Rhone. Eckquader, 2.80 m über dem Boden . . . . .	706.515	24. IV. 1903 25. IX. 1913

## NATERS-GEIMEN

×	N 1	<i>Felspartie</i> am Bergrand des Strässchens nach Geimen, 8.3 m oberhalb des 2ten Strassenknies, 1.00 m über dem Strässchen . . . . .	749.740	25. IX. 1913
×	N 2	<i>Felspartie</i> am rhonewärts gelegenen Rand des Strässchens nach Geimen, zwischen dem 2ten und 3ten Strassenkehr. Im Felsen rechts des Muttergottesbildes, 0.82 m über dem Strässchen . . . . .	794.191	25. IX. 1913
×	N 3	<i>Felspartie</i> 2.0 m vom äussern Rand der 3ten Strassenkehr, 0.90 m über dem Strässchen . . . . .	820.290	25. IX. 1913
×	N 4	<i>Felspartie</i> « Im Flüh ». Im Felsen, 3.10 m vom obern Ende der Felswand, 41 m unterhalb der 5ten Strassenkehr, 0.40 m über dem Strässchen . . . . .	873.799	26. IX. 1913
×	N 5	<i>Felspartie</i> am Bergrand des Strässchens bei der Unterführung der obern Fluhwasserleitung, 37.7 m unterhalb des Pfeilers eines Bewässerungskanals, 0.60 m über dem Strässchen . . . . .	930.555	26. IX. 1913
×	N 6	<i>Felspartie</i> « In den Löchern ». Im Felsen 4.3 m vom untern Ende, 1.40 m über dem Strässchen. 10 m oberhalb des Mühlebaches. . . . .	976.534	27. IX. 1913
×	N 7	<i>Geimerplatt</i> . Erstes Wohnhaus. Rhoneseite. Ecke links, im Felsen, 0.75 m über dem Strässchen . . . . .	1034.428	27. IX. 1913

## GEIMEN

- × N 8 *Kapelle*. Seite gegen Platten. Ecke links. Im vorspringenden Felsen, auf der Höhe des Strässchens . . . m ü. M. 1044.014 23. X. 1913

## GEIMEN-PLATTEN

- × N 9 « *Mehlbaum* ». Felsblock zwischen dem Strässchen und dem Kelchbach, 41 m unterhalb des Mehlbaum-Muttergottesbildes, 4.70 m vom Rande, 2.3 m unter dem Niveau des Strässchens . . . 1122.061 23. X. 1913
- × N 10 « *Im Mehlbaum* ». Felspartie zwischen dem Strässchen und dem Kelchbach, 3.70 m von der Wasserfassung der « *Obern Bitscher-Wasserleitung von Naters* », 2.60 m vom Strassenrand, 0.80 m über dem Strässchen 1157.609 25. VII. 1913
- × N 11 « *Ober-Mehlbaum* ». « *Im Ahorn* ». Felspartie am untern Ende der « *Länggasse* », 15 m oberhalb des Knies des Strässchens zunächst des Kelchbaches, 0.60 m über dem Strässchen . . . 1260.452 4. VII. 1913

## PLATTEN

- × N 12 *Felspartie* gegenüber dem Pavillon des Restaurants Platten, 4.2 m unterhalb eines Stalles, 4.5 m nördlich des Strassenrandes, 3.2 m über dem Strässchen . 1332.756 4. VII. 1913
- × N 13 *Pfarrhaus* bei der Kapelle. Seite gegen das Strässchen. Ecke links. Im Felsen 1.0 m über dem Strässchen . 1336.130 4. VII. 1913

## PLATTEN-GEBIDEM

- × N 14 « *Aletschweg* ». Grosser Felsblock am linken Ufer des Bruchibaches, am Rand des Aletschweges, 28 m landwärts des Baches, 2.0 m über dem Weg. Oberkante . 1411.497 3. VII. 1913
- × N 15 *Stalden*. Passhöhe des Aletschweges. Felspartie an der talabwärts gelegenen Seite des Weges, 27.3 m (Seite Gebidem) von der Ruine der ehemaligen Hofstadt Bamatter. 0.50 m über dem Weg . . . 1455.333 2. VII. 1913
- × N 16 *Unterhalb Stalden*. Rundhöcker an der flusswärts gelegenen Seite des Weges ins Gebidem. 15.0 m flusswärts des Weges, 122 m oberhalb der ersten Strassenkehre ins Gebidem, Oberkante . . . 1419.102 2. VII. 1913

## GEBIDEM

- × N 17 *Felspartie* am Rand des Strässchens, 15.75 m flusswärts des Wohnhauses zunächst der Gebidem-Brücke, 1.20 m über dem Weg . . . 1339.478 1. VII. 1913

		m ü. M.	
× N 18	<i>Felspartie</i> am linken Ufer der Massa, in der Axe der Gebidem-Brücke, 6.85 m landwärts der Brücke, 1.0 m über dem Boden . . . . .	1322.481	28. V. 1913
× N 19	<i>Felspartie</i> am linken Ufer der Massa, 15.0 m flussaufwärts von × N 18, zunächst der Aufhängevorrichtung für den Wasserleitungskanal. . . . .	1322.333	28. V. 1913
× N 20	<i>Felspartie</i> am linken Ufer der Massa, 15.0 m flussaufwärts von × N 18 und 2.85 m landwärts des Limni-graphenkastens . . . . .	1318.121	28. V. 1913
Pegel der Schweizerischen Landeshydrographie befestigt an der rechtsufrigen Felswand, 37 m flussaufwärts der Gebidem-Brücke. (Schmiedeiserne Skalen befestigt an U eisen.)			
Pegel A	(Teilstrich 5.000 — 7.000 m) Nullpunkt . . .	1307.345	erstellt am 29. V. 1913
Pegel B	(Teilstrich 3.000 — 5.000 m) Nullpunkt . . .	1307.343	erstellt am 28. V. 1913
Pegel C	(Teilstrich 1.60 — 3.000 m) Nullpunkt . . .	1307.344	erstellt am 28. V. 1913
Pegel D	(Teilstrich 1.20 — 1.60 m) Nullpunkt . . .	1307.344	erstellt am 28. XI. 1913
	Mittlerer Pegel-Nullpunkt (Teilstrich 1.20 — 7.00 m) .	1307.344	
× N 21	Grosser <i>Felsblock</i> am linken Ufer der Massa, 74 m flussabwärts der Gebidem-Brücke. In der Oberkante des Felsblockes beim Wasserleitungskanal . . . . .	1309.549	22. V. 1913

## V. KAPITEL.

### Die Wasserstandsbewegung des Fiescherbaches und der Massa.

A. *Der Fiescherbach.* Aus den täglichen Ablesungen am Pegel des Fiescherbaches sind die Monatsmittel als einfache arithmetische Mittelwerte gebildet worden. Nun hängen die Wasserspiegelhöhen an den Pegeln nicht allein von den Wassermengen ab, die bei ihnen vorbeifiessen, sondern sie können auch von der Höhenlage des Bachbettes und von den Gefällsverhältnissen der betreffenden Gewässerstrecke stark beeinflusst werden. Pegelbeobachtungen, die für Vergleichszwecke verwendet werden, haben deshalb, wenn nicht auch gleichzeitig die jeweilige Sohlenhöhe und das zugehörige Gefälle Berücksichtigung finden, oder eine andere zweckdienliche Korrektur angebracht wird, wenig oder gar keinen Wert, weil eben ganz unrichtige Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Im Zeitraum von 1897 bis 1913 sind nur 3 Sohlenerhebungen durchgeführt worden. Eine graphische Darstellung findet sich auf Tafel 19. Daraus geht hervor, dass sich die mittlere Sohle von 1897 bis 1903 um 0,19 m, von 1903 bis 1913 um weitere 0,20 m, also in der 16-jährigen Periode um 0,39 m erhöht hat. Bei der Bearbeitung des Beobachtungsmaterials stellte sich nun heraus, dass diese drei Sohlenaufnahmen wohl normale Resultate für die betreffenden Jahre ergaben, eine Interpolation der dazwischen liegenden, unter Zuhilfenahme dieser Aufnahmen, jedoch vollständig falsche Ergebnisse lieferte. Mit andern Worten : Eine gleichmässige Sohlenerhöhung innerhalb der beiden Perioden fand nicht statt, vielmehr hat sich, je nach den Abflussverhältnissen, bald eine Vertiefung, bald eine Erhöhung der Sohle eingestellt. Hinsichtlich der Gefällsverhältnisse haben sich schon bei den Aufnahmen der Jahre 1897, 1903 und 1913 Differenzen ergeben, die eine Mitberücksichtigung dieses Faktors vollständig ausschlossen und zwar aus sehr begreiflichen Gründen. Bei Gletscherbächen, wie der Fiescherbach und die

Massa es sind, darf man von einem regelmässigen Gefälle, auch auf kurze Strecken bezogen, nicht sprechen. Die Profile sind zu unregelmässig. Schon kleine Unebenheiten üben bei höhern Ständen eine solche Wellenwirkung aus, dass der Fehler, der durch die Pulsation des Wassers entsteht, ein Vielfaches des Totalgefälles der in Betracht fallenden Gefällstrecken übertrifft. Anfänglich steht man diesen Tatsachen ziemlich ratlos gegenüber. Und doch gibt es einen Weg, der zum Ziele führt. Die winterlichen Wassermessungen ergeben Resultate, die voneinander wenig abweichen. Für diese mehr oder weniger konstanten Abflussmengen stehen uns die zugehörigen Pegelstände zur Verfügung. Hat sich die Sohle von einem Jahre auf das andere erhöht, so ist der Winterstand am Pegel im letzten Jahre um einen gewissen Betrag grösser als im vorangegangenen, und umgekehrt. Diese Korrektionsmethode hat nun nicht nur bei den vorliegenden beiden Flussgebieten, sondern auch bei vielen andern zu ganz überraschend guten Resultaten geführt. Für den Fiescherbach ist nun unter Berücksichtigung der Sohlenaufnahmen der Jahre 1897, 1905 und 1913 und der jährlich wiederkehrenden ungefähr gleichen winterlichen Abflussmenge eine Pegel-Korrektionstabelle aufgestellt worden, die eine der Grundlagen für den Wasserhaushalt des Fiescherbaches bildet.

B. *Die Massa.* Vorausgehend sei bemerkt, dass Wassermessungen im Bereiche der Pegelstation Bitsch nach dem Bau der Kraftanlage für den Simplontunnel aus den schon erwähnten Gründen unmöglich wurden. Infolgedessen sind solche bei der Gebidembrücke ausgeführt worden. Wir werden später darauf zurückkommen. Trotzdem wir erst seit Juni 1913 über Beobachtungen am Pegel bei der Gebidembrücke verfügen, erschien es gleichwohl ratsam, die Pegelbeobachtungen von Bitsch auf den Pegel in Gebidem zu beziehen. An der Hand einer genügenden Zahl von Beobachtungen des Jahres 1913 für beide Stationen zugleich, ist nun eine Relation aufgestellt worden, die für die Berechnung der Abflussmengen Verwendung gefunden hat. Wir verfügen über je zwei Profilaufnahmen der Station Bitsch und Gebidem. Die mittlere Sohle ist sich in beiden Fällen ungefähr gleich geblieben. Eine Kontrolle der Pegelstände in Bitsch unter Zuhülfenahme der winterlichen Abflussmengen zeitigte keine abnormalen Resultate.

Die Aufzeichnungen des Linnigraphen in Bitsch ergaben das Tagesmittel vermittelt einer Faden-Ausgleichung. Für die Berechnung der Tagesmittel der Station Gebidem ist die Einzelbeobachtung, die wie bekannt abends vorgenommen wurde, unter Zuhülfenahme der Linnigraphenkurve umgerechnet worden. Die Beobachtungen fanden also eine weitgehende Verwendung. Gleichwohl möchte der Verfasser besonders hervorheben, dass immerhin noch einige Unsicherheiten an den Grundlagen haften, die eine peinliche Verwertung nicht gestatten. Die Schwierigkeiten, die sich dem Praktiker in der Durchführung solcher Untersuchungen entgegenstellen, sind eben oft unüberwindliche.



Sowohl für den Fiescherbach als die Massa nehmen wir von einer Diskussion der Niveauschwankungen Umgang. Sie sind für jedes Profil wieder andere und haben deshalb praktisch wenig Wert.

## KURVE DER ABFLUSSMENGEN DER MASSA IM GEBIDEM

bezogen auf die Sohlenhöhen des Pegelprofils vom 23.V.1913 und 28.XI.1913

mittlere Sohlenhöhe = 1308,76 m  $\ddagger$  Pegel-Nullpunkt = 1307,344 m  $\ddagger$  Einzugsgebiet = 201,99 km<sup>2</sup>

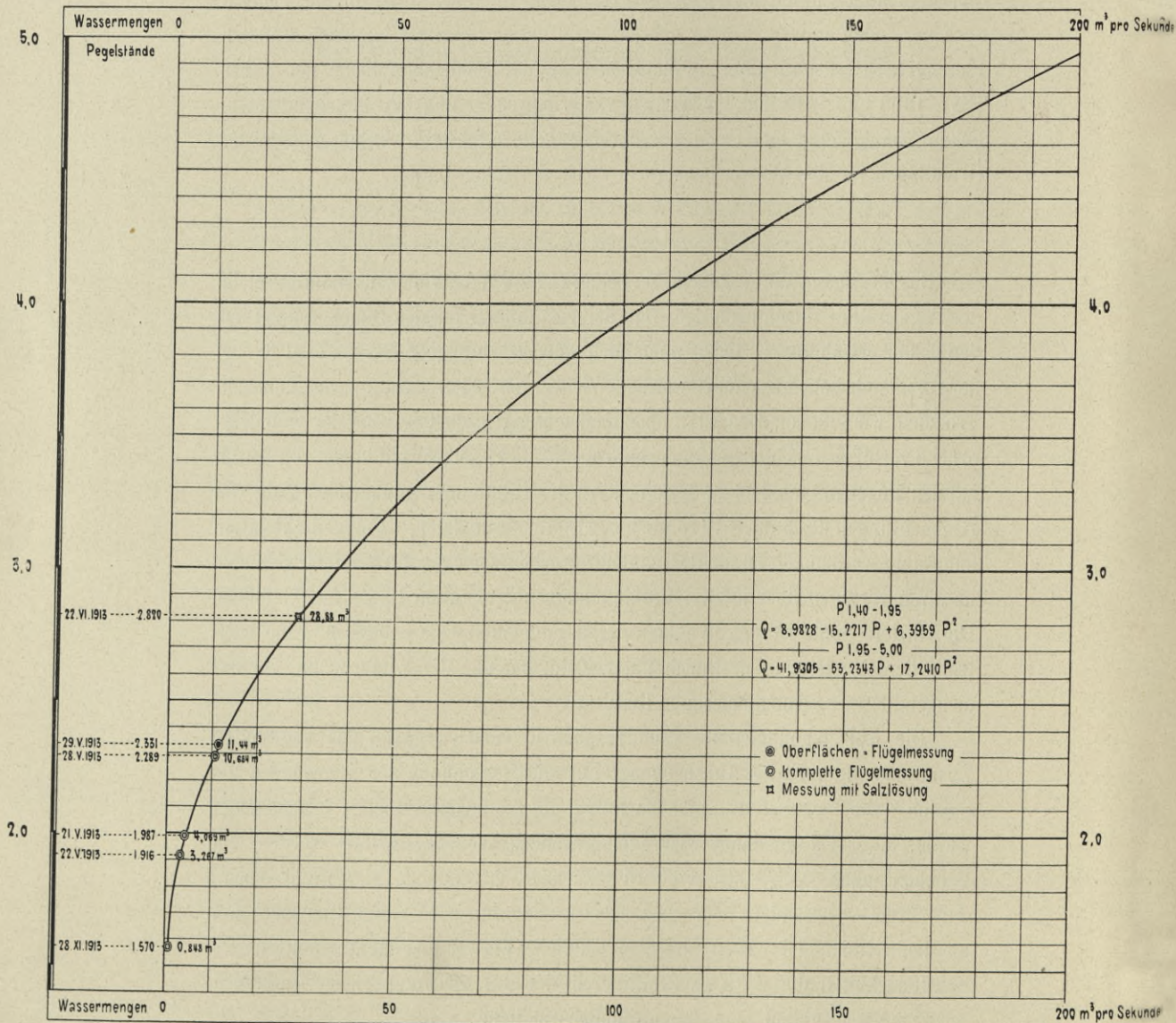


FIG. 1.

## VI. KAPITEL.

### Die Wassermessungen des Fiescherbaches und der Massa.

A. *Der Fiescherbach.* Hinsichtlich der Messresultate und der getroffenen Auswahl der Messprofile gibt die Zusammenstellung auf den Seiten 274 und 275 eingehende Aufschlüsse.

Was die minimalen Abflussmengen anbetrifft, sind soweit es die Verhältnisse erlaubten, einwandfreie Messprofile hergestellt worden, die es ermöglichten, auch für den Rest des jeweiligen Winters Anhaltspunkte über die Wasserführung zu gewinnen. Wie bekannt, tritt die kleinste Wasserführung häufig im Monat März, ausnahmsweise sogar erst in der ersten Hälfte des Monats April ein. Abstichbeobachtungen bis zum Eintritt der Schnee- und Gletscherschmelze ermöglichen eine Reduktion der gemessenen Wassermenge auf den minimalen Wasserstand. Hinsichtlich des Einflusses der Flusseisbildung während der Messungen verweisen wir auf das nachfolgende Kapitel I. des III. Teiles: « Die minimalen Abflussmengen im allgemeinen » (Seiten 300-311). Sämtliche Messungen konnten mit dem Flügelapparat in einwandfreier Weise durchgeführt werden. Bei der Messung N<sup>o</sup> 3 sind nur die Oberflächengeschwindigkeiten gemessen worden; die mittlere Geschwindigkeit wurde vermittelst des Verhältnisses der Oberflächen zur mittlern Geschwindigkeit berechnet.

Unter Zuhülfenahme der durchgeführten Wassermessungen und der korrigierten Pegelbeobachtungen ist nun die in Tafel 19 dargestellte Abflussmengenkurve konstruiert worden. Aus dieser ergibt sich die zu jedem Pegelstande gehörende Wasserführung pro Sekunde. Die Resultate der maximalen, minimalen und mittlern monatlichen und jährlichen, sowie die sechs- und neunmonatlichen Abflussmengen, Total und pro km<sup>2</sup>, finden sich in der nachstehenden Tabelle (S. 276) vereinigt. Die betreffenden Berechnungen sowie ein Teil der Wassermessungen sind von Ing. R. Pesson und Techniker A. Anker durchgeführt worden.

B. *Die Massa.* Die Messresultate und die getroffene Auswahl der Messprofile sind auf den Seiten 278 und 279 übersichtlich zusammengestellt.

Fiescherbach				Ergebnisse der							
Ordnungsnummer	GEWÄSSER	MESSUNGSSTELLE		DATUM DER MESSUNG	ART DER MESSUNG	WASSERTIEFE			WASSERMENGE PRO SEKUNDE		
		LAGE	Einzugsgebiet E km <sup>2</sup>			Wasserspiegelbreite	Mittlere tm = $\frac{F \cdot b}{F}$	Maximale tmax	Durchflussfläche F m <sup>2</sup>	TOTAL Q m <sup>3</sup>	pro km <sup>2</sup> des Einzugsgebietes q lit.
1	Fiescherbach Rechter Arm	Unterhalb des Gletschers, bei der Vereinigung der beiden Quellarme	67,41	25. II. 1903	Fl.	2,35	0,13	0,46	0,306	0,412	4,8 <sup>1</sup>
2	Fiescherbach Linker Arm	Unterhalb des Gletschers, bei der Vereinigung der beiden Quellarme	67,41	25. II. 1903	Fl.	1,65	0,25	0,27	0,413	0,214	4,8 <sup>1</sup>
3	Fiescherbach	Fiesch. 1. Steg oberhalb der Strassenbrücke	75,20	5. VIII. 1912	O. Fl.	9,65	0,74	0,93	7,124	18,446	24,5
4	Fiescherbach	Fiesch. 1. Steg oberhalb der Strassenbrücke	75,20	7. VIII. 1912	Fl.	9,50	0,60	0,78	5,687	9,164	12,2
5	Fiescherbach	Fiesch. 1. Steg oberhalb der Strassenbrücke	75,20	11. VII. 1914	Fl.	8,38	0,71	0,965	5,954	10,891	—
6	Fiescherbach	Fiesch. 400 m oberhalb der Strassenbrücke	79,98	17. II. 1903	Fl.	3,62	0,26	0,29	0,937	0,517	6,5
7	Fiescherbach	Fiesch. 400 m oberhalb der Strassenbrücke	79,98	18. II. 1903	Fl.	3,62	0,27	0,31	0,992	0,363 <sup>2</sup>	4,5
8	Fiescherbach	Fiesch. 400 m oberhalb der Strassenbrücke	79,98	24. II. 1903	Fl.	3,62	0,29	0,33	1,068	0,675	8,4
9	Fiescherbach	Fiesch. 140 m oberhalb der Strassenbrücke	79,98	16. V. 1913	Fl.	10,05	0,35	0,48	3,476	1,943	24,3
10	Fiescherbach	Fiesch. 270 m oberhalb der Mündung in die Rhone	83,38	23. II. 1907	Fl.	2,52	0,28	0,31	0,701	0,465	5,6

Wassermessungen											Aus den Ergebnissen der Wassermessungen abgeleitete extreme Werte		
GESCHWINDIGKEIT PRO SEKUNDE		Verhältnis der mittleren zur maximalen Geschwindigkeit $\frac{V_m}{V_{max}}$	Mittel der Verhältnisse $e = \frac{\sum \left[ \frac{V_m}{V_o} \right]}{\sum \left[ \frac{V_o}{V_o} \right]}$	TEMPERATUR		DATUM UND ZEIT DES EINTRITTES DES EXTREMEN WERTES	WASSERMENGE PRO SEKUNDE		Bemerkungen				
Maximale Vmax m	Mittlere Vm m			Wasser Tw C°	Luft Tl C°		TOTAL Q min. max. m <sup>3</sup>	pro km <sup>2</sup> des Einzugsgebietes q min. max. lit.					
0,712	0,366	0,51	0,831	2,8	0,8	10. III. 1903	0,074	3,4 <sup>1</sup>	<p><sup>1</sup> Zur Bestimmung des Abflusskoeffizienten sind die Wassermengen, die sich in den Profilen N° 1 und N° 2 ergeben haben, nämlich 0,412 m<sup>3</sup> und 0,214 m<sup>3</sup> summiert und durch das ganze Einzugsgebiet (67,41 km<sup>2</sup>) dividiert worden.</p> <p><sup>2</sup> Bei der Messung N° 7 fand oberhalb und unterhalb des Messungsprofils eine starke Flusseisbildung statt. Der, gegenüber der Messung N° 6 um 2,367 - 2,358 = 0,009 m höhere Pegelstand trotz der um 0,517 - 0,363 = 0,154 m<sup>3</sup> kleineren Wassermenge ist auf eine Hebung des Bachbettes, hervorgerufen durch die starke Grundeisbildung, zurückzuführen.</p> <p><sup>3</sup> Aussergewöhnliches Minimum bei Flusseisbildung.</p>				
0,613	0,518	0,84	1,031	1,0	2,8	10. III. 1903	0,157	3,4 <sup>1</sup>					
[4,28]	—	—	0,821	—	—	—	—	—					
2,493	1,611	0,65	0,821	—	—	—	—	—					
3,320	1,829	0,551	0,758	—	—	—	—	—					
0,808	0,551	0,68	0,755	0,2	- 9,8	17. II. 1903	0,517	6,5					
0,668	0,366	0,55	0,744	0,0	-11,1	18. II. 1903	0,363 <sup>3</sup>	4,5					
0,960	0,632	0,66	0,769	2,6	2,5	—	—	—					
0,980	0,559	0,570	0,787	—	—	—	—	—					
1,039	0,663	0,64	0,881	2,0	- 5,0	23. II. 1907	0,465	5,6					

Tabelle der sekundlichen Abflussmengen des Fiescherbaches

Table with columns for 'Zeitraum', 'Art der Abflussmengen', and years 1897-1905. Rows include monthly 'Tagesmittel' and 'Absolut' values, as well as 'Sechsmonatliche' and 'Neunmonatliche' water quantities.

in Fiesch in der Periode von 1897-1913.

Table with columns for years 1906-1913 and 'Mittel: 1897-1913' and 'Mittel: 1904-1913'. Rows include 'Abflussmengen Total und pro km²' with sub-headers for 'Q' and 'q'.

Massa				Ergebnisse der							
Ordnungsnummer	GEWÄSSER	MESSUNGSTELLE		DATUM DER MESSUNG	ART DER MESSUNG	WASSERSPIEGELBREITE	WASSERTIEFE		DURCHFLOSSFLÄCHE	WASSERMENGE PRO SEKUNDE	
		LAGE	Einzugsgebiet E km²				Mittlere tm m	Maximale tmax m		TOTAL Q m³	pro km² des Einzugsgebietes q lit.
1	Massa	Gebidem. 450 m oberhalb der Gebidembrücke.	200,24	9 III. 1903	Fl.	2,65	0,23	0,26	0,604	0,278	1,4
2	Massa	Gebidem. 450 m unterhalb der Gebidembrücke.	201,99	7. II. 1913	Fl.	2,49	0,31	0,33	0,677	0,258	1,3
3	Massa	Gebidembrücke, ca 82 m oberhalb der Brücke.	201,99	22. V. 1913	Fl.	5,40	1,18	1,51	6,039	3,267	16,2
4	Massa	Gebidembrücke, ca 82 m oberhalb der Brücke.	201,99	21. V. 1913	Fl.	5,23	1,24	1,60	6,487	4,069	20,1
5	Massa	Gebidembrücke, 83 m unterhalb der Brücke.	201,99	28. V. 1913	Fl.	6,15	1,36	1,88	8,375	10,684	52,9
6	Massa	Gebidembrücke, 83 m unterhalb der Brücke.	201,99	29. V. 1913	O. Fl.	6,21	1,32	1,94	8,825	11,437	56,6
7	Massa	Gebidembrücke, 83 m unterhalb der Brücke.	201,99	22. VI. 1913	S.	—	—	—	—	28,879	143,0
8	Massa	Bitsch (Beim Steinbruch). 400 m oberhalb der Strassenbrücke.	205,01	29. I. 1902	Fl.	2,40	0,33	0,53	0,795	0,303	1,5
9	Massa	Bitsch. 290 m oberhalb der Strassenbrücke.	205,01	3. III. 1903	Fl.	2,90	0,38	0,42	1,089	0,362	1,8
10	Massa	Bitsch. 300 m oberhalb der Strassenbrücke.	205,01	25. X. 1912	Fl.	5,27	0,62	0,86	3,253	3,377	16,5
11	Massa	Bitsch. Oberhalb des Leerlaufes.	205,01	6. II. 1913	Fl.	2,70	0,32	0,42	0,874	0,291	1,4

Wassermessungen										Aus den Ergebnissen der Wassermessungen abgeleitete extreme Werte		
GESCHWINDIGKEIT PRO SEKUNDE		Verhältnis der mittleren zur maximalen Geschwindigkeit $\frac{V_m}{V_{max}}$	Mittel der Verhältnisse $e = \frac{\sum (\frac{V_m}{V_o})}{\sum U}$	TEMPERATUR		DATUM UND ZEIT DES EINTRITTES DES EXTREMEN WERTES	WASSERMENGE PRO SEKUNDE		Bemerkungen			
Maximale $V_{max}$ m	Mittlere $V_m = \frac{Q}{F}$ m			Wasser $T_w$ C°	Luft $T_l$ C°		TOTAL $Q$ { max. min. } m³	pro km² des Einzugsgebietes $q$ { min. max. } lit.				
0,704	0,462	0,66	0,974	0,2	-1,7	—	—	—				
0,518	0,381	0,74	0,959	0,5	-1,0	—	—	—				
1,183	0,544	0,46	—	1,5	4,2	—	—	—				
1,155	0,627	0,54	—	2,0	5,6	—	—	—				
2,659	1,276	0,48	0,696	2,0	7,5	—	—	—				
—	1,296	—	0,704	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—	—	—	—				
0,690	0,381	0,55	0,843	1,0	9,0	29. I. 1903	0,303	1,5				
0,408	0,332	0,81	1,116	1,2	0,8	11. III. 1903	0,280	1,4				
2,118	1,038	0,49	—	2,0	1,5	—	—	—				
0,571	0,333	0,58	0,735	1,5	1,0	—	—	—				

\* f = Flächeninhalt, Vm = mittlere Geschwindigkeit und Vo = Oberflächen-Geschwindigkeit der gemessenen Polygone.

Ueber die Ausführung der Messungen ist folgendes zu bemerken : Die Bestimmung der winterlichen Wasserführung der Massa gelangte an zwei örtlich voneinander getrennten Stellen zur Durchführung. Einerseits sind die Messungen in möglichster Nähe der Pegelstation Bitsch, also zunächst der Mündungsstelle, andererseits so nahe als möglich am Gletscher durchgeführt worden. Besonderes Interesse bieten die beiden Messungen in Bitsch und Gebidem vom Monat März 1903. Erstere wurde am 3., letztere erst am 9. März durchgeführt. Die Resultate sind :

*Massa. Bitsch. 3. März 1903, 4 h 7 p-5 h 53 p.*

Messresultat :  $0,362 \text{ m}^3$  pro Sek. Abgeleitetes Minimum 11. März 1903  
 $= 0,280 \text{ m}^3$  pro Sek.

*Massa. Gebidem, 9. März 1903, 4 h 38 p-5 h 53 p.*

Messresultat :  $0,278 \text{ m}^3$  pro Sek. Abgeleitetes Minimum<sup>1</sup>.

Differenz :  $0,084 \text{ m}^3$  pro Sek.

Hiezu bemerken wir : Die Wassermenge der Massa bei Bitsch ist vom 3. bis zum 11. März um  $0,362 - 0,280 = 0,082 \text{ m}^3$  pro Sekunde zurückgegangen. Unter der Voraussetzung, dass der Ertrag in gleichmässiger Weise zurückging, eine Annahme, die an Hand der durchgeführten Beobachtungen in Bitsch ihre Bestätigung findet, ergibt sich für die Massa in Bitsch am 9. März 1913 eine Wassermenge von  $0,301$  Liter pro Sekunde, mithin stellt sich eine Differenz von  $0,301 - 0,278 = 0,023 \text{ m}^3$  pro Sekunde  $= 7,6 \%$  der Wassermenge in Bitsch ein. Es ist dies ein Resultat, das nichts ungewöhnliches an sich trägt. Auffallend aber ist an den beiden Resultaten vom 3. und 9. März 1911, dass die Wasserführung der Massa innerhalb dieser kleinen Periode eine so grosse Aenderung erfahren hat. Da beide Messungen in der nämlichen Tageszeit zwischen 4 und 6 Uhr abends durchgeführt wurden, kann die tägliche Periode, die sich im Winter ohnehin nur schwach spürbar machen kann (die Profile sind allerdings  $5,5 \text{ km}$  voneinander entfernt) keine wesentliche Rolle gespielt haben.

Die Verschiedenheit in der Wasserführung dürfte in erster Linie dem Einflusse der ungleichen Lufttemperaturen und dem ständigen Rückgange der Quellergüsse innerhalb dieser Strecke zugeschrieben werden.

Die Durchführung der Sommerwassermessungen war eine überaus schwierige. Als Messtelle wurde ein Felsprofil,  $74 \text{ m}$  unterhalb der Gebidembrücke gewählt und hiefür ein sicherer Messteg aus mächtigen Baumstämmen, die der Umgebung entnommen wurden, erbaut. Bei einem Pegelstande von über  $2,50 \text{ m}$  versagte der Flügel vollständig. Die Schlamm- und Sandführung der Massa war eine so gewaltige, dass Sandkörner in die Lager des Apparates eindringen, die die Bewegung der

<sup>1</sup> Nachträgliche Beobachtungen sind wohl angeordnet worden, der betreffende Beobachter hat aber leider keine durchgeführt.

Schaufel beeinträchtigten, oftmals sogar zum Stillstand brachten. Versuche mit der Pitot'schen Röhre misslangen ebenfalls vollständig. Die maximale und minimale Ablesung an der Skala des Apparates ergaben Geschwindigkeiten, die um mehr als das Doppelte von der wirklichen variierten. Ausgezeichnete Resultate lieferte dagegen eine Messung mittelst Salzlösung<sup>1</sup>, die am 22. Juni 1913 von Dr. Collet und dem Verfasser<sup>2</sup> ebenfalls in « Gebidem » bei einem Pegelstand von 2,81 m durchgeführt wurde. Die konzentrierte Salzlösung (Kochsalz) wurde der Massa in der Mitte des Messteges (vergl. Tafel 50) bei Punkt A (km 5,455) in einer Höhenlage von 1304,21 m zugefügt, die verdünnte Salzlösung 110 m unterhalb des Messteges, bei km 5,344, Punkt B (Tafel 50), in einer Höhenlage von 1289,53 m der Massa entnommen. Die Herstellung der konzentrierten Salzlösung wurde in einem geöffneten Fass von 330 Liter Inhalt mit 75 kg Kochsalz und Massawasser hergestellt. Um einen gleichmässigen Zufluss dieser Lösung zu erreichen, sind die notwendigen Vorbereitungen getroffen worden. Eine vorläufige Prüfung der Frage, ob sich die konzentrierte Salzlösung mit dem Wasser vollkommen gemischt habe, ergab vermittlest Färbeversuchen mit Fluorescein, zufriedenstellende Resultate. Die gleichmässige Färbung der Massa bei der Entnahmestelle B stellte sich nach Verlauf von zwei Minuten ein. Dementsprechend wurde die Zeit für die Entnahme der verdünnten Salzlösung festgesetzt. Sie erfolgte eine Minute nach der Zuführung der konzentrierten Lösung. In Intervallen von 30 Sekunden sind nun neun solcher Proben in Flaschen von einem Liter Inhalt bei der Stelle B der Massa entnommen worden. Proben der konzentrierten Salzlösung und des natürlichen Massawassers wurden ebenfalls erhoben. Die chemischen Analysen hat Dr. R. Mellet, Professor an der Universität Lausanne, durchgeführt. Die Resultate der Messungen und Analysen sind nun folgende :

1. *Zugeführte konzentrierte Salzlösung*  $d = 1,1413$  l pro Sek. Dauer der Zuführung 4 Minuten (3 h 59-4 h 3 p). Verbrauchte konzentrierte Salzlösung 280 l.

2. *Natürliches Massawasser*. Es sind  $0,6$  cm<sup>3</sup> Silbernitrat notwendig, um 1 Liter zu titrieren.  $n = 0,6$ .

3. *Konzentrierte Salzlösung*. Es sind  $207\ 500$  cm<sup>3</sup> Silbernitrat notwendig, um 1 Liter zu titrieren.  $N_1 = 207\ 500$ .

4. *Verdünnte Salzlösung*. Im ganzen sind neun Proben der Massa entnommen worden. Die Resultate dieser Proben sind :

Probe 1 :	Notwendig sind	$1,0$ cm <sup>3</sup>	um 1 l zu titrieren.	Zeit der Wasserentnahme	4 h. 0' 00''
» 2	»	$3,2$	»	»	4 h. 0' 30''
» 3	»	$7,0$	»	»	4 h. 1' 00''
» 4	»	$8,2$	»	»	4 h. 1' 30''

<sup>1</sup> Dr COLLET, L. W., Dr MELLET, R. et LÜTSCHG, O. *Jaugeages par Titrations*. Communications du Service de l'Hydrographie Nationale, n° 1. Bern, 1913.

<sup>2</sup> LÜTSCHG, O. *Vergleichs-Versuche mit Flügel- und Schirm-Apparat zur Bestimmung von Wassermengen*. Mitteilungen der Abteilung für Landeshydrographie, Nr. 2. Bern, 1913.

Probe 5 :	Notwendig sind	8,8 cm <sup>3</sup>	um 1 l zu titrieren.	Zeit der Wasserentnahme	4 h. 2' 00''
» 6	»	8,8	»	»	4 h. 2' 30''
» 7	»	8,8	»	»	4 h. 3' 00''
» 8	»	7,6	»	»	4 h. 3' 30''
» 9	»	5,4	»	»	4 h. 4' 00''

Die Proben 5, 6 und 7 stimmen überein, die Mischung ist deshalb eine vollkommene, deshalb  $N_2 = 8,8$ .

Nun verhält sich die verdünnte Salzlösung (Q) in l pro Sekunde ausgedrückt, also das Massawasser, zu der konzentrierten Lösung in l pro Sekunde (d) wie  $\frac{N_1}{N_2 - n}$ , daraus folgt  $Q = d \frac{N_1}{N_2 - n} = d = 1,1413 \frac{207\,500}{8,8 - 0,6} = 1,1 = 28,879 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde}$ .

Dr. Mellet fügte seinen Resultaten noch folgende Bemerkung bei :

« La précision de ce résultat doit être d'environ 5 %, étant donné que la solution salée initiale n'était pas assez concentrée et que son débit était trop faible pour un torrent si volumineux. Pour pouvoir réaliser, dans ces conditions, une approximation de 1 %, il aurait fallu évaporer 4 à 5 litres de chaque échantillon de la solution finale. A mon avis il vaut mieux, dans un cas pareil, pour éviter ces évaporations très longues, opérer plutôt avec un débit de la solution initiale suffisamment fort. »

Der Genauigkeitsgrad von 5 % einer solchen Messung in so schwierigen Verhältnissen befriedigt den Hydrotechniker vollkommen. Eine konzentriertere Lösung hätte den Transport einer allzu grossen Salzmenge und die Aufstellung eines noch grössern Gefässes für die konzentrierte Salzlösung bedingt. Es sind dies Umstände, die dem Wert einer noch grössern Genauigkeit nicht entsprochen hätten. Die Installationen für solche Messungen dürfen einen gewissen Zeitaufwand und gewisse Kosten nicht überschreiten. Je nach den Verhältnissen muss sich deshalb der Operateur zum voraus orientieren, mit welcher Genauigkeit er arbeiten will und welche Kredite er dafür einsetzen darf.

*Das Resultat der vorliegenden Messung zeigt uns den enormen Wert der Wassermessmethode mit Salzlösung für gewisse Fälle.* Sie ist bei Gebirgsbächen überall da mit vollem Erfolg anzuwenden, wo die Gefälls- und Sohlenverhältnisse es mit sich bringen, dass eine vollkommene Mischung der konzentrierten Salzlösung mit dem Flusswasser möglich ist.

An Hand der durchgeführten Pegelbeobachtungen und Wassermessungen gelangte nun die auf Seite 272 in graphischer Weise dargestellte Abflussmengenkurve zur Aufstellung. Damit sind auch alle Anhaltspunkte gegeben, um für die Massa die kontinuierliche Wasserführung in einwandfreier Weise zu ermitteln. Ueber die gewonnenen Ergebnisse findet sich das Nähere in der beigefügten tabellarischen Zusammenstellung. Die zugehörigen Berechnungen sind wiederum von Techniker A. Anker durchgeführt worden.



Tabelle der sekundlichen Abflussmengen der Massa bei Gebidem in der Periode von 1904-1913. 913.

Maximale, minimale und mittlere monatliche und jährliche, sowie die sechs- und neunmonatlichen Abflussmengen

Total und pro km<sup>2</sup> { Q = Totale Abflussmenge in m<sup>3</sup> pro Sekunde  
q = Abflussmenge pro km<sup>2</sup> des Einzugsgebietes in Liter pro Sekunde

Zeitabschnitte	Art der Abflussmengen	1904		1905		1906		1907		1908		1909		1910		1911		1912		1913		Mittel: 1904-1913		
		Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	Q	q	
Januar	Maximale	1.5		3.2	7.4	1.2	3.5	2.3	3.5	1.2	3.5	1.7	3.0	5.3	1.0	1.0	4.3	2.2	1.0	2.2	2.1	10.4	2.1	40.4
	Mittlere	4.0	5.0	4.5		0.7		0.7		0.4		0.6		4.2	0.6	0.6	1.0	0.5	0.6	0.7	0.9	4.5	0.9	209.4
	Minimale	0.2		0.6		0.4		0.2		0.4		0.2		0.2	0.2	0.4	0.8	0.4	0.4	0.5	0.4	2.0	0.4	62.9
Februar	Maximale	2.3	5.0	4.2	3.0	1.1	3.5	4.4	4.0	0.8	2.5	2.1	3.5	0.9	3.0	1.2	4.2	1.1	1.4	1.1	1.3	6.4	1.3	308.9
	Mittlere	4.0		0.6		0.7		0.8		0.5		0.7		0.7		0.6	0.8	0.5	0.6	0.5	0.7	3.5	0.7	491.1
	Minimale	0.4		0.2		0.5		0.4		0.2		0.2		0.5		0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	1.5	0.3	101.0
März	Maximale	1.8	6.9	4.8	3.5	1.2	3.0	1.2	3.0	0.5	4.5	0.8	4.5	4.4	4.5	4.4	4.3	4.0	1.4	1.0	4.2	5.9	4.2	316.4
	Mittlere	4.4		0.7		0.6		0.6		0.3		0.3		0.3		0.4	0.6	0.9	0.9	0.6	1.2	4.0	1.2	206.4
	Minimale	0.8		0.2		0.4		0.2		0.2		0.2		0.2		0.4	0.6	0.6	0.5	0.2	0.4	2.0	0.4	112.4
April	Maximale	5.5	12.4	2.3	8.4	4.7	5.9	2.5	5.0	2.5	3.5	7.0	10.9	1.7	7.9	4.6	4.6	2.5	2.5	2.5	4.2	5.9	3.3	316.4
	Mittlere	2.5		4.7		4.2		4.0		0.7		2.2		0.8		1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	1.2	4.0	4.2	433.2
	Minimale	1.2		1.2		0.4		0.4		0.3		0.8		0.3		0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	2.0	1.5	62.9
Mai	Maximale	34.0	64.4	8.3	17.8	24.3	24.8	14.4	20.8	49.3	45.5	49.3	41.6	7.0	15.8	20.1	17.9	20.1	20.1	15.3	18.0	89.1	18.0	308.9
	Mittlere	43.0		3.6		5.0		4.2		9.2		8.4		3.2		9.5	4.7	9.5	4.0	3.8	6.6	32.7	6.6	491.1
	Minimale	2.3		1.9		1.4		0.8		1.4		1.8		1.2		1.2	1.7	1.2	1.2	1.5	1.5	7.4	1.5	101.0
Juni	Maximale	57.7	214.4	39.4	416.3	55.8	166.3	36.9	127.2	52.8	150.5	25.1	86.6	39.4	112.9	40.5	85.4	40.5	40.5	40.0	42.3	209.4	42.3	308.9
	Mittlere	42.7		23.5		33.6		25.7		30.4		17.5		22.8		20.6	25.1	20.6	26.9	26.9	26.9	433.2	26.9	491.1
	Minimale	23.4		9.0		16.9		9.9		12.3		9.9		8.0		5.3	14.4	5.3	17.9	17.9	12.7	62.9	12.7	101.0
Juli	Maximale	59.6	236.6	87.8	256.4	84.0	271.8	46.4	152.5	54.6	182.2	57.7	133.7	46.4	137.1	49.3	74.7	49.3	66.8	66.8	62.4	308.9	62.4	491.1
	Mittlere	47.8		51.8		54.9		30.8		36.8		27.0		32.8		33.7	47.2	33.7	28.8	28.8	38.6	32.7	38.6	491.1
	Minimale	31.6		29.4		26.7		16.9		48.3		10.4		8.7		22.3	28.2	22.3	12.0	12.0	20.4	101.0	20.4	101.0
August	Maximale	66.8	205.5	59.0	209.9	90.2	267.8	92.6	262.4	52.2	174.8	59.6	193.6	52.8	177.7	45.3	72.3	45.3	48.1	48.1	63.9	316.4	63.9	316.4
	Mittlere	44.5		42.4		54.1		53.0		35.3		39.1		35.9		24.2	58.6	24.2	33.0	33.0	41.7	206.4	41.7	206.4
	Minimale	11.5		19.0		21.9		33.0		47.9		21.9		22.3		14.4	44.8	14.4	20.1	20.1	22.7	112.4	22.7	112.4
September	Maximale	34.0	75.7	41.0	128.8	66.8	432.7	44.8	152.5	38.9	104.5	30.3	83.2	34.9	61.9	12.9	101.7	12.9	40.5	40.5	41.5	230.3	41.5	230.3
	Mittlere	15.3		25.0		26.8		30.8		21.1		46.8		42.5		7.7	36.9	7.7	16.3	16.3	20.9	103.5	20.9	103.5
	Minimale	1.9		6.0		5.3		48.3		7.4		10.7		7.6		3.2	6.0	3.2	4.4	4.4	7.1	35.2	7.1	35.2
Oktober	Maximale	5.8	18.3	6.0	6.9	16.3	45.1	14.7	27.7	19.3	44.6	12.3	32.2	17.9	44.1	5.3	9.9	5.3	5.4	5.4	11.3	55.9	11.3	55.9
	Mittlere	3.7		4.4		9.1		5.6		8.4		6.5		8.9		8.9	2.3	2.3	4.3	4.3	5.3	26.2	5.3	26.2
	Minimale	1.6		0.9		2.8		0.9		0.5		1.2		1.4		2.9	4.6	1.2	3.1	3.1	1.9	9.4	1.9	9.4
November	Maximale	3.1	8.9	2.6	8.9	4.2	8.4	2.6	7.4	4.9	6.4	3.3	7.9	5.5	6.9	4.6	4.2	4.6	3.1	3.1	3.2	15.8	3.2	15.8
	Mittlere	1.8		4.8		1.7		1.5		1.3		1.6		2.4		2.4	0.9	0.9	1.4	1.4	1.6	7.9	1.6	7.9
	Minimale	1.1		0.7		0.8		0.9		0.5		1.2		1.4		1.4	0.9	0.4	0.8	0.8	0.9	4.5	0.9	4.5
Dezember	Maximale	2.4	5.9	1.8	5.0	1.8	4.0	4.0	4.0	0.8	2.0	1.9	5.9	1.7	7.4	1.6	1.6	1.6	1.0	1.0	1.5	7.4	1.5	7.4
	Mittlere	1.2		4.0		0.8		0.6		0.4		4.2		4.5		4.5	4.0	4.0	0.9	0.9	1.0	5.0	1.0	5.0
	Minimale	0.8		0.4		0.6		0.6		0.2		0.8		4.0		4.0	0.2	0.2	0.7	0.7	0.6	3.0	0.6	3.0
Jahr	Maximale <sup>1</sup>	78.4	386.7	95.0	470.3	108.7	538.1	108.7	538.1	74.5	368.8	61.8	330.8	64.8	320.8	57.7	400.7	57.7	196.2	196.2	94.9	469.8	94.9	469.8
	Mittlere	44.4	71.3	42.9	63.9	45.8	78.2	43.0	64.4	42.4	59.9	40.2	50.3	9.9	49.0	8.7	45.2	8.7	9.9	9.9	12.2	60.4	12.2	60.4
	Minimale <sup>1</sup>	0.2	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	1.0	0.2	1.0
Sechsmontatliche Neunmonatliche Wassermenge		4.6	7.9	1.2	5.9	1.6	7.9	1.6	7.9	1.5	7.4	1.8	8.9	1.8	8.9	1.2	1.7	1.2	4.6	4.6	4.6	7.9	4.6	7.9
1. Absolut.		1.0	5.0	0.9	4.5	0.6	3.0	0.6	3.0	0.4	2.0	0.8	4.0	0.8	4.0	0.5	0.8	0.5	2.5	2.5	0.7	3.5	0.7	3.5

## VII. KAPITEL.

### Die Abflussverhältnisse des Fiescherbaches und der Massa.

In der nachfolgenden Fig. 19 finden sich zunächst die Diagramme der mittleren monatlichen Abflussmengen pro km<sup>2</sup> des Einzugsgebietes in Litern pro Sekunde, sowohl für den Fiescherbach, als auch für die Massa, in der zehnjährigen Periode von 1904-1913. Diesen Diagrammen sind die zugehörigen mittleren Monatstemperaturen von Reckingen, der nächstgelegenen meteorologischen Station im Rhonetal, ferner die mittleren Monatssummen der Niederschlagsmengen von Fiesch (nächstgelegene Regenmess-Station) für die nämlichen Perioden in graphischer Weise beigelegt.

Vergleicht man zunächst die mittleren Abflussmengen der Periode 1904-1913 der beiden Bäche untereinander, so ist deren Verlauf ein harmonischer.

Auf die langandauernde, wenig verschiedene Wasserführung im Winter, während der Monate Dezember, Januar, Februar und März folgt erst ein langsames Wachsen im April, hernach ein rascheres im Mai und Juni. In den Monaten Juli und August erreichen die Abflussmengen ihr Maximum. Der Abstieg erfolgt im August, September und Oktober erst rasch, dann langsamer. Während der allgemeine Verlauf dieser beiden Kurven nichts Ungewöhnliches an sich trägt, fällt die teilweise bedeutende Differenz in der Wasserführung dieser beiden Gletscherbäche untereinander sofort in die Augen. Der Fiescherbach liefert in den Monaten Oktober, November, Dezember, Januar, Februar, März, April und Mai etwas mehr, im Juni und September ungefähr gleich viel, in den Monaten Juli und August aber bedeutend mehr Wasser als die Massa. Diese Erscheinung ist um so auffälliger als, wie wir bereits gesehen haben, die Vergletscherung des Einzugsgebietes des Fiescherbaches nur 49,7% vom Gesamten beträgt, gegenüber derjenigen der Massa mit 71,2%.

In der nämlichen Figur gelangen auch noch die mittleren monatlichen Abflussmengen, die mittleren Monatstemperaturen von Reckingen, die mittleren Monatssummen der Niederschlagsmengen von Fiesch und die mittleren monatlichen

Zuflussmengen zum Märjelensee (Hintersee) für das Jahr 1913 gesondert zur Darstellung. Das Jahr 1913 eignet sich deshalb besonders gut für den Vergleich, weil

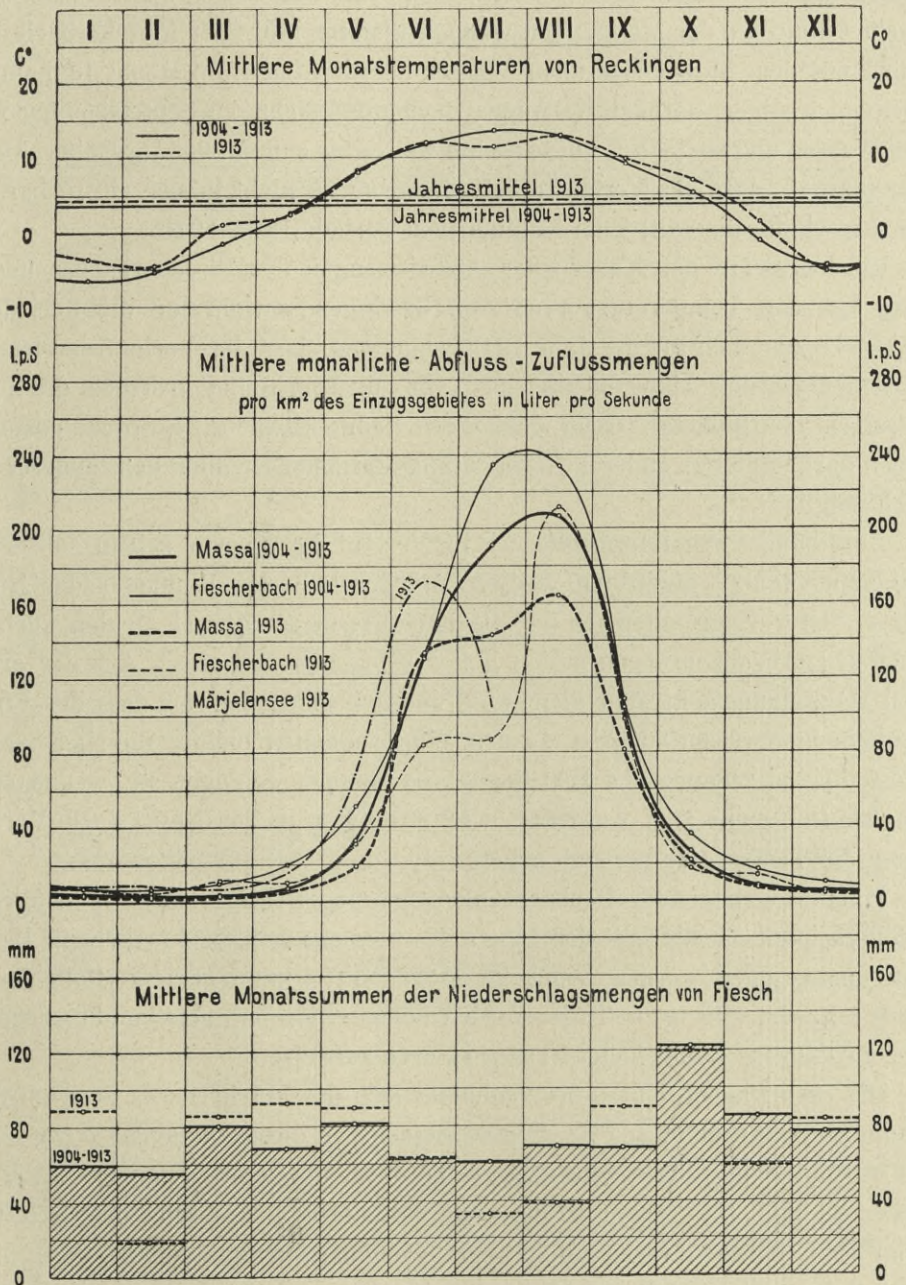


FIG. 19.

sein Beobachtungsmaterial infolge der gleichzeitigen Durchführung eines grössern Teiles der Wassermessungen und der damit verbundenen häufigen Kontrolle der

Pegelbeobachtungen an Genauigkeit weitaus die erste Stelle sämtlicher Beobachtungsjahre einnimmt.

Wie verhalten sich nun die Kurven der Abflussmengen des Fiescherbaches und der Massa für das Jahr 1913 zueinander? Die Kurve des Fiescherbaches schneidet diejenige der Massa nicht weniger als vier Mal. Der Fiescherbach liefert bis und mit dem Monat Mai mehr Wasser als die Massa, im Monat Juni und Juli bedeutend weniger, hernach im August bedeutend mehr, im September nur wenig mehr Wasser und so geht es abwechselnd weiter bis zum Monat Dezember. Daraus ist ersichtlich, dass der Verlauf der beiden Kurven nicht immer ein so harmonischer ist, wie für das Mittel der zehnjährigen Periode 1904-1913.

Ein Vergleich der Kurven der Abflussmengen des Fiescherbaches und der Massa mit den Temperaturkurven von Reckingen, sowohl für die Periode von 1904-1913, als auch für das Jahr 1913, zeigt uns, dass der Verlauf der letzteren mit denjenigen der Abflussmengen fast ganz übereinstimmt, trotzdem die Station Reckingen im Rhonetal streng genommen nicht allein in Betracht genommen werden darf. Mangels anderer Beobachtungsstationen ist aber kein anderer Vergleich möglich<sup>1</sup>.

Auf kleinere Differenzen, die sich im Verlauf der Kurven zeigen, soll deshalb auch nicht näher eingetreten werden. Hinsichtlich des Einflusses der Niederschläge, unter Zugrundlegung der Beobachtungen von Fiesch, fehlen auch hier Niederschlagsbeobachtungen in den höher gelegenen Regionen. Aus der graphischen Darstellung geht aber gleichwohl deutlich genug hervor, dass der Einfluss nur ein ganz unwesentlicher ist. In den Wintermonaten bleiben die Niederschläge in fester Form (Schnee und Eis) liegen; im Sommer gelangen sie, wenigstens im Monatsmittel, nicht zum Ausdruck, weil mit ihnen in der Regel auch Veränderungen der Temperatur vor sich gehen.

Mangels genügender Beobachtungen ist ein wichtiger Faktor, nämlich die Bewölkung, die parallel mit der Dauer des Sonnenscheins geht, nicht in Berücksichtigung gezogen worden. Auch im Monatsmittel kann er eine Rolle spielen, jedoch seltener, weil trübe Tage in solch hohen Gletschergebieten nur ausnahmsweise auf längere Dauer höhere Temperaturen aufweisen.

Die eingetragene Kurve der Zuflussmengen des Märjelensees zeigt uns in anschaulicher Weise den Gang der Schneeschmelze in dieser Höhenlage. Die eigentliche Abschmelzung der Schneedecke beginnt erst langsam im Monat April, dann rascher im Mai. Das Maximum der Schneeschmelze für das Jahr 1913 fällt in den Monat Juni, hernach findet infolge der verminderten Schneemenge im Einzugsgebiet ein rapides Abfallen der Kurve statt. Die Kurve erleidet durch den Aus-

---

<sup>1</sup> Vergleiche die Niveauschwankungen der Massa bei der Gebidembrücke mit den Schwankungen der Lufttemperatur am Konkordiaplatz während des Ausbruches des Märjelensees vom 30./31. Juli 1913 (Seite 296, Fig. 22).

bruch des Märjelensees einen plötzlichen Abbruch. Die Zuflussmengen des Sees in Litern pro Sekunde und pro km<sup>2</sup> ausgedrückt, sind bis in den Monat Juni grösser

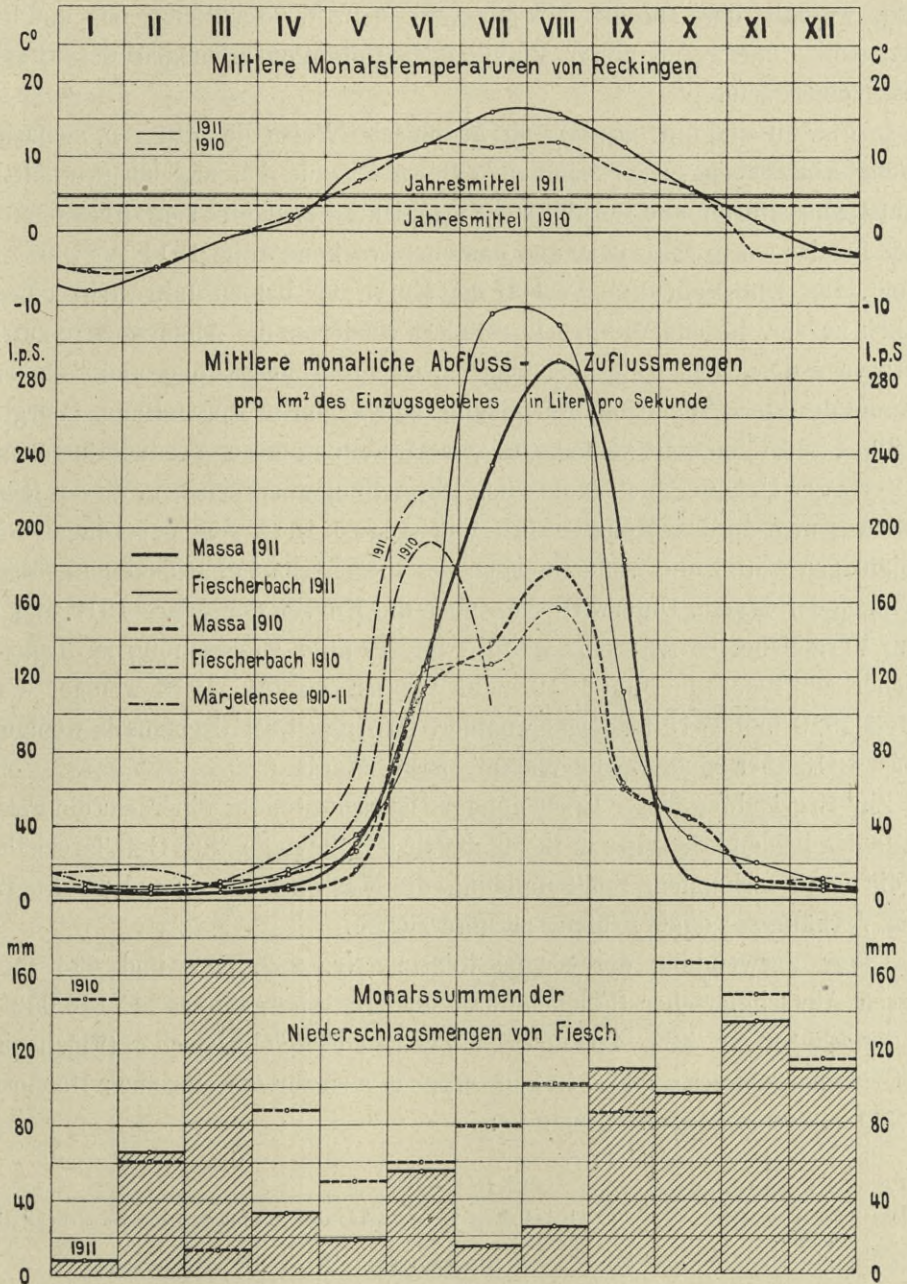


FIG. 20.

als die Abflussmengen der beiden Gletscherbäche, der Verlauf der Kurven ist aber in dieser Periode im Vergleich mit denjenigen des Fiescherbaches und der Massa ein durchaus harmonischer.

In den Monaten Juli und August setzt die Ablation der Gletscher kräftig ein. Während ihr Einfluss auf die Niveauschwankungen des Sees nur unbedeutend ist, gelangt sie beim Abfluss der beiden Gletscherbäche zur vollen Wirkung. Der Grund, weshalb das Tal des Märjelensees mehr Wasser liefert als die beiden Seitenbäche, dürfte in erster Linie dem Retentionsvermögen der Gletscher zuzuschreiben sein.

In Fig. 20 sind nun ebenfalls auf graphische Weise die mittleren, monatlichen Zu- und Abflussmengen der nämlichen Gewässer mit den zugehörigen mittleren Monatstemperaturen und mittleren Niederschlagsmengen von Reckingen und Fiesch für das nasse Jahr 1910 und das eher trockene Jahr 1911 zur Darstellung gelangt. Der Unterschied im Verlauf der Kurve der beiden Jahre tritt ungemein deutlich hervor. Besonders intensiv reagiert wiederum die Abflussmenge auf Temperaturveränderungen. Die Beziehung zwischen Abflussmenge und Temperatur im Sinne direkter Proportionalität gelangt aufs schönste zur Geltung. (Vergleiche Fig. 22, S. 296.) Von einer zahlenmässigen Darstellung dieser Veränderungen nimmt der Verfasser Umgang, die graphischen Darstellungen sprechen in dieser Hinsicht deutlich genug. In den Monaten Juli und August 1911 sind neuerdings, wie im zehnjährigen Mittel, die Abflussmengen des Fiescherbaches bedeutend grösser als diejenigen der Massa. Unterwirft man aber die Kurven der Jahre 1910 und 1913 einem Vergleiche, so tritt eine weitere interessante Erscheinung zu Tage. Der Fiescherbach liefert im Juni 1910 mehr Wasser, im Juni 1913 weniger Wasser, im Juli 1910 und 1913 beidemal weniger, im August 1910 ebenfalls weniger, im August 1913 aber wieder mehr Wasser als die Massa.

Zur Ergründung dieser Erscheinungen ist es notwendig, einerseits die Flächeninhalte der beiden Gletscher in Bezug auf ihre Höhenlage, ihre Gefällsverhältnisse und die damit verbundene Spaltenbildung, die Massenerhebung und die orographischen Verhältnisse einer Prüfung zu unterziehen.

Unter Verwendung der Siegfriedblätter Nr. 489, 492 und 493 für den Grossen Aletschgletscher (Flächeninhalt des Gletschergebietes = 146.052 km<sup>2</sup>) und der Blätter Nr. 489, 490 und 493 für den Fieschergletscher (Flächeninhalt des Gletschergebietes = 41.746 km<sup>2</sup>) ergeben sich für die einzelnen Höhenstufen von 300 zu 300 m folgende Resultate :

Höhenstufengebiete in m ü. Meer.	Flächeninhalte in Quadratkilometern und in % der beiden Gletschergebiete.			
	Fiescherbach.		Massa.	
1200-1500	—	—	0,075	(0,05 %)
1500-1800	0,375	(0,90 %)	0,895	(0,61 %)
1800-2100	1,599	(3,83 %)	3,555	(2,44 %)
2100-2400	1,074	(2,57 %)	9,770	(6,69 %)
2400-2700	2,148	(5,14 %)	17,675	(12,10 %)
2700-3000	7,170	(17,18 %)	32,144	(22,01 %)
über 3000	29,380	(70,38 %)	81,938	(56,10 %)

Diese Zusammenstellung lässt erkennen, wie grundverschieden die Grösse der Flächeninhalte der Höhenstufen jeden Gletschers für sich und der Vergleich beider Gletscher untereinander sind. Nicht nur die gewaltigen Dimensionen des Grossen Aletschgletschers gegenüber dem viel kleinern Fieschergletscher, sondern auch die prozentuale Verteilung der einzelnen Höhenstufen gelangt auf anschauliche Weise zum Ausdruck. Die Daten sprechen für sich selber. Nur ein Punkt verdient noch besonderer Erwähnung. Die Flächeninhalte der Höhenstufengebiete des Fieschergletschers von 1500-1800 m und von 1800-2100 m ü. M. ausgedrückt in % der beiden Gletschergebiete, sind im Vergleich mit denjenigen der Massa weitaus die grössern. Für die Quantität der Schmelztätigkeit ist gerade dieser Punkt, wenigstens in gewissen Perioden, ein wichtiger und braucht nicht näher erläutert zu werden.

Das Flächenverhältnis von Firn zu Zunge (wobei die Fläche der Zunge = 1) ist beim Fiescherbach gleich 3,4, bei der Massa gleich 2,1. Diese auffallende Differenz lässt sich, wenigstens teilweise, durch die verschiedenen orographischen Verhältnisse der beiden Gletschertäler erklären.

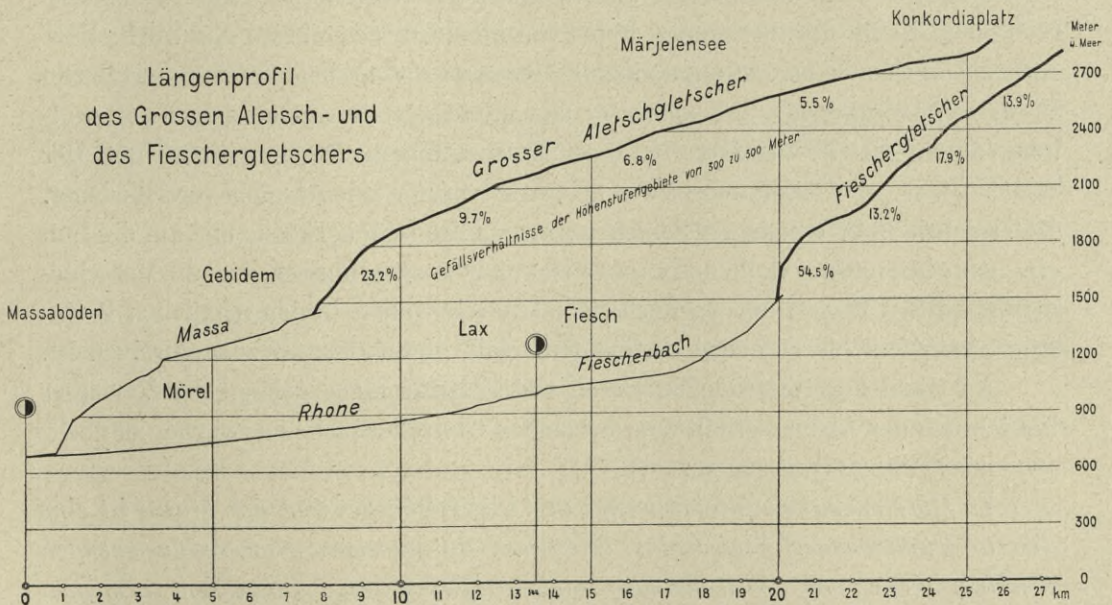


FIG. 21.

In der vorstehenden Fig. 21 findet sich das Längenprofil des Fiescher- und Grossen Aletschgletschers in der Gletscher-Axe graphisch dargestellt. Als Grundlage wurden wiederum die zugehörigen Siegfriedblätter zu Hilfe genommen.

Die Gefällsverhältnisse der Höhenstufen von 300 zu 300 Meter gestalten sich folgendermassen :

Höhenstufen.	Fiescherbach.	Massa.
1500-1800 m	54,5 ‰	23,2 ‰
1800-2100 m	13,2 ‰	9,7 ‰
2100-2400 m	17,9 ‰	6,8 ‰
2400-2700 m	13,9 ‰	5,5 ‰

Aus vorstehenden Daten geht hervor, dass der Fieschergletscher ein ganz bedeutend grösseres Gefäll aufweist als der Grosse Aletschgletscher. Dementsprechend verhält es sich auch mit der Spaltenbildung; der Fieschergletscher ist auch viel spaltenreicher.

Als weitere wichtige Faktoren fallen die orographischen Verhältnisse, die Exposition und die Massenerhebung ins Gewicht. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf die Uebersichtskarte des Einzugsgebietes der Massa und des Fiescherbaches im Masstabe 1 : 100 000 (Dufourkarte der Schweiz, Blatt XVIII) auf Tafel 16.

Aus dieser Karte ist ersichtlich, dass die Orientierung der beiden Täler (das Fieschertal liegt etwas direkter in der Nord-Südrichtung), die Steilheit der Gehänge, die Massenerhebung, annähernd die nämlichen, die Breite und Höhenlage des Gletschers, die Entfernung der Talwandung aber grundverschieden sind. Der Unterschied, den die beiden Täler in orographischer Hinsicht aufweisen, gelangt so recht deutlich auf dem berühmten Relief von Ingenieur Simon zum Ausdruck. Hervorzuheben ist hier noch die auffallende Differenz, die die beiden Gletschertäler in Bezug auf die herrschende Temperatur und die Dauer des Sonnenscheins (Bewölkung) aufweisen. Der Verfasser hat diese Erscheinungen oft genug beobachtet. Der tägliche Gang der Insolation ist für beide Seitentäler zeitweise ein verschiedener. Nun spielt ja die Wirkung der Sonnenwärme auf die Erdoberfläche und auf die Luft eine ganz bedeutende Rolle und es erscheint nicht ausgeschlossen, dass die Verschiedenheit in der Wasserführung der beiden Gletscherbäche in den nämlichen Perioden, wenigstens bis zu einem bestimmten Grad, diesem Faktor zuzuschreiben ist.

An Hand der vorstehenden Daten und Erläuterungen gelangt der Verfasser hinsichtlich der Abflussverhältnisse der beiden Gletscherbäche im Sommer zu nachstehenden Schlussfolgerungen :

1. *Die sommerliche Abflussmenge des Fiescherbaches und der Massa ist eine direkte Funktion der Temperatur. Während die flüssigen Niederschlagsmengen einzelner Tage noch einen Einfluss auf das Flussregime auszuüben vermögen, verschwindet ein solcher völlig bei Vergleichung von ganzen Perioden, z. B. von mittleren Monatswerten.*

2. *Der Fieschergletscher liefert verhältnismässig in den beiden Schmelzmonaten Juli und August bei relativ hohen Temperaturen mehr Wasser, bei relativ niedrigen Temperaturen weniger Wasser als der Grosse Aletschgletscher.*

Die Ursache dieser Erscheinung ist also eine Folge des ungleichen Schmelz- und Abflussvermögens dieser beiden Gletscher. Betrachten wir den ersten Fall: Der



Fieschergletscher liefert bei hohen Temperaturen mehr Wasser als der Aletschgletscher. Dies ist auf folgende Faktoren zurückzuführen :

a) *Die Meereshöhe.* — Die mittlere Höhe des Gesamteinzugsgebietes des Fiescherbaches liegt 236 m niedriger als diejenige der Massa. Die Flächeninhalte der Höhenstufengebiete des Fieschergletschers von 1500-1800 m und 1800-2100 m ü. M. sind, prozentual betrachtet, grösser als die korrespondierenden des Grossen Aletschgletschers.

b) *Die Entfernung der Talwandungen.* — Die bedeutend näher zusammengerückten Talwandungen der die Fieschergletscherzunge begrenzenden Bergketten und die damit verbundene grössere Einwirkung der strahlenden Wärme, vermehrt deren Abflussvermögen. Die von den Berghängen reflektierte und ausgestrahlte Wärme, in Verbindung mit der Luftwärme vermag unter gewissen Umständen im engen Tale des Fieschergletschers einen eigentlichen Wärmekessel zu bilden, während dies im breiten Tale des Grossen Aletschgletschers kaum möglich ist.

c) *Das Gefälle.* — Das Gefälle des Fieschergletschers ist, wie bereits erwähnt, ein bedeutend grösseres. Die Neigung des Gletscherbettes übt nicht nur auf die Geschwindigkeit des Gletschers einen Einfluss aus, sondern namentlich auch auf die Spaltenbildung. Die Schmelztätigkeit eines Gletschers ist um so ergiebiger, je grösser die Spaltenbildung eines Gletschers, beziehungsweise die Angriffsfläche ist. Je rascher und reichlicher die Schmelzverluste ersetzt werden, desto grösser ist das Abflussvermögen des Gletschers. Sogar die Struktur des Eises des Fieschergletschers dürfte gegenüber derjenigen des Aletschgletschers verschieden sein und zwar in dem Sinne, dass sein Widerstand gegen die zerstörenden Kräfte ein geringerer ist, weil eben das noch junge Eis des Fieschergletschers infolge des bedeutend grösseren Gefälles sich viel rascher in die wärmeren Temperaturzonen hinab bewegt als beim Aletschgletscher.

d) *Das Retentionsvermögen.* — Die viel kleinere, schmalere, gefällsreichere, von Spalten förmlich zerhackte Fieschergletscherzunge besitzt gegenüber derjenigen des Aletschgletschers ein viel kleineres Retentionsvermögen.

Im zweiten Fall : Kleinere Abflussmengen des Fiescherbaches bei relativ niedriger Sommertemperatur gegenüber der Abflussmenge des Aletschgletschers, ergeben sich die Gründe ohne weiteres aus dem ersten Fall. Während dort die Wirkung hoher Sommertemperaturen im geschlossenen Gebiet des Fieschergletschers sofort eine Reaktion in Form grösserer Abflussmengen annimmt, entspricht der Abfluss des Aletschgletschers konstanteren Bedingungen. Fällt dann die Sommertemperatur relativ stark, so geht die Abflussmenge folgerichtig unter jene des Aletschgletschers zurück.

Die Tabellen auf den Seiten 276, 277 und 283 enthalten neben den mittleren auch noch die maximalen und minimalen monatlichen und jährlichen Abflussmengen total und pro km<sup>2</sup>. Eine besondere Diskussion über die Minima findet sich in Kapitel I, III. Teil, S. 297.

## VIII. KAPITEL.

### Die verfügbaren Wasserkräfte des Fiescherbaches und der Massa.

A. *Allgemeines.* — Wie an vielen Flüssen und Bächen der Schweiz, so sind auch in den letzten Jahren nach und nach am Laufe der Rhone und ihrer Seitenbäche grössere und kleinere Kraftwerke entstanden. Viele sind projektiert, die meisten konzessioniert. Die Wasserrechte an der Rhone von Fiesch bis Mörel sind seit dem Jahre 1909 in den Besitz der schweizerischen Bundesbahnen übergegangen. Diese beabsichtigen, in Verbindung mit der Ausnutzung der Binna, eines linkseitigen Quellbaches der Rhone, der sich ungefähr 3 km unterhalb Fiesch mit der Rhone vereinigt, das Gefälle der Rhone in zwei Strecken, nämlich von Fiesch bis zum Kupferboden bei Grenchiols und vom Kupferboden bis Mörel auszunutzen. Das letzte Teilstück der Rhone von Mörel bis zur Massa wurde schon im Jahre 1900 für die Lieferung der notwendigen Energie zur Durchbohrung des Simplonmassivs verwertet. Hinsichtlich des Fiescherbaches und der Massa sind wohl schon Konzessionsgesuche eingereicht, soweit aber dem Verfasser bekannt, noch keine erteilt worden. Ingenieur Eggenberger, Adjunkt bei der Dienstabteilung für Einführung der elektrischen Zugförderung der S. B. B. hat im Auftrage der schweizerischen Landeshydrographie für beide Bäche generelle Projekte aufgestellt. Als Grundlage zur Lösung dieser Aufgabe dienten ihm die bereits besprochenen Erhebungen und Berechnungen über den Verlauf der Wasserführung der beiden Bäche (siehe die Seiten 276, 277 und 283).

B. *Der Fiescherbach.* — Die vorgesehene Wasserfassung wird etwas unterhalb der Vereinigung der beiden Quellbäche, bei der Mündung des Brucherbaches, angenommen. Durch einen 4 km langen Stollen wird das Wasser längs der rechtsufrigen Talwandung von der Wasserfassung weg bis zum Wasserschloss im Wiler geführt und von hier durch eine Druckleitung in die Zentrale Neubrugg unterhalb der Mündung des Fiescherbaches geleitet.

Der Talkessel im Bereiche der projektierten Wasserfassung eignet sich zur Anlage eines Sammelbeckens nicht; dagegen liesse sich, um die Leistungsfähigkeit

der Anlage noch zu erhöhen, ohne allzugrosse technische Schwierigkeiten eine Anzahl kleinerer Bäche der rechtseitigen Talwandung mit dem Zulaufstollen in Verbindung bringen. Die Ergebnisse der Untersuchung über die verfügbaren Wasserkräfte des Fiescherbaches sind in folgender Uebersicht zusammengestellt.

*Verfügbare Wasserkräfte des Fiescherbaches.*

Gewässerstrecke	{	Ort der Wasserfassung : Einmündung des Brucherbaches, km 4,74 (Tafel 1).
	{	Ort der Wasserabgabe : Mündung in die Rhone (Neubrugg), km 0,00 (Tafel 1).
	{	Länge der Strecke : 4,74 km.
	{	Cote des Wasserspiegels bei der Wasserfassung : 1230 m ü. M.
	{	» » » » » Wasserabgabe : 1010 m ü. M.
Gefälle	{	Brutto-Gefälle : 220 m.
	{	Nutzbare Gefälle : 210 m.
Abflussmenge pro Sek.	{	Grösse des Einzugsgebietes : 76 km <sup>2</sup> .
	{	Gewöhnliche, jährlich wiederkehrende Minimalwassermenge : 4,9 Liter pro km <sup>2</sup> = 0,37 m <sup>3</sup> total.
	{	9 monatliche Abflussmenge = 7,4 Liter pro km <sup>2</sup> = 0,56 m <sup>3</sup> total.
	{	6 monatliche Abflussmenge = 22,2 Liter pro km <sup>2</sup> = 1,7 m <sup>3</sup> total.
Verfügbare Wasserkraft in Netto PS	{	Bei gewöhnlicher, jährlich wiederkehrender Minimalabfluss- menge konstant = 780 PS
(75 % Wirkungsgrad der Motoren)	{	Bei 9 monatlicher Abflussmenge = 1180 PS
	{	Bei 6 monatlicher Abflussmenge = 3550 PS

Aus den vorliegenden Resultaten geht hervor, dass namentlich die 24-stündige konstant verfügbare Jahres-Kraft keinen grossen Betrag erreicht. Der Gedanke lag nun nahe, das Wasser des Märjelensees als Winterreserve zu verwerten, um auf diese Weise die konstante Wasserkraft zu erhöhen. Wir haben bereits gesehen, dass das Fassungsvermögen dieses Sees ein ganz bedeutendes ist. Der Verwirklichung eines dahingehenden Projektes würden wohl keine besondern technischen Schwierigkeiten hindernd in den Weg treten, wenn der See nicht die unangenehme Eigenschaft besässe, sich zeitweise langsam oder plötzlich zu entleeren. Sie könnte nur durch die Erstellung eines Dammes vor dem Gletscher beseitigt werden. Die Ausdehnungen eines solchen Dammes und die damit verbundenen Kosten sind aber so gewaltige, dass an eine Ausnützung des Sees für Sammel- und Ausgleichszwecke nicht zu denken ist. Auch für den Fall, dass die Geldfrage keine Schwierigkeiten verursachen würde, ist die Möglichkeit der Zerstörung eines solchen Dammes durch einen Gletschervorstoss absolut nicht ausgeschlossen. (Vergleiche Kapitel IX, S. 83.)

C. *Die Massa. Projekt A : Ohne Stausee-Anlage.* — Ungefähr 1 km oberhalb der Gebidembrücke wird das Wasser gefasst und vermitteltst eines Stollens von 2,3 km Länge in das Wasserschloss in Metten bei Ried ob Mörel und von hier aus nach der Zentrale, die in nächster Nähe der Wasserfassung der Kraftanlage für den Simplontunnel gedacht ist, geleitet. Hinsichtlich der Anlage eines Stausees mit dieser Art der Wasserfassung würde sich die in ihrem obern Teil erweiterte Schlucht weniger ihres verhältnismässig ziemlich breiten, nach oben sich bedeutend erweiternden Bodens wegen, als vielmehr in Anbetracht des grossen Gefälles der Massa und der damit in Verbindung stehenden beträchtlichen Höhe der Mauer nicht besonders eignen. Höchstens ein Tages-Ausgleichbecken könnte eventuell in Betracht fallen. Auch die Ausbrüche des Märjelensees sind ein Faktor, der in Berücksichtigung gezogen werden muss. Ingenieur Eggenberger hat deshalb diesem Projekt keinen Stausee zu Grunde gelegt.

Die Ergebnisse sind folgende :

*Verfügbare Wasserkräfte der Massa.*

Gewässerstrecke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ort der Wasserfassung : 1 km oberhalb der Gebidembrücke, km 6,5 (Tafel 52).</li> <li>Ort der Wasserabgabe : Mörel, Wasserfassung der Wasserkraftanlage an der Rhone, 3,5 km oberhalb der Massamündung in die Rhone.</li> <li>Länge der Strecke : 3,8 km.</li> </ul>
Gefälle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cote des Wasserspiegels bei der Wasserfassung : 1353 m.</li> <li>Cote des Wasserspiegels bei der Wasserabgabe : 739 m.</li> <li>Bruttogefälle : 614 m.</li> <li>Nutzbares Gefälle : 591 m.</li> </ul>
Abflussmenge pro Sek.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grösse des Einzugsgebietes : 200 km<sup>2</sup>.</li> <li>Gewöhnliche, jährlich wiederkehrende Minimalabflussmenge : 1,0 Liter pro km<sup>2</sup> = 0,20 m<sup>3</sup> total.</li> <li>9 monatliche Abflussmenge : 3,5 Liter pro km<sup>2</sup> = 0,7 m<sup>3</sup> total.</li> <li>6 monatliche Abflussmenge : 7,9 Liter pro km<sup>2</sup> = 1,6 m<sup>3</sup> total.</li> </ul>
Verfügbare Wasserkraft in Netto PS (75 % Wirkungsgrad der Motoren)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei gewöhnlicher, jährlich wiederkehrender Minimalabflussmenge = 1180 PS</li> <li>Bei 9 monatlicher Abflussmenge = 4140 PS</li> <li>Bei 6 monatlicher Abflussmenge = 9460 PS</li> </ul>

*Projekt B : Mit Stausee-Anlage.* An eine zweckdienliche Anlage eines Stausees sind folgende Forderungen zu stellen :

Die Kosten der Staumauer und des Staugeländes müssen im Einklang stehen mit der Grösse des verfügbaren Stauinhaltes. Der Untergrund des Talbeckens muss

undurchlässig sein. Um diesen Bedingungen, die namentlich hinsichtlich des Stauinhaltes für die Massa keine besonders günstige sind, gerecht zu werden, ist nur eine Möglichkeit vorhanden, nämlich die Staumauer so hoch anzulegen, dass die Ebene in Gebidem, die in einer mittleren Höhe von 1330 m ü. M. liegt, in den Bereich des verfügbaren Stauinhaltes gelangt. Um dies zu ermöglichen, ist der Bau einer 90 m hohen Staumauer notwendig. Das generelle Projekt Eggenberger sieht diese Staumauer rund 850 m unterhalb der Gebidembrücke vor. Die absolute Stauhöhe wird zu 1350 m angenommen, womit ein verfügbarer Stauinhalt von rund 9 000 000 m<sup>3</sup> gewonnen wird. Bei einer Stauhöhe von 1350 m und einer Höhe von 695 m für das Unterwasser beträgt das Bruttogefälle 655 m, das Nettogefälle rund 600 m. Die durchschnittliche natürliche Wassermenge während der 5 Wintermonate wird zu 0,400 m<sup>3</sup> pro Sek. angenommen. Diese Wassermenge wird durch die Stauanlage um  $\frac{9\,000\,000}{13\,000\,000} = 0,7$  m<sup>3</sup> pro Sek. künstlich erhöht, somit beträgt die verfügbare Wassermenge im Winter 1,1 m<sup>3</sup> pro Sek. und die Leistung  $1,1 \times 600 \times 10 = 6600$  PS. Baut man die Anlage auf das dreifache dieser Winterleistung aus, so ergeben sich rund 20 000 PS.

Das Projekt sieht die Wasserfassung am linken Ufer etwas oberhalb der grossen Staumauer vor. Durch einen annähernd 1800 m langen Stollen wird das Wasser in das Wasserschloss, das in einem Felskopf oberhalb Eichen gedacht ist, geleitet und in einer mehr als 2 km langen Druckleitung dem Maschinenhaus im Massaboden zugeleitet.

Beziehung zwischen den Schwankungen der Luft-Temperatur am « Concordiaplatz » und den Niveauschwankungen der Massa bei der « Gebidembrücke ».

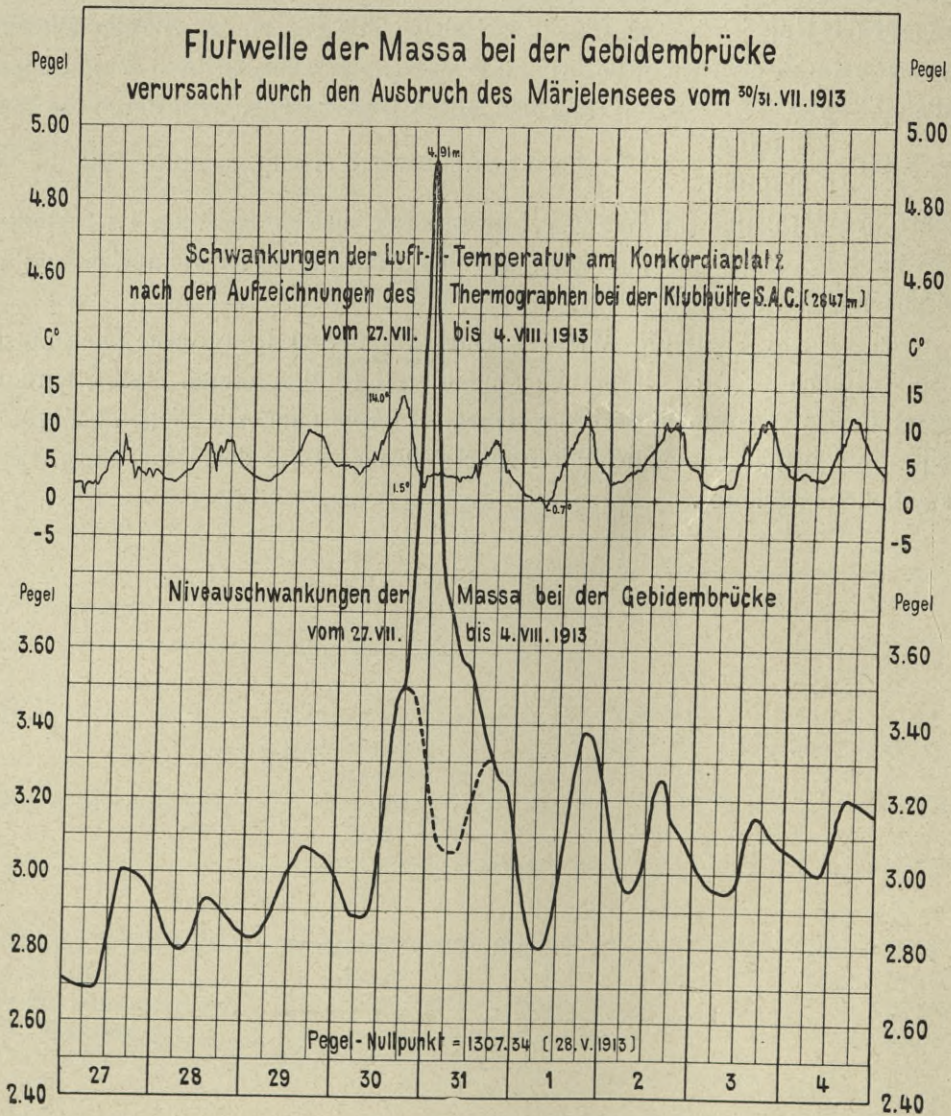


FIG. 22.

## III. TEIL.

### Die minimalen Abflussmengen der Gebirgsbäche.

Mit der Behandlung dieses Themas soll in erster Linie das Regime der Massa und des Fiescherbaches dargelegt werden. Zur Erklärung vieler Erscheinungen (Eisbildung, Versickerung etc.) ist es aber notwendig, Beobachtungen aus andern Gebieten ebenfalls in den Kreis unserer Betrachtungen einzureihen. Damit finden Vorkommnisse an den beiden Bächen eine bessere Erklärung, auch wird auf die Möglichkeit solcher Erscheinungen hingewiesen und endlich geben wir auf diese Weise viele Erfahrungen und Beobachtungen bekannt, die zur umfassenden Behandlung dieser Abflussmengen notwendig sind.

#### I. KAPITEL.

### Die minimalen Abflussmengen im allgemeinen.

#### A. — Einteilung der minimalen Abflussmengen.

Bevor wir auf diesen Gegenstand näher eintreten, sei besonders hervorgehoben, dass wir nur solche Gewässer in unsere Betrachtungen einbeziehen, die sich noch in ihrem natürlichen Zustande befinden, d. h. bei denen künstliche Aenderungen in den Wasserverhältnissen, beispielsweise durch den Bau und Betrieb von Kraftanlagen, Staubecken etc. nicht vorhanden sind.

Der Begriff Minimalwassermenge ist sowohl in rein wissenschaftlicher, als auch in technischer Hinsicht ein überaus dehnbarer und noch wenig geregelter.

Innerhalb einer Niederwasserperiode können grosse Schwankungen in der Wasserführung eines Gewässers auftreten. Oft kann aber eine Reihe von Jahren vergehen, bis eine annähernde Feststellung der extremen (hohe und tiefe) Minima möglich ist. Die *Abflussdauer* solcher extremen Wassermengen variiert zwischen Stunden und Tagen. Es ist selbstverständlich, dass, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Möglichkeit der Vornahme solcher direkter Minimalwassermessungen eine seltene ist. Zur systematischen Durchführung der Minimalwassermessungen steht somit in der Regel nur wenig Zeit zur Verfügung.

Die Messungen in ausgedehnten Gewässergebieten müssen in einer kurzen Zeitspanne bewältigt werden. Ganz besonders schwierig gestaltet sich hierbei die Durchführung der Minimalwassermessungen im Gebirge. Neben den winterlichen Beschwerden und Gefahren muss der Techniker scharf darauf achten, gute, einwandfreie Messtellen aufzufinden. Die Herstellung der Messprofile erfordert besondere Sorgfalt und nimmt in der Regel viel Zeit in Anspruch. Die Durchführung der Geschwindigkeitsmessungen, die Aufnahme der Durchflussprofile, die Beobachtung der Wasserspiegelschwankungen an provisorisch zu erstellenden Pegeln sind peinlich genau durchzuführen. Die einzelnen Tage müssen voll ausgenützt werden. Die Erreichung des Ziels setzt oft die höchsten Anforderungen an das Messpersonal. Ist nach harten Strapazen eine gute Messtelle aufgefunden, so muss durch neue Arbeitsleistung in kürzester Zeit das denkbar beste Resultat gewonnen werden. Erst dann findet der richtige Hydrometriker volle Befriedigung in der unternommenen Aufgabe und in der aufgewendeten Arbeitsleistung.

Sofern die örtlichen Verhältnisse es zulassen, werden vom Zeitpunkt der Messung an bis zum Eintritte der Schneeschmelze die Beobachtungen an den Interims-Pegeln fortgesetzt. Dabei muss aber mit dem misslichen Umstände gerechnet werden, dass nur in ganz seltenen Fällen die betreffenden Durchflussprofile in völlig unverändertem Zustande verharren. Namentlich die Schnee- und Eisverhältnisse spielen hierbei eine grosse Rolle. Auch die Zuverlässigkeit des Pegelbeobachters, der soweit möglich unter Kontrolle steht, lässt oft zu wünschen übrig. Es geht aus dem Voranstehenden zur Genüge hervor, dass die Bestimmung der minimalen Wasserführung der Gebirgsbäche nicht allein mit grossen Kosten und bedeutenden Opfern an Zeit verknüpft ist, sondern dass auch, trotz allen Bestrebungen, nicht immer absolut einwandfreie Ergebnisse erzielt werden.

Die minimalen Abflussmengen eines Gewässers lassen sich in drei Kategorien einteilen :

- I. *Die ordentlichen Minima;*
- II. *Die ausserordentlichen Minima;*
- III. *Die mittleren Minima.*



I. Unter den *ordentlichen Minima* verstehen wir solche Abflussmengen, die in der Regel alljährlich wiederkehren und dabei in ihrem Auftreten in ein und derselben Niederwasserperiode eine gewisse Beständigkeit zeigen. Der Verlauf der winterlichen Abflussmengen erleidet durch das Eintreten dieser ordentlichen Minima in ihrer Stetigkeit keine Unterbrechung.

II. Die *ausserordentlichen Minima* sind solche, die sich von den ordentlichen Minima in der Weise unterscheiden, dass sie grössere oder kleinere Werte aufweisen als die ordentlichen Minima.

Die ausserordentlichen Minima, die sich *über* die ordentlichen Minima stellen, sind zurückzuführen auf aussergewöhnliche, die Niederwasserzeit regierende, grosse und zum Abfluss gelangende Niederschlagsmengen oder auf hohe Temperaturen. In diesem Falle ist das aussergewöhnliche Minimum wohl das Minimum der gesamten Niederwasserperiode, ohne dabei aber den Charakter eines eigentlichen Minimums zu tragen.

Die ausserordentlichen Minima, die sich *unter* die ordentlichen Minima stellen, lassen sich ebenfalls auf aussergewöhnliche Erscheinungen zurückführen. Starker Schneefall, tiefe Temperaturen (Eisbildungen), ferner andauernde Trockenheit, die sich auf vorangehende Perioden erstreckt, bilden die Ursache des aussergewöhnlichen Rückganges des Abflusses. Die Intensität dieses Rückganges hängt weiter davon ab, ob diese Erscheinungen lokal oder im ganzen Einzugsgebiet auftreten. Die Stetigkeit der Kurve der winterlichen Abflussmengen erleidet dabei meistens eine Unterbrechung.

Für eine bestimmte Durchflusstelle können sich nun auch aussergewöhnliche Minima einstellen, die noch auf andere Ursachen zurückzuführen sind. Lawinen und Bergstürze bilden infolge Retention, veränderter oberirdischer oder unterirdischer Wasserableitung die Ursache eines aussergewöhnlichen Rückganges der Wasserführung eines Gewässers. Doch ist diese Erscheinung selbstverständlich nur eine lokale. Tatsächlich ist die minimale Wassermenge eine andere, aber an dieser Stelle nicht messbare. Ohne solche katastrophale Erscheinungen können aber lokale Versickerungen (und Wiedererscheinen an der Oberfläche) auch durch geologische Verhältnisse oder künstliche Anlagen bedingt werden.

III. Unter den *mittleren Minima* verstehen wir diejenigen Abflussmengen, die als arithmetische Mittel aus den Minima einer langen Reihe von Jahren berechnet sind. Sie kommen der Kategorie I der ordentlichen Minima am nächsten und schliessen das Auftreten ausserordentlicher Minima in sich.

#### B. — Besondere Ursachen ausserordentlicher Minima.

Während das Auftreten der ordentlichen und die Bestimmung der mittleren Minima nichts aussergewöhnliches bieten, sollen einige Beispiele das Eintreten

ausserordentlicher Minima veranschaulichen. Absehen wollen wir dabei aber von solchen Erscheinungen, die sich auf klimatisch meteorologische Ursachen (sehr trockene und sehr nasse Niederwasserperioden) zurückführen lassen und nur einige Erfahrungen wiedergeben, die bei der Beurteilung ausserordentlicher Minima von grosser Bedeutung sind. *Damit soll auch darauf hingewiesen sein, dass bei Vornahme von Niederwassermessungen streng Vermerk genommen wird von sämtlichen Erscheinungen im Einzugsgebiet.* Nur auf diese Weise lassen sich Trugschlüsse in dieser oder jener Richtung vermeiden.

Als besondere Ursachen ausserordentlicher Minima wollen wir an Hand von Beispielen behandeln :

- a) Starker Schneefall.
- b) Eisbildung.
- c) Lawinen.
- d) Versickerung.

#### a) Starker Schneefall.

##### *Messung des Baches der Val Nalps in Surrhein (Graubünden).*

Am 2. Februar 1901, nachdem die Messprofile hergestellt und mit den Beobachtungen am provisorischen Pegel begonnen worden war, stellte sich heraus, dass die Wasserspiegellhöhe in ständigem Steigen begriffen war. Um 10 h 30 a betrug die Wasserspiegellhöhe am Pegel 1.658 m ( $Q = 0.156 \text{ m}^3$ ), 11 h 13 a schon 1.700 m und um 12 h 7 p erreichte sie ihren maximalen Stand mit 1.737 m ( $Q = 0.272 \text{ m}^3$ ), welcher bis 12 h 44 p, d. h. bis nach Vollendung der Flügelmessung konstant blieb (siehe Fig. 23).

Zurückzuführen ist dieses auffallende Anwachsen auf den in der Nacht vom 1. auf den 2. Februar erfolgten mächtigen, ununterbrochenen, äusserst trockenen Schneefall. Nicht, dass dieser Schneefall einen *höheren* Abfluss erzeugt hätte, sondern er war Ursache eines aussergewöhnlichen Minimums durch An- und Aufsaugen der natürlichen konstanten Wassermenge. Nach Sättigung der mit dem Wasser des Baches in Berührung gelangenden Schneeschicht, stellte sich die normale, als Niederwassermenge zu charakterisierende Wasserführung wieder ein, eine Erscheinung, die der Verfasser oftmals beobachten konnte.

#### b) Eisbildung.

Charakteristische Eigenschaften, die einen Gebirgsbach, sei es nun ein Gletscherabfluss oder ein Quellbach, auszeichnen, finden wir bald getrennt, bald vereinigt. Die an irgend einer Durchflusstelle gemessene Wassertemperatur ist nicht

ausschliesslich bestimmt durch die am betreffenden Orte herrschende Lufttemperatur, vielmehr ist sie abhängig von allen Einflüssen, denen das Wasser bis zur Messtelle unterliegt. Ebenso verhält es sich mit der irgend an einer Stelle gemessenen Wassermenge. Auch sie ist abhängig von der Summe aller Einflüsse bis zur Messtelle. Der Einfluss der Temperatur auf die Wassermenge kann in gewissen Fällen ein ganz bedeutender sein. Infolge der orographisch-geologischen Gestaltung des Flussgebietes bildet sich an vielen Gewässern, in mehr oder weniger bedeutendem Masse Flusseis.

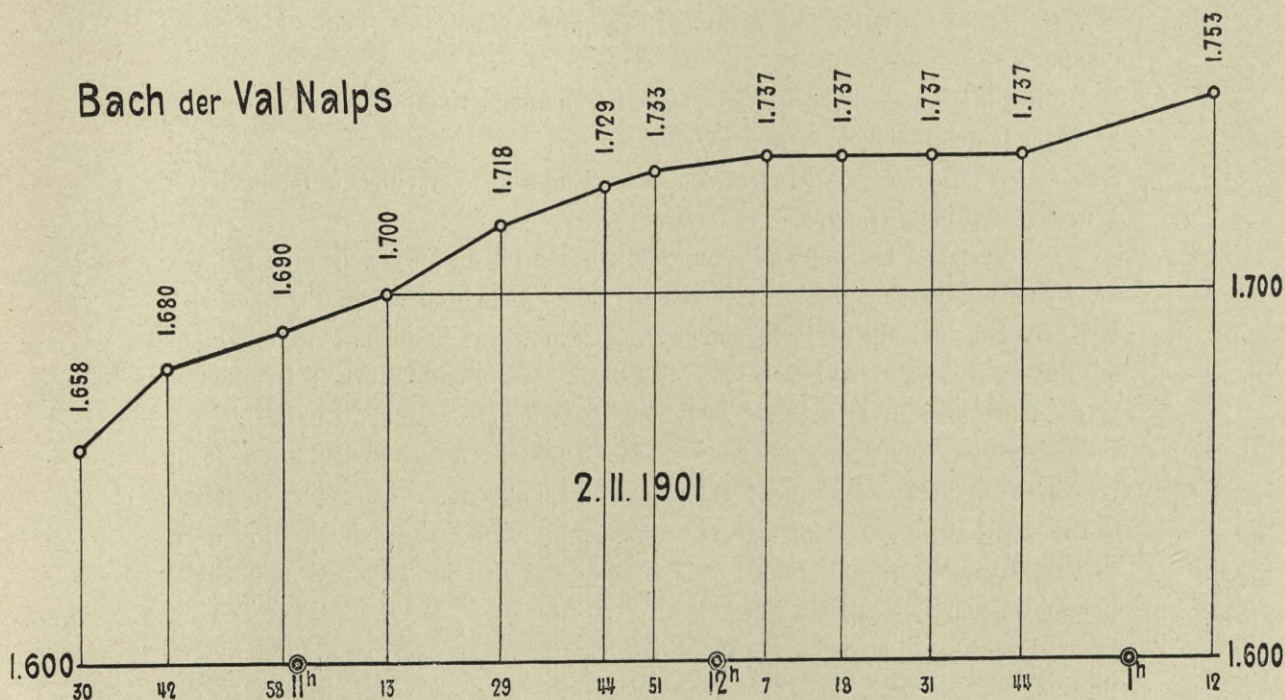


FIG. 23.

Beide Arten von Flusseis, nämlich das Oberflächeneis und das Grundeis, spielen zu gewissen Zeiten eine ganz hervorragende Rolle. Das *Oberflächeneis* ist durchsichtig und entsteht mehr an ruhigen, seichten Stellen, in fließenden Gewässern, meist zuerst an den konkaven Stellen des Uferrandes. Anfangs bildet es dünne Plättchen, die unter weiterer Einwirkung von Frost bis zu dicken Platten anwachsen und eine feste Oberflächenschicht zu bilden vermögen. Das *Grundeis*, im eigentlichen Sinne des Wortes, ist das am Grunde der Gewässer auftretende Eis. Es hat loses, schwammiges Gefüge und gleicht mehr durchnässten Schneemassen, als dem an der Oberfläche des Wassers entstandenen Eis, welches feste, weisse Schichten bildet.

Ingenieur Dr. Lüscher aus Aarau unterscheidet dreierlei Arten von Grundeis<sup>1</sup>:

1. Das « blätterige Grundeis ».
2. Das « körnige Grundeis ».
3. Das « Galerteis ».

Das Grundeis entsteht nach Dr. Lüscher, mit geringen Ausnahmen, aus den im Wasser treibenden, an dessen Oberfläche erstarrten Eiskristallen, deren Gruppierung geschieht sodann:

*Gesetzmassig* unter Einwirkung der Molekularkräfte beim *blätterigen Grundeis*.

*Mechanisch* mit ungleichartiger Orientierung der Kristalle und unter Einwirkung der Regelation beim *körnigen Grundeis*.

*Unter Mitwirkung der Grenzflächen-Spannung* verschieden temperierter Wasserblasen beim *Galerteis*.

Der Verfasser hat während seiner vieljährigen Praxis oft Gelegenheit gehabt, die Bildung des Grundeises zu erforschen. Seine Ansichten darüber decken sich fast ganz mit denjenigen von Ingenieur Dr. Lüscher. Nur in einem Punkte kann er mit ihm nicht einig gehen; es betrifft dies die Bildung des blätterigen Grundeises an der Flussole. Dieser Art der Entstehung, die nach Dr. Lüscher nur in seltenen Fällen vor sich gehen kann, misst der Verfasser eine viel grössere Bedeutung bei. Der Grund, weshalb Lüscher dieser Bildungsart nur unbedeutenden Wert beimisst, dürfte darin zu suchen sein, dass seine Beobachtungen hauptsächlich an grossen Strömen, diejenigen des Verfassers fast ausnahmslos an viel kleineren, hauptsächlich an Gebirgsbächen, vorgenommen wurden. Nun ist ja der Einfluss der Temperatur der Luft ein ungleich grösserer bei den Gebirgsbächen als bei Flachlandflüssen.

Die Temperatur des Wassers kühlt sich zunächst an seiner Oberfläche durch die niedrige Temperatur der Luft auf 0° ab und teilt sich dann durch die Bewegung des Fliessens, durch Wirbel und Anprall allen übrigen Teilen des Wasser-Querschnittes mit. An der Sohle ist die Geschwindigkeit des Wassers am kleinsten, an einzelnen Stellen gleich null, die weniger oder gar nicht gestörte Kristallisation kann vor sich gehen, mit andern Worten, die Möglichkeit der Bildung von blätterigem Grundeis ist vorhanden.

Wenn wir nun einen Gebirgsbach ins Auge fassen und ihn mit den Flüssen im Mittellande oder Flachlande vergleichen, so unterscheiden sich die beiden in erster Linie durch das Gefälle. Bei den im Mittel- und Unterlande auftretenden Gewässern ist im Winter bei grösserem Gefälle eine allerdings nur kleine, aber messbare

<sup>1</sup> *Die Entstehung des Grundeises*. Aarau, 1906.

Temperaturzunahme nachgewiesen worden. Bei den Gebirgsbächen, wohlverstanden auch im Winter bei Lufttemperaturen unter  $0^{\circ}$ , wird dies nur selten der Fall sein. Eine Temperaturerhöhung bei grösseren Gefällen hängt von der Beschaffenheit der Sohle ab. Ist die Sohle verhältnismässig fein, so muss die nämliche Erscheinung wie im Mittellande, nur in erhöhtem Masse zu Tage treten; ist sie rauh, uneben, mit grossen Blöcken besät, so findet eine Temperaturerhöhung in der Regel nicht statt, sondern das Gegenteil. Je unregelmässiger, unebener die Sohle beschaffen ist, desto unruhiger wird sich die Wasserspiegelfläche gestalten und desto grösser wird die Oberfläche und auch der Wechsel der mit der Luft in Berührung gelangenden Wasserteile sein. Die Einwirkung der Luft auf das Wasser ist deshalb eine viel intensivere, namentlich bei geringer Tiefe des Bachprofils. Sobald sich die Temperatur der Oberflächenschicht auf  $0^{\circ}$  abgekühlt hat, überträgt sie sich alsbald auf die untern Schichten. Dazu kommt noch, dass namentlich an Stellen mit grossem Gefäll eine Kohlensäureabgabe und stärkere Verdunstung stattfindet, alles Erscheinungen, die eine Erwärmung des Wassers durch den Einfluss des grossen Gefälles mehr als aufheben lassen.

In der Nachfolge geben wir nun einige typische Beispiele, die dem Leser den grossen Einfluss der Eisbildung auf die Abflussmenge deutlich vor Augen führen.

Die Plessur, ein Seitenbach des bündnerischen Rheines, gehört zu denjenigen Gewässern, deren Einzugsgebiete bis in die Region des Hochgebirges reichen. Trotzdem weist das ganze Gebiet, abgesehen von einer nur  $0.05 \text{ km}^2$  grossen Fläche im Welsch Tobel keinen Gletscher auf. Dagegen wird die Plessur namentlich in ihrem obern Laufe von Seen und Quellen stark gespeisen. Sie durchfliesst von Arosa herkommend, zunächst in nördlicher Richtung bis Langwies, dann in westlicher Richtung bis zur Mündung in den Rhein unterhalb Chur ein vielfach bewaldetes, tief eingeschnittenes Tal, das der Einstrahlung der Sonne zur Winterzeit ihre volle Wirksamkeit versagt. In Langwies nimmt sie als wichtigen Zufluss den Sapünerbach auf, etwas oberhalb Chur am untern Ende des Meiersbodens die von Churwalden herkommende Rabiosa. Etwas unterhalb der Rabiosa, « Im Sand », wird die Plessur für die Ausnützung ihrer Wasserkräfte zu industriellen Zwecken gefasst und zunächst vereinigt als « Mühlbach », später geteilt als « Oberthorer-Mühlbach » und « Stadt-Mühlbach » weitergeleitet. Auch die Rabiosa wird unterhalb Araschga für industrielle Zwecke ausgenützt. Eine Talsperre ermöglicht das überschüssige Wasser in einem natürlichen Kessel zu sammeln. Wassermessungen an der Plessur unterhalb der Einmündung der Rabiosa stehen deshalb unter dem Einflusse des Rabiosawerkes. Ausnahmsweise an Sonntagen kommt es vor, dass das Werk so wenig Kraft abzugeben hat, dass normale Abflussverhältnisse eintreten.

Die Plessur gehört nun infolge der Lage ihres Einzugsgebietes zu denjenigen Gewässern, die in den Wintermonaten in ihrem untern Laufe Flusseis in bedeutenden Quantitäten bildet. Direkte Beobachtungen über den Beginn, den Verlauf und das Ende der jährlich eintretenden Flusseisperioden sind nicht durchgeführt

worden. Dagegen ist das Stadtbauamt Chur genötigt, während der ganzen Flusseisperiode eine Anzahl Arbeiter, mit der Reinigung des Einlaufes des Mühlbaches und des letztern selbst zu beschäftigen.

Die vom « Rechenmeister » der Stadt sorgfältig aufgezeichneten Arbeitstage liefern uns über die Dauer dieser Eisperioden ein getreues Beobachtungsmaterial. Ueber die Lufttemperaturen der zugehörigen Perioden orientieren uns die Veröffentlichungen der eidg. meteorologischen Centralstation in Zürich.

Zählen wir nun von der ersten negativen Tagestemperatur aus, die in der Frostperiode vor der Eisbildung auftritt bis zum Eintritt des Eises die Tage und bilden daraus für mehrere Winter ein Mittel, so stellt dasselbe die *mittlere Frostdauer* vor der Eisbildung dar. Ermitteln wir für die Frostdauer jedesmal die Durchschnitt-Temperatur und bilden aus den herangezogenen Fällen das Mittel, so erhalten wir den *mittleren Frostgrad* vor der Entstehung des Flusseises.

In der nachstehenden Tabelle sind nun einerseits die Aufzeichnungen des Rechenmeisters der Stadt Chur, (Eintritt des Flusseises und Dauer der Flusseisperiode), anderseits der erste Frosttag, die Frostdauer und der Frostgrad tabellarisch zusammengestellt.

Winter	Erster Frosttag	Eintritt des Flusseises	Frostdauer	Frostgrad	Dauer der Flusseisperiode
1883/1884	5. Dezember	7. Dezember	2 Tage	— 2.6	5 Tage
1884/1885	29. Dezember	7. Januar	9 Tage	— 4.3	24 Tage
1885/1886	8. Januar	10. Januar	2 Tage	— 2.3	5 Tage
1886/1887	21. Dezember	2. Januar	12 Tage	— 3.3	5 Tage
1886/1887	10. Januar	12. Januar	2 Tage	— 3.3	11 Tage
1886/1887	7. Februar	10. Februar	3 Tage	— 4.8	3 Tage
1886/1887	14. Februar	18. Februar	4 Tage	— 4.8	2 Tage
1887/1888	19. Dezember	23. Dezember	4 Tage	— 4.1	15 Tage
1887/1888	11. Januar	16. Januar	5 Tage	— 2.9	10 Tage
1887/1888	27. Januar	30. Januar	3 Tage	— 3.9	6 Tage
1888/1889	1. Januar	5. Januar	4 Tage	— 3.9	5 Tage
1888/1889	13. Januar	28. Januar	15 Tage	— 3.8	4 Tage
1888/1889	21. Februar	25. Februar	4 Tage	— 5.0	2 Tage
1889/1890	28. Növenber	1. Dezember	3 Tage	— 2.5	8 Tage
1889/1890	13. Dezember	14. Dezember	1 Tag	— 2.4	5 Tage
1889/1890	30. Januar	3. Februar	4 Tage	— 3.9	4 Tage
1889/1890	27. Februar	2. März	3 Tage	— 5.0	5 Tage
1890/1891	6. Dezember	12. Dezember	6 Tage	— 4.7	9 Tage
1890/1891	22. Dezember	27. Dezember	5 Tage	— 7.1	4 Tage
1890/1891	3. Januar	7. Januar	4 Tage	— 3.5	16 Tage
1890/1891	5. Februar	6. Februar	1 Tag	— 2.1	6 Tage
1891/1892	18. Dezember	21. Dezember	3 Tage	— 9.2	4 Tage
1892/1893	21. Dezember	26. Dezember	5 Tage	— 2.3	28 Tage
1892/1893	2. Februar	6. Februar	4 Tage	— 5.9	6 Tage
1893/1894	22. Dezember	1. Januar	10 Tage	— 5.4	8 Tage
1894/1895	24. Dezember	27. Dezember	3 Tage	— 6.6	5 Tage
1894/1895	22. Januar	28. Januar	6 Tage	— 3.0	8 Tage
1895/1896	5. Januar	10. Januar	5 Tage	— 3.5	6 Tage

1895/1896	19. Januar	29. Januar	10 Tage	— 3.4	2 Tage
1896/1897	— —	— —	— —	— —	— —
1897/1898	20. Dezember	22. Dezember	2 Tage	— 4.8	8 Tage
1898/1899	21. Dezember	23. Dezember	2 Tage	— 4.0	7 Tage
1899/1900	8. Dezember	13. Dezember	5 Tage	— 7.6	8 Tage
1900/1901	2. Januar	5. Januar	3 Tage	— 4.8	5 Tage
1900/1901	7. Februar	14. Februar	7 Tage	— 4.5	10 Tage

Im 18jährigen Mittel ergibt sich für die Frostdauer eine Zeit von rund 5 Tagen und für den Frostgrad eine Temperatur von  $-4,3^{\circ}$  C. Der Eintritt der Flusseis-Bildung fällt in die Monate Dezember, Januar, Februar und März. Von 34 Flusseisperioden entfallen auf den Monat Dezember 12, Januar 14, Februar 7 und auf den Monat März 1. Die Variationen der einzelnen Werte der Frostgrade (Minimum  $2,0^{\circ}$ , Maximum  $9,2^{\circ}$ ) und der Frostdauer (Minimum 1 Tag, Maximum 15 Tage) sind sehr grosse. Es rührt dies davon her, dass nicht nur anhaltend tiefe Temperaturen, sondern auch scharfes, kurzes Frostwetter das mehr oder weniger abgekühlte Wasser zur Eisbildung bringen kann. Die Temperatur des Wassers beim Beginn der Frostperiode ist natürlich von wesentlichem Einflusse. Ist die Temperatur eine verhältnismässig hohe, so wird eine strenge und anhaltende Kälteperiode notwendig sein, um die Eisbildung zu ermöglichen und umgekehrt.

Eine Uebersicht der Wassermessungen im Plessurgebiet, der zugehörigen Wasser- und Lufttemperaturen in Chur, während und nach der Flusseisperiode im Winter 1901 ist in nachstehender Fig. 24 graphisch dargestellt. Die zugehörigen Wassermessresultate folgen dieser Darstellung in tabellarischer Form.

# Übersicht der Wassermessungen im Plessurgebiet,

der zugehörigen Wassertemperaturen und der Lufttemperaturen in Chur während und nach der Flusseisperiode im Winter 1901.

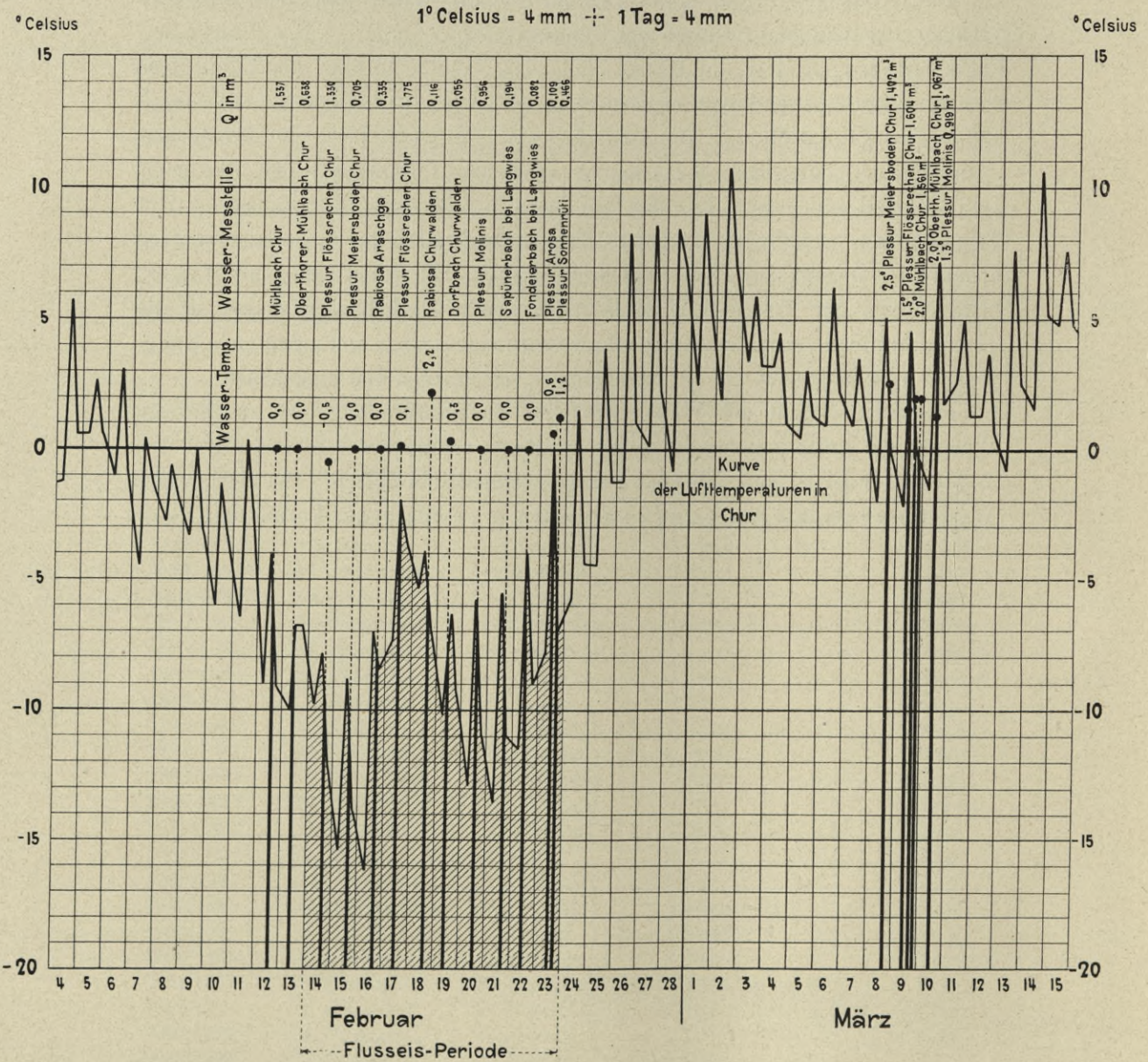


Fig. 24.



In die Flusseisperioden fallen die Messungen N° 1 bis 5, 7, 9 bis 13, 15 und 17. Flusseisbildung zur Zeit der Flügelmessungen oberhalb der Messungsstelle fand dagegen nur bei den Messungen N° 7, 12, 13 und 17 statt. Die Messprofile der Wassermessungen des Mühlbaches und der Plessur beim Flössrechen liegen unterhalb der Mündung der Rabiosa in die Plessur. Sie stehen infolgedessen unter dem Einflusse des Rabiosa-Staubeckens. Letzteres lieferte zur Zeit der Flügelmessung des Oberthorer-Mühlbaches mehr Wasser, zur Zeit der Messung der Plessur beim Flössrechen etwas weniger Wasser als die Rabiosa bei normalen Abflussverhältnissen. Wir wollen aus den vorangehenden Gründen von einer zahlenmässigen Verwertung dieser Messungen Umgang nehmen und nur soviel konstatieren, dass sich auch bei voller Mitberücksichtigung der Einflüsse des Rabiosawerkes Messung N° 12 ganz erheblich *kleinere* Wassermengen während der Eisperiode ergaben. Hinsichtlich der Messungen N° 7 und N° 8 der Plessur im « Meiersboden » bei Chur sei zunächst erwähnt, dass das Messprofil (unteres Ende des « Bodens ») von Grundeis gar nicht, von Ufereis nur wenig befreit werden musste. Diese Tatsache ist deshalb interessant, weil sich mehr wie 4 km aufwärts des « Meiersbodens » keine nur annähernd so günstige Messtelle vorfand. Eine verhältnismässig feine Sohle und offenbar das Hervortreten einer Quelle oder eines Grundwasserstromes, verhinderte auf die allerdings nur 6 m lange Strecke eine eigentliche Flusseisbildung. Der Flügelapparat funktionierte tadellos. Nur ausnahmsweise gelangte ein flussaufwärts der Messtelle losgelöster Eisschwamm in den Flügelapparat, so dass er gereinigt werden musste.

Die Lufttemperaturen am Messungstage (15. Februar 1901), der zugleich mit dem kältesten Tage des Jahres zusammenfiel, betragen: in Chur — 12,7° C, in Tschierschen — 18,7° C, in Arosa — 18,9° C, im Mittel — 16,8° C.

Diese aussergewöhnliche Kälte vermochte das Wasser der Plessur in den tief eingeschnittenen Schluchten bis weit in das Quellgebiet hinauf zur Eisbildung zu zwingen. Das Wasser blieb als festes Eis liegen. Durch die gewaltige Grundeisbildung wurde an vielen Stellen das Bett der Plessur gehoben, das Wasser musste seinen Weg über die Eisdecke des überfrorenen Bettes nehmen und gefror selbst teilweise wieder.

Stellen wir nun die Resultate der beiden Messungen im Meiersboden *mit* und *ohne* Flusseisbildung einander gegenüber, so ergeben sich folgende Zahlen:

Wassermenge der Plessur am 15. II. 1901

(starke Flusseisbildung im Einzugsgebiet)  $Q_1 = 0,630 \text{ m}^3 \text{ pro Sek.}$

Wassermenge der Plessur am 8. III. 1909

(normale minimale Verhältnisse)  $Q_2 = 1,138 \text{ m}^3 \text{ pro Sek.}$

Differenz  $Q_2 - Q_1 = 0,508 \text{ m}^3 \text{ pro Sek.}$

Ergebnisse der Wassermessungen

No der Messung	DATUM der Messung			NAME DES GEWÄSSERS	ORT DER MESSUNG	Mittlere Wasserspiegelhöhe im Messungsprofil Hm m	Durchflussfläche F m <sup>2</sup>	Wassermenge pro Sekunde Q m <sup>3</sup>	Maximale Geschwindigkeit Vmax m	Mittlere Geschwindigkeit Vm = Q/F Vm m	Mittleres relatives Wasserspiegelgefälle J	Koeffizient $c = \frac{V_m}{\sqrt{RJ}}$ c	Rauhigkeitsgrad $n = \frac{b \cdot c - a}{ac \cdot 2} + \sqrt{\frac{b \cdot c - a}{ac \cdot 2}}$ n
	Jahr	Monat	Tag										
1	1901	II	23	Plessur	Arosa	9.730	0.274	0.109	0.509	0.398	0.003824	16.29	0.0361
2	1901	II	23	Plessur	Sonnenrüti (bei Langwies)	9.627	1.193	0.466	0.786	0.391	0.002737	14.46	0.0464
3	1901	II	22	Fondeier-Bach	Langwies	9.566	0.203	0.082	0.691	0.403	0.004477	29.31	0.0212
4	1901	II	21	Sapüner-Bach	Langwies	9.529	0.449	0.194	0.748	0.432	0.003655	17.38	0.0350
5	1901	II	20	Plessur	Molinis	9.680	1.809	0.956	1.120	0.528	0.004683	13.35	0.0533
6	1901	III	10	Plessur	Molinis	9.664	1.821	0.919	1.136	0.505	0.006030	11.32	0.0615
7	1901	II	15	Plessur	Meiersboden (bei Chur)	9.810	1.541	0.705	0.691	0.457	0.009348	9.33	0.0672
8	1901	III	8	Plessur	Meiersboden (bei Chur)	9.901	1.918	1.402	1.196	0.731	0.008126	14.46	0.0488
9	1901	II	19	Landwasser	Churwalden	9.661	0.156	0.055	0.601	0.353	0.000903	37.16	0.0165
10	1901	II	18	Rabiosa	Churwalden	9.644	0.202	0.116	0.981	0.574	0.001724	25.18	0.0232
11	1901	II	16	Rabiosa	Araschga	9.608	0.372	0.335	1.020	0.900	0.012725	17.58	0.0366
12	1901	II	14	Plessur	Chur (Flossrechen)	9.688	2.547	1.330	0.865	0.522	0.003174	15.91	0.0458
13	1901	II	17	Plessur	Chur (Flossrechen)	9.692	2.630	1.775	1.032	0.675	0.003861	18.36	0.0407
14	1901	III	9	Plessur	Chur (Flossrechen)	9.650	2.382	1.604	1.080	0.673	0.003893	19.17	0.0382
15	1901	II	12	Unterthor-Mühlbach	Chur	9.483	1.812	1.537	1.060	0.848	0.000637	48.85	0.0179
16	1901	III	9	Unterthor-Mühlbach	Chur	9.496	1.831	1.561	1.028	0.853	0.000700	46.71	0.0187
17	1901	II	13	Oberthor-Mühlbach	Chur	9.830	0.786	0.638	1.204	0.811	0.004450	22.72	0.0326
18	1901	III	9	Oberthor-Mühlbach	Chur	9.836	0.835	1.067	1.845	1.278	0.004795	32.42	0.0242

Aus den Ergebnissen der Wassermessungen abgeleitete extreme Werte

Mittlere Temperatur des Wassers während der Messung t <sub>w</sub> °C	BESCHAFFENHEIT DER WÄNDUNGEN		Beschaffenheit der Sohle	Einzugsgebiet E km <sup>2</sup>	Abflussmenge pro Sekunde und pro km <sup>2</sup> q L	DATUM des minimalen Wasserstandes			Korrespondierende Wasserstandshöhe im Messungsprofil Hmin m	Durchflussfläche F m <sup>2</sup>	Relatives Wasserspiegelgefälle Mittel J	Durch Messung bestimmter Rauheitsgrad n	Koeffizient $c = \frac{1}{23 + \frac{0.00155}{n} + \frac{0.00155}{j}} \sqrt{\frac{n}{R}}$ c	Mittlere Geschwindigkeit Vm = c √RJ Vm m	Minimale Wassermenge pro Sekunde Qmin m <sup>3</sup>	Minimale Abflussmenge pro Sekunde und pro km <sup>2</sup> qmin L
	Linkes Ufer Material	Rechtes Ufer Material				Jahr	Monat	Tag								
0.6	Stein	Stein	Feiner Kies	20.13	5.41	1901	IV	1	9.714	0.252	0.003824	0.0361	15.93	0.376	0.095	4.72
1.2	Stein	Stein	Grober Kies	65.47	7.12	1901	III	11	9.616	1.150	0.002875	0.0464	14.32	0.391	0.450	6.87
0.0	Stein	Stein	Feiner Kies	17.06	4.81	1901	II & III	27, 3, 15	9.561	0.196	0.004477	0.0212	29.04	0.393	0.077	4.51
0.0	Stein	Stein	Feiner Kies	35.78	5.42	1901	II	21	9.529	0.449	0.003655	0.0350	17.38	0.432	0.194	5.42
0.0	Stein	Stein	Mittlerer Kies	138.63	6.90	1901	III	6	9.654	1.680	0.004683	0.0533	13.05	0.500	0.840	6.06
1.3	Stein	Stein	Mittlerer Kies	138.63	6.63	1901	III	6	9.654	1.771	0.006030	0.0615	11.22	0.495	0.877	6.33
0.0	Stein	Felsen	Feiner Kies	206.99	3.41	1901	II	15	9.800	1.487	0.008505	0.0672	9.22	0.424	0.630	3.04
2.5	Stein	Felsen	Feiner Kies	206.99	6.77	1901	III	9	9.875	1.778	0.006985	0.0488	14.13	0.640	1.138	5.50
0.3	Stein	Stein	Feiner Kies	21.52	2.56	1901	II	19	9.661	0.156	0.000903	0.0165	37.16	0.353	0.055	2.56
2.2	Stein	Felsen	Feiner Kies	28.41	4.08	1901	II	19	9.642	0.199	0.004274	0.0232	25.11	0.570	0.413	3.98
0.0	Brett	Brett	Brett	50.54	6.63	1901	II	16	9.568	0.333	0.011597	0.0366	17.18	0.810	0.270	5.34
-0.5	Kies	Kies	Mittlerer Kies	261.05	5.09	1901	II	14	9.658	2.329	0.002899	0.0458	15.50	0.467	1.088	4.17
0.4	Gefrorener Kies	Gefrorener Kies	Kies	261.05	6.80	1901	II	24	9.651	2.333	0.002893	0.0407	17.74	0.534	1.246	4.77
1.5	Kies	Kies	Kies	261.05	6.14	1901	III	9	9.646	2.353	0.003893	0.0382	19.11	0.667	1.569	6.01
0.0	Holz	Holz	Holz	—	—	1901	II	24	9.443	1.726	0.000585	0.0179	48.54	0.796	1.374	—
2.0	Holz	Holz	Holz	—	—	1901	II	24	9.443	1.726	0.000585	0.0187	46.32	0.760	1.312	—
0.0	Mauer	Mauer	Kies	—	—	1901	II	24	9.443	1.726	0.000585	0.0183	47.40	0.778	1.343	—
2.0	Mauer	Mauer	Kies	—	—	1901	II	13	9.807	0.750	0.004275	0.0326	22.52	0.804	0.603	—
						1901	II	24	9.731	0.666	0.004304	0.0242	31.27	1.087	0.724	—

*Die Plessur lieferte während der Flusseisperiode im Februar 1901 nur 55% der normalen winterlichen Abflussmenge.*

Hiezu ist ferner zu bemerken, dass die Wasserspiegellöhe im Messprofil während der Flügelmessung vom 15. Februar 1901 im Steigen begriffen war. Die Messung fand nicht in der Zeit der tiefsten Tages-Temperatur und auch nicht bei der minimalen Wassermenge statt. Die Reduktion der Wassermenge auf das wirklich eingetretene Minimum würde unfehlbar noch einen grösseren Betrag als 55 % erreicht haben.

Aus dem Vorausgehenden sehen wir, dass Gewässer mit Flusseisbildung neben dem gewöhnlichen Wassermengen-Minimum noch ein aussergewöhnliches Minimum aufweisen. Wie lange dasselbe anhält und wie oft es sich wiederholt, ist an Hand der Beobachtungen nicht möglich festzustellen. Voraussichtlich haben wir es auch bei diesen Bächen mit einer Art von täglicher Schwankung zu tun, die mit der Aenderung der Temperatur, allerdings mit einer zeitlichen Verspätung, je nach der Lage der Messtellen, parallel läuft. Die beiden durchgeführten Messungen der Plessur in Molinis vom 20. Februar (A) und 10. März 1901 (B) beweisen uns aber, dass das Eintreffen solcher aussergewöhnlicher Minima nur zu gewissen Zeiten, an bestimmten Stellen, unter ganz speziellen Umständen und sehr wahrscheinlich nur während kurzer Dauer stattfindet. Trotzdem die Messung A in die Flusseisperiode von Chur fällt, nicht aber Messung B, ergab Messung B ein um  $0.956 - 0.919 = 0.037 \text{ m}^3$  kleineres Resultat. Sowohl während der Messung A als B fand im Bereiche der Messtellen eben keine Flusseisbildung statt (die Messungen wurden um die Mittagszeit durchgeführt), deshalb konnte sich auch keine kleinere Wassermenge einstellen. Das Zurückgehen der Wassermenge vom 20. Februar auf den 10. März 1901 trägt gar nichts abnormales an sich, weil der Erguss der Quellen oftmals bis weit in den Monat März und April hinein und noch später abnimmt.

Vergleichen wir nun noch die Wassertemperaturen der einzelnen Messungen miteinander, so ergibt sich auf den ersten Blick, dass die Temperaturen während der Flusseisperiode kleiner sind, als nach derselben. Die weitaus geringere Wasserführung bei der Gefriertemperatur tritt unverkennbar hervor. Am 14. Februar 1911 wurde während der Messung der Plessur unterhalb der Einmündung der Rabiosa eine Wassertemperatur von  $-0,5^\circ \text{ C}$  nachgewiesen. Das auf  $\frac{1}{5}^\circ \text{ C}$  eingeteilte, durch den ehemaligen Direktor der eidg. Eichstätte, Herrn Ris, geprüfte Thermometer, wurde nicht nur vom Verfasser, sondern auch von seinem Gehülften, Techniker Stumpf, im Wasser beobachtet. Ein Fehler in der Ablesung und in der Einteilung des Thermometers ist deshalb ausgeschlossen. Es ist nun zunächst zu untersuchen, auf welche Ursachen diese Abweichung zurückzuführen ist. Was den Fehler der Ablesung anbelangt, so kann derselbe  $\frac{1}{5}^\circ \text{ C}$  nicht überschreiten. Durch den Einfluss der Eisbildung und die Einwirkung des mineralhaltigen Wassers der Passugger Quellen, die teilweise oberhalb der Messtelle der Plessur zufließen, lässt

sich diese Erscheinung nicht genügend erklären. Die Tatsache, dass fließendes Wasser Temperaturen unter  $0^{\circ}$  haben kann, konnte aber einwandfrei nachgewiesen werden und soll vorderhand auch ohne genügende Angabe der Ursachen festgestellt werden.

Auch an der Sihl in Sihlbrugg hat der Verfasser Gelegenheit gehabt, eine Wassermessung während der Grundeisbildung durchzuführen. Die normale minimale Wassermenge der Sihl beträgt rund  $2.00 \text{ m}^3$  pro Sek.; am 8. Januar 1901 bei Grundeisbildung kamen nur noch  $1.195 \text{ m}^3$  pro Sek. zum Abflusse.

Leider lassen sich die aussergewöhnlichen Minima während der Flusseisperiode an Hand von Pegelbeobachtungen nicht nachweisen. Durch die Eisbildungen wird nämlich fast ausnahmslos die Flusssohle gehoben, das Profil seitlich eingengt, so dass den kleinsten Wassermengen nicht die kleinsten, sondern höhere Pegelstände entsprechen. Solche Minima können also nur an Hand direkter Flügelmessungen einwandfrei nachgewiesen werden.

### c) Lawinen.

*Binna, Ausserbinn.* — Am 21. Februar 1903 führte der Verfasser eine Minimalwassermessung der Binna bei Ausserbinn durch, 150 m flussaufwärts des Steges unterhalb dem Dorfe. Mit der Flügelmessung wurde um 12 h 45 p bei einem Pegelstande von 9,711 m begonnen. Abgesehen von ganz kleinen Schwankungen in der Wasserspiegelhöhe hielt dieser Stand bis um 2 h 23 p an. Hernach begann sich der Wasserspiegel plötzlich zu senken. Er erreichte um 2 h 43 p seinen tiefsten Stand (9,615 m), begann wieder zu steigen bis er 2 h 52 den höchsten (9,758 m) und 3 h 18 p wieder seinen normalen Stand von 9,711 m erreicht hatte.

Zwischen Ausserbinn und Binn war eine kleine Lawine niedergegangen, die einen Teil der Wassermenge zeitweise zurückhielt. Die Resultate der Messungen für die mittlere Wassermenge vor und nach dem Niedergang (Pegelstand 9,711 m) und für den tiefsten Stand während des Rückstaus (Pegelstand 9,615 m) sind folgende :

Ordentliche minimale Wassermenge am 21. II. 1903 12 h 45 p-2 h 23 p und 3 h 18 p-4 h 3 p  
(Pegelstand 9.711 m)

$$Q = 1,227 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 11.44 \text{ l pro km}^2 \text{ (E} = 107.246 \text{ km}^2\text{)}.$$

Aussergewöhnlich kleines Minimum am 21. II. 1903 2 h 43 p (Pegelstand 9.615 m)

$$Q = 0,684 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde} = 6.38 \text{ l pro km}^2.$$

An Hand von nachträglich zur Durchführung gelangten Beobachtungen ist

am 21. Februar 1903 ein Pegelstand von 9,685 m konstatiert worden, dem eine minimale Abflussmenge von 1,055 m<sup>3</sup> pro Sek. (9,84 l pro km<sup>2</sup>) entspricht.

Aus obigen Daten ist ersichtlich, dass die aussergewöhnlich kleine Minimalwassermenge der Binna, verursacht durch den Niedergang einer Lawine, nur halb so gross ist als die normale minimale Abflussmenge am nämlichen Tage und rund 1 1/2 mal kleiner als die kleinste im nämlichen Jahre aufgetretene.

*Albula, Pegelstation Alvaneubad.* — Am Morgen des 7. März 1901 hielt eine Lawine aus dem « Wiesener Schafthäli » herkommend, das Wasser des « Landwassers » zurück. Die Wasserspiegelhöhe im Messprofil am Abend vor der Messung (6. März 1901) betrug 941,837 m. Am andern Morgen 8 h 8 a war sie bis 941,773 m zurückgegangen; um 9 h 30 a erreichte sie einen Stand von 941,754 m. Unmittelbar darauf erfolgten erst ein rapides Steigen, bis 9 h 45 a, hernach ein ganz langsames bis auf die Cote von 941,847 m (1 h 45 p).

$E_1 =$  Einzugsgebiet der Pegelstation Alvaneubad = 469,672 km<sup>2</sup>.

$E_2 =$  Einzugsgebiet der Pegelstation Alvaneubad vermindert um das Einzugsgebiet des Landwassers bis und mit dem Bach aus dem « Wiesener Schafthäli » = 227,023 km<sup>2</sup>.

Während der Tiefstandperiode und der normalen Periode gelangten je eine Flügelmessung zur Ausführung, die folgende Resultate zeitigten:

*Aussergewöhnliches Minimum* vom 7. März 1901, berechnet aus der mittleren Wasserspiegelhöhe von 8 h 8 a-9 h 30 a. Mittlere Wasserspiegelhöhe = 941,764 m.

Wassermenge pro Sekunde :  $Q = 2.539$  m<sup>3</sup>

$q_1 = 5.41$  l pro Sek. pro km<sup>2</sup>. ( $E_1 = 469.672$  km<sup>2</sup>).

$q_2 = 11.18$  l pro Sek. pro km<sup>2</sup>. ( $E_2 = 227.023$  km<sup>2</sup>).

berechnet aus dem tiefst gemessenen Stand vom 7. März 1901, 9 h 30 a. Wasserspiegelhöhe = 941,754 m.

Wassermenge pro Sekunde :  $Q = 2.382$  m<sup>3</sup>

$q_1 = 5.07$  l pro Sek. pro km<sup>2</sup>.

$q_2 = 10.49$  l pro Sek. pro km<sup>2</sup>.

Gewöhnliches Minimum vom 7. März 1901, berechnet aus der mittleren Wasserspiegelhöhe von 10 h 30 a-1 h 45 p :

Mittlere Wasserspielhöhe 941.841 m  $Q = 3.911$  m<sup>3</sup> Sek.

$q_1 = 8.33$  l pro Sek. pro km<sup>2</sup>.

Gewöhnliches Minimum an Hand der Beobachtungen nach Durchführung der Flügelmessungen :

# Landwasser Davos-Platz

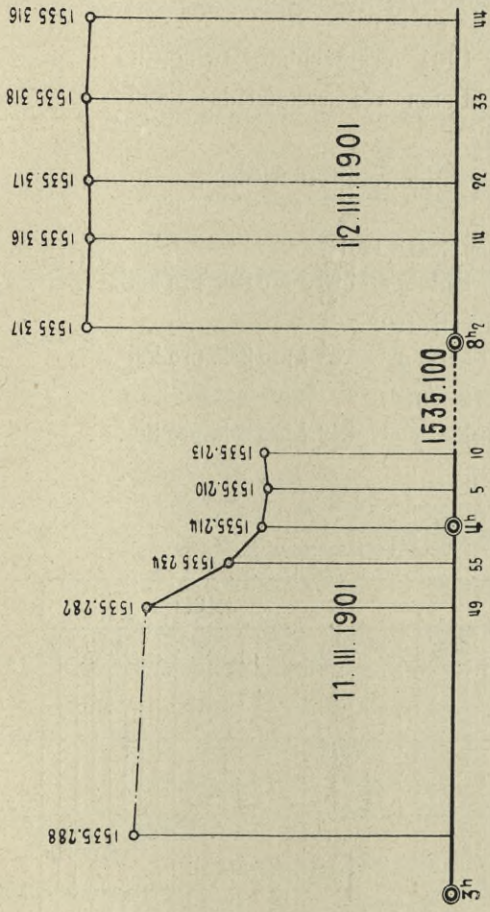


FIG. 25.

# Albula Alvaneubad

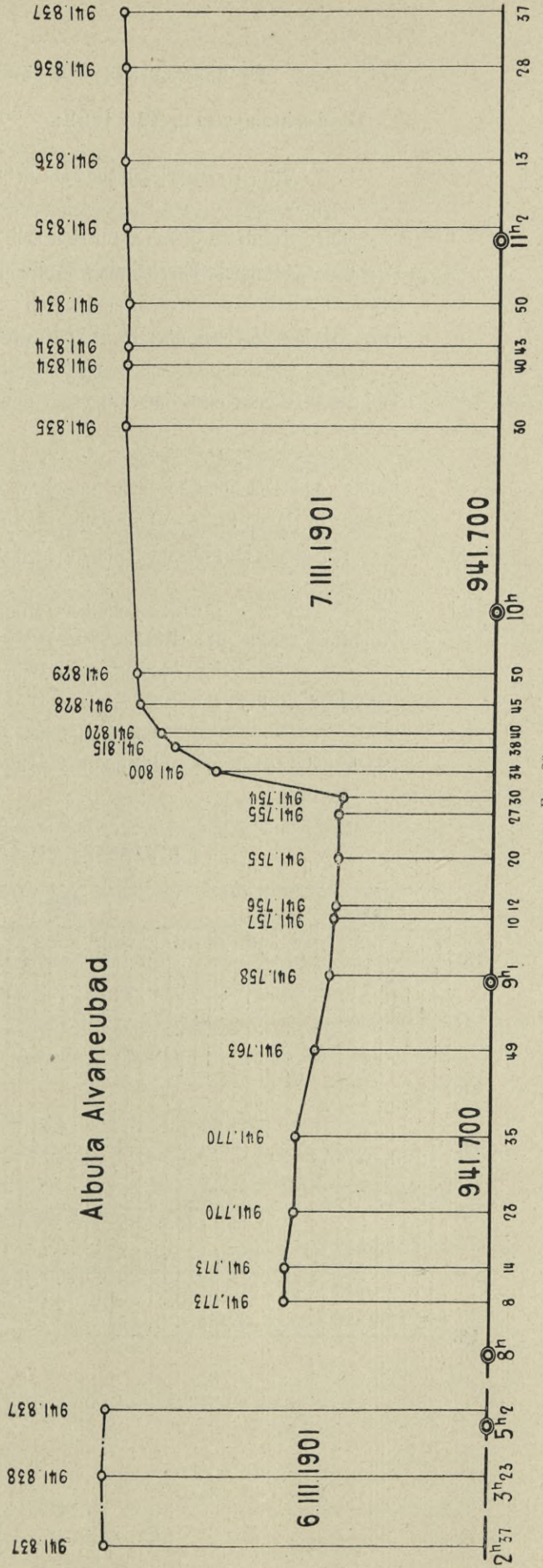


FIG. 26.

Beobachtung vom 9. März 1901 :

Mittl. Wasserspiegelhöhe 941.828 m ü. M.  $Q = 3.647 \text{ m}^3 \text{ Sek.}$   
 $q = 7.76 \text{ l pro Sek. pro km}^2.$

Obige Resultate sprechen für sich selber. (Siehe Fig. 26.)

Eine auffallende Erscheinung ist die, dass durch den Niedergang der Lawine das Zurückhalten der Wassermenge wohl zur Geltung kommt, ein nachträgliches *beträchtliches* Wachsen aber nicht konstatiert werden kann.

Diese auffallende Erscheinung findet ihre Erklärung darin, dass ein grösserer Teil des Wassers vom Schnee aufgesogen und gänzlich zurückbehalten wird.

*Landwasser, Davos-Platz.* — Am 11. März 1901 verursachten Lawinen im Flüela- und Dischmatale einen aussergewöhnlich tiefen Wasserstand des Landwassers in Davos-Platz. (Vergleiche Fig. 25 und 27.)

Wir geben im Folgenden nur die nachstehenden Messresultate wieder :

Aussergewöhnliches Minimum am 11. III. 1901

Pegelstand 2.384 m  $Q = 0.214 \text{ m}^3/\text{Sek.}$   $E = 110.957 \text{ km}^2$   $q = 1.93 \text{ l pro Sek. pro km}^2.$

Gewöhnliches Minimum am 12. III. 1901

Pegelstand 2.481 m  $Q = 0.597 \text{ m}^3/\text{Sek.}$   $E = 110,957 \text{ km}^2$   $q = 5.38 \text{ l pro Sek. pro km}^2.$

Jahres Minimum am 18. III. 1901

Pegelstand 2.460 m  $Q = 0.498 \text{ m}^3/\text{Sek.}$   $E = 110,957 \text{ km}^2$   $q = 4.49 \text{ l pro Sek. pro km}^2.$

### Landwasser Davos-Platz

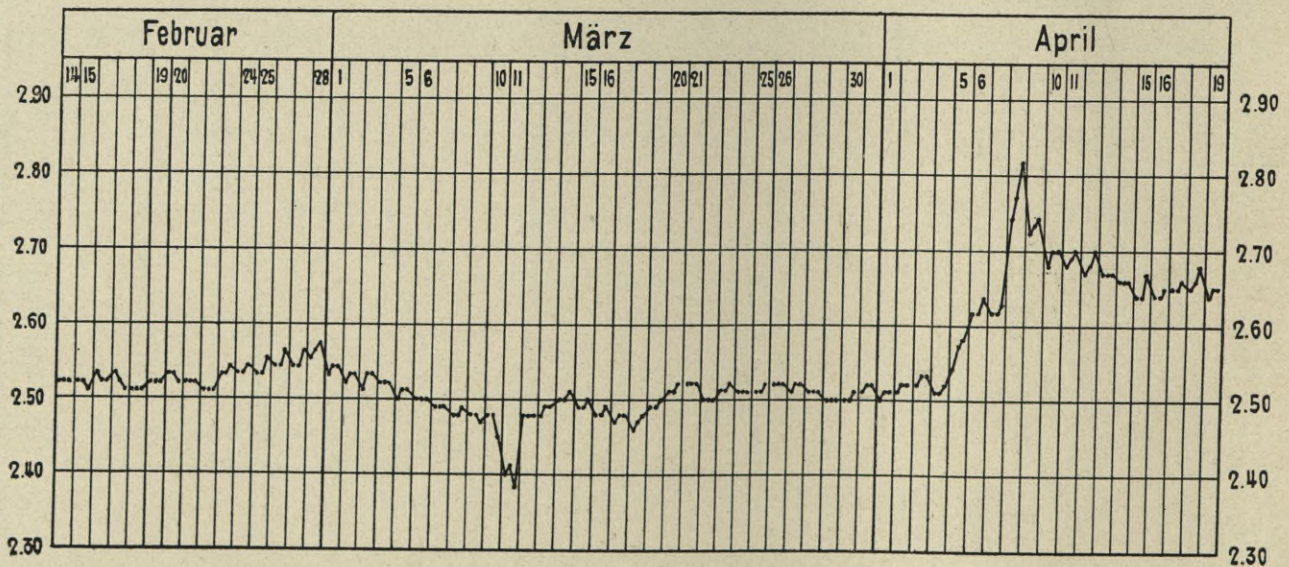


FIG. 27.

d) **Versickerung.**

Ein Teil der atmosphärischen Niederschläge kehrt durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre zurück, ein anderer Teil wird von der Pflanzenwelt aufgesogen und ein letzter Teil vollendet seinen Kreislauf, indem er den Gesetzen der Schwere gehorchend, teils oberirdisch abfließt, teils in die Tiefe versickert.

Das Wasser, das sich auf der Erdoberfläche befindet, wird *Tagwasser*, dasjenige unter der Erdoberfläche *Bodenwasser* genannt.

Das Bodenwasser setzt sich zusammen aus dem Grundwasser, der Berg- und Bodenfeuchtigkeit; letztere unterscheiden sich durch die Gestalt und Art der Hohlräume, in der sie sich aufhalten, voneinander. Dr. Ing. O. Smreker<sup>1</sup> unterscheidet im Untergrunde drei Arten von Zwischenräumen :

1. *Nichtkapillare Zwischenräume.* Es sind dies solche Zwischenräume, die so gross sind, dass sie ein messbares Aufsteigen des Wassers durch die Kapillarität (Aufsteigen und Zusammenfliessen des Wassers in den engen Spalten und Hohlräumen des Untergrundes) nicht mehr zulassen.

2. *Kapillare Zwischenräume.* Es sind dies solche Zwischenräume, die durch ihre Abmessungen und das enge Aneinanderschliessen gleichgearteter Hohlräume ein Aufsteigen des Wassers durch kapillare Wirkungen und damit auch ein Festhalten dieses unter der Wirkung der Kapillarität stehenden Wassers an den Bodenteilchen ermöglichen.

3. *Poren,* die sich in jedem Material finden und auch noch dem kleinsten Teil des Materials eigentümlich sind.

Die Schichten des Untergrundes besitzen in der Regel alle drei Arten von Zwischenräumen. Das Gesamtvolumen der Hohlräume für einen gewissen Teil des Untergrundes wird das Porenvolumen genannt.

Unter Bergfeuchtigkeit versteht man nun das in den Poren eines Materials, unter Bodenfeuchtigkeit das in den kapillaren Zwischenräumen festgehaltene Wasser. Ist der Grund mit Bodenfeuchtigkeit gesättigt, so nennt man seine Wassermenge die Wasserkapazität.

« Das in den nichtkapillaren Hohlräumen des Untergrundes befindliche tropfbar-flüssige, der Einwirkung der Schwerkraft gehorchende, den kapillaren Einwirkungen der umgebenden Bodenteilchen entrückte und einen zusammenhängenden Spiegel bildende Wasser wird Grundwasser genannt.

Unter Sickerwasser ist solches Grundwasser zu verstehen, das durch direkte Versickerung atmosphärischer Niederschläge oder von Tagwässern entstanden ist und sich noch annäherungsweise an seinem Entstehungsort befindet. Dieses Sicker-

<sup>1</sup> SMREKER, O. *Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung.* Leipzig, 1914.



wasser findet sich daher nur in geringer Entfernung von der Erdoberfläche und zeichnet sich in der Regel durch geringe Härte aus. » (Smreker.)

Je nach der Fähigkeit des Bodens, Grundwasser aufzunehmen, unterscheidet man *durchlässige* und *undurchlässige* Schichten. Erstere sind solche, die nicht-kapillare Zwischenräume, letztere solche, die nur kapillare Zwischenräume und Poren besitzen. Hinsichtlich der Versickerungs- und Kondensationstheorien verweist der Verfasser wiederum auf die ungemein interessante Arbeit Smrekers, der die vorstehenden Erläuterungen in der Hauptsache entnommen sind.

Ueber die Erscheinungen des Grundwassers (artesische Brunnen, Quellen etc.) soll hier nicht näher eingetreten werden. Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Tag- und Grundwasser erwähnen wir noch kurz aus Smrekers Arbeit folgendes :

« In Tälern, die keine oberflächlichen Wasserläufe aufweisen und in den wasserführenden Schichten von Gebieten, die von Flüssen weit entfernt liegen, bleibt das Grundwasser ohne jede Berührung mit dem Tageswasser; in Flusstälern, wo sich der Fluss in seinem Bette, das Grundwasser aber in den das Bett bildenden Bodenschichten, in der Regel Geschiebe, bewegt, wird eine Wechselwirkung zwischen Grund- und Tagwasser eintreten müssen, wenn das Flussbett durchlässig ist. Bei undurchlässigem Bette ist dies jedoch nicht der Fall und kann das Grundwasser in solchen Fällen, trotz der unmittelbaren Nähe des Flusswassers, von diesem unabhängig seinen Gang vollziehen.

Die Sickerwassermenge verändert sich nach den Niederschlagshöhen, der Entwässerungstiefe, den Jahreszeiten, der Bodenart und vor allem der Bodenbedeckung. Kahler Boden liefert mehr Sickerwasser als der mit Vegetation bedeckte Boden. Die Unterschiede sind natürlich im Winter am geringsten, im Sommer am grössten.

Das in den Boden einsickernde Wasser wird zunächst in Bodenfeuchtigkeit umgesetzt. Entsprechend der Wasser-Kapazität des Bodens wird das Sickerwasser je nach dem Grad und der Dauer der Niederschläge ganz oder nur teilweise zurückgehalten.

Hört der Regen auf, so verliert der Untergrund durch Verdunstung einen Teil seiner Bodenfeuchtigkeit, er ist also im Stande, wieder Wasser aufzunehmen. Hält der Regen nicht solange an, bis die Wasserkapazität des Bodens erreicht ist, so kann der Grundwasserstrom durch solche kurze Niederschläge auch nicht gespiesen werden, da eben nur ein Teil der atmosphärischen Niederschläge ihn speist.

Tritt unterhalb der wasserdurchlässigen Schicht dem Sickerwasser eine undurchlässige entgegen, so sammelt sich das Wasser nach und nach auf dieser Schicht an, es bildet eine unterirdische zusammenhängende Wasseransammlung. Je nach dem vorhandenen Gefälle, dem Streichen der undurchlässigen Schicht der Wassermenge, der Profilgrösse, des Grundwasserbettes und namentlich der Beschaffenheit der durchlässigen Schicht ist die Bewegung des Grundwassers infolge

des Einflusses der Schwere eine mehr oder weniger grosse. Sind die undurchlässigen Schichten muldenförmig gelegen, so nimmt die Höhe des Grundwassers, sofern die Wasserkapazität des Bodens erreicht ist, mit der Niederschlagsmenge stetig zu; sind sie geneigt, so bewegt sich das Grundwasser, sobald es genügend gestiegen ist, in der Richtung des Gefälls abwärts. Das Grundwasser bildet also wie das Tageswasser unterirdische Bäche, Flüsse, Ströme und Seen in allen Dimensionen. »

R. Heinrich hat in seinem Werke « Die Wasserkapazität des Bodens. Grundlehre zur Beurteilung der Ackerkrume, Wismar, 1882 » die Beschaffenheit des Bodens nach seiner Durchlässigkeit folgendermassen geordnet: Grobes Geröll, Schotter und grober Kies, feiner Kies, reiner scharfer Sand, feiner sogenannter Schwemmsand, aufgefüllter Boden (nämlich Humus, Bauschutt, Lehm und dgl. gemischt) Mutterboden, mit Lehm gemischter Sand und Kies, gewöhnlicher sandiger Lehm (Löss), fetter Lehm, Ton, Mergel und endlich festes gesundes Gestein.

*Der Einfluss der Versickerung macht sich nun auch besonders in der minimalen Abflussmenge bemerkbar.* — Im allgemeinen findet zwischen den freiabfliessenden Wassermassen und dem Grundwasser ein so vielfacher Ausgleich statt, dass sich in Wirklichkeit die Frage, wie viel Wasser in das Grundwasser übergetreten ist, nur in wenigen Fällen und erst nach eingehenden Studien beantworten lässt.

Bei hohen Ständen speist in der Regel der offene Wasserlauf den Grundwasserstrom, bei tiefen Ständen ist das Umgekehrte der Fall.

Für die einzelnen Messtellen kommt die Art der Beschaffenheit des Grund und Bodens in Betracht. Sie kann auch in gebirgigem Terrain auf kurze Strecken eine sehr wechselvolle sein, wie aus folgenden Erscheinungen hervorgeht.

Messungen des *Görbsbaches unterhalb Kunkels und bei Vättis*. (Flussgebiet der Tamina, Kanton St. Gallen.)

*Mess-Resultate vom 20. Februar 1902:*

Görbsbach, Kunkels:  $Q = 0,054 \text{ m}^3 \text{ pro Sek.}$ ;  $E = 15,06 \text{ km}^2$ ;  $l = 3,58 \text{ l. pro km}^2$ .

Görbsbach, Vättis:  $Q = 0,189 \text{ m}^3 \text{ pro Sek.}$ ;  $E = 25,66 \text{ km}^2$ ;  $l = 7,36 \text{ l. pro km}^2$ .

Die bedeutende Differenz der beiden Messresultate vom nämlichen Tage, im Betrage von  $0,189 - 0,054 = 0,135 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde}$  — die Messtellen liegen verhältnismässig nahe beieinander, nennenswerte Zuflüsse zwischen denselben sind keine vorhanden — ist der grossen Durchlässigkeit des hauptsächlich aus Kies und Sand bestehenden Bodens im Gebiete von Kunkels zuzuschreiben.

*Morges bei Conthey, Sitten.* — Künstliche Einbauten, namentlich kleinere und grössere Wehre, Sperren, wie sie sich in oft primitivster Form an fast jedem Gebirgsbache für den Betrieb von Sägen, Mühlen, u.s.w. vorfinden, sind für die

Versickerung besonders geeignet. Nur allzugerne kommt der Techniker in die Versuchung, oberhalb von solchen Stellen minimale Wassermessungen vorzunehmen. Durch den künstlichen Stau wird das Gefälle, allerdings nur auf eine kurze Strecke, reduziert. Die Sohle ist oft bedeutend regelmässiger, die Wellenbildung eine kaum bemerkbare, der Zeitaufwand für die Herstellung des Messprofils ein bedeutend kleinerer, kurz und gut, die Bedingungen, die man an ein gutes Flügelmessprofil stellt, sind äusserst günstige, aber ein Teil des Wassers geht durch Versickerung verloren, also aufgepasst.

Als Beispiel für vorliegenden Fall führen wir die Wassermessungen an der *Morges bei Conthey, Sitten* an :

Am 1. Oktober 1912 ist zur Bestimmung der Wassermenge der Morges von Direktor Dr. L. W. Collet, Prof. Dr. R. Mellet und dem Verfasser ein Vergleichsversuch nach der Messmethode mit dem elektr. Flügel ( $Q = 0,463 \text{ m}^3$  pro Sek.) und mit der Salzlösung ( $Q = 0,504 \text{ m}^3$  pro Sek.) durchgeführt worden. Das Ergebnis der Flügelmessung ist um  $8,1 \%$  kleiner ausgefallen als dasjenige der Messung mit der Salzlösung. Die meist im felsigen Gebiete liegende Messstrecke für die Methode mit Salzlösung lag ca. 50 m bachaufwärts der Flügelmesstelle. Letztere wurde ca. 10 m oberhalb eines kleinen Wehres für die Wasserfassung des Bewässerungskanals für die Gemeinde Conthey durchgeführt. Die Sohle des Messprofils bestand aus feinem Sand und Kies. Sowohl die Flügel-, als auch die Salzmessung sind aufs sorgfältigste ausgeführt worden.

Dr. Collet führte die Ursache dieser grossen Differenz im Betrage von  $0,504 - 0,463 = 0,041 \text{ m}^3$  pro Sekunde auf die Durchlässigkeit des Bodens der Messstelle mit dem Flügel zurück. Um hierüber unzweideutig Klarheit zu schaffen, sind am 18. Oktober 1912 an der alten Messtelle (I) und 200 m oberhalb im felsigem Terrain (II) zur nämlichen Zeit zwei Flügelmessungen durchgeführt worden, die die Vermutung von Dr. Collet bestätigen. Das Resultat der Messung in felsigem Terrain ergab  $0,547 \text{ m}^3$  pro Sek., dasjenige im alten, kiesigen Boden, unmittelbar oberhalb des kleinen Wehres  $0,518 \text{ m}^3$  pro Sek. Die Differenz im Betrage von  $0,547 - 0,518 = 0,029 \text{ m}^3$  pro Sek. =  $5,6 \%$  der Wassermenge im Profil II ist mithin unzweifelhaft der Durchsickerung des Bodens im Gebiete des Profils I zuzuschreiben.

An der *Clemgia im Scarl-Tale bei Schuls (Unterengadin)* ist am 5. März 1909 (Messung I) und am 2. März 1907 (Messung II) je eine Wassermessung zur Zeit der kleinsten Wasserführung durchgeführt worden. Die Bezeichnung der Messtellen und die zugehörigen Resultate sind folgende :

Messung I. 5. März 1909. Messtelle : *Scarl-Tal*, 260 m bachaufwärts der Mündung der Val Trigl, ungefähr 6,5 km talaufwärts der Mündungsstelle.

$Q = 0,538 \text{ m}^3$  pro Sek.  $E = 91,62 \text{ km}^2$ .  $q = 5,87 \text{ l}$  pro Sek. und pro  $\text{km}^2$ .

Messung II. 2. März 1907. Messtelle : *Schuls*, Wasserfassung des Elektrizitätswerkes, ungefähr 800 m oberhalb der Mündungsstelle.

$Q = 1,395 \text{ m}^3$  pro Sek.  $E = 111,02 \text{ km}^2$ .  $q = 12,57 \text{ l}$  pro Sek. und pro  $\text{km}^2$ .

Die Clemgia liefert somit bei der Wasserfassung für das Elektrizitätswerk Schuls mehr als die doppelte Wassermenge als im Scarl-Tal oberhalb der Mündung des Val Trigl. Während im Bereiche der Messtelle I die Sohle und die Wandungen des Tales vielfach aus Geröll, Rufe und dergleichen bestehen, liegt die Messtelle II in einer eigentlichen Felsschlucht, in der sich sämtliches Wasser des Scarl-Tales vereinigt vorfindet. Die Differenz der beiden Messungen ist in erster Linie der bedeutenden Versickerung im Bereiche der Messtelle I zuzuschreiben.

Im Gebiete der *Reuss und ihrer Seitenbäche oberhalb des Vierwaldstätter-sees* sind im Winter 1905 eine Anzahl Wassermessungen zur Ausführung gelangt, deren Resultate einen Wasserverlust von  $0,51 \text{ m}^3$  pro Sekunde durch Versickerung zwischen Erstfeld und Amsteg feststellten. Die diesbezüglichen Daten sind :

a) Reuss bei Wassen. Seerüti. 7. II. 1905	$Q = 2,95 \text{ m}^3$ pro Sek.
b) Summa der Seitenbäche von Wassen bis Amsteg	$Q = 1,38 \text{ m}^3$ pro Sek.
Berechnete Wassermenge der Reuss bei Amsteg : $Q = a + b$	$= 4,33 \text{ m}^3$ pro Sek.
(Gornerbach $0,12 \text{ m}^3$ , Fellibach $0,15 \text{ m}^3$ , Inschialpbach $0,03 \text{ m}^3$ , Leutschachbach $0,06 \text{ m}^3$ und Kärstelenbach $1,02 \text{ m}^3$ .)	
Gemessene Wassermenge der Reuss bei Amsteg am 10. II. 1905	$= 4,64 \text{ m}^3$ pro Sek.

Die beiden Resultate stimmen, unter Berücksichtigung, dass zwischen Wassen und Amsteg noch eine Anzahl Wasseradern, die der Reuss zufließen, nicht gemessen wurden, überein.

c) Eine Wassermessung der Reuss bei Erstfeld am 14. Februar 1905 ergab	$= 4,58 \text{ m}^3$ pro Sek.
d) Die Summe der Zuflüsse zwischen Amsteg und Seedorf bei Altdorf	$= 1,01 \text{ m}^3$ pro Sek. <sup>1</sup>
Berechnete Wassermenge der Reuss bei Seedorf : $Q = c + d$	$= 5,59 \text{ m}^3$ pro Sek.
Gemessene Wassermenge der Reuss bei Seedorf am 16. Febr. 1905	$= 5,04 \text{ m}^3$ pro Sek.

Während der Durchführung der Wassermessungen im Februar 1905 zeigten sich in der Wasserführung der Reuss und ihrer Seitenbäche nur unbedeutende Schwankungen. Die teilweise höher gelegene Sohle des Flussbettes der Reuss gegenüber dem anstossenden Terrain und die Beschaffenheit des Bodens ermöglichen eine Versickerung.

Die Differenz im Betrage von  $5,59 - 5,04 = 0,55 \text{ m}^3$  pro Sekunde ist deshalb eine Folge der Durchlässigkeit des Bodens zwischen den beiden Messtellen von Erstfeld und Seedorf.

<sup>1</sup> Alpbach  $0,03 \text{ m}^3$ , Bockibach  $0,04 \text{ m}^3$  und Schächenbach  $0,94 \text{ m}^3$ .

Ein ungemein interessantes Beispiel über die Grösse der Versickerung bildet das *Thurgebiet zwischen Alt-St. Johann und Stein*. Resultate :

### Gewässer : Thur.

Station : *Alt-St. Johann (Horb)*.  
Steinerne Brücke beim Armenhaus.  
Einzugsgebiet E = 58.57 km<sup>2</sup>

Station : *Stein*.  
97 m unterhalb der Strassenbrücke.  
Einzugsgebiet E = 90.65 km<sup>2</sup>

#### Mittlere minimale monatliche Tageswassermenge der Periode 1910-1913.

	<i>Q</i>	<i>q</i>	<i>Q</i>	<i>q</i>	Differenz <i>Q</i>
	m <sup>3</sup>	l	m <sup>3</sup>	l	m <sup>3</sup>
Januar	0.46	7.85	0.47	5.18	+ 0.01
Februar	0.41	7.00	0.41	4.52	—
März	0.67	11.44	0.67	7.39	—
April	1.25	21.34	1.38	15.22	+ 0.13
Mai	2.28	38.93	2.60	28.68	+ 0.32
Juni	4.25	72.56	4.30	47.44	+ 0.05
Juli	2.45	41.83	3.10	34.20	+ 0.65
August	1.63	27.83	1.37	15.11	— 0.26
September	1.09	18.61	1.04	11.47	— 0.05
Oktober	0.56	9.56	0.59	6.51	+ 0.03
November	0.62	10.59	0.78	8.60	+ 0.16
Dezember	0.61	10.41	0.84	9.27	+ 0.23
Jahresmittel der Periode 1910-1913	3.84	65.56	4.44	48.98	

Aus vorstehender Tabelle geht hervor, dass die mittlere minimale monatliche Tageswassermenge der Thur in Stein in m<sup>3</sup> pro Sek., trotz des um 90,65 — 58,57 = 32,08 km<sup>2</sup> grössern Einzugsgebietes in den Monaten Januar, April bis Juli und Oktober bis Dezember nur wenig mehr, im Februar und März gleich viel, in den Monaten August und September sogar weniger Wasser liefert als dasjenige von Alt-St. Johann. Sogar im mittleren Monatsmittel der Periode 1910-1913 liefert die Thur in Stein nur 4,44 — 3,84 = 0,60 m<sup>3</sup> pro Sek. mehr Wasser als in Alt-St. Johann.

Dr. L. Horwitz stellt in seiner bedeutenden Arbeit über die *Wasserführung des alpinen Rheins*<sup>1</sup>, bei der Station *Felsberg oberhalb Chur* einen Verlust der Abflussmenge fest, den er auf ungefähr 15 m<sup>3</sup> pro Sek. im jährlichen Mittel = ungefähr 15 ‰ der totalen Abflussmenge einschätzt. Für die Erklärung zieht

<sup>1</sup> *Sur une particularité de l'écoulement du Rhin alpin*. Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. Lausanne, 1913.

Horwitz hauptsächlich die Veränderlichkeit der Rheinsohle, die also nur einen scheinbaren Verlust herbeigeführt hätte, und die Versickerung herbei. Er weist nach, dass der Verlust im Sommer — also bei hohen Ständen — grösser ist als im Winter bei tiefen Ständen. Das zu *lückenhafte* Material, namentlich in Hinsicht auf die Sohlenveränderungen, gestattet ihm leider nicht, definitive Schlüsse zu ziehen. Hierzu ist eine Spezialstudie notwendig, die die Durchführung einer Serie gleichzeitiger Wassermessungen und Sohlenaufnahmen an mehreren Stationen bedingt.

## II. KAPITEL.

### Die winterlichen Abflussmengen der Gletscher.

#### A. — Allgemeines.

Die Bestimmung der Wasserführung der Gletscherbäche im Winter bildet eine der interessantesten und schwierigsten Aufgaben der Landeshydrographie. Der Verfasser hat persönlich einen Grossteil der hiezu notwendigen Messungen durchgeführt. Eine Anzahl solcher Messungen konnte direkt an den Gletschertoren, oder dann unmittelbar unterhalb derselben durchgeführt werden. Wo die Sohlenverhältnisse des Gletscherbaches die Herstellung eines einwandfreien Messprofils nicht zuließen oder wo die Schnee- und Eismassen die Messungen an solchen Stellen verunmöglichten, wurde immer versucht, das noch bestmögliche Ergebnis zu gewinnen. Keine Mühe wurde gescheut und manche Gefahr ausser Acht gelassen, um dieses Ziel zu erreichen.

Die Resultate dieser winterlichen Messungen ergeben für die Gletscherbäche mit stark vergletschertem Einzugsgebiet, im Vergleich zu den Abflüssen benachbarter, weniger oder fast nicht vergletscherteter Einzugsgebiete, ganz besonders *kleine* Abflussmengen (Vergleiche Tabellen, Seiten 332-335). Wassermessungen an der Massa, dem Ausflusse des Grossen Aletschgletschers stellten so kleine Abflussmengen fest, dass sich der Verfasser zur Ergründung dieser Tatsache veranlasst sah, seine Studien am Märjelsee auch auf die winterlichen Zuflussverhältnisse auszudehnen. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf Kapitel XI, Seite 95, und resümieren nur kurz folgende Tatsachen: Das winterliche Wasser des Seitentales der Märjelenalp (Einzugsgebiet 3 km<sup>2</sup>) vereinigt sich, wenigstens teilweise, im See und wird durch die Eiswand des Grossen Aletschgletschers, sofern kein Ausbruch eintritt, zurückgehalten. Es gelangt also *nicht* zum Abflusse. Aus den direkten Messungen und den Niveauschwankungen des Sees ergibt sich eine

sek. Zuflussmenge von rund 4 l pro km<sup>2</sup>. Der Märjelensee übt somit auf die winterlichen Abflussmengen der Massa einen Einfluss aus. Diese Tatsache veranlasste den Verfasser, in einem besondern Abschnitt den Einfluss der Gletscher auf die winterliche Abflussmenge etwas näher zu behandeln.

### B. — Die Abflussmengen der Gletscher im Sommer.

Auch müssen hier noch, bevor wir auf diesen Gegenstand näher eintreten, die Abflussmengen der Gletscher im Sommer berührt werden. Dies einerseits, um das Verhalten des Gletschers in der eigentlichen Schmelzperiode darzustellen, und damit andererseits den Uebergang und die Wirkung im Winter zu verstehen.

Die Rhone oberhalb des Genfersees darf ein selten typisches Gletscherwasser genannt werden. Bei einem Gesamtflächeninhalt des Rhonegebietes bei der Mündung in den See von 5220 km<sup>2</sup> beträgt die Gletscheroberfläche 932.96 km<sup>2</sup>; somit sind 17.9 % des Einzugsgebietes Gletscher.

Dementsprechend sind auch ihre Abflussverhältnisse besondere und verschieden, beispielsweise von denjenigen des Rheins im bündnerischen Gebiet. (Flächeninhalt des Rheines bis und mit der Tamina: 4454.53 km<sup>2</sup>, hievon Firn- und Gletscheroberfläche: 167.41 km<sup>2</sup>; Vergletscherung in % des Gesamt-Einzugsgebietes: 3,8.) Die Unterschiede in der Grösse des Einzugsgebietes und in den Niederschlagsverhältnissen sind nicht allein ausschlaggebend, sondern die Rhone verdankt ihr Regime ohne Zweifel, wenigstens für bestimmte Perioden, in erster Linie den in ihrem Flussgebiet in grosser Ausdehnung vorhandenen Gletschern. Ihr Einfluss ist namentlich in den Sommer- und Herbstmonaten deutlich erkennbar und gelangt schon für das gewöhnliche Auge durch die weisslich-grüne Farbe des Gletscherwassers zum Ausdruck. Beim bündnerischen Rhein beschränken sich die etwas länger andauernden höheren Wasserstände in der Hauptsache auf die Zeit der jährlichen Schneeschmelze. Hernach bleibt er, abgesehen von den durch die jeweiligen Niederschläge verursachten Anschwellungen des Wasserstandes, ziemlich niedrig. Ganz andere Verhältnisse finden wir im Rhonegebiet. Die Mittelwasser dehnen sich über den ganzen Sommer und einen Teil des Herbstes aus, je nach dem Grad der Temperaturen, beziehungsweise der Wirkung der Ablation. Folgende Tabelle gibt als Beispiel die mittleren Abflussmengen der Jahre 1904 und 1905 des Rheins bei Tardisbrücke (Landquart, Kanton Graubünden) und der Rhone in Porte du Scex, etwas oberhalb ihrer Einmündung in den Genfersee. Die soeben geschilderten Verhältnisse gelangen darin deutlich zum Ausdrucke.



## Mittlere Abflussmengen bei Tardisbrücke und Porte du Scex.

MONAT	1904				1905			
	RHEIN TARDISBRÜCKE		RHONE PORTE DU SCEX		RHEIN TARDISBRÜCKE		RHONE PORTE DU SCEX	
	Mittel		Mittel		Mittel		Mittel	
	Q m <sup>3</sup> pro Sek.	q l pro km <sup>2</sup>	Q m <sup>3</sup> pro Sek.	q l pro km <sup>2</sup>	Q m <sup>3</sup> pro Sek.	q l pro km <sup>2</sup>	Q m <sup>3</sup> pro Sek.	q l pro km <sup>2</sup>
Januar	31,7	7,44	37,6	7,20	32,2	7,56	34,8	6,67
Februar	28,2	6,62	50,9	9,75	31,8	7,47	22,5	4,31
März	28,7	6,74	46,2	8,85	36,5	8,57	33,7	6,46
April	111,2	26,11	151,7	29,06	63,7	14,95	73,6	14,10
Mai	334,5	78,53	316,2	60,58	184,3	43,27	148,0	28,36
Juni	432,3	101,49	517,9	99,23	378,4	88,83	331,7	63,55
Juli	192,2	45,12	487,7	93,44	268,5	63,03	492,2	94,30
August	81,8	19,20	376,3	72,10	241,2	56,60	428,6	82,12
September	96,9	22,75	183,6	35,18	172,2	40,43	269,9	51,71
Oktober	62,5	14,67	85,1	16,30	90,0	21,13	111,6	21,38
November	50,7	11,90	47,9	9,18	71,2	16,72	78,6	15,06
Dezember	40,8	9,58	38,0	7,28	45,8	10,75	52,8	10,12
Mittel	124,6	29,25	195,4	37,44	135,1	31,72	174,2	33,38

Einzugsgebiete : Tardisbrücke = 4259,62 km<sup>2</sup> (Vergletscherung 3,9 ‰).

Porte du Scex = 5219,33 km<sup>2</sup> (Vergletscherung 17,9 ‰).

Hinsichtlich der maximalen Abflussmengen ist ein zahlenmässiger Vergleich recht schwierig, was namentlich aus den nachfolgenden grösstbekanntesten Abflussmengen der Rhone bei Gampenen und Porte du Scex, der Aare bei Brienzwiler, der Reuss bei Seedorf und der Thur bei Andelfingen ersichtlich ist.

	Einzugsgebiet.	Datum.	Wassermenge in m <sup>3</sup> pro Sekunde.	In 1 pro Sekunde und pro km <sup>2</sup> .	Flächeninhalte der Firne und Gletscher G in km <sup>2</sup> .	Vergletscherung in ‰ des Gesamt-Ein- zugsgebiets.
<i>Rhone bei Gampenen</i>	2260.2	10. VII. 1902	538	238.0	627.183	27.75
<i>Rhone bei Port du Scex</i>	5219.3	11. VII. 1902	1083	207.6	932.958	17.88
<i>Aare bei Brienzwiler</i>	553.5	15. VI. 1910	310	560.6	147.437	26.64
<i>Reuss bei Seedorf</i>	832.3	15. VI. 1910	433	520.1	112.596	13.53
<i>Thur bei Andelfingen</i>	1696.4	15. VI. 1910	1050	618.9	0.175	0.01

Es ist ja ohne weiteres klar, dass die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse für die Vergleichung der verschieden grossen Abflusskoeffizienten unterein-

ander in erster Linie ausschlaggebend sind. Versickerung, Verdunstung und das Retentionsvermögen der Gletscher folgen erst in zweiter Linie.

Nun besitzen wir gerade für das in den untern Lagen niederschlagsarme Rhonetal erst seit den letzten Jahren (wie bereits mitgeteilt) eigentliche Hochgebirgs-Messtationen. Die Ergebnisse dieser alpinen Stationen können der kurzen Beobachtungsdauer wegen für den vorliegenden Fall leider noch nicht Verwendung finden. Welch' eminent wichtige Rolle die im Winter in fester Form in den obern Höhenlagen akkumulierten Niederschlagsmengen auf die Abflussverhältnisse der Gewässer auszuüben vermögen, hierüber gibt uns Dr. Maurer in seiner Arbeit über die Entwicklung unseres meteorologischen Landesdienstes und seine Beziehung zur schweizerischen Wasserwirtschaft ein ungemein interessantes Beispiel. Er schreibt: « Aus den Beobachtungsregistern der Säntisstation ergeben sich für die Schneeschmelzung in heitern und sehr warmen Sommerperioden folgende Daten :

Für den 1.-8. Juni 1899 : eine Abschmelzung von 135 cm in 8 Tagen.

Für den 23.-30. Juni 1897 : eine Abschmelzung von 125 cm in 8 Tagen, im Mittel = 130 cm.

Als Winterschnee von der mittleren Dichte = 0.40 entspricht letzterer Schmelzbetrag von 130 cm in 8 Tagen einer Wasserhöhe von 520 mm. Es erhellt daraus deutlich, was für enorme Schmelzwassermengen in trockenen, heiteren, warmen Sommerperioden aus dem Hochgebirge in 2000-3000 m Höhe innerhalb weniger Tage flüssig gemacht werden können, ohne einen Tropfen Niederschlag. Es sind dies eigentliche « Schmelzwasserfluten », wie sie in rasch sich einstellenden Hochdruckgebieten über dem zentralen Alpengebiet zeitweilig unmittelbar mit der Sonnenwende, aufzutreten pflegen.

Die vorerwähnte Abschmelzperiode vom 23./30. Juni 1897 stellte sich so ausserordentlich rasch und intensiv ein, dass im Talbecken der Rhone zum Beispiel mit ihrem grossen zum Teil stark vergletscherten Einzugsgebiet ohne einen Tropfen Regen grosse Ueberschwemmung und Wassernot eintrat und innerhalb wenigen Tagen das Niveau des Genfersees bis Anfang Juli fast um 35 cm stieg! »

Aus obigem Beispiel ersehen wir so recht klar, Welch' gewaltige Niederschläge sich in fester Form in den höheren Lagen aufgespeichert vorfinden und Welch' grosse Rolle die Temperaturverhältnisse einnehmen können. Die Wassermenge der Gletscherbäche ändert eben stark nach der Witterung. Der Einfluss der Temperatur übertrifft denjenigen des Regens (Vergleiche : II. Teil, Kapitel VI und VII, Seiten 273-293). Die Speisung des Baches dauert immer noch eine gewisse Zeit, die hauptsächlich von der Grösse und dem Gefälle, von der Gliederung des Gletschers abhängig ist, fort. Vergleichen wir noch kurz die Schwankungen der Gletscherbäche mit denjenigen der Wildbäche und Quellbäche, so sind diejenigen der Gletscherbäche im Sommer in der Regel kleiner als die der Wildbäche schneefreier Gebiete, aber grösser als diejenigen der Quellbäche.

Die maximalen Wasserstände der Gletscherbäche sind eine Folge der höchsten

Sommertemperaturen, diejenigen der Wild- und Quellbäche fallen aber in der Regel mit den grössten Niederschlägen zusammen. Die Gletscherabflüsse unterscheiden sich ausserdem noch durch die tägliche Periode, die den Quell- und Wildbächen vollständig fehlen, sofern keine Schneeschmelze mehr vorhanden ist.

Im Winter sind die Schwankungen der Wildbäche am kleinsten, weil das Wasser, wenn überhaupt solches vorhanden, in der Regel vom Schnee aufgesogen wird, oder in Eis übergeht (gefriert) oder versiegt; diejenigen der Gletscher- und Quellbäche bleiben ungefähr dieselben, weil die Gletscherbäche, abgesehen von dem unbedeutenden Einfluss, den die winterliche Ablation, die Abschmelzung durch die Erdwärme und die Gletscherbewegung ausübt, nur von Quellen gespiesen werden. Somit nimmt der Gletscherbach, dessen Regime im Sommer dem Quellbach völlig gegenüber steht, im Winter die Eigenschaften des Quellbaches in der Hauptsache an. Die tägliche Periode gelangt in ganz verjüngtem Masse und nur noch an relativ warmen Tagen zum Ausdruck.

Treten wir nun der Frage etwas näher, wie sich der Gletscher gegenüber den Zuflüssen und Schmelzwasserbächen verhält, die sich an den Hängen des Gletschertales und auf dem Gletscher selbst bilden.

Aus den Niveauschwankungen des Märjelensees geht hervor, dass der Grosse Aletschgletscher zeitweise sämtliches Meteor- und Quellwasser seines Einzugsgebietes zurückhält.

Betritt man namentlich im Frühjahr und Sommer den Gletscher und untersucht ihn auf die Bildungsmöglichkeit solcher Retentionsbecken (See, Tümpel, Wasserlachen), so findet man eine Unmasse solcher vor. Techniker R. Boissier beobachtete am 29. und 30. Mai 1913, anlässlich einer Pegelinspektion auf dem Wege von Platten nach dem Märjelensee, eine Menge solcher kleiner Seen am Rande und auf dem Gletscher. Er fand im Aletschwald einen Randsee von mindestens  $70 \times 15$  m Grösse, — der Abfluss des Sees wurde durch das Eis des Gletschers verhindert — und am Fusse der Strahlhörner einen eigentlichen Eis-See. Dr. Collet entdeckte am 18. Juli 1913 einen kleinen Randsee am Fusse der Grüneck. Der Verfasser hat am 26. Oktober 1912 zwei grössere Randseen, der eine am Fusse des Olmenhornes (Flächeninhalt rund  $800 \text{ m}^2$ , maximale Tiefe rund 35 m), der andere am Fusse des Kranzberges, photographisch festgehalten, aber beide schon in ausgelaufenem Zustande (Vergleiche : I. Teil, Kapitel I, Seiten 3-17).

Aus obigen Beispielen und aus den im I. Teil, Kapitel I. enthaltenen Erläuterungen geht hervor, dass der Gletscher die Eigenschaft besitzt, einen Teil des Schmelz- und Quellwassers und der Niederschläge zeitweise zurückzuhalten.

Fragen wir uns nun noch weiters, wie sich der Gletscher gegenüber dem Eindringen von Flüssigkeiten verhält. Hierüber hat schon Agassiz auf dem Lauteraargletscher eingehende Versuche angestellt. Er wählte hiezu eine Gletscherstelle zwischen zwei tiefen Spalten, liess an der Wand der einen Spalte eine Treppe einhauen und bei 8 m Tiefe horizontal eine Gallerie in die Eismasse graben. An der

Oberfläche des Gletschers, senkrecht über der Gallerie, liess er eine Vertiefung herstellen, so dass die Dicke des Eiskörpers zwischen der Dicke der Gallerie und dem Grunde des Loches 5 m betrug. In das Loch schüttete er mittags, bei schönem Wetter des Monats Juli, gefärbtes Wasser. Zwei Stunden später zeigten sich an der Decke der Gallerie bereits einige Flecken, die gefärbte Flüssigkeit tröpfelte endlich auf den Boden der Gallerie und verlor sich in die Tiefe. Um nun zu wissen, wie die niedrige Temperatur der Nacht auf die Infiltration wirkt, begab sich Agassiz abends 9 Uhr nach der Gallerie. Das Thermometer zeigte an der Luft  $-0,6^{\circ}$  C. Ganz der gleiche Versuch wie tags zuvor wurde wiederholt, es zeigte sich, dass die gefärbte Flüssigkeit, statt wie mittags in *2 Stunden*, zur Durchsickerung des Eises jetzt nur *5 Minuten* brauchte. Die Durchsickerung fand somit auch bei niedriger Temperatur statt; die kleinere Durchsickerungsdauer lässt höchstens darauf schliessen, dass das Eis von der mittags eingegossenen Flüssigkeit noch durchtränkt war. Dieses Durchsickern durch das Gletschereis findet durch die sog. Haarspalten statt und da das eigentliche ausgebildete Gletschereis reichlichere Haarspalten enthält als das weisse Eis, so sickert das Wasser durch ersteres schneller als durch letzteres. Aus obigem geht hervor, dass der Gletscherkörper das Wasser nur langsam durchlässt und dass der Gletscher die in sich aufgenommenen Flüssigkeiten auch nur allmählich wieder abgibt. Es findet also eine allmähliche Aussickerung der im Sommer in den Haarspalten aufgespeicherten Wassermassen statt.

Nach den Bohrversuchen, die Hess und Blümcke am Hintereiserner angestellt haben, erscheint es allerdings fraglich, ob die in den Haarspalten verteilte Wassermenge der Adhäsion entsprechend ruhig bleibt oder ob eine beständige Strömung derselben infolge der Schwere stattfindet. Der Verfasser ist der Ansicht, die Gletschermasse besitze eine Aufnahmefähigkeit für Wasser. Die Versuche von Agassiz beweisen ihm mehr als die Bohrversuche von Hess und Blümcke und zwar deshalb, weil durch die Bohrungen die Seitenwände der Bohrlöcher eine unnatürliche Veränderung, eine gewisse Komprimierung erlitten haben.

Bei lange anhaltendem Regenwetter oder an heissen Sommertagen wird der Gletscherkörper auch stark mit Wasser durchtränkt und kann alsdann verhältnismässig weniger Wasser in sich aufnehmen. Da aber das Wasser, das nicht sofort vom Gletschereis aufgenommen wird, an der Gletscheroberfläche in kleinen Kanälen, oft auf grosse Strecken hinfliesst, bis es eine Spalte oder eine Mühle gefunden, in die es sich stürzt und daher lange mit dem Eis in Berührung bleibt, so sind die Wassermassen, die durch Spalten und unterirdische subglaziale Kanäle, ohne in den Gletscherkörper eingedrungen zu sein, gleichwohl stark reduzierte. Deshalb beobachtet man an der Gletscheroberfläche verhältnismässig wenig oberirdisch hinlaufendes Wasser, selbst in den heissesten Tagen des Sommers. Es ist dagegen klar, dass bei anhaltendem warmem Regenwetter und starken Regengüssen die Bäche an der Gletscheroberfläche stark anschwellen; ferner haben wir gesehen, dass sich an den Seiten der Gletscher, teils als Abfluss vom Gletscher selbst, teils

als Zufluss von den Seitenwandungen des Gletschertales, ganz bedeutende Wassermassen sammeln können. Die Wasseradern der Gletscheroberfläche, die nicht dem Gletscherrande zufließen, ergiessen sich aber früher oder später in Gletscherspalten und suchen in den inter- und subglazialen Kanälen ihren Abfluss, während das Wasser von den Gletscherseiten, soweit hinreichende Oeffnungen vorhanden sind, gleiche unterirdische Kanäle zum Abfluss benutzt oder stellenweise sich zu Wasserbecken und kleinen Seen sammelt, um allmählich oder erst nach Verlauf einer gewissen Periode abzufließen.

Mit dem Eingreifen des Schmelzwassers in den Gletscher treten wichtige Veränderungen ein. Das Eis wird durch hinabstürzendes Schmelzwasser, die oft Schlamm, Sand, Kies und Steine mitführen, ausgewaschen. Da das Schmelzwasser mit den Tages- und Jahreszeiten stark variiert, ist auch sein Einfluss ein periodischer. Auch die Lage der Kanäle ist infolge der Bewegung des Gletschers eine wechselvolle. Alte Rinnen werden zugesperrt, neue Spalten öffnen und erweitern sich. Das periodische Auftreten des Schmelzwassers erleichtert das Schliessen der Gänge und Rinnen. So wechselt das Schmelzwasser beständig seine Wege.

Die Grösse der Kanäle im Gletscher ist natürlich eine sehr verschiedene und noch wenig erforschte. Die Temperatur der Gletscher ist schon in geringer Tiefe  $0^{\circ}$  C; die Luft in den subglazialen Kanälen ist auch nur wenig über dem Nullpunkt. Ebenso weist das fliessende Wasser an der Gletscheroberfläche und dasjenige der innern Wasserstuben und Kanäle eine Temperatur von nur wenig über  $0^{\circ}$  C auf. Die Sommerwärme dient eben nur zur Schmelzung des Eises, aber nicht zu seiner Temperaturerhöhung; auch die Winterkälte vermag nicht in das Innere des Gletschers einzudringen, weil die winterliche Schneedecke ein zu schlechter Wärmeleiter ist. Die oberflächlichen Temperaturänderungen können daher höchstens die Temperatur der allerobersten Teile eines Gletschers beeinflussen.

Das Abschmelzen geht deshalb nur langsam vor sich. Tiefe Kanäle aber bilden sich, wenn die Oberflächengestalt der Gletscher Erosionsbildungen ermöglicht. Hierüber gibt uns der Ausbruch des Sees im Herbst 1909 interessante Resultate. Auf den Tafeln 39 und 40 sehen wir den Einfluss durch Auflösung und Erosion deutlich. Die äussern, meist engen Zuflusskanäle zu den vielfach verzweigten subglazialen Kanälen ermöglichen in der Regel keinen sehr raschen Ablauf.

Fassen wir die allgemeine hydrographische Rolle der Gletscher kurz zusammen: die Gletscher spielen im Haushalte der Natur eine ähnliche Rolle wie beispielsweise das Innere eines Kalkgebirges (Jura), welches durch unzählige Risse und Spalten die atmosphärischen Niederschläge in flüssiger Form in sich aufnimmt, in Höhlungen sammelt und allmählich durch die Quellen wieder abgibt; sie besitzen wie die Seen ein Retentionsvermögen.

Die Faktoren, die in den Sommermonaten die Wasserführung eines *Gletscherbaches* bestimmen, sind: *das Ablationswasser, die Niederschläge, sowie das im ganzen Gletschertale zu Tage tretende Quellwasser. Sämtliche Faktoren gelangen,*

*hauptsächlich infolge des Retentionsvermögens des Gletschers nur in abgeschwächtem, ausgeglichenem Masse in der Wasserführung der Gletscherbäche zum Ausdruck.*

### C. — Die Abflussmengen der Gletscher im Winter.

Auch im *Winter* übernimmt der Gletscher die nämlichen Funktionen, wie wir sie soeben geschildert haben. Die Niederschläge bleiben allerdings grösstenteils in fester Form liegen; das Ablationswasser spielt nur mehr eine ganz unbedeutende Rolle, das zum Abflusse gelangende Quellwasser wird, infolge der kleineren Spaltenbildung und der Fähigkeit des mit ihm in Berührung kommenden Aufsaugvermögens des Schnees, ferner infolge des Überganges eines Teiles der Zuflüsse in Eisform, in verhältnismässig grösserem Masse zurückgehalten.

Im Gletscherbache unmittelbar beim Gletschertore vereinigt sich deshalb auch nur ein Teil der Wassermengen des Gletschertales und zwar: Ein Teil der Zuflüsse, die von Talwandungen herkommen, ein Teil des Ertrages der Grundquellen, ein Teil des Ergebnisses der Ablation an der Oberfläche des Gletschertales (die untere Ablation der Gletscher übt im Winter nur eine ganz geringe Wirkung auf die Wasserführung des Baches aus) und endlich ein Teil des Wassers, das durch die Erdwärme und die Bewegung des Gletschers erzeugt wird. Im Vorstehenden haben wir bereits erläutert, welche Rolle das mit Haarspalten durchzogene Eis des Gletschers gegenüber dem mit ihm in Kontakt stehenden Wasser einnimmt. Die Speisung des Baches dauert, nachdem die eigentliche Ablationsperiode zu Ende ist, noch eine gewisse Zeit fort. Die Fähigkeit des Eises, Wasser in sich aufzunehmen und erst später wieder abzugeben, dürfte in den Wintermonaten, nachdem sich das Sommer- und Herbstwasser aus den Haarspalten entleert hat, eher eine grössere sein. Dazu kommt noch, wie schon bemerkt, das grosse Aufnahmevermögen des Schnees und ferner der Uebergang eines Teiles der Zuflüsse in feste Form (Eis).

Hinsichtlich der Geschwindigkeit des Wassers unter der Gletscheroberfläche hat Forel am Rhonegletscher (im Sommer), Vallot am Mer de Glace, Versuche angestellt. Sie fanden die Geschwindigkeit ungefähr halb so gross als in freier Luft bei gleicher Wassermenge und gleichem Gefälle. Im Winter dürften die Resultate noch bedeutend kleiner ausfallen. Die Ausbrüche des Märjelsees beweisen uns, dass das Wasser des Sees immer längere Zeit gebrauchte, bis es das Rhonetal erreichte. Die Geschichte erzählt, dass der Senn der Märjelenalp, der die erste Nachricht vom Ausbruche des Sees ins Rhonetal brachte, ein Geschenk in Form eines Paar Schuhs erhielt, weil die notwendigsten Vorbereitungen zur Abwehr noch getroffen werden konnten. Winterliche Ausbrüche des Sees finden nur ganz selten statt. Ein solcher erfolgte am 18. Oktober 1912. Trotz der verhältnismässig hohen Lage des Sees (Pegelstand 53.42 m) senkte sich der See nur auf eine Höhe von 40.8 m und zwar in einem Zeitraum von 53 Tagen. Aus den Pegel-

beobachtungen an der Massa und an der Rhone kann eine Erhöhung der Wasserstände nicht nachgewiesen werden. Das ausbrechende Wasser des Sees dürfte nur teilweise und mit ganz bedeutender Verzögerung und nur allmählich dem Gletscher entronnen sein. Aus den vorstehenden Erläuterungen geht unzweideutig hervor, dass das Retentionsvermögen des Gletschers im Winter ein *sehr grosses* ist.

Kommen wir wieder auf die Wasserführung der Gletscherbäche zurück. Die Wassermenge derselben ist auf alle Fälle das Produkt verschiedener Ursachen. Die Zuflüsse zum Gletscher (Quellbäche, die in den Gletscher münden) und die Grundquellen liefern jedenfalls den Hauptteil. Ein Teil derselben wird durch das Retentionsvermögen zurückgehalten. Welchen Betrag der Gletscher infolge seiner Bewegung und der Abschmelzung durch die Erdwärme liefert, soll hier nicht näher untersucht werden. Der Verfasser misst diesem Betrage nur eine *ganz unbedeutende Rolle* bei.

Hess sagt, die Verschiedenheit in der winterlichen Wasserführung der Gletscherbäche rühre nur von den Verschiedenheiten in den untern, dem Bache zunächst gelegenen Teilen der Einzugsgebiete her und von den Gletschern selbst werde kein wesentlich grösserer Betrag an Wasser geliefert, als der, den die aus dem Erdinnern stammende Wärme auf der Gletschersohle erzeugt. Will man diese Annahme nicht machen, schreibt er, so sind Quellen, die unter dem Gletscher aus dem Felsen treten können und die Verflüssigung von Eis, die durch die Gletscherbewegung stattfindet, als Ursachen der verschiedenen Wasserlieferung zu betrachten<sup>1</sup>. Die Ueberzeugung des Verfassers ist aber die, der Gletscherbach werde bis auf einen verschwindend kleinen Betrag aus einem Teil des Quellwassers des ganzen Gletschertales gebildet; hiebei spielen natürlicherweise die Quellbäche im Gebiete der Gletscherzunge die bedeutendste Rolle.

Ein Beweis für diese Behauptung finden wir in der Farbe des Wassers; denn warum ist das Wasser des Gletscherbaches im Winter immer kristallklar? Der Verfasser hat zur Zeit der minimalen Wasserführung an keinem einzigen Gletscherbache eine wenn auch nur leichte Trübung konstatieren können. Selbst der durch seine sonst milchigweisse Farbe ausgezeichnete Findelenbach bei Zermatt zeigte am 18. Februar 1904, zur Zeit seiner minimalen Wasserführung, *keine* Trübung. Müsste nicht das, durch Bewegung und Erdwärme hervorgerufene Schmelzwasser, wenn es eben zum Abflusse gelangen könnte, durch den Erosionsschlamm gefärbt werden?

Gewiss kommt die Trübung des Gletscherwassers im Sommer in erster Linie vom untern Teile des Gletschers und seiner Felshänge her, weil hier die Randklüfte oft den Talweg erreichen. Die erodierende Wirkung des Wassers (in fester und flüssiger Form), die in erster Linie die Trübung des Gletscherwassers veranlasst,

---

<sup>1</sup> HESS, H. *Winterwasser der Gletscherbäche*. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1906, Heft III.

wird nicht nur durch die Mächtigkeit des Eises und den Böschungswinkel des Gletschers bestimmt, sondern sie ist auch abhängig von der Grösse und Zahl der Seitenbäche; die Erosionskraft der letzteren kann wenigstens in gewissen Fällen diejenige der Gletscher überwiegen.

In den vorstehenden Tabellen sind nun einerseits die Resultate der Wassermessungen zur Zeit der minimalen Wasserführung der Rhone und ihrer Seitenbäche oberhalb der Visp, anderseits diejenigen der Aare und ihrer Seitenbäche aufwärts des Brienersees enthalten. Auf Tafel 15 sind die Abflussmengen in Sekundenliter pro km<sup>2</sup> als Funktion der zugehörigen Vergletscherung des Einzugsgebietes in ‰ graphisch dargestellt. Aus der Lage der einzelnen Punkte ist ohne weiteres erkenntlich, dass im allgemeinen mit zunehmender Vergletscherung die Abflussmenge pro km<sup>2</sup>, bezogen auf das nämliche Gebiet, abnimmt. Ferner ist ersichtlich, dass die Abflusskoeffizienten pro km<sup>2</sup> im Rhonegebiet gegenüber denjenigen im Aaregebiet bedeutend grössere sind. Inwieweit die Verschiedenheit des Wasserreichtums der beiden Gewässer aus den Niederschlags-, den orographischen und andern Verhältnissen erklären lässt, soll nicht näher untersucht werden. Die Lösung dieser interessanten Frage ist wohl wert, dass sie als besondere Arbeit behandelt werden soll. Da die Differenzen in erster Linie vom Ertrag der Quellen in den einzelnen Flussgebieten herrühren, so bildet diese Erscheinung einen neuen Beweis für die Behauptung des Verfassers, das Wasser der Gletscherbäche bestehe in erster Linie aus einem Teil des Quellertrages des Gletschertales. Der Verfasser beabsichtigt diese interessante Frage durch chemische Analysen des Wassers einzelner Gletscherbäche in unzweideutiger Weise zu lösen. Die Ursachen für die Verschiedenheit in der Wasserführung der einzelnen Gletscherbäche (siehe Tafel 15) sind hauptsächlich dem verschiedenen Quellertrag der betreffenden Einzugsgebiete zwischen Gletscherende und Messtelle zuzuschreiben. Einen weitem Einfluss übt auch das für jeden Gletscher verschieden grosse Retentionsvermögen aus, das namentlich von den orographischen Verhältnissen abhängig ist; ferner spielen alle Faktoren, die wir auf den Seiten 329 und 330 erläutert haben, in gewissen Fällen eine nicht unbedeutende Rolle. Die minimalen Abflusskoeffizienten ein und desselben Gewässers sind in der Regel um so grösser, je tiefer die Messtellen liegen. Um dies zu belegen, brauchen wir nur die nachstehenden Werte zu Hilfe zu nehmen:

RHONE				AARE			
	Einzugsgebiet	l pro Sek./km <sup>2</sup>	$\frac{G}{E}$		Einzugsgebiet	l pro Sek./km <sup>2</sup>	$\frac{G}{E}$
Gletsch	38.87 km <sup>2</sup>	3.4	0.62	Grimsel	91.35 km <sup>2</sup>	1.8	0.57
Reckingen	214.61 km <sup>2</sup>	7.9	0.23	Guttannen	164.29 km <sup>2</sup>	2.4	0.42
Fiesch	317.90 km <sup>2</sup>	8.9	0.18	Innertkirchen	446.91 km <sup>2</sup>	3.5	0.21
Brig	831.20 km <sup>2</sup>	8.6	0.32	Stegmattbrücke	553.74 km <sup>2</sup>	5.9	0.27

Man erkennt aus den Daten, dass für die Rhonestation Brig der Einfluss der Vergletscherung des ganzen Fiescher- und Aletschgletschergebietes aufs schönste



von den Quellen bis zur Mündung der Visp.

Ordnungsnummer	Gewässer	MESSUNGSSTELLE LAGE	Zuflüsse der Rhone L = linksseitige R = rechtsseitige	Einzugsgebiet km <sup>2</sup>	Flächeninhalte der Firne u. Gletscher km <sup>2</sup>	Verhältnis der Flächeninhalte der Firne und Gletscher zum Einzugsgebiet $\frac{G}{E}$	ERGEBNISSE DER WASSERMESSUNGEN				Aus den Ergebnissen der Wassermessungen abgeleitete minimale Werte		BEMERKUNGEN		
							Datum der Messung	Art der Messung	Wassermenge pro Sekunde pro km <sup>2</sup> des Einzugsgebietes q. lit.	Temperatur des Wassers °C.	Datum des Eintrittes des minimalen Wertes	Wassermenge pro km <sup>2</sup> des Einzugsgebietes q. lit.			
1	Rhone	Gletsch, 170 m unterhalb der obern Rhodenerbrücke (Aa1)	(1)	38,87	24,19	0,62	29. I. 1903	F1	0,161	4,1	2,0	28. II. 1903 6. III.	0,134	3,4	
2	Eginenbach	Ulrichen, 70 m oberhalb der ehemali- gen Mühle beim Locher- steg (Aa 7)	L	35,42	10,98	0,31	6. II. 1903	F1	0,401	14,6	4,5	6. II. 1903	0,410	14,6	
3	Merezobach	Münster, 36 m oberhalb der Mündung in die Rhone (Aa 9)	L	9,62	0,94	0,10	13. II. 1903	F1	0,164	17,0	1,8	23. II. 1903	0,146	5,2	
4	Münsterbach	Münster, 260 m unterhalb der Säge (Aa 10)	R	15,37	3,51	0,23	9. II. 1903	F1	0,155	10,4	3,4	40. II. 1903	0,151	9,8	
5	Rhone	Reckingen, 28 m unterhalb der Stras- senbrücke (Aa 11, 12)	—	214,61	49,47	0,23	12. II. 1903	F1	2,137	10,0	0,9	11. III. 1903	1,637	7,9	
6	Blindenbach	Reckingen, beim Beginn der Schlicht (Aa 13)	L	18,85	2,91	0,15	10. II. 1903	F1	0,285	15,1	2,8	11. III. 1903	0,261	13,8	
7	Reckingerbach	Reckingen, 180 m unterhalb der Stras- senbrücke (Ab 1)	R	9,07	2,02	0,22	14. II. 1903	F1	0,104	11,5	2,0	5. III. 1903	0,087	9,6	
8	Wallibach	Selkingen, 60 m oberhalb der Mündung in die Rhone (Ab 1)	R	12,37	1,91	0,15	14. II. 1903	F1	0,167	13,5	1,6	14. II. 1903	0,167	13,5	
9	Mühlbach	Oberhalb Mühlbach, 150 m oberhalb der Fassung der Wasserleitung von Ären (Ab 5)	L	12,60	1,21	0,10	26. II. 1903	F1	0,247	19,6	1,6	21. III. 1903	0,218	17,3	

10	Rhone	Fiesch, 330 m oberhalb der Mündung des Fiescherbaches (Ab 6, 7)	—	317,90	57,52	0,18	22. II. 1907	F1	3,091	9,7	0,5	26. II. 1907	2,836	8,9	*R.A. = Rech- ter Arm. **L.A. = Lin- ker Arm.
11	Fiescherbach	Bei der Vereinigung beider Quellarme (Ab 8)	R	67,41	41,75	0,62	25. II. 1903	F1	0,326	4,8	R.A.* 2,8 L.A.** 1,0	10. III. 1903	0,231	3,4	
12	Fiescherbach	Fiesch, 400 m oberhalb der Stras- senbrücke (Ab 9, 10)	R	79,98	41,75	0,52	18. II. 1903	F1	0,368	4,5	0,0	18. II. 1903	0,363	4,5	
13	Längtalbach	Bei Binn, 135 m oberhalb der Mün- dung in die Binn (Ac 2)	L	47,66	5,45	0,11	20. II. 1903	F1	0,477	10,0	2,0	14. III. 1903	0,416	8,7	
14	Binna	Unterhalb Binn, oberhalb der Einmündung des Längtalbaches (Ac 1)	L	52,20	6,16	0,12	19. II. 1903	F1	0,539	10,3	2,6	14. III. 1903	0,367	7,0	
15	Massa	Gebidem, 430 m oberhalb der Gebir- denbrücke (Ad 1)	R	201,99	146,05	0,72	9. III. 1903	F1	0,278	1,4	0,2	7. II. 1913	0,258	1,3	
15a	Massa	Bitsch, 290 m oberhalb der Stras- senbrücke (Ad 1)	R	205,01	146,05	0,71	8. III. 1903	F1	0,362	1,8	1,2	14. III. 1903	0,280	1,4	
16	Kelchbach	Naters, 140 m oberhalb der Sporre für das Reservoir der Kraftanlage Brig (Ad 2)	R	27,17	1,60	0,06	6. III. 1903	F1	0,108	3,9	5,2	9. III. 1903	0,104	3,7	
17	Rhone	Brig, 130 m oberhalb der Ein- mündung der Saline (Ad 2, 3)	—	831,20	258,90	0,31	30. I. 1902	F1	7,622	9,2	1,5	24. II. 1902	7,157	8,6	
18	Ganterbach	Schallberg, 175 m oberhalb der Verei- nigung mit dem Taver- bach (Ae 1)	L	36,53	3,56	0,10	13. III. 1903	F1	0,376	10,3	0,2	13. III. 1903	0,350	9,6	
19	Taverbach	Schallberg (Im Grund) 25 m oberhalb der Verei- nigung mit dem Ganter- bach (Ae 2)	L	18,00	4,80	0,27	12. III. 1903	F1	0,171	9,5	2,2	25. III. 1903	0,164	9,1	
20	Saltine	Oberhalb Brig, 170 m oberhalb der Napo- leonbrücke (Ae 3, 6)	L	67,35	8,36	0,12	7. III. 1903	F1	0,749	11,1	2,6	11. III. 1903	0,709	10,5	
21	Mundbach	Mund, 40 m oberhalb der Abwei- gung des zweitobersten Bewässerungskanaals (Ae 5)	R	20,83	1,55	0,07	10. III. 1903	F1	0,172	8,3	2,6	10. III. 1903	0,172	8,3	

**B. Aare,**  
von den Quellen bis zum Ausfluss aus dem Brienersee.

Ordnungsnummer	Gewässer	MESSUNGSTELLE LAGE	Zufluss der Aare R = rechte Seite L = linke Seite	Einzugsgebiet E km <sup>2</sup>	Flächeninhalte der Firne und Gletscher G km <sup>2</sup>	Verhältnis der Flächeninhalte der Firne und Gletscher zum Einzugsgebiet G/E	ERGEBNISSE DER WASSERMESSUNGEN				Aus den Ergebnissen der Wassermessungen abgeleitete minimale Werte		Bemerkungen	
							Datum der Messung	Art der Messung	Wassermenge pro Sekunde Total m <sup>3</sup>	Temperatur des Wassers °C.	Datum des Eintrittes des minimalen Wertes	Wassermenge pro Sekunde Total m <sup>3</sup>		
1	Aare	Grimsel, Unteres Ende der Schlucht (Aa 3, 4)	—	91.95	51.78	0.57	18. III. 1909	Fl.	0.173	4.9	0.1	27. II. 1909	0.166	1.8
2	Gelmerbach	Handegg, 110 m oberhalb der Ein- mündung in die Aare (Aa 6)	R	16.04	6.37	0.40	15. III. 1909	Fl.	0.053	3.3	0.7	19. III. 1909	0.048	3.0
3	Ärlenbach	Handegg, 1.50 m unterhalb des Stieges des alten Saumplades (Aa 8)	L	12.07	4.30	0.36	19. III. 1909	Fl.	0.028	2.3	0.5	19. III. 1909	0.028	2.3
4	Aare	Gulfannen, 950 m unterhalb der Tschin- gelbrücke (Aa 9, 10)	—	104.39	69.02	0.42	10. III. 1909	Fl.	0.404	2.5	1.3	16.-18. III. 1909	0.392	2.4
5	Urbachwasser	Unterstock (Pfengli), 44 m oberhalb der Brücke (Aa 18, 19)	L	67.53	23.40	0.39	26. II. 1909	Fl.	0.202	3.0	1.6	9., 11. II. 1909	0.189	2.8
6	Unterwasser	Innerkirchen, 63.5 m unterhalb der Brücke (Ab B, 14)	R	169.06	42.31	0.25	25. II. 1909	Fl.	0.909	5.9	0.1	17. III. 1909	0.660	3.9
7	Triftwasser	Nessental (Bidmi), 88 m unterhalb des Stieges (Ab, 6, 7)	R	44.22	23.02	0.52	1. III. 1909	Fl.	0.400	2.3	1.2	18. III. 1909	0.097	2.2
8	Gadmerwasser	Hopflauenen, 67 m oberhalb der Brücke (Ab 3, 4)	R	119.69	40.95	0.34	1. III. 1909	Fl.	0.532	4.4	0.7	6. III. 1909	0.497	4.2

9	Gentalwasser	Engstliensalp, Steg beim Seesausfluss (Ab 10)	R	6.90	4.36	0.20	7. III. 1909	Fl.	0.031	4.5	0.1	—	—	—
10	Gentalwasser	Leimboden, 19.5 m unterhalb der Brücke (Ab 11, 12)	R	38.08	4.36	0.04	3. III. 1909	Fl.	0.13	3.5	1.0	3. III. 1909	0.132	3.5
11	Aare	Innerkirchen, 320 m unterhalb der Ein- mündung des Unterwassers (Ac 1, 2)	—	446.91	137.77	0.31	27. II. 1909	Fl.	1.984	4.3	0.5	6. III. 1909	1.548	3.5
12	Reichenbach	Zwirgi, 250 m oberhalb der obern Strassenbrücke (Ac 6, 7)	L	51.27	9.67	0.19	3. III. 1901	Fl.	0.214	4.7	1.0	—	—	—
13	Aare	Stegmatbrücke (Mei- ringen), 36 m unterhalb der Brücke (Ac 8, 9)	—	533.74	147.44	0.27	2. III. 1904	Fl.	3.955	7.1	5.0	27. I. 6. II. 1904	3.288	5.9
14	Abfluss des Oberrn Grindelwald- Gletschers	Grindelwald (Hotel Wetterhorn), 9 m unterhalb der Beton- brücke (AF 1)	L	48.09	42.83	0.71	15. II. 1908	Fl.	0.023	1.3	0.9	20. III. 1908	0.012	0.7
15	Abfluss des Unterrn Grindelwald- Gletschers	Grindelwald (Lüt- schine-Schlucht), (AF 4)	L	44.51	28.54	0.64	14. II. 1908	Fl.	0.107	2.4	0.45	18.-22. III. 1908	0.175	1.7
16	Schwarze Lütschine	Zweilütschinen, 22.3 m oberhalb der Eisen- bahnbrücke (AF 7, 8)	L	179.36	42.76	0.24	8. II. 1908	Fl.	1.065	6.1	0.8	2. III. 1908	0.980	5.5
17	Weisse Lütschine	Zweilütschinen, 22.0 m oberhalb der Eisen- bahnbrücke (AG 9, 10)	L	164.49	33.81	0.21	9. II. 1908	Fl.	0.788	4.8	1.2	15.-16. III. 1908	0.594	3.6
18	Sefinen- Lütschine	Gimmelwald (beim Wasser) 3.2 m unterhalb des Stieges (AG 2)	L	26.42	1.97	0.07	2. II. 1908	Fl.	0.388	10.9	2.3	14. III. 1908	0.265	10.0
19	Lütschine	Gsteig, 90.0 m oberhalb der Stras- senbrücke (Ab 4)	L	378.66	76.58	0.20	6. II. 1908	Fl.	2.363	6.2	0.6	11., 16. II. 1908	1.908	5.2

zum Ausdrucke kommt. Während die Rhone in Fiesch oberhalb ihrer Vereinigung mit dem Fiescherbach (Verhältnis der Flächeninhalte der Firne und Gletscher zum Einzugsgebiet  $\frac{G}{E} = 0.18$ ) bei einem Einzugsgebiet von 317.90 km<sup>2</sup> einen Abflusskoeffizient von 8.9 l pro km<sup>2</sup> ergibt, stellt sich derjenige für die Rhone in Brig bei einem 2.6 mal grössern Einzugsgebiet (831.20 km<sup>2</sup>), aber 1.8 mal grösseren Verhältniszahl der Vergletscherung ( $\frac{G}{E} = 0.32$ ) mit nur 8.6 l ein. Das Retentionsvermögen der Gletscher gelangt aufs deutlichste zum Ausdruck.

Die winterlichen Zu- und Abflussverhältnisse des Rhonegletschers sind vom Verfasser im Januar 1903 einer genauen Prüfung unterworfen worden. Die Messung der Rhone in Gletsch, 170 m flussabwärts vom Pegel, ergab eine Gesamtwassermenge von  $Q_R = 161.0$  l pro Sekunde. Sie kann nicht ohne Reduktion als Betrag des Abflusses vom Rhonegletscher betrachtet werden, weil das zu den Wassermessungen verwendete Profil ausser dem Abfluss des Rhonegletschers noch das Wasser von einer grösseren Anzahl von Quellen und kleineren Bächen, sowie insbesondere dasjenige des Muttbaches enthält. Die Ergüsse der Quellen, sowie der kleinen Bäche und des Muttbaches sind teils durch Eichung und Anwendung von Ueberfällen, teils mit Flügeln gemessen worden. Die jeweiligen Resultate finden sich in der folgenden Tafel vereinigt.

MESSUNGSSTELLEN	Datum.	Zeit.	Wassertemperatur in ° Celsius.	Lufttemperatur in ° Celsius.	Art der Messung	Q m <sup>3</sup> pro Sek.	Σ [Q] m <sup>3</sup> pro Sek.	
<i>Linkseitige Zuflüsse der Rhone bis zum Profil beim Pegel in Gletsch.</i>								
Muttbach, gemessen bei der Brücke der Furkastrasse	31. I	2h30p	4,4	- 11,5	Flügel	0,0485		
Rechtseitiger Zufluss des Muttbaches, zunächst unterhalb der Strassenbrücke	31. I	10h55	4,7	- 40,6	Eichgefäss	0,0001		
Rechtseitiger Zufluss des Muttbachs zunächst unterhalb der Strassenbrücke	31. I	10h50a	4,7	- 40,6	"	0,0018		
Rechtseitiger Zufluss des Muttbachs beim Felsen zwischen der Muttbachbrücke und der ersten Strassenkehre	31. I	5h30p	4,2	- 4,5	"	0,0009		
Rechtseitiger Zufluss des Muttbachs oberhalb der ersten Strassenkehre oberhalb der Muttbachbrücke	31. I	8h40a	2,5	- 5,7	"	0,0004		
Rechtseitiger Zufluss des Muttbachs bei der ersten Strassenkehre oberhalb der Muttbachbrücke	31. I	9h50a	4,4	- 5,4	"	0,0002		
Rechtseitiger Zufluss des Muttbachs am untern Ende der Moräne unterhalb Belvedère	31. I	6h00p	4,6	7,4	"	0,0040	0,0559	
Reservoir-Quellen, linker Arm	29. I	6h30p	0,4	10,0	Flügel	0,0032		
Reservoir-Quellen, rechter Arm	28. I	9h00a	1,4	- 9,6	Eichgefäss	0,0007		
Quellen beim Blauen-Haus, gemessen bei der Rhonebrücke, Widerlager L. U. untere Seite	26. I	10h50	1,8	- 5,8	"	0,0002	0,0041	
<i>Rechtseitige Zuflüsse der Rhone bis zum Profil beim Pegel in Gletsch.</i>								
Saas-Bach unterhalb dem Wasserfall über die Felsköpfe	27. I	3h00p	1,5	+ 1,5	Eichgefäss	0,0002		
Quellen oberhalb der Kapelle in Gletsch	29. I	8h00p	1,2	- 14,8	Überfall	0,0154	0,0156	
<i>Total der Rhonezuflüsse bis zum Pegel in Gletsch.</i>							<b>0,0756</b>	
						Wassermenge m <sup>3</sup> pro Sek.	Liter pro km <sup>2</sup> des Einzugsgebiets	
Wassermenge der Rhone in Gletsch, 170 m flussabwärts vom Pegel [Wassermessung vom 29. I. 1903]						Q <sub>R</sub> =	0,161	4,1
Total der Zuflüsse der Rhone aufwärts der Messungsstelle ausser dem Abfluss des Rhonegletschers						Q <sub>Z</sub> =	0,076	1,9
<i>Abfluss vom Rhonegletscher</i>						Q <sub>G</sub> = Q <sub>R</sub> - Q <sub>Z</sub> =	<b>0,085</b>	<b>2,2</b>

Das Total der Zufüsse der Rhone aufwärts der Messtelle in Gletsch betrug  $Q = 76 \text{ l}$  pro Sekunde.

Mithin die Wassermenge, die vom Gletscher kam :  $Q_G = Q_R - Q = 161 - 76 = 85 \text{ l}$  pro Sekunde.

Woher rührt nun diese Wassermenge? Zunächst sei bemerkt, dass das Aufsuchen der Quellen im allgemeinen, deren Lage allerdings im Sommer durch Aufnahme eines Situationsplanes festgelegt worden ist, eine überaus schwierige Arbeit war. Das Wasser vielverzweigter Quellen in seiner Gesamtheit unter einer Schneedecke von 2-4 m auffinden und sammeln, ist keine leichte Sache und führt nicht immer zum Ziel. Ein gewisser Teil geht verloren, ein anderer Teil bleibt dem Auge unsichtbar. Unter allen Umständen dürfen wir sagen, dass die gemessene Wassermenge der Zufüsse zur Rhone zwischen dem Pegel in Gletsch und dem Gletschertor mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt, sondern um einen nicht unbedeutenden Betrag zu klein in Rechnung gebracht wurde. Der Verfasser schätzt diesen Betrag auf rund 20 %<sub>0</sub>. Wie verhält es sich nun mit den Quellen, die direkt in den Gletscher münden? Nicht unweit des Hotels Belvédère treten im Sommer eine Anzahl kleiner Quellen zu Tage, deren Lage auch in den Situationsplan eingetragen wurde. Es gelang nun dem Verfasser, auch einen Teil dieser Quellen aufzufinden und zu messen. Das Total dieser Messungen ergab 1,4 Sekundenliter. Nun treten von den Hängen des Gletschertales (nur die Umgebung des Hotel Belvédère wurde abgesehen) und der Gletschersohle gewiss noch eine Unmasse von Quellen hervor. Ein Teil derselben geht in Eis über, ein anderer Teil bleibt in den Gletscherspalten und natürlichen Wasserstuben etc. zurück, ein anderer Teil aber vereinigt sich mit dem Gletscherbache. Welchen Anteil diese Quellergüsse am Gletscherbache nehmen, wieviel Wasser die Bewegung des Gletschers, die Erdwärme liefert, darüber zahlenmässig zu sprechen, wagt der Verfasser nicht. Auch der Abfluss des Rhonegletschers dürfte sein Wasser in der Hauptsache dem Quellertrag und dem Ablationswasser im Einzugsgebiet zu verdanken haben.

Eine weitere interessante Erscheinung, die unumgänglich eine Erklärung verlangt, ist die auffallend verschiedene Wasserführung der beiden benachbarten Flussgebiete der Massa (Abfluss des Grossen Aletschgletschers) und des Fiescherbaches (Abfluss des Fieschergletschers).

Die Resultate sind folgende :

Datum	WASSERMENGE PRO SEKUNDE		EINZUGSGEBIET (E)	Flächeninhalte der Firne und Gletscher (G)	Verhältnis der Flächeninhalte der Firne u. Gletscher zum Einzugsgebiet $\frac{G}{E}$
	Absolut m <sup>3</sup>	pro km <sup>2</sup> des Einzugsgebiets Liter			
<b>Fiescherbach - Fiesch</b>					
17. II. 1903	0,517	6,5	79,98	41,75	0,52
18. II. 1903	0,363	4,5	79,98	41,75	0,52
24. II. 1903	0,675	8,4	79,98	41,75	0,52
23. II. 1907	0,465	5,6	83,38	41,75	0,50
<b>Massa - Gebidem</b>					
9. III. 1903	0,278	1,4	200,24	146,05	0,73
7. II. 1913	0,258	1,3	201,99	146,05	0,72
<b>Massa - Bitsch</b>					
29. I. 1902	0,303	1,5	205,01	146,05	0,71
3. III. 1903	0,362	1,8	205,01	146,05	0,71
6. II. 1913	0,291	1,4	205,01	146,05	0,71

Woher kommt nun der gewaltige Unterschied in der Wasserführung dieser beiden benachbarten Gletscherbäche?

Die Messtelle des rechten Quellarmes des Fiescherbaches liegt rund 1900 m, diejenige des linken Armes rund 1500 m unterhalb des Gletschertores. Zwischen Messtelle und Gletscher münden an den beiden Quellbächen zahlreiche kleinere und *teilweise ergiebige* (a) Quellen ein. Anlässlich einer Begehung des Fiescher-gletschers im November des Jahres 1908 konnten auch im eigentlichen Glet-schertale viele Quellen beobachtet werden. Nun ist das Retentionsvermögen der Gletscher abhängig von der Grösse und vom Verhältnis des Firns zum Gletscher (Fieschergletscher 5,1 : 1; Aletschgletscher 3,4 : 1), vom Gefälle des Gletschers, von der Gestaltung der Sohle des Gletschertales und der damit in Verbindung stehenden Spaltenbildung und von der Gliederung des ganzen Gletschergebietes. Vergleichen wir nun die beiden in Frage stehenden Gletscher in den soeben er-wähnten Punkten miteinander, so finden wir Gründe genug, die die Verschiedenheit in der Wasserführung der beiden Gletscherbäche erklären.

Die Bildung von Stauseen im Gebiete des Aletschgletschers infolge seiner bedeutend reichlicheren Gliederung und Grösse, das kleinere Gefälle und die damit in Verbindung stehende kleinere Spaltenbildung ermöglichen eine bedeutend grö-

sere Retentionsfähigkeit des Grossen Aletschgletschers. Dazu kommt noch der bedeutend grössere Reichtum an Quellen des Fieschergletschergebietes, der auch in diesem Falle unbedingt ausschlaggebend wirkt.

Einen weitem Einfluss übt der Grad der Versickerung und der Filtration aus. Wir befinden uns allerdings im Urgestein. Nun ist aber der Südosthang der Bergkette, die das Eggishorn mit dem Riederhorn verbindet, so reich an Quellen, dass ein Teil dieser Ergüsse ganz gut dem Einzugsgebiet des Grossen Aletschgletschers entstammen kann.

Sehr schwer ist nun die Frage zu beantworten, inwieweit die Quellergüsse im Gletschertal und die Quellbäche der Seitenwände im obern Gebiet einen Einfluss auf die Wasserlieferung des Gletscherbaches ausüben. Auch in den obersten Lagen treten Quellen zu Tage. Subglaziale Gänge, wenn auch in reduzierter Zahl, sind unzweifelhaft vorhanden.

Die winterlichen Ausbrüche des Märjelensees beweisen uns ferner, dass das Ausbrechen der Gletscherseen möglich ist. Unter dem Schutze der gewaltigen Schneedecke sind die winterlichen Temperaturverhältnisse nur unbedeutend verschieden von denjenigen im Sommer. Die Möglichkeit, dass ein Teil des Quellwassers zum Abfluss gelangt, ist vorhanden. Die Behauptung des Verfassers, die minimale Abflussmenge des Gletschers sei Quellwasser, findet dadurch eine neue Bestätigung.

Lokale Verhältnisse, z. B. Talweiten, Vorsprünge u. s. w. dürften hinsichtlich des Betrages der Abflussmengen oft eine massgebende Rolle spielen. Je zahlreicher solche Erscheinungen und je schärfer sie ausgesprochen sind, um so energischer kann die Wirkung sein.

Stellen wir kurz das Verhältnis des Gletschers zu seinem winterlichen Abfluss fest :

1. *Der Gletscher verschärft die Minima der Wassermenge der Gebirgsbäche.*
2. *Die winterliche, minimale Abflussmenge des Gletschers hängt nicht nur von seiner Grösse, sondern noch von vielen andern Faktoren ab. Einen festen Betrag für den minimalen sekundlichen Abfluss pro km<sup>2</sup> zu geben, ist nicht oder nur innerhalb gewisser Grenzen möglich.*
3. *Die minimale Abflussmenge des Gletscherbaches beim Gletschertor entspricht in der Hauptsache einem Teil des Quellertrages des Gletschertales.*



## VERZEICHNIS DER TAFELN.

Titelblatt. *Oberes Bild*: Märjelensee (Hintersee) während des Hochwasserstandes am 27. IX. 1909. Pegelstand : 55,91 m.

*Unteres Bild*: Märjelensee (Vorder- und Hintersee vereinigt) während des Hochwasserstandes im Juli 1888. — Pegelstand ungefähr : 70,0 m.

Tafel A. Zeichenerklärung zu den Gewässer-Längenprofilen.

- » 1. Fiescherbach (Weisses Wasser). Längenprofil.
- » 2. Längenprofil des Seebaches von der Einmündung in den Fiescherbach bis zum Grossen Aletschgletscher.
- » 3. Längenprofil des Märjelensees vom Fiescherbach bis Aletschgletscher.
- » 4. Querprofile des Märjelensees.
- » 5. Querprofil der Gletscherzunge des Grossen Aletschgletschers am Märjelensee.
- » 6. Situations-Skizze des Märjelensees.
- » 7. Längen- und Querprofile des linksufrigen Randes des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishornes während der Absenkung des Märjelensees im September 1909.
- » 8. Pegel-Anlage am nördlichen Ufer des Märjelensees.
- » 9. Verlauf der Flutwelle in der Rhone am 9. und 10. VII. 1892, verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees.
- » 10. Verlauf der Flutwellen in der Massa und der Rhone, verursacht durch die Ausbrüche des Märjelensees in den Jahren 1895 und 1901.
- » 11. Zeitkurve und mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit ( $V_{mF}$ ) des Scheitels der Flutwelle verursacht durch die Ausbrüche des Märjelensees in den Jahren 1892, 1895, 1900, 1901 und 1907. Längenprofil Märjelensee-Genfersee.
- » 12. Flutwelle der Rhone in Porte du Scex, verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees im Jahr 1900.
- » 13. Flutwelle der Rhone in Sitten, verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees am 30./31. Juli 1913.
- » 14. Wasserstands-Verhältnisse des Märjelensees. Pegelkurven der Periode vom 23. IX. 1908 bis 31. VII. 1913.
- » 15. Einfluss der Gletscher auf die minimale Abflussmenge der Gebirgsbäche.
- » 16. Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Massa und des Fiescherbaches.
- » 17. Temperatur- und Eisschichtung des Märjelensees.
- » 18. Hypsographische Kurven der Einzugsgebiete des Fiescherbaches und der Massa.
- » 19. Kurve der Abflussmengen des Fiescherbaches in Fiesch.
- » 20. Tiefenkarte des Märjelensees. Zustand nach dem Ausbruche des Sees im VIII. 1913.
- » 21. Gesamtansicht der beiden Becken des Märjelensees am 28. VIII. 1909 vom Thälligrat (Osten). — Pegelstand : 55,91 m.



- Tafel 22. Östlicher Teil des ehemaligen Beckens des Märgelensees mit dem Vordersee und Tümpel zwischen dem Vorder- und Hintersee.
- » 23. *Oberes Bild*: Vordersee (oberes Becken des Märgelensees) von Osten gesehen. Zustand am 6. X. 1908.  
*Unteres Bild*: Vordersee von Osten gesehen. Zustand am 18. VI. 1913.
- » 24. *Oberes Bild*: Zunge des Grossen Aletschgletschers im Seitental der Märgelenalp. Mittelwasserstand am 10. X. 1908. — Pegelstand : 33,18 m.  
*Unteres Bild*: Zunge des Grossen Aletschgletschers im Seitental der Märgelenalp. Hochwasserstand am 24. VIII. 1908. — Pegelstand : 55,56 m.
- » 25. *Oberes Bild*: Der Märgelensee vom Gletscher (Westen) aus gesehen; 28. VIII. 1909. — Pegelstand : 55,91 m.  
*Unteres Bild*: Rand des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishornes; 28. VIII. 1909. — Pegelstand : 55,91 m.
- » 26. Märgelensee und Grosser Aletschgletscher von Osten gesehen. Zustand am 18. VI. 1913. — Pegelstand : 52,10 m.
- » 27. Märgelensee und Aletschgletscher von Norden gesehen. Zustand am 18. VI. 1913. — Pegelstand : 52,10 m.
- » 28. Kalbender Gletscher am 28. VIII. 1909. — Pegelstand : 45,00 m.
- » 29. *Oberes Bild*: Zustand des Vordersees am 23. X. 1912, 1<sup>h</sup> 30 p nach 12stündigem Schneefall.  
*Unteres Bild*: Vordersee am 23. X. 1912, 2<sup>h</sup> 10 p.
- » 30. Steilrand des Grossen Aletschgletschers gegen den Märgelensee am 15. X. 1908. — Pegelstand : 33,17 m.
- » 31. *Oberes Bild*: Pegelgruppe J (33,0 — 34,0 m). Zustand am 5. XI. 1908. — Pegelstand : 32,28 m.  
*Unteres Bild*: Hintersee mit dem Grossen Aletschgletscher von Nordosten aus gesehen. Zustand am 18. VIII. 1909. — Pegelstand : 55,02 m.
- » 32. Steilrand des Grossen Aletschgletschers gegen den Märgelensee am 19. II. 1913. — Pegelstand : 41,86 m.
- » 33. Hintersee und Grosser Aletschgletscher am 19. II. 1913, von Osten aus gesehen. — Pegelstand : 41,86 m.
- » 34. Pegelgruppen E, F, G und H (34,00 — 51,00 m) in den grob und fein geschrammten, glatten Augengneiss-Felsbändern; 15. X. 1908. — Pegelstand : 33,16 m.
- » 35. *Oberes Bild*: Westportal des Stollens am Vordersee zur Absenkung der Hochwasserstände; 6. X. 1908.  
*Unteres Bild*: Ostportal des Stollens bei der Märgelenalp; 20. X. 1908.
- » 36. Blick von der Ostseite des Sees auf den Hintersee und den Aletschgletscher während der Absenkung des Sees am 25. IX. 1909. — Pegelstand : 47,36 m.
- » 37. Gesamtansicht des Hintersees und Aletschgletschers von Osten gesehen während der Absenkung des Sees am 24. IX. 1909. — Pegelstand : 48,10 m.
- » 38. Steilrand des Grossen Aletschgletschers von Norden gesehen. Zustand am 28. IX. 1909. — Pegelstand : 45,00 m während der Absenkung des Sees.
- » 39. *Bild links*: Offener Graben im Eise des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishorns, erodiert durch das ausbrechende Wasser des Märgelensees. Ansicht von Norden; 28. IX. 1909. — Pegelstand : 44,99 m.  
*Bild rechts*: Offener Graben im Eise des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishorns, erodiert durch das ausbrechende Wasser des Märgelensees. Ansicht von Süden; 28. IX. 1909. — Pegelstand : 44,99 m.
- » 40. Offener Graben im Eise des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Fiescherhornes, erodiert durch das ausbrechende Wasser des Märgelensees. Ansicht von Süden; 27. IX. 1909. Pegelstand : 45,55 m.

- Tafel 41. *Oberes Bild*: Zustand des Märjelensees am 19. VII. 1911 nach seinem Ausbruche. — Pegelstand : 16,52 m.  
*Unteres Bild*: Zustand des Märjelensees am 16. VII. 1911 nach seinem Ausbruche. — Pegelstand : 16,82 m.
- » 42. Die durch den vollständigen Ausbruch des Märjelensees am 31. VII. 1913 in der Mitte des Gletschers freigelegte 69,04 m hohe Eiswand; 3. VIII. 1913. — Pegelstand : 12,17 m.
- » 43. *Oberes Bild*: Der durch plötzliches Verstopfen der Grundspalte am 6. IX. 1913 gebildete Hintersee. — Tiefe : 16,20 m.  
*Unteres Bild*: Ansicht der Grundspalte am 6. IX. 1913.
- » 44. *Oberes Bild*: Nach dem Ausbruche (1913) zurückgebliebener kleiner See, gebildet durch die alte Endmoräne der Gletscherzunge im Becken des Hintersees. 12. IX. 1913. — Maximale Tiefe des Seeleins : 4,80 m.  
*Unteres Bild*: Blick vom Ostende des kleinen Moränensees auf die alte, vom Ausfluss des Seeleins durchbrochene Endmoräne der Gletscherzunge; 12. IX. 1913.
- » 45. Ende des Fieschergletschers von Westen gesehen; 6. X. 1908.
- » 46. Taltrog mit dem rechten Quellarm des Fiescherbaches; 30. X. 1908.
- » 47. Zunge und Tor des linkseitigen Armes des Fieschergletschers; 17. IX. 1908.
- » 48. Felsschlucht des linkseitigen Quellarmes des Fiescherbaches, vom Fusse der Gletscherzunge aus gesehen; 17. XI. 1908.
- » 49. *Bild links*: Oberes Ende der Massaschlucht vom Absturz des Grossen Aletschgletschers aus gesehen; 18. X. 1908.  
*Bild rechts*: Zunge und Tor des Grossen Aletschgletschers; 18. X. 1908.
- » 50. *Bild links*: « Gebidem ». Massaschlucht von Süden gesehen; 1. VII. 1913.  
*Bild rechts*: Massaschlucht unterhalb der Gebidembrücke; 1. VII. 1913.
- » 51. *Bild links*: Unteres Ende der Massaschlucht bei Bitsch; 19. XI. 1908.  
*Bild rechts*: Massaschlucht bei Bitsch, 100 m oberhalb des Steinbruches; 19. XI. 1908.
- » 52. Längenprofil der Massa von der Einmündung in die Rhone bis zum Grossen Aletschgletscher.

## AUTORENVERZEICHNIS.

### A

Agassiz, L., 5, 6, 21, 67, 122, 326, 327.  
 Albrecht, F., 230.  
 Allet, 67, 213, 215.  
 Anderegg, A., 172.  
 Anker, A., 273, 282.  
 Arch, G., 257.  
 Arnet, X., 143.  
 Aufsess, von, 163, 166, 167.

### B

Bamatter, 175, 208, 209.  
 Baretto, M., 17.  
 Baudepartement des Kantons  
 Wallis, 53, 68, 69, 71, 72,  
 85, 170, 174, 175, 222, 226,  
 230, 232, 236.  
 Baur, E., 234.  
 Beetz, 165.  
 Berlepsch, A., 67, 218.  
 Bernische Kraftwerke, 157, 160.  
 Besser, 215.  
 Bircher, C., 5, 10, 242.  
 Bircher, K., 218, 220, 221, 222.  
 Birgisch, E., 257.  
 Blümcke, A., 6, 87, 92, 327.  
 Bodmann, P. J., 215, 216.  
 Bonaparte, R., 70.  
 Bonillio, G., 215.  
 Bonney, T. G., 68.  
 Borchardt, W., 70, 171.  
 Borter, A., 236.  
 Borter, J. J., 234.  
 Bortis, J. J., 218, 232, 233.  
 Bossard, W., 156.  
 Bourcart, F. E., 116, 117, 119,  
 120.  
 Bräm, F., 257.  
 Brin, A., 71, 236.  
 Brückner, E., 24, 200, 201, 202,  
 203, 242, 246.

Brun, A., 11, 12.

Bührer, 143.

Bundesrat, 69, 71, 72, 226, 227,  
 229.

Bundesversammlung, 69, 226.

Bunsen, 165.

Bürcher, K., 68.

Burgener, J., 232, 233.

### C

Camina, 218.

Carey, H., 70.

Chappex, J., 70, 72, 175, 238,  
 239.

Castonay, von, V., 227.

Cathrein, E., 2, 69, 70, 72, 73,  
 176, 184, 208, 234, 236, 239.

Clausen, F., 234.

Collet, Léon W., 100, 108, 116,  
 130, 141, 165, 167, 252, 281,  
 318, 326.

Collomb, E., 68, 208.

Cholnocky, von, E., 144.

Conway, M., 12.

Coolidge, M. W. A. B., 208.

Cretten, 175.

Cvijic, J., 5.

### D

Dallèves, R., 233.

Davis, 246.

Decoppet, M., 144.

Delebecque, A., 6, 7, 8, 14.

Desor, E., 6, 67, 218.

Dionys, J., 2.

Donazola, J. M., 234.

Dübi, H., 69, 70.

Duchatelier, 67.

Dufour, 34, 92.

Duparc, 7.

Dupré, 83, 85.

### E

Eggenberger, E., 292, 294, 295.  
 Eidg. hydrometrisches Bureau,  
 72, 73.

Eidg. Oberbauinspektorat, 17,  
 70, 71, 72, 229, 235, 236,  
 238.

Eidg. Oberforstinspektorat, 144.

Ejer, A., 184.

Escher von der Linth, 21, 208.

Eser, 106.

### F

Fellenberg, von, E., 68, 69, 70,  
 242, 245, 246.

Finsterwalder, S., 15, 26, 87.

Fischer-Sigwart, 155.

Forbes, J. D., 6, 67, 95.

Forel, F. A., 7, 12, 13, 14, 68,  
 73, 92, 128, 131, 133, 140,  
 141, 143, 144, 152, 160, 163,  
 165, 166, 206, 207, 208, 209,  
 329.

Fritz, 208.

Früh, J., 246.

Fuhrmann, 155.

Furrer, S. P., 169.

Furrer, 67, 219.

### G

Ghezzi, C., 155, 156, 160.

Giordano, F., 13.

Giuliani, C., 150.

Godwin-Austen, 16.

Gosset, Ph., 66, 67, 68, 69, 70,  
 71, 81, 163, 171, 172, 183,  
 208.

Gosset, Ph., Frau, 2, 171.

Grad, 83, 85, 208.

Greim, G., 12.

Groll, M., 166.

Grosse Rat des Kantons Wallis,  
69, 215, 223, 226.  
Guntern, A., 230.  
Guyer, O., 152, 160.

**H**

Hagenbach, von, 166.  
Hann, J., 91.  
Heer-Betrix, L., 69.  
Heim, A., 4, 6, 10, 83.  
Heimen, U., 216.  
Heinrich, R., 317.  
Helmert, 34.  
Hess, H., 6, 8, 24, 92, 96, 241,  
246, 327, 330.  
Hettner, A., 5.  
Heuscher, 154, 160.  
Hilfiker, J., 34.  
Hirsch, A., 33.  
Höfer, 6.  
Hondaille, 91.  
Horwitz, L., 320, 321.  
Huber, 208.  
Hüser, 215.  
Hurter, J., 143.

**I**

Imboden, J., 69.  
Imesch, D., 184, 256.  
Imfeld, X., 6, 70.  
Imhof, E., 150, 152, 160.  
Imhof, O., 161.  
Im Hasli, 208.  
Inalbon, 211, 212.

**J**

Jordan, 222, 223.  
Jost, 215, 216, 218.

**K**

Kayser, P. E., 116.  
Kern & Cie, 41, 266.  
Koch, J. P., 26.  
König, E., 42, 122, 128, 130.  
Küss, M., 11.  
Kummer, Th., 185.

**L**

Lagalli, M., 26.  
Landeshydrographie, 1, 2, 43,  
46, 108, 109, 110, 113, 151,  
156, 160, 281, 292.  
Landestopographie, 33, 34.

Lanfranchi, L., 234.  
Lendenfeld, 6.  
Liechti, 109.  
Linth, H., 188.  
Lorenz, P., 150.  
Lugeon, M., 12, 14, 73  
Lüscher, G., 302.  
Lütschg, O., 1, 2, 160, 281.

**M**

Maynat, G., 234.  
Masure, F., 106.  
Maurer, J., 2, 108, 112, 209,  
210, 325.  
Meyer, L., 2.  
Mellet, R., 281, 282, 318.  
Mercanton, P. L., 109.  
Mettier, 153, 160.  
Minnig, F., 185.  
Minnig, 219.  
Morlot, von, A., 70.  
Mougin, P., 8, 9, 108.  
Mousson, A., 91.  
Müllner, J., 141, 143, 160.  
Muret, E., 12, 14, 66, 68, 73,  
109.

**N**

Näf, J., 151.  
Negretti, 128.  
Nussbaum, F., 246, 247.

**P**

Penck, A., 5, 24, 141, 242, 246.  
Pesson, R., 273.  
Petermann, A., 19, 24, 201, 246,  
330.  
Pitot, 281.  
Plantamour, E., 33.  
Plüss, H., 137.

**R**

Rabot, Ch., 3, 4, 11.  
Rehm, 6.  
Riche-Preller, du, 72.  
Richter, E., 19.  
Ris, 310.  
Ritter, R., 6.  
Ritter, L. J. R., 163.  
Rod, E., 17.  
Rosazza, P., 215.  
Roten, J. A., 227, 233.  
Russel, 6.  
Rübel, E., 91, 151, 160.

**S**

Salis, von, F., 15, 69, 150, 161,  
170, 235.  
Saussure, de, 14, 92.  
Salzmann, L., 175, 183, 232, 233.  
Secchi, P. A., 7, 163.  
Seiler, A., 160, 234.  
Seiler, R., 5, 6.  
Senn, W., 169.  
Sepibus, de, A., 68, 215, 222.  
Sideler, J., 172, 183.  
Sieger, R., 5, 6.  
Smreker, O., 315, 316.  
Sonklar, C., 16.  
Soret, 166.  
Spescha, 10.  
Spring, W., 163, 165, 167.  
Schardt, H., 2.  
Schlatter, F., 71, 172.  
Schmid, C., 242.  
Schmied, M., 184.  
Schweizer. Departement des In-  
nern, 71, 72, 170, 174, 225,  
226, 227.  
Schweizer. Meteorologische Zen-  
tralanstalt, 2, 108, 112.  
« Staatsarchiv Sitten », 67, 68,  
69, 70, 207, 218.  
Stahel, von, M., 73.  
Steck, Th., 2.  
Stockalper, von, L. A., 67, 68,  
218, 221, 222, 227.  
Stoll, 157.  
Streit, Firma, 44.  
Streng, H., 152.  
Struve, H., 196.  
Studer, G., 21, 69, 169.  
Stumpf, W., 156, 310.

**T**

Tarnuzzer, Ch., 144.  
Tyndall, J., 68, 208.  
Tyndall, L., 73.  
Torrenté, de, A., 67, 68, 69, 70,  
222.  
Toula, 6.  
Travaletti, 236.  
Tscheimen, M., 168.

**U**

Utrecht, E., 120.

**V**

Vallot, J., 7, 8, 329.  
Venetz, J., 67, 205, 208, 211,  
212, 213, 214, 216, 217, 218.

Virgilio, 15.  
 Vogt, K., 21.  
 Volken, J., 227.  
 Volken, V., 69.

**W**

Walden, A., 184.  
 Wällig, J., 215, 216.  
 Walker, A., 222.  
 Wegener, A., 26.

Wehrli, L., 22.  
 Wellig, J., 68.  
 Widmann, J. V., 71, 183.  
 Wild, 91, 265.  
 Winkler, R., 143.  
 Wollny, 105, 106.  
 Workmann, W. H., 28.

**X**

Xavier de Maistre, 163.

**Z**

Zeiss, K., 265.  
 Zeiter, C., 71, 230, 232, 233.  
 Zeiter, F., 233.  
 Zeiter, J., 220.  
 Zen-Ruffinen, O., 69, 71, 227,  
 230, 232, 233, 234, 236.  
 Zschokke, F., 133, 134, 135,  
 150, 155, 160.  
 Zurbriggen, J., 168.

## GEOGRAPHISCHES NAMENVERZEICHNIS.

- A**
- Aare, 324, 331, 334, 335. Taf. 15.  
 Aiguille du Gouter, 8.  
 Airolo, 118.  
 Albula, 235, 312, 313.  
 Aletsch, 168, 183-185, 209, 247.  
 Aletschalp, 247, 248.  
 Aletschgletscher, 1, 5, 14, 17-20,  
 22, 23, 25, 31, 32, 41, 45, 46,  
 50, 51, 61, 70, 72, 76, 81, 85, 87,  
 88, 95, 109, 122, 130, 132, 168-  
 170, 172, 173, 175, 176, 178,  
 183, 184, 193, 199, 207, 208,  
 213, 219, 224, 228, 229, 243,  
 246, 247-252, 258, 288-291,  
 322, 326, 331, 338-340. Taf. 3,  
 5, 7, 11, 20, 24-28, 30, 32, 33,  
 36-40, 42, 43, 49.  
 Aletschhorn, 247, 251, 259.  
 Aletschsee, 18.  
 Aletschwald, 183, 185, 247, 326.  
 Allalingletscher, 16, 207.  
 Alpbach, 319.  
 Alpachersee, 143.  
 Alp Nessel, 247.  
 Altdorf, 319.  
 Alt-St. Johann, 320.  
 Alvaneubad, 312, 313.  
 Amsteg, 319.  
 Andelfingen, 324.  
 Appenzell, 118, 134.  
 Araschga, 303, 306, 308.  
 Ärlenbach, 334.  
 Ännen, 332.  
 Arnensee, 118, 157, 158.  
 Arosa, 153, 303, 306-308.  
 Arosasee, 153, 160.  
 Auf der Platte, 51.  
 Ausserbinn, 311.
- B**
- Balatonsee, 144.
- C**
- Baltschieder, 174, 215.  
 Belalp, 172, 175, 182-184, 247.  
 Bellwald, 10, 221, 245, 256.  
 Belvédère, 337, 338.  
 Bergerin, 256.  
 Bernhardospiz, 133.  
 Bernhardin, 161.  
 Bernhardinsee, 152, 160.  
 Bernina, 161.  
 Bernina Hospiz, 91.  
 Berninapass, 118, 150.  
 Berninasee, 150, 151.  
 Bettmerhorn, 184.  
 Beverser Tal, 15.  
 Biafo-Gletscher, 16.  
 Bietschgletscher, 207.  
 Binn, 176, 311, 333.  
 Binna, 292, 311, 312, 333.  
 Binnenthal, 258.  
 Bionnassey-Gletscher, 9.  
 Birchbach, 12.  
 Birgisch, 257.  
 Bitsch, 73, 175, 185, 194, 196,  
 197, 199-202, 222, 248, 256,  
 258, 263, 267, 271, 278, 280,  
 333, 339. Taf. 10, 11.  
 Bitscherin, 256.  
 Blausee, 166.  
 Blindenbach, 332.  
 Blindtal, 250.  
 Bockibach, 319.  
 Bodmen, 245.  
 Borgne, 246.  
 Branson, 196, 197. Taf. 11.  
 Breithorn, 250.  
 Brienzensee, 331, 334.  
 Brienzwiler, 324.  
 Brig, 18, 68, 141, 170, 172, 174,  
 175, 183, 194, 196, 197, 199,  
 200, 202, 221, 224, 234, 258,  
 263, 264, 267, 331, 333, 336.  
 Taf. 9, 10, 11.  
 Brigerberg, 234.  
 Brucherbach (Bruchibach), 258,  
 268, 292, 293.  
 Brucherer, 256.
- D**
- Davos, 6.  
 Davosersee, 118, 153.  
 Davos-Platz, 313, 314.  
 Defdoraki, 207.  
 Deisch, 256.  
 Dischmatal, 314.  
 Domleschg, 144.  
 Dorfbach Churwalden, 306.  
 Drance, 16, 246.  
 Drance-Tal, 14.  
 Drönaz, 133.
- E**
- Eggen, 24E.  
 Eggerin, 256.  
 Eginenbach, 332.  
 Eggishorn, 18-22, 24, 27, 30, 31,  
 51, 61, 69, 70, 72, 73, 81, 84,  
 85, 87, 105, 108, 113, 130, 136,  
 137, 145, 147, 169, 170, 172,  
 173, 176, 178, 181-184, 205,  
 206, 224, 245, 247, 249, 250,  
 256, 340. Taf. 25, 39.
- C**
- Canovasee, 144.  
 Caumasee, 144.  
 Cholaire, 133, 134.  
 Chur, 150, 303-308, 310, 320.  
 Churwalden, 303, 306, 308.  
 Cima da Flex, 15.  
 Clemgia, 318, 319.  
 Col du Géant, 92.  
 Conkordiahütte, 14, 48-51, 70,  
 73, 81, 100, 136, 176, 184, 205,  
 210.  
 Conkordiaplatz, 18, 108, 136,  
 248, 286, 289.  
 Conthey, 215, 317, 318.  
 Crête-Sèche, 16.

- Eichen, 295.  
 Eifischtal, 246.  
 Elmi, 256.  
 Elmiwasser, 256.  
 Engadin, 118.  
 Engstlenalp, 335.  
 Engstlensee, 118.  
 Eringertal, 246.  
 Ernen, 221.  
 Es-chia-Gletscher, 15.  
 Erstfeld, 319.
- F**
- Fälensee, 118.  
 Faulberg, 136.  
 Fellibach, 319.  
 Felsberg, 320.  
 Ferrera, 10, 11.  
 Festi-Gletscher, 12.  
 Fiesch, 40, 45, 46, 48, 68, 69, 73, 109-111, 113, 118, 136, 141, 176, 215-221, 223, 230, 233, 241, 245, 254, 256, 258, 263, 274, 277, 284-289, 292, 331, 333, 336, 339.  
 Fiescherbach, 19, 21, 40-42, 44-48, 68, 109, 212, 220, 228, 230, 241, 243, 244-246, 249, 251-258, 260-263, 270-274, 276, 284-293, 297, 333, 336, 338, 339. Taf. 1, 3, 16, 18, 19, 46, 48.  
 Fiescherboden, 40, 245.  
 Fieschergletscher, 10, 21, 40, 88, 213, 220, 228, 229, 241-243, 245, 251, 288-291, 331, 338-340. Taf. 1, 45, 47.  
 Fieschergrat, 249.  
 Fiescherhorn, 18, 184, 241, 242, 249-251. Taf. 40.  
 Fieschertal, 19, 21, 24, 40, 45, 46, 68, 87, 88, 212, 213, 215, 216, 218-225, 227-233, 241, 245, 246, 249, 256, 263, 290.  
 Filet, 219.  
 Findelenbach, 330.  
 Flims, 144.  
 Flüelapass, 118, 119.  
 Flüela-Schwarzsee, 153.  
 Flüelatal, 314.  
 Fluhwasserleitung, 267.  
 Fondeierbach, 306, 308.  
 Furg, 245.  
 Fuorcla-Pischa, 15.  
 Fürnegarten, 40, 256.  
 Fussgrat, 250.
- G**
- Gadmerwasser, 334.  
 Galmifirn, 241.  
 Galmihorn, 249.  
 Gafensee, 133.  
 Gampenen, 324.  
 Ganterbach, 333.  
 Garschina, 133, 160.  
 Gebidem, 194, 199, 248, 258, 267-269, 271, 272, 273, 280, 281, 283, 289, 295, 333, 339. Taf. 50.  
 Gebidembrücke, 209, 248, 264, 268, 271, 278, 286, 294, 295, 333.  
 Gehrensteg, 47, 254.  
 Geimen, 184, 264, 267, 268.  
 Geimerplatt, 267.  
 Gelmerbach, 334.  
 Gelmersee, 156.  
 Gentalwasser, 335.  
 Gibelegg, 245, 249.  
 Giétroz, 16, 207.  
 Gimmelwald, 335.  
 Glacier de la Neuvaz, 11, 12.  
 Glacier de la Réchasse, 11.  
 Glacier des Bossons, 11.  
 Glacier des Pélerins, 11.  
 Glacier du Géant, 6.  
 Gletsch, 109-111, 113, 331, 332, 336-338.  
 Glingelsteg, 243.  
 Görbsbach, 317.  
 Goms, 215, 241.  
 Gornerbach, 319.  
 Gornergletscher, 5-8.  
 Gornersee, 7.  
 Gotthardplateau, 155.  
 Gotthardsee, 118-120.  
 Gsteig, 335.  
 Grand Lay, 133, 134.  
 Granges, 175, 197. Taf. 10, 11.  
 Graue Hörner, 133, 153, 161.  
 Gredigs Älpli, 153, 160.  
 Grensiols, 292.  
 Grimsel, 331, 334.  
 Grimsel-Hospiz, 156.  
 Grimselsee, 118-120, 156, 161.  
 Grindelwaldgletscher, 335.  
 Grubenpass, 134.  
 Grüneck (Grünegg), 14, 326.  
 Grünhorn, 18,  
 Gurgler Tal, 17.  
 Guslarferner, 6.  
 Guttannen, 331, 334.
- H**
- Handegg, 334.  
 Hintereisferner, 6, 15, 87, 327.  
 Hintersee, 19, 22, 23, 35, 41, 54, 57, 59-64, 66, 71, 74, 86, 89, 93, 95, 97-102, 107, 112, 116, 121-123, 126, 128, 129, 132-134, 136, 137, 139-141, 144, 149, 160, 161, 164, 165, 171, 176, 239, 285. Taf. 6, 17, 20, 21, 31, 33, 36, 37, 43, 44.  
 Hochjoch-Ferner, 15.  
 Hofwasser, 256.  
 Hohberg-Gletscher, 12.  
 Hohe Brücke, 44, 47, 244.  
 Hohstock, 242.  
 Hopflauenen, 334.  
 Hotel Belalp, 247.  
 Hotel Jungfrau, 40, 48, 70, 73, 81, 108, 113, 136, 137, 141, 147, 171, 176, 182, 246.
- I**
- Iennenalp, 256.  
 Im Ahorn, 268.  
 Im Flüh, 267.  
 Im Sand, 303.  
 In den Brunnen, 220.  
 In den Löchern, 267.  
 Innertkirchen, 118, 331, 334, 335.  
 Inschialpbach, 319.
- J**
- Julia, 15.  
 Jungfrau, 18, 67, 69, 171, 249, 251, 258.  
 Jungfraujoch, 18, 108, 109, 136.
- K**
- Kandersteg, 118.  
 Kandertal, 166.  
 Kärstelenbach, 319.  
 Kehrwasser, 256.  
 Kelchbach, 268, 333.  
 Kistenpass, 161.  
 Klönthalsee, 118, 154.  
 Kohlplatz, 248.  
 Kranzberg, 326.  
 Kühboden, 249.  
 Kühle Ecke, 31, 51, 178. Taf. 7.  
 Kunkels, 317.  
 Kupferboden, 292.  
 Kurzras, 13.
- L**
- Lac de Chavannes, 134.  
 Lac de Fenêtre, 133, 134.  
 Lac de Fully, 160.  
 Lac de Joux, 144, 160.  
 Lac de Taney, 118.  
 Lac des Brenets, 144.  
 Lago Bianco, 118-120, 150, 151, 160.  
 Lago Cadagno, 133.  
 Lago Cadlimo, 155.  
 Lago della Crocetta, 151, 160.

- Lago della Scala, 151, 161.  
 Lago di Saoseo, 150.  
 Lago Moëso, 152, 161.  
 Lago Nero, 151, 160.  
 Lago Pizzo Tenelin, 135.  
 Lago Poncione negri, 135.  
 Lago Scuro, 155.  
 Lago Taneda, 133.  
 Lago Tremorgio, 156.  
 Laiet, 15.  
 Lalden, 174.  
 Landwasser, 308, 312-314.  
 Landquart, 153, 323.  
 Langenferner, 15.  
 Langgrubtal, 13.  
 Längtalbach, 333.  
 Langtaler Eisse, 17.  
 Langwies, 303, 306, 308.  
 Lauenensee, 118.  
 Lauteraargletscher, 326.  
 Lax, 215, 216, 256, 289.  
 Laxerweisse, 256.  
 Lechaal-Gletscher, 14.  
 Leera, 256.  
 Lehnwasser, 256.  
 Leimboden, 335.  
 Lej Pitschen, 151.  
 Lej Sgrischus, 152, 160, 161.  
 Lötschenlücke, 18, 250.  
 Lucendrose, 155, 160.  
 Lünensee, 133, 153, 160.  
 Lungernsee, 118.  
 Lüttschine, 335.
- M**
- Macugnana-Gletscher, 13.  
 Märjelenalp, 18, 19, 23, 24, 40, 45, 46, 48, 50, 83, 85, 88, 136, 171, 213, 220, 221, 228, 229, 231, 249, 250, 322, 329. Taf. 20, 35.  
 Märjelen-Kanal, 221.  
 Märjelensee, 1-3, 17, 19-21, 23, 25, 26, 31, 35, 40-42, 46, 48, 51, 54, 56-62, 64, 66, 69, 70, 73, 75, 80, 83, 85-89, 94, 105, 107-111, 113, 116-121, 130, 134-137, 141, 147, 150, 160, 161, 163, 165, 168, 169, 171-176, 178, 182-184, 188, 193, 199, 202, 203, 206, 207, 209, 211, 213, 217, 219-221, 223, 226, 227, 231, 236, 243, 246, 248, 252, 254, 285-289, 293, 294, 322, 323, 326, 329, 340. Taf. 3, 5, 6, 8, 11, 14, 17, 20, 21, 25-27, 30, 41.  
 Märjental, 21, 24, 85.  
 Martelltal, 15, 26.
- Massa, 19, 21, 22, 109, 168-170, 172, 176, 182, 193-197, 199-201, 209, 227, 241, 246-249, 251, 252, 254, 256-258, 260-265, 269-273, 278, 280, 281, 283-292, 294, 295, 297, 322, 323, 330, 333, 338, 339. Taf. 10, 11, 16, 18.  
 Massaboden, 263, 289, 295.  
 Massabrücke, 183, 302.  
 Massaeggen, 248, 250.  
 Massakinn, 168, 175, 248, 250.  
 Massaschlucht, 183, 205, 248. Taf. 49-51.  
 Mattmarksee, 16.  
 Mehlbaum, 268.  
 Meiersboden, 303, 306-308.  
 Melchsee, 118.  
 Melchtal, 118.  
 Mer de Glace, 6, 14, 329.  
 Merczenbach, 332.  
 Metten, 294.  
 Misurinasee, 160.  
 Mittaghorn, 250.  
 Mittelaletsch, 84.  
 Mittlere Biel, 48.  
 Molinis, 306, 308, 310.  
 Mont-Dolent-Gletscher, 15.  
 Monte Rosa, 7, 13.  
 Mont Noir, 14.  
 Moränensee, 22, 23, 55-62, 64, 89, 90, 92, 93, 183. Taf. 44.  
 Mörel, 18, 175, 176, 199, 215, 217, 222, 230, 249, 289, 292, 294.  
 Mühlbach, 303, 304, 306, 307.  
 Mühlebach, 267.  
 Mühlbach, 332.  
 Mund, 333.  
 Mundbach, 333.  
 Münster, 46, 230, 332.  
 Münsterbach, 332.  
 Murgsee, 133.  
 Muttbach, 336, 337.  
 Muttsee, 153, 161.
- N**
- Naters, 168, 175, 183, 184, 208, 209, 232, 249, 256, 257, 264, 267, 268, 333.  
 Nendaztal, 246.  
 Nessental, 334.  
 Neubrügg, 292, 293.  
 Niedersee-Amsteg, 154, 160.  
 Niederwald, 40.  
 Noirsee, 118.
- O**
- Oberaletsch, 84.  
 Ober-Engadin, 15.  
 Obergestelen, 258.  
 Oberhalbstein, 15.  
 Obersee-Amsteg, 155, 160.  
 Oberthor-Mühlbach Chur, 303, 306-308.  
 Oberwald, 109.  
 Obfluh, 10.  
 Oetzal, 12, 15.  
 Oeschinensee, 118, 157, 160.  
 Olmenhorn, 14, 18, 326.  
 Ornygletscher, 109.  
 Ornysee, 133, 135.  
 Otemma-Gletscher, 16.
- P**
- Partnun, 133, 134, 153, 160.  
 Passugger Quellen, 310.  
 Pic du Tacul, 14.  
 Pierre du Niton, 34.  
 Pierre Pointue, 11.  
 Piz Blaison, 15.  
 Piz d'Agnelli, 15.  
 Pizzo Colombe, 133, 161.  
 Plaffeyen, 118.  
 Plan des Dames, 134.  
 Platten, 40, 46, 194, 245, 248, 264, 267, 268, 326.  
 Plessur, 303, 305-308, 310.  
 Porte du Scex, 73, 120, 194, 196, 197, 199-202, 323, 324. Taf. 9-12.  
 Poschiavo, 150.  
 Puntaiglas-Gletscher, 10.  
 Punta nera, 133.
- R**
- Rabiosa, 303, 306-308, 310.  
 Randa, 12.  
 Raron, 197, 215. Taf. 11.  
 Reckingen, 109-111, 113, 284-286, 288, 331-332.  
 Reckingerbach, 332.  
 Reichenbach, 335.  
 Reuss, 319, 324.  
 Rhätikon, 133, 134, 153.  
 Rhein, 303, 320, 323, 324.  
 Rhone, 12, 14, 18, 22, 44, 71, 72, 120, 168-170, 172-176, 182, 183, 193-197, 199-202, 215, 223, 224, 227, 248, 249, 251, 255-261, 263, 274, 289, 292-294, 323-325, 330-333, 336-338. Taf. 9-13, 15.  
 Rhonegletscher, 92, 108, 245, 246, 329, 336-338.  
 Rhonetal, 16, 22, 52, 169, 196, 213, 222, 241, 245, 246, 254, 255, 284, 286, 325, 329.



- Riddes, 197. Taf. 11.  
 Ried, 175, 176, 185, 245, 256, 294.  
 Riederalp, 172, 183, 184, 247, 248.  
 Riederfurka, 183, 247, 248.  
 Riederhorn, 247, 250, 340.  
 Riederin, 256. Taf. 50.  
 Rischen, 248.  
 Ritomsee, 118, 155.  
 Ritti, 215.  
 Roddi, 156.  
 Rofenersee, 15.  
 Rofental, 15.  
 Rote Platte, 48.  
 Roththal, 69.  
 Rotsee, 143.  
 Rutorgletscher, 17.
- S**
- Saanen, 118.  
 Saas, 168.  
 Saasbach, 337.  
 Saillon, 175, 215.  
 Saltine, 333.  
 Sangiwasser, 256.  
 Sapünerbach, 303, 306, 308.  
 Saxon, 215, 255.  
 Scarltal, 318, 319.  
 Schächenbach, 319.  
 Schallberg, 333.  
 Schottensee, 118, 120, 133, 153.  
 Schuls, 318, 319.  
 Schwarze Lutschine, 335.  
 Schwarzsee, 133, 153, 161.  
 Schwenser-Ferner, 12.  
 Seealpsee, 118.  
 Seebach, 20, 21, 23, 40-42, 45,  
 48, 68, 100, 130, 178, 220, 230-  
 232, 242. Taf. 2.  
 Seedorf, 319, 324.  
 Seerüti, 319.  
 Seewenalpsee, 133, 134.  
 Seftinen-Lutschine, 335.  
 Selkingen, 332.  
 Sellasee, 155.  
 Sembrancher, 214.  
 Sertig, 6.  
 Setzenhorn, 249.  
 Sierre, 175, 196, 197. Taf. 11.  
 Sihlbrugg, 311.  
 Silsersee, 118, 152, 160.  
 Silvaplannersee, 118.  
 Simplon, 292.  
 Simplontunnel, 248, 263, 264,  
 271, 294.  
 Sitten, 12, 67-73, 172, 174, 175,  
 194, 196, 197, 199-202, 207,  
 218, 232, 317, 318. Taf. 9-11, 13.  
 Sonnenrüti, 306, 308.  
 Splügenssee, 152.  
 Surrhein, 300.  
 Stadt-Mühlbach Chur, 303.  
 Stalden, 268.  
 Stausee-Arni, 155, 160.  
 St. Bernhard, 133, 134, 158.  
 Stegmattbrücke, 331, 335.  
 Stein, 320.  
 St. Gervais, 7, 9.  
 St. Gotthard, 108, 133, 135, 155.  
 St. Maurice, 196, 197. Taf. 11.  
 St. Moritzersee, 152, 160.  
 Stockalp, 220.  
 Strahlhörner, 19, 20, 27, 30, 35,  
 66, 84, 85, 87, 97, 100, 105,  
 110, 142, 176, 211, 213, 224,  
 250, 326.  
 Studerfirn, 241.
- T**
- Taculgletscher, 14.  
 Tamina, 317, 323.  
 Tardisbrücke, 323, 324.  
 Taverbach, 333.  
 Tête Rousse, 8-10.  
 Thalalpsee, 134.  
 Thälligrat, 19, 97, 105, 142.  
 Thuillethal, 17.  
 Thur, 320, 324.  
 Tilisuna, 133, 160.  
 Titer, 241.  
 Todtalpsee, 153, 160.  
 Tomsee, 118, 134.  
 Traunsee, 141.  
 Treschbach, 13.  
 Triftwasser, 334.  
 Triestgletscher, 252.  
 Trioletgletscher, 15.  
 Trübsee, 156.  
 Truns, 10.  
 Tschiertchen, 307.  
 Turtmannal, 246.
- U**
- Uebeltalferner, 15.  
 Unteraargletscher, 5.  
 Unterengadin, 318.  
 Unterwasser, 334.  
 Unterstock, 334.  
 Unter-Thälli, 40, 136.  
 Unter-Titer, 47.  
 Unterthor-Mühlbach Chur, 308.  
 Urbachwasser, 334.
- V**
- Val des Oselettes, 17.  
 Val Ferret, 11.  
 Valle di Campo, 150.  
 Val Naps, 300, 301.  
 Val Plazbi, 15.  
 Valsoreyglatscher, 14.  
 Val Trigl, 318, 319.  
 Val Tuors, 15.  
 Vanoise, 11.  
 Vättis, 317.  
 Vernagtferner, 15.  
 Viktoria Hütte, 70, 71, 172.  
 Viltersee, 133.  
 Visp, 12, 174, 175, 232, 246,  
 331, 332.  
 Vispental, 12, 16.  
 Vordersee, 19, 23, 35, 41, 54-66,  
 77, 86, 89, 90, 92, 93, 95, 97-  
 102, 107, 112, 116, 121, 122,  
 126-130, 134, 136, 137, 140-  
 142, 144, 146-149, 160, 164,  
 171, 239. Taf. 6, 17, 20-23, 29.
- W**
- Wallibach, 332.  
 Walliser Fiescherfirn, 241.  
 Wannehorn, 72, 251.  
 Wannigletscher, 256.  
 Wasenhorn, 241, 249.  
 Weisse Lutschine, 335.  
 Weisse Platte, 44, 47, 48, 242.  
 Weingartengletscher, 13.  
 Welsch Tobel, 303.  
 Wichel, 46.  
 Wichelsteg, 46, 253.  
 Wiesener Schafthäli, 312.  
 Wildsee, 133, 153, 160.  
 Wilerwald, 249.  
 Wirbel, 47, 245, 252.
- Z**
- Z'Brigg, 256.  
 Zermatt, 12, 13, 330.  
 Zmuttgletscher, 12.  
 Zufallferner, 15, 26.  
 Zürichsee, 143, 166.  
 Zweilütschinen, 335.  
 Zwirgi, 335.

## SACH-VERZEICHNIS.

### A

Aargebiet, minimale Abflussmengen, 334-335.  
Abdämmung eines Seitentales durch einen Gletscher, 3.  
Abflussöffnung, Lage und Grösse, 4.  
Abflussquerschnitte im Gletscher bei Seeausbrüchen, 186.  
Abkühlungsperiode, 132.  
Ablation des Gletschers, 80, 107, 112, 115.  
Ablationswasser, 328, 329.  
Abschmelzung der Schneemassen, Verlauf, 113.  
Abspülungsprozess, 23.  
Abstichnägel, 35, 38.  
Abtragende Kräfte, 25.  
Akkumulationsbassin, 108.  
Aktinometrische Messungen, 112.  
Aletschgletscher, Gliederung, 339.  
Alpenoberfläche, präglaziale, 24.  
Auftauperiode, 148.  
Ausbrüche des Märjelensees, Aenderung der Abflussmengen, 190.  
Ausbrüche, bauliche Vorkehrungen gegen die, 211.  
Ausbrüche, Druckhöhen, 188.  
Ausflusskoeffizient, 186.

### B

Baignoires, 5.  
Bergfeuchtigkeit, 315.  
Bergnebel, 89.  
Bewässerung, Nährstoffe für, 255.  
Bewässerungskanäle, 255.  
Bewölkung, 286.  
Bewölkung, Einfluss auf den Gang der Vereisung, 140.  
Bisses, 255.  
Boden, silikalthaltiger, 117.  
Bodenwasser, 315.

### D

Dolinen, brunnenförmige, 5.

### E

Eggishorn, Schlifffgrenze, 19.  
Eis, Kontraktion, 146.

Eis, Oberflächen-, 301.  
Eis, Struktur, 29.  
Eisberge, 25, 29, 77.  
Eisberge, Wirkung des Wellenschlages auf die, 30.  
Eisbildung, 145, 300.  
Eisblöcke, 80.  
Eisdecke, Bildung von Löchern durch Schneefall, 143.  
Eisdecke, Gewicht, 104, 148.  
    • Mächtigkeit, 146, 161.  
    • Märjelensee, 104. Tafel 30.  
    • runde Flecken. Tafel 29.  
    • Schichtung.  
    • Schwinden derselben, 140.  
    • Spaltenbildung, 146. Tafel 30 u. 31.  
    • Verhaltung während der eigentlichen Eisperiode, 140.  
    • Wellenform, 149. Tafel 26 u. 27.  
    • Wirkung der Bewegung des Gletschers auf die, 96.

Eisdicke hochalpiner Seen, Einzelbeobachtungen, 150.

Eisfalte, 104. Tafel 32.

Eishöhlen, 28.

Eissäulen, Tafel 38.

Eisschicht, Bildung einer wässerigen, 99.

Eisschicht (Schnee), runde Flecken, 141.

Eisschmelzkonstante, 112.

Eisschollen, kuchenförmige, 140.

Eis-Seen, 3, 4, 5, 10.

Eisverhältnisse, 136. Tafel 23.

Eiswand des Grossen Aletschgletschers gegen den See, 25. Tafel 42.

Eiswand, horizontale Linien, 25.

Endmoräne, 22, 23. Tafel 44.

Erdmessung, internat. Konferenz in Florenz, 34.

Erdwärme, 330.

Erosion, fliessendes Wasser, 23.

Erosionslandschaft, 248.

Erwärmungsvorgänge, 132.

### F

Farbe des Wassers, 7, 163.

Farbenskala (Forel), 165.

Fiescherbach, Abflussmengen, 277. Tafel 19.

- Fiescherbach, Abflussmengen u. Temperaturkurven, 286.
- » Abflussverhältnisse, 284.
  - » Begrenzung der Flussgebiete, 249.
  - » Flächeninhalte, 259, 288.
  - » Gefällsverhältnisse, 252, 289.
  - » Gestalt des Flusslaufes, 252.
  - » Höhenversicherungen am, 46.
  - » Hypsographische Kurven der Einzugsgebiete, 260. Tafel 18.
  - » Längenprofil, 40, 44, 45. Tafel 1.
  - » mittlere Meereshöhe, des Einzugsgebietes, 291.
  - » orographische Verhältnisse, 290.
  - » Quellbäche, 242. Tafel 46 u. 48.
  - » Uebersichtskarte des Einzugsgebietes, Tafel 16.
  - » Wasserkräfte, 292.
  - » Wassermess-Resultate, 339.
  - » Wassermessungen, 274.
  - » Wasserstandsbewegung, 270.
- Fieschergletscher, Gliederung, 339.
- Fieschertal, Terrassierung, 24.
- Fixpunkte, 40.
- Fluorescän, 281.
- Frostdauer (mittlere), 304.
- Frostgrad (mittlerer), 304.
- Flusseis, Bildung, 273, 303.
- Flusseisperiode, Dauer, 303, 304, 307.
- Flutwelle, 16, 22, 193. Tafel 9, 10, 12 u. 13.
- » Fortpflanzungsgeschwindigkeit, 197.
  - » Zeitkurve, 195. Tafel 11.
- G**
- Gase, atmosphärische, 115.
- Gebirgsbäche, minimale Abflussmengen, 297.
- Gebirgsgewässer, 41.
- Gewässer-Längenprofile, Zeichenerklärung, Taf. A.
- Gletscher, Abbrüche die eine Anstauung eines Talwassers verursachen, 16.
- Gletscher, Abflussmengen im Sommer, 323.
- » » Winter, 322-340.
  - » arktische, 5.
- Gletscher-Bach, Abflusskoeffizient, 331.
- » » beim Gletschertor, 329.
  - » » Wasserführung, 331.
- Gletscher-Bewegung, 4, 5, 20, 83, 104, 211, 330.
- Gletscher-Bewegungswellen, 87.
- Gletscher, Böschungswinkel, 331.
- Gletscher-Dolinen, 5.
- Gletscher, Druck auf die Eisdecke des Märjensees, 147.
- » Druck auf die felsige Unterlage b. Märjensee, 179.
  - » Flächenverhältnis von Firn zu Junge, 289.
  - » Haarspalten, 5, 96, 329.
- Gletscher, Kalben des, 20, 145. Tafel 28.
- » Karstformen der, 5.
- Gletscher, Katastrophen, 4, 8.
- » Kondensation, 91.
  - » maximale Abflussmengen, 324.
- Gletscher-Milch, 10, 164.
- Gletscher, mittlere Abflussmengen, 324.
- Gletscher-Mühlen, 5, 6.
- Gletscher-Mulden, 28.
- Gletscher, Oberflächengestaltung, 5.
- » Rand gegen den Märjensee, 53.
- Gletscher-Randseen, 14.
- Gletscher, Retentionsvermögen, 329, 330.
- » Rückgang, 3.
- Gletscher-Schliffe, 23, 243.
- Gletscher, Schmelzlöcher, 28.
- » Schmelzwassermengen, 97.
  - » Schwankungen, 207.
  - » Schwinden, 20.
  - » subglaziale Kanäle, 11.
  - » tektonische Veränderungen, 5.
  - » Tiefstand, 242.
  - » Trichter, Entstehungsweise, 6.
  - » trichterförmige Einsenkungen, 5.
  - » Verdunstung, 91.
- Gletscher-Vorstoss, 22.
- Gletscher-Wasser, Trübung, 330.
- Gletscher, Wasserkammer, 4, 10.
- » Wasserlöcher, 5, 144.
  - » Wasserstuben, 4.
  - » Wellenbildung auf der Oberfläche, 31.
- Gletscherabstürze, Stauung des Abflusses bei Seeausbrüchen, 3.
- Gletscherbäche, Anschwellungen, 4.
- » Gefällsverhältnisse, 270.
  - » Ursache der Anschwellungen, 4.
- Gletscherseen, im allgemeinen, 3, 17, 95.
- Gletscherspalten, Bildung der, 5, 30.
- » Erweiterung bei Seeausbrüchen 96.
- Gletschertor, 44, 248.
- Gletscherwand, 80.
- » Abflussöffnungen, 186, 190.
- Gletscherwand, Einfluss der verschiedenen Lage auf die morphometrischen Verhältnisse des Märjensees, 85.
- Gletscherwand, gegen den Märjensee, senkrechte Rillen, 25.
- Gletscherwand, treppenförmige Ausfressungen, 28.
- Gletscherwasser, chemische Analyse, 331.
- » Geschwindigkeit unter der Oberfläche, 329.
- Gletscherzunge, 83, 86, 245, 247.
- Gletscherzungenbecken, 245.
- Gletscherzunge, im Märjensee, Querprofilaufnahme, 86. Tafel 5.
- » Bewegung im Becken des Märjensees, 83, 103.
  - » Fieschergletscher, 44. Tafel 47.
  - » Gestalt, 84.
- Gratseen, 14.
- Grosser Aletschgletscher, Gefälle, 83.

Grosser Aletschgletscher, Höhenversicherungen, 46.  
 Grosser Aletschgletscher, Lage der Grenzlinie gegen den Märjelensee, 54, 85.  
 Grosser Aletschgletscher, Längenprofil des linksufrigen Randes b. Märjelensee. Tafel 7.  
 Grosser Aletschgletscher, offener Graben im Gletschereis, verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees. Tafel 7, 39, 40.  
 Grosser Aletschgletscher, Rand am Fusse des Eggishornes, Tafel 25.  
 Grosser Aletschgletscher, Schwinden, 208.  
 » » Steilrand gegen den Märjelensee, Tafel 30, 32.  
 » » Zunge und Tor. Tafel 49.  
 Grundeis, Entstehung, 301, 302.  
 Grundspalte, 8, 204. Tafel 43.  
 Grundwasser, 316.  
 Grundwasserstrom, 105.

**H**

Hagel, 115.  
 Hintersee, Einfluss des Seebaches auf Temperatur, 131.  
 Hintersee, Luft- und Wassertemperaturen, 123, 126, 127.  
 Hintersee, Messung der sichtbaren Zuflüsse, 100.  
 » mittlere Total-Zuflussmengen, 102.  
 » Niveauschwankungen, 73.  
 » Temperaturgang, 126.  
 » Zuflüsse, gemessene und tatsächliche, 104.  
 » Zuflussmengen, 95, 100, 101.  
 Hochalpine Seen, Einteilung in Hinsicht auf ihre Temperatur, 133.  
 Hochalpine Seen, Eisverhältnisse, 160.  
 Höhenbestimmungen, 41.  
 Höhenfixpunkte des schweiz. Präzisionsnivelements, 33.  
 Höhenkreisinstrument, 44, 45.  
 Höhenversicherungen, 33.  
 Höhenversicherungen in Fiesch, Fieschertal, Märjelensee und Aletschgletscher, 46.  
 Höhenversicherungen in Brig, Naters, Platten, 267.  
 Humusstoffe, 167.

**I**

Interglazialzeit, 24.  
 Interimspegel, 298.

**K**

Kalbung durch Auftrieb, 27.  
 Kalbung durch Niedersturz, 26.  
 Kalkhaltiger Boden, 117.  
 Kalziumverbindungen, 167.  
 Kanäle für die Absenkung der Hochwasserstände des Märjelensees, Bauausführung, 215.  
 Kochbrunnen, 144.

Kohlensäure der Luft, 115.  
 Kraftanlagen, 149.

**L**

Landeshorizont der Schweiz, 34.  
 Längenmessung, Genauigkeit, 45.  
 Lattenkoeffizienten, 42, 43.  
 Lattenmeter. Aenderung in der Länge, 42, 266.  
 Lawinen, Einfluss auf die minimale Abflussmenge, 311-314.  
 Licht, Absorptionsvermögen in reinem Wasser, 163.  
 Limnigraph, 35, 264.  
 Limnimetrische Kurve, 81.  
 Luft, Bewegung der, 89.  
 Luft, Feuchtigkeit der, 89.  
 Luft, Sättigung mit Wasserdampf, 89.

**M**

Märjelensee, Abflussverhältnisse, 1.  
 » Absenkung 1909, Pegelbeobachtungen und Abflussmengen, 180.  
 » Absenkung, 178. Tafel 36, 37 u. 38.  
 » Absenkungsgraben, 213.  
 » Absenkungsstollen. Tafel 23.  
 » Ansteigen im Winter, 95, 148.  
 » Aufzeichnungen über Ausbrüche, 168.  
 » Aufzeichnungen über Wasserstände und Ausbrüche, 65-73.  
 » Ausbrüche, 35, 39, 54, 66-73, 169, 197, 329.  
 » Ausbrüche, Niederschlagsmengen und Temperaturen, 209.  
 » Ausbrüche und Gletscherschwankungen, 209.  
 » Bau des Stollens zur Absenkung der Hochwasserstände, 223, 236.  
 » Bewegung der Gletscherzunge im See, 85, 87, 95, 96.  
 » Böschungswinkel des Seebeckens, 62.  
 » Breiten des Sees, 59.  
 » Durchlässigkeit des Bodens, 101, 105.  
 » Einzugsgebiet, 106, 113, 116.  
 » Eisdicke, 136, 137, 150.  
 » Eisschichtung, Tafel 17.  
 » Eis- und Schneebeziehungen, 136. Tafel 23.  
 » Flächeninhalte, 54.  
 » geographische Lage, 19.  
 » geologische Verhältnisse, 1.  
 » Gesamtansicht, Tafel 21.  
 » Gliederung, 61.  
 » Höhenvermessung, 36.  
 » Höhenversicherungen am, 46.  
 » Hypsographische Kurven, 58.  
 » Isohypsen-Flächen, 54, 59.  
 » Isohypsen-Kurven, 53.  
 » Lage der Eisberge, 29.  
 » Längen, 59.

- Märjensee, mittlere Schwankung des Seespiegels, 75.
- » Morphometrie, 54.
  - » natürliche Hochwassermarken am, 74.
  - » natürlich. Niederschlagssammler, 108.
  - » Niederschläge im Einzugsgebiet, 106.
  - » Niederschlagsmenge, 107, 109, 113.
  - » Niveauschwankungen, 1, 33, 35, 66, 73, 199.
  - » Nullpunktscode des Pegels, 40.
  - » Oberflächentemperaturen, 122.
  - » periodische Schwankungen, 77, 80.
  - » Profil vom Fiescherbach bis zum Aletschgletscher, Tafel 3.
  - » Quellen, 106, 107, 112.
  - » Querprofilaufnahmen, Tafel 4.
  - » scheinbare Farbe des Wassers, 167.
  - » Schlamm- und Regengüsse, 81.
  - » schmelzende Wirkung des Seewassers, 4, 107, 205.
  - » Seefläche, 106.
  - » Seeinhalte, 54-57, 59.
  - » Seespiegelschwankungen durch Kalbung und Regengüsse, 81.
  - » Sichtbarkeitsgrenze, 163.
  - » Sichttiefe, 163.
  - » Situation, 52.
  - » Situations-Skizze, 52, Tafel 6.
  - » Sohlengestaltung, 53.
  - » Sommertemperaturen, 135.
  - » Sondierungen, 52.
  - » Steilheit der Ufer, 80.
  - » Stollen-Einlauf und Auslauf, Tafel 6.
  - » Stollenportal, Tafel 35.
  - » tägliche Schwankung, 77.
    - » » Periode, 79.
  - » tägliche Periode des Abschmelzens des Gletschers und der Eisberge, 77.
  - » Temperaturschichtung, Tafel 17.
  - » Temperaturverhältnisse, 121, 122.
  - » thermische Lotungen, 128.
    - » » Schwankungen, 127.
  - » Tiefen, 60.
  - » Tiefenkarte, 52, 86, Tafel 20.
  - » Tiefenmessungen, 52.
  - » Tiefenschichten, 121.
  - » Tieferlegung, 88.
  - » Transparenz des Wassers, 163.
  - » Triangulation, 52.
  - » Trübung des Wassers, 163.
  - » Tümpel, 23, 61, Tafel 22.
  - » Ueberlaufschwelle, 31.
  - » Ueberschwemmungen im Rhonetal durch Ausbrüche, 211.
  - » Uferentwicklung, 61.
  - » Umgrenzungslinie, 52.
  - » Unterhöhlungen der Gletscherzunge, 85, 212.
  - » Ursachen der Ausbrüche, 204, 206.
  - » Verdunstungsversuche, 89, 90.
- Märjensee, Verhalten der Seeausbrüche im Gebiete des Aletschgletschers, der Massa und der Rhone, 168.
- » Verhältnis der mittleren zur größten Tiefe, 60.
  - » Vermessung der Seewanne, 52.
  - » Verstopfungen der Abflussspalte, 82, Tafel 43.
  - » vollständiger Ausbruch 1878, 52.
  - » Volumen des Sees, 57.
  - » Vorkehrungen gegen Ausbrüche, 52.
  - » Vorstossfläche des Gletschers, 104.
  - » Wärmegehalt, 77, 80, 112.
  - » Wärmestrahlung, 121.
  - » Wärmezufuhr beim Vorder- bzw. Hintersee, 121, 122.
  - » Wasserdruck auf die Gletscherwand, 186.
  - » Wasserproben, 116.
  - » Wasserspiegelschwankungen, 36, 64.
  - » Wasserstands- und Wasserstandsbewegung, 75.
  - » Wasserstandsverhältnisse, 64, Taf. 14.
  - » Wassertemperaturen, 121, 212.
  - » Wasserzufuhr, 74.
  - » Wechsel der Wasserfarbe, 165.
  - » Wellenbildung durch Kalbung, 27.
  - » Wellenschlag, 205.
  - » winterlicher Gletschervorstoss, 104.
  - » Zirkulationsströmungen an der Eiswand, 132.
  - » Zuflüsse, 97.
    - » » vom Gletscher, 111.
  - » Zufrieren des Sees, 140.
  - » Zunahme der Seeinhalte, 111, 112.
  - » Zunge des Gr. Aletschgletschers, Tafel 24.
  - » Zustand der Gletscherzunge 1878 u. 1913, Tafel 20.
  - » Zustände des Absenkungsgrabens nach Vollendung, 219.
- Mareographenangaben, 34.
- Massa, Abflussmengen, 273, 283, 286.
- » Abflussverhältnisse, 284.
  - » Begrenzung der Flussgebiete, 249.
  - » Bestimmung der Nullpunkthöhe des Pegels im Gebidem, 264.
  - » Bewässerung, 254.
  - » Flächeninhalte, 259.
  - » Flutwellen, Verlauf, 193.
  - » Gefällsverhältnisse, 252, 289.
  - » Gestalt des Flusslaufes, 252.
  - » hypsographische Kurven der Einzugsgebiete, 260, Tafel 18.
  - » Längenprofil, Tafel 52.
  - » mittlere Meereshöhe des Einzugsgebietes, 291.
  - » Schlamm- und Sandzufuhr, 252.
  - » Uebersichtskarte d. Einzugsgebietes, Taf. 16.
  - » Wasserkraft, 292.
  - » Wassermessresultate, 339.

- Massa, Wassermessungen, 273, 278, 280.  
 » Wasserstandsbewegung, 270.  
 Mineralstoffe, gelöste, 116.  
 Minima, ausserordentliche, 298, 299.  
 » Begriff der Minimalwassermenge, 298.  
 » extreme Abflussdauer, 298.  
 » mittlere, 298, 299.  
 » ordentliche, 298.  
 » Ursachen der ausserordentlichen, 299.  
 Minimale Abflussmengen der Gebirgsbäche, Ein-  
 fluss der Gletscher. Tafel 15.  
 Minimale Abflussmengen der Gebirgsbäche, Ein-  
 leitung, 297.  
 Minimale Abflussmengen im allgemeinen, 297.  
 Minimalwassermessungen, Durchführung im Ge-  
 birge, 298.  
 Miren, 42, 266.  
 Miren, Doppelvergleichung mit dem 3 m und 1 m  
 Stahlstab, 43.  
 Miren, Kontrolle, 42, 266.  
 Miren, Längenveränderung, 43.  
 Mittaglöcher, 5.  
 Moräne, 19, 245.  
 Moränenmaterial, 4, 5.  
 Moränensee, 23, 89, 90. Tafel 44.  
 Morphometrische Daten, 54, 204.  
 » Verhältnisse, 85.  
 Mündungsstufen, 246.
- N**
- Niederschläge auf eine Eisdecke, 104.  
 Niederschläge in Schneeform, 109.  
 Niederschläge im Gletschergebiet, 328.  
 Niederschlagshöhen, 109, 111.  
 Niederschlagssammler (System Mougin), 108.  
 Niederschlagsverhältnisse im Hochgebirge, 108.  
 Niederwasserperiode, 298.  
 Nivellement, Durchführung, 33, 34, 44.  
 Nivellement, Horizont, 33.  
 Nivellement, Nullpunktsfrage, 34.  
 Nivellement de précision de la Suisse, 33.  
 Nivellementscoten, Berechnung, 44.  
 Nivellierinstrumente, 41, 44, 265.  
 Nivometer (Totalisator), 108, 113.
- P**
- Pierre du Niton, 34.  
 Pegel am Märjelensee, Bestimmung der Null-  
 punktsote, 33, 40.  
 Pegelanlage, 1, 33, 35, 73. Tafel 8, 34.  
 Pegelbeobachtungen, 33.  
 Pegelgruppen, 74. Tafel 34.  
 Pegelplatten, Versetzen derselben, 36.  
 Pegelstände, 54, 55, 56, 57.  
 Pegelstationen, Fiescherbach, 263.  
 Pegelstationen, Massa, 263.  
 Plessur, Flusseisperiode, 310.  
 Plessur, Wassermessresultate, 308-309.  
 Plessur, Wassermessungen, 306.  
 Plessur, winterliche Abflussmengen, 303-311.  
 Poren, 315.  
 Präzisions-Nivellement, 33, 34.
- Q**
- Quellen (Märjelensee), 106, 107, 112.  
 Querriegel, 19, 242.
- R**
- Randkluft, 181.  
 Randspalte, 147.  
 Rhone, Flutwellen, 170, 193.  
 » Korrektion, 196, 201.  
 » Längenprofil, 196.  
 Rhonegebiet, minimale Abflussmengen, 332, 333.  
 Rhonegletscher, Abflussverhältnisse, 336-338.  
 » Resultate der Abflussmengen, 337.  
 Retentionsvermögen (Gletscher), 291.  
 Riegelberg, Entstehung, 242, 247.  
 Rückzugsmoräne, 245.  
 Rundhöckerseen, 23.
- S**
- Sammel-Ausgleichbecken, 2, 3.  
 Salzlösung (Wassermessmethode), 281.  
 Säuerbarkeit (Oxydabilität), 166.  
 Schirmwirkung der im Wasser schwebenden  
 Schlammengen, 163.  
 Schlamm, suspendierter, 121.  
 Schliffgrenze (Eggishorn), 19.  
 Schlote, 5.  
 Schmelzwasser, erodierende Tätigkeit, 4, 8, 9, 328.  
 Schnee-Eisdecke, Schnee-Eisschicht, 141.  
 Schneefall, starker, Einfluss auf die minimale Ab-  
 flussmenge, 300.  
 Schneehöhe, 136.  
 Schneehügelchen, 142.  
 Schneepegel, 109, 110.  
 Schneeschmelze, 20, 21, 80, 114, 273, 325. Tafel 23.  
 Schneeweier, 133.  
 Schutthalden, 20.  
 Schwankungen in der Wasserführung eines Ge-  
 wässers, 298.  
 Seebach, Delta, 23.  
 » Längenprofil, 40, 44, 45, 52, 242. Tafel 2.  
 Seen, Höhenlage, 161.  
 » interglaziale, 4, 7.  
 » Klassifikation der alpinen Seen nach Bour-  
 cart, 119.  
 » mit und ohne Abfluss, 66.  
 » polare, 128.  
 » Rand-, 3.  
 » Rundhöcker-, 23.  
 » Sichtbarkeitsgrenze, 163.  
 » Sichttiefe, 163.  
 » subglaziale, 4, 7.  
 » superglaziale, 4, 5.  
 » temperierte, 128.  
 » tropische, 128.

Seewasser, Abkühlung durch die Seitenbäche, 122.  
 » Einwirkung auf den Gletscher, 20.  
 Seitenmoräne, 14.  
 Sichtbarkeitsgrenze, 163.  
 Sichttiefe, 163.  
 Sickerwasser, 106, 315.  
 Sickerwassermenge für Geröllhalden, 105.  
 Sickerwassermenge, Vergleichsbeobachtungen, 105.  
 Sohlenveränderung (Bäche), 270.  
 Sonnenintensität, 78.  
 Stahlstab, Ausdehnungskoeffizient, 42.  
 » Feldvergleichen mit dem, 42.  
 Stauseen, 16, 339.  
 Stromlinien, 87.  
 Stufenbau, 246.  
 Substanzen, aufgelöste, 116.  
 » organische, 116.  
 Sumpfgasquellen, 144, 154.

**T**

Tägliche Periode (Wasserstandsbeziehung), 80, 89,  
 195, 200.  
 Tagwasser, 315.  
 Talbildung, 24.  
 Täler, übertiefte, 242.  
 Talriegel, 23.  
 Taltrog, 24, 105, 243, 246. Tafel 46.  
 Talwandungen, Entfernungen, Fiescher- und  
 Aletschgletscher-Zunge, 291.  
 Temperatur des Schmelzwassers, 9.  
 Temperatur des Wassers, Erhöhung bei grösserem  
 Gefälle, 303.  
 Temperatur (Märjelensee), Einfluss der Eisberge,  
 121.  
 Temperatur, Schwankungen, 147.  
 Temperatur, verkehrte Schichtung, 129.  
 Thermograph (Conkordia), 110, 205.  
 Thermometer, 122.  
 Thermometer (Deep Sea), 128.  
 Triasschichten, 117.  
 Trichter, 6.  
 Trockenrückstand, 119.  
 Trogform, 243.  
 Tümpel, 23, 61. Tafel 22.

**V**

Verdunstung, 20, 89, 93, 105, 106, 111, 122.  
 Verdunstung, Einfluss auf die Niveauschwankungen  
 des Märjelensees, 89.

Verdunstungsmesser, 91.  
 Vereisung der Seen, 147, 161.  
 Versickerung, 20, 111, 113, 315, 317.  
 Versickerungstiefe, 106.  
 Verwitterung, 23, 113.  
 Vordersee, Abflussmengen, 95, 98, 102.  
 Vordersee, Ergebnisse der Wassermessungen beim  
 Ausfluss, 97.  
 Vordersee, Luft- und Wassertemperaturen, 126,  
 127.  
 Vordersee, minimale Abflussmengen, 99.  
 Vordersee, Niveauschwankungen, 65.  
 Vordersee, Temperaturgang, 126.  
 Vordersee, Verhältnis zwischen Abfluss- und  
 Zuflussmenge, 101.

**W**

Wasser, Analysen hochalpiner Seen, 118.  
 » auflösende Wirkung, 115.  
 » chemische Zusammensetzung, 115.  
 » Durchsichtigkeit, 164.  
 » Eigenfarbe, 165, 166.  
 » Eindringen in den Boden, 105.  
 » erodierende Wirkung, 330.  
 » Farbe, 7, 163, 165.  
 » Konvektionsströmungen, 129, 164.  
 » physikalische Art der Trübung, 167.  
 » petrographische Zusammensetzung des  
 Nährgebietes, 116.  
 » Reinheit, 119, 163.  
 » Säuerbarkeit (Oxydabilität), 166.  
 » Sichtbarkeitsgrenze, 163.  
 » Sichttiefe, 163.  
 » Wärmedurchlässigkeit, 128.  
 Wasserführung, Beharrungszustand, 41.  
 Wasserkapazität, 315, 317.  
 Wasserkräfte, Ausnützung, 108, 254, 292.  
 Wasserlöcher, Entleerung, 5.  
 Wassermessungen, Fiescherbach, 274.  
 Wassermessungen, Massa, 278.  
 Wasserstandsbeziehung, Elemente der, 193.  
 Wind, Einfluss auf Wassertemperatur, 132.

**Z**

Zersetzungsprodukte, 116.  
 Zwischenräume, nicht kapillare und kapillare, 315.

## DRUCKFEHLERVERZEICHNIS.

(Nur wesentliche Druckfehler sind hier aufgenommen.)

- Seite 1, Zeile 1, lies Schweizer. Departement des Innern statt Eidg. Departement des Innern.
- » 2, Zeile 20, lies sachbezüglicher statt sachbezüglicher.
- » 5, Fussnote, Zeile 3, lies Penck statt Penk.
- » 10, Zeile 22, lies Vorstoss statt Vortoss.
- » 10, Zeile 30, lies trichterförmig statt trichter förmig.
- » 21, Zeile 11, lies den Abfluss zeitweise unmöglich statt den Abflusszeitweise unmöglich.
- » 31, Zeile 13, lies 81 m statt 8 m.
- » 31, Zeilen 19, 20, 32, lies Randkluft statt Randspalte.
- » 32, Zeilen 7, 9, lies Randkluft statt Randspalte.
- » 44, Zeile 33, lies symmetrisch statt symetrisch.
- » 103, Zeile 2, lies überraschenden statt überraschenden.
- » 117, Zeile 7 und 8, lies in eine solche a mit kleinen statt in eine solche mit a kleinen.
- » 133, Zeile 2 von unten, lies Pizzo Colombe statt Columbo.
- » 161, Zeile 13 von unten, lies Pizzo Colombe statt Columbe.
- » 161, Zeile 22, lies Lago di Moësola statt Moësela.
- » 178, Zeile 27, lies Randkluft statt Randspalte.
- » 182, Zeile 8, lies (Siehe Kapitel VIII, Seite 81-82) statt (Kapitel ).
- » 184, Zeile 9, lies am rechten Ufer statt am linken Ufer.
- » 197, Zeile 13, lies Branson statt Brançon.
- » 199, Fussnote, Zeile 4, lies charakteristische statt charakteristische.
- » 208, Fussnote, Zeile 5, lies : Von diesem Zeitpunkte fing er an zu schwinden statt :  
Von da an fing er an zu schwinden.
- » 224, Zeile 28, lies Es statt Est.
- » 242, Fussnote, Zeile 4, lies bedeutend statt beteutend.
- » 245, Zeile 36, lies St. Anna-Kapelle statt St. Anna's Kappelle.
- » 264, Zeile 23, lies Nullpunktshöhe statt Nullpunksthöhe.
- » 265, Zeile 21, lies Fernrohres statt Fernrohes.
- » 270, Zeile 6, lies beeinflusst statt beeinflust.
- » 275, Kopf der Tabelle, Kolonne 7, lies Datum statt Dautm.
- » 280, Zeile 18, lies 9. März 1903 statt 1913.
- » 280, Zeile 22, lies 3. und 9. März 1903 statt 1911.
- » 300, Zeile 29, lies Berührung statt Berühung.



- Seite 307, Zeile 11 und 12, lies für Messung N° 12 statt Messung N° 12.
- » 308, Kopf der Tabelle, Kolonne 8, lies Geschwindigkeit statt Geschwindigk it.
  - » 310, Zeile 8, lies einen grösseren Betrag als 45 % statt 55 %.
  - » 312, Zeile 32, lies Wasserspiegelhöhe statt Wasserspielhöhe.
  - » 318, Zeile 25, lies in felsigem statt im felsigem.
  - » 318, Zeile 31, lies Durchlässigkeit statt Durchsickerung.
  - » 327, Zeile 2, lies Decke der Gallerie statt Dicke.
  - » 336, Zeile 13 und 14, lies das zu der Wassermessung statt das zu den Wassermessungen.
  - » 342, Zeile 9, lies 24. VIII. 1909 statt 24. VIII. 1908.
  - » 342, Zeile 18, lies Pegelstand : 55,91 m statt 45,00 m.
- Tafel 7, Fig. 4, lies Randkluft am Fusse des Eggishornes statt Randspalte am Fusse des Eggishornes.
- » 11, Die den Zeitkurven auf Tafel 11 für die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit ( $V_{m_F}$ ) des Scheitels der Flutwelle beigegebenen Werte stimmen mit denjenigen auf Seite 198 nicht vollständig überein, letztere sind richtig.
  - » 24, Zeile 2, unteres Bild, lies 24. VIII. 1909 statt 24. VIII. 1908.
  - » 26, Zeile 2, lies Pegelstand : 52,10 m statt 55,10 m.
  - » 28, Zeile 1, lies Pegelstand : 55,91 m statt 45,00 m.
  - » 29, Zeile 4, unteres Bild, lies zahlreich werdenden Flecken statt zahlreich werden den Flecken.
  - » 35, Zeile 1, lies Vordersee zur statt Vordersee; zur.
-







# ZEICHENERKLÄRUNG


zu den GEWÄSSER-LÄNGENPROFILIEN


## Art der Aufnahme


 Längenmessung. Aufnahme des Längenprofils mit dem Nivellierinstrument


 Längenmessung. Aufnahme des Längenprofils mit dem Höhenkreis


## Mündungen


 Vereinigung mit einem gleichbedeutenden, oder Einmündung in ein grösseres Gewässer


 Einmündung in einen See, oder Ausfluss aus einem See


 Teilung eines Gewässers


 Einmündung eines grössern Seitengewässers am rechten oder linken Ufer


 Einmündung eines kleinern Seitengewässers am rechten oder linken Ufer

 Abzweigung oder Wiedereinmündung eines grössern Gewerbekanals


 Abzweigung oder Wiedereinmündung eines kleinern Gewerbekanals


 Einmündung eines Leerlaufes [mit Schleuse oder ohne Schleuse]


 Abzweigung oder Wiedereinmündung eines Bewässerungskanals


 Abzweigung oder Wiedereinmündung eines Colmatierungskanals


## Höhenversicherungen


 Fixpunkt, der als Ausgangspunkt des Längenprofil-Nivellements diente


 Fixpunkt, dessen Cote bei der Aufnahme des Längenprofils bestimmt wurde

NF  Fixpunkte der schweiz. geodätischen Commission


 Fixpunkte der Schweiz. Landeshydrographie


NÖF, NÖF  Fixpunkte der Schweiz. Landestopographie


 Fixpunkte von Behörden [Kantone, Städte etc.]

 Fixpunkte von Nachbarstaaten


## Pegel


 Hauptpegel mit Linnigraph

 Hauptpegel

 Nebenpegel


## Gewässerübergänge


 Strassenbrücke


 Eisenbahnbrücke

 Steg


## Grenzen


 Landesgrenze

 Kantonsgrenze


 Gemeindegrenze


## Wasserleitungen


 Überführung einer offenen Wasserleitung


 Überführung einer geschlossenen Wasserleitung


## Uferbeschaffenheit


 Profil ohne Uferschutz


 Profil mit Uferschutz

 Profil mit Damm


 Profil mit Vorland und Damm

 Profil mit Traversen


 Profil mit Spornen

 Unzugängliche Schlucht

## Querprofile

 Querprofil, dargestellt mit dem Längenprofil

## Wassermessungsstellen

 Messungsstelle zur Bestimmung der Wassermenge

Die erste Zahl im Bunde unter dem Nivellmenthorizont bedeutet das Wasserspiegelgefälle in ‰, die zweite die zugehörige Länge in m (2,86 ‰ ; 500 = 2,86 ‰ auf 500 m Länge).

# ZEICHENERKLÄRUNG

zu den VERMESSUNGSKARTEN

## Gewässerbezeichnungen

- Fluss
- Bach
- Bächlein

## Grenzen

- Landesgrenze
- Kreisgrenze
- Gemeindegrenze

## Wasserleitungen

- Leitung von Eisen
- Leitung von Zement

## Uferbeschaffenheit

- Ufer aus Sand
- Ufer aus Schluff
- Ufer aus Lehm
- Ufer aus Ton
- Ufer aus Kies
- Ufer aus Geröll
- Ufer aus Felsen

## Querschnitte

- Querschnitt im Längsprofil

## Wasserstandspegel

- Pegel im Längsprofil

## Art der Aufnahme

- Aufnahme durch Luftaufnahme
- Aufnahme durch Bodenaufnahme

## Wandlungen

- Änderung der Landesgrenze
- Änderung der Kreisgrenze
- Änderung der Gemeindegrenze
- Änderung der Wasserleitung
- Änderung der Uferbeschaffenheit
- Änderung der Wasserstandspegel

## Höhenveränderungen

- Erhöhung der Höhe
- Senkung der Höhe

- Punkte der ersten Landesvermessung
- Punkte der zweiten Landesvermessung

- Punkte der dritten Landesvermessung
- Punkte der vierten Landesvermessung



- Punkte der fünften Landesvermessung
- Punkte der sechsten Landesvermessung
- Punkte der siebten Landesvermessung

Die hier abgebildeten Symbole sind nach den Bestimmungen der Landesvermessungs-Gesetze von 1878 und 1890 entworfen.

# FIESCHERBACH (Weisses Wasser)

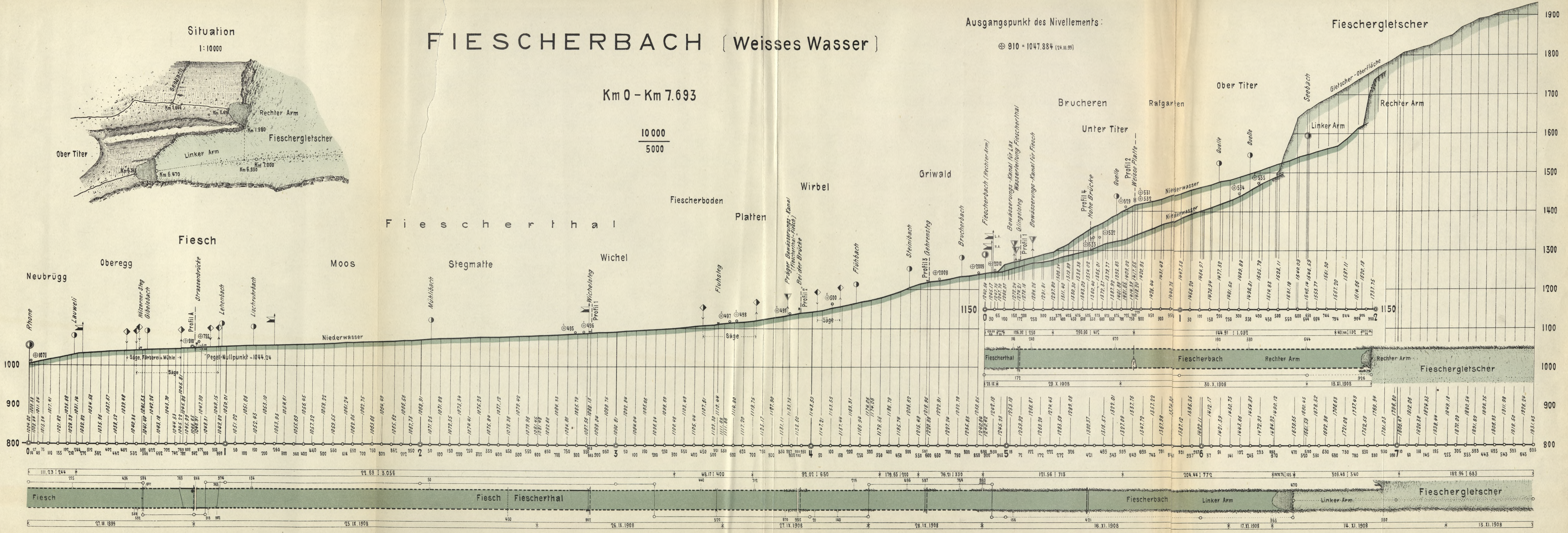
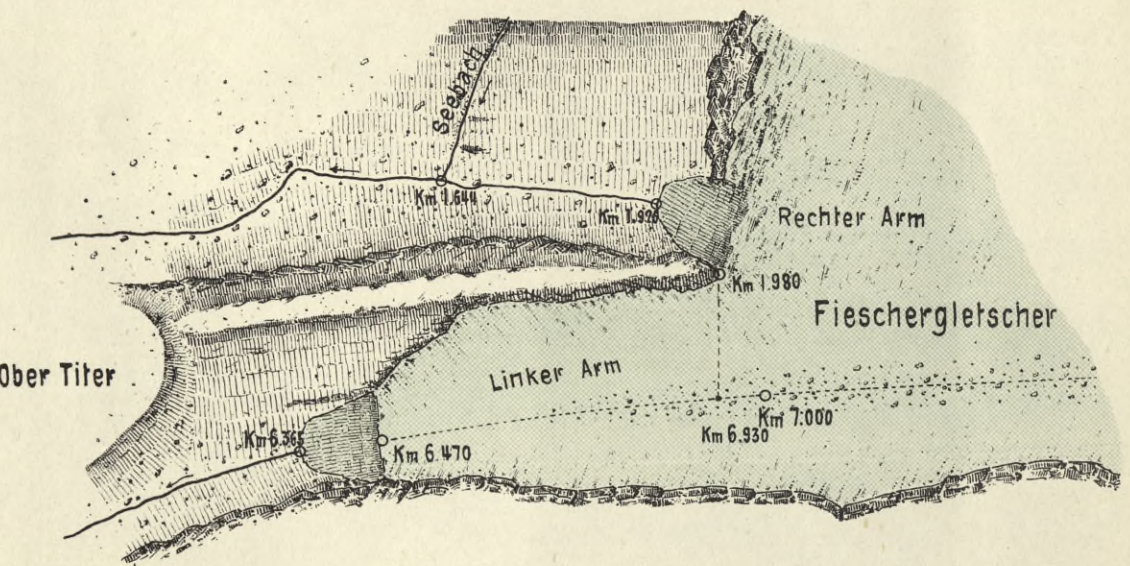
Ausgangspunkt des Nivellements:

⊕ 910 = 1047.884 (24.III.99)

Km 0 - Km 7.693

10000  
5000

Situation  
1:10000





ESCHERBACH Wasser Wasser

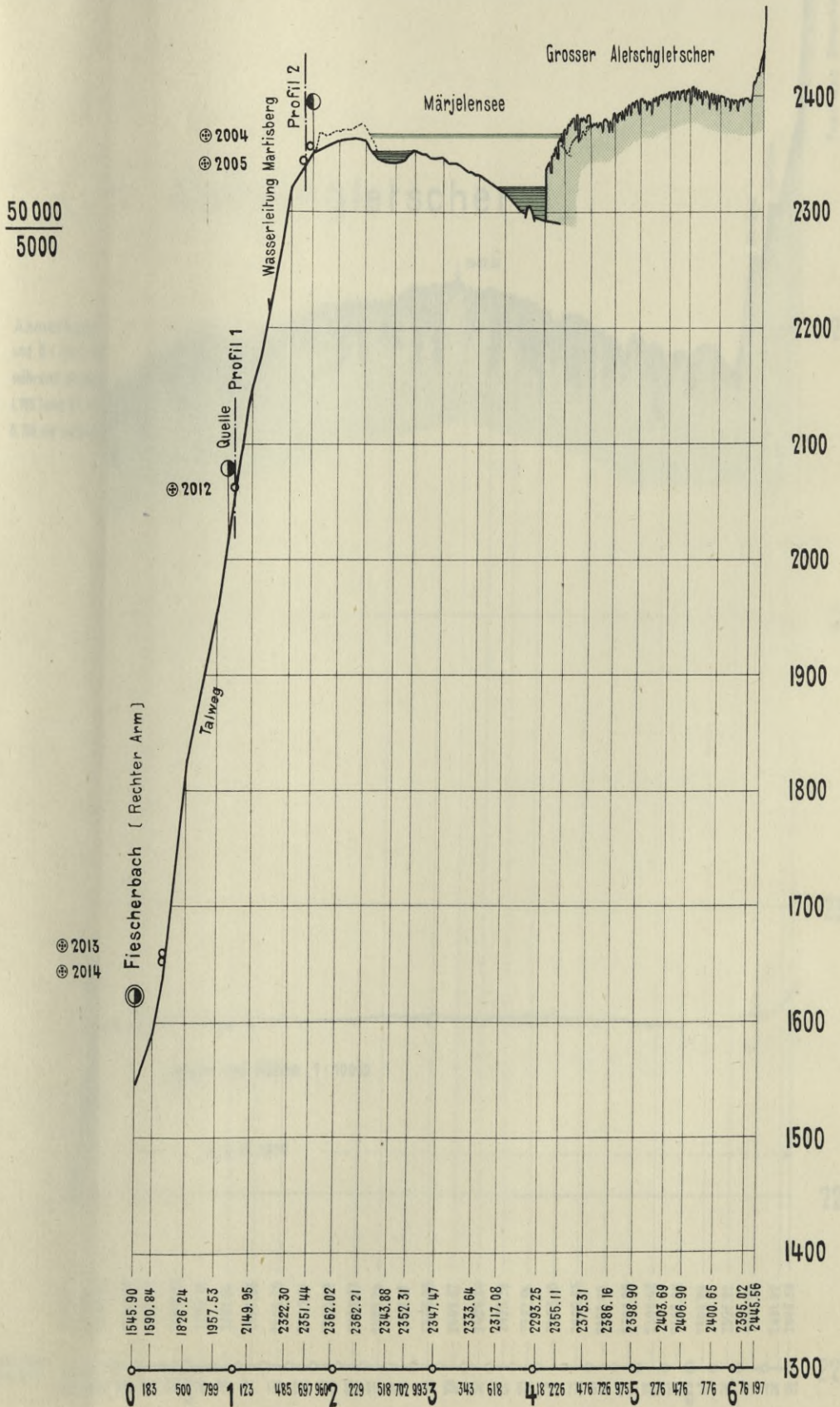
Km 0 - Km 7 603

10 000  
5000



# LÄNGENPROFIL DES SEEBACHES

von der Einmündung in den Fiescherbach bis zum grossen Aletschgletscher







# PROFIL DES MÄRJELENSEES VOM FIESCHERBACH BIS ALETSCHGLETSCHER

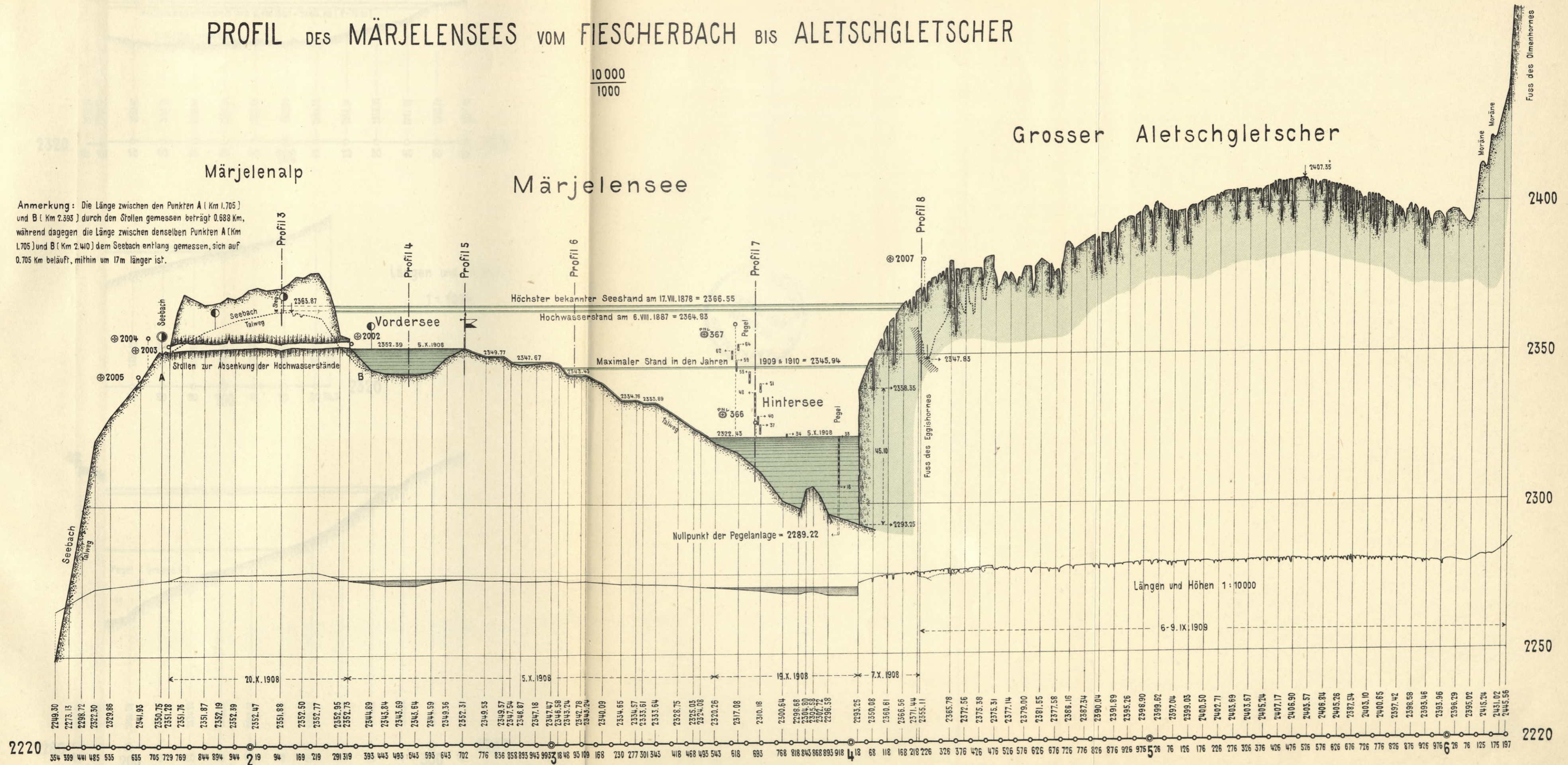
10 000  
1000

Grosser Aletschgletscher

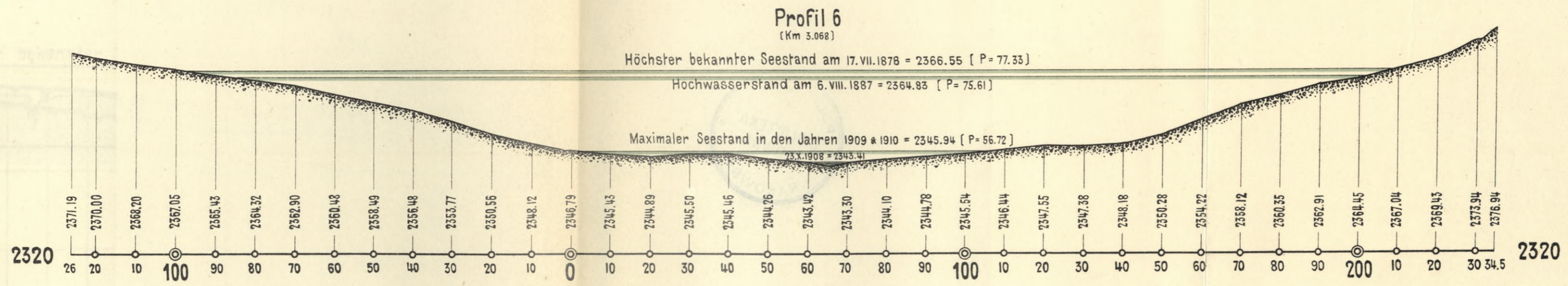
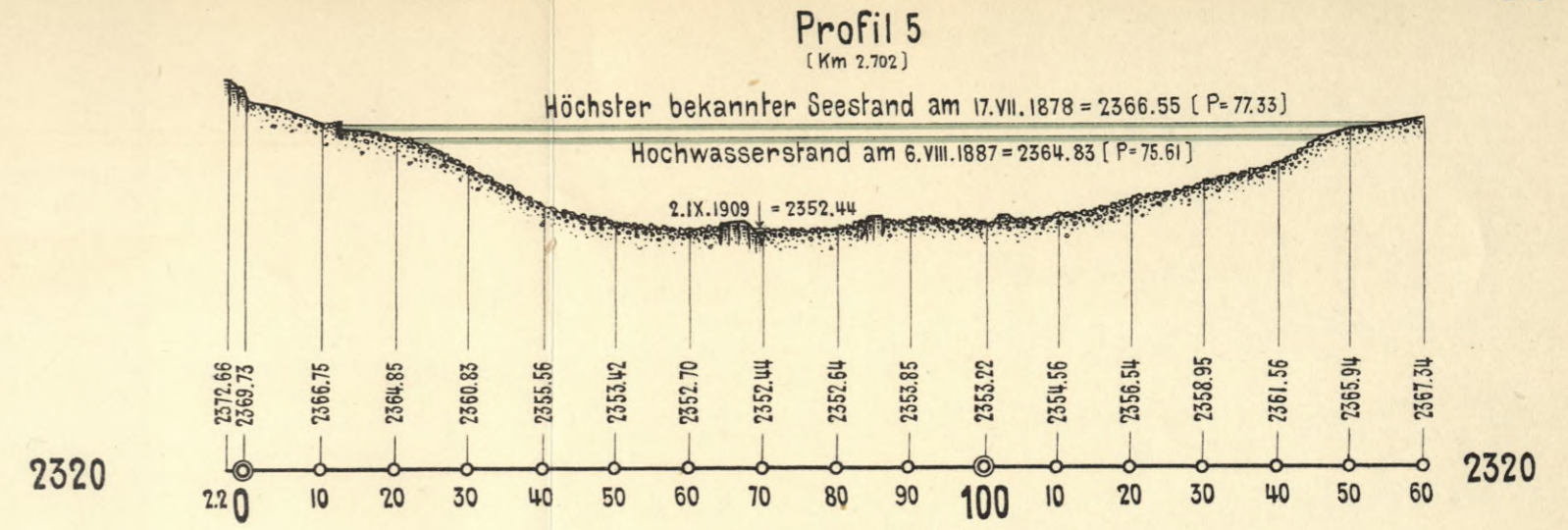
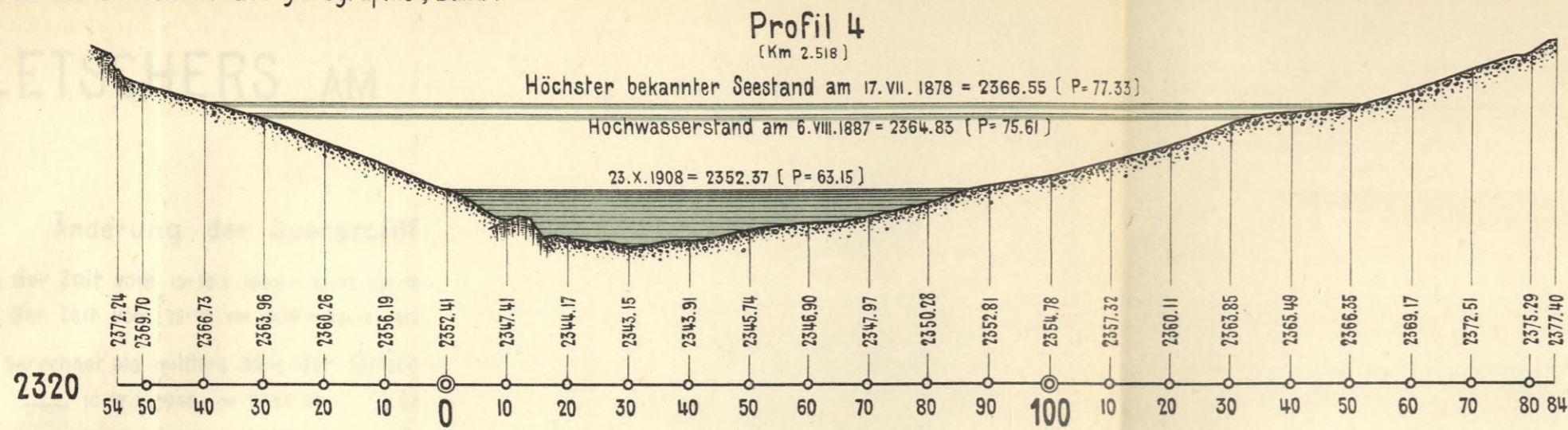
Märjelenalp

Märjelensee

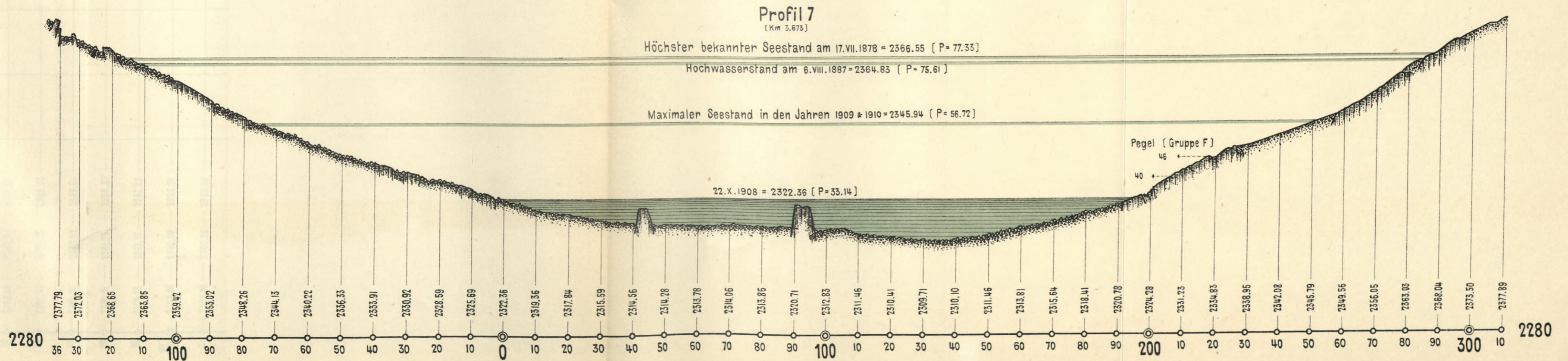
Anmerkung: Die Länge zwischen den Punkten A (Km 1.705) und B (Km 2.393) durch den Stollen gemessen beträgt 0.688 Km, während dagegen die Länge zwischen denselben Punkten A (Km 1.705) und B (Km 2.410) dem Seebach entlang gemessen, sich auf 0.705 Km beläuft, mithin um 17m länger ist.



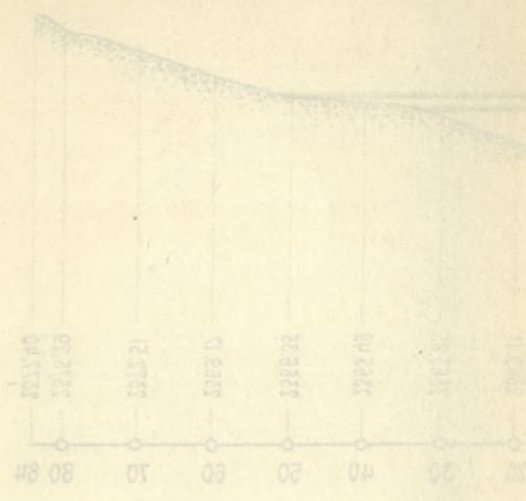
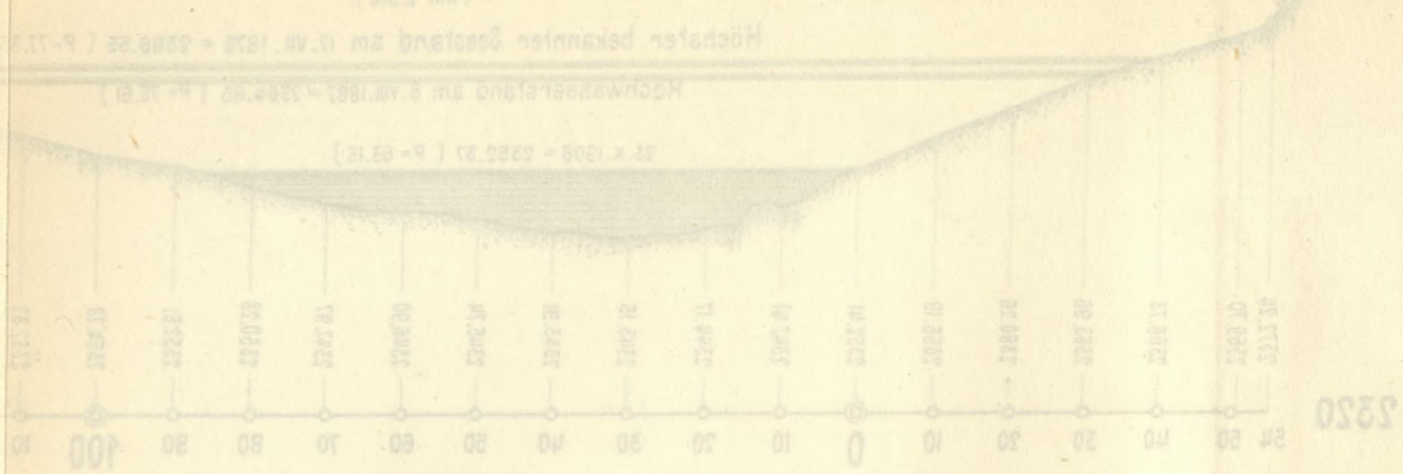




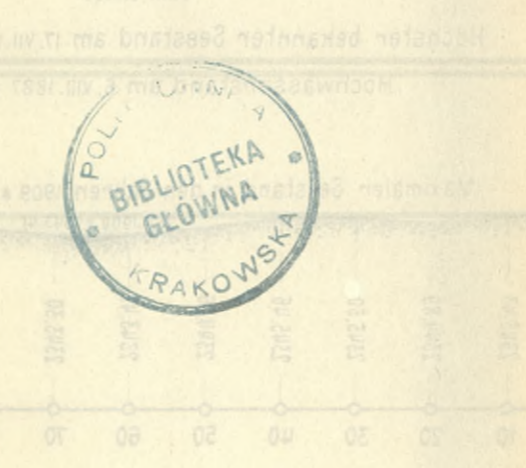
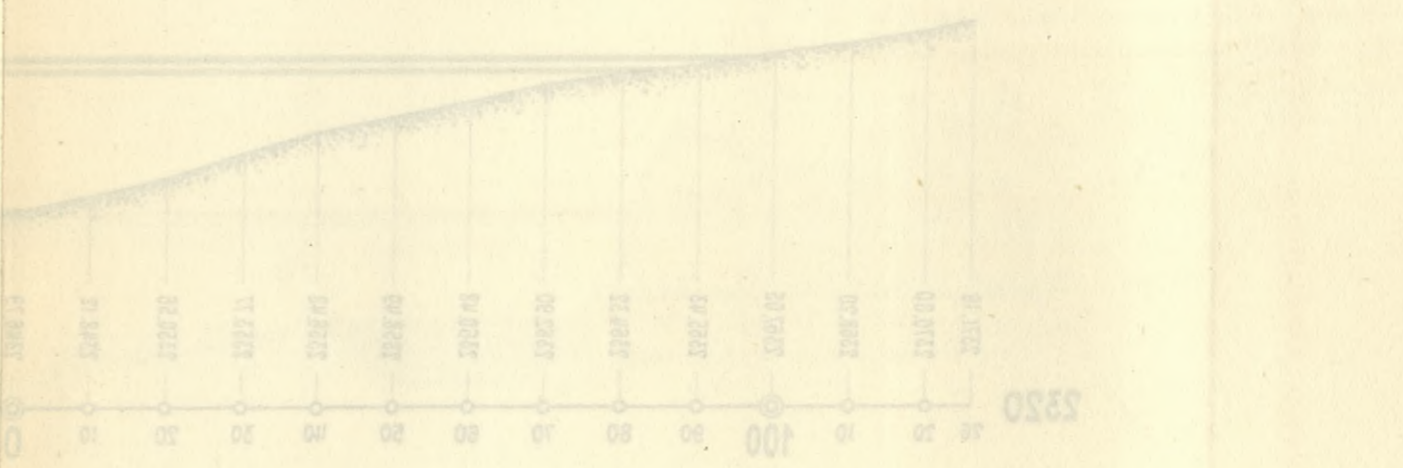
Längen und Höhen  
1 : 1000



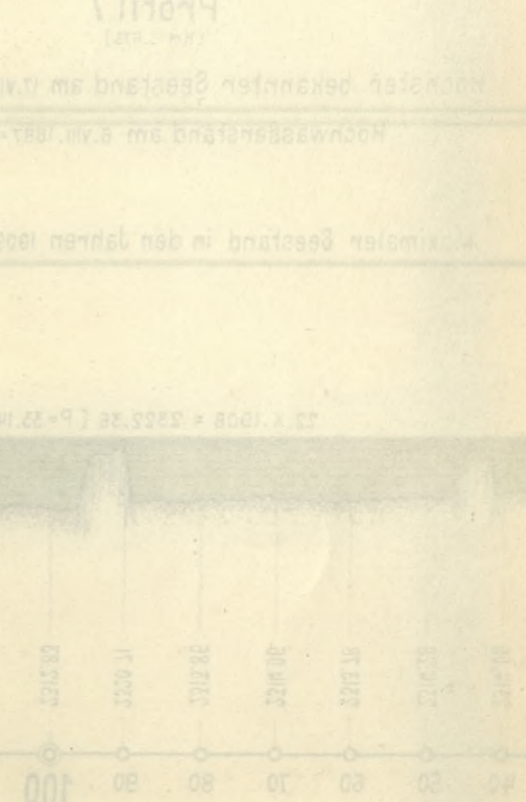
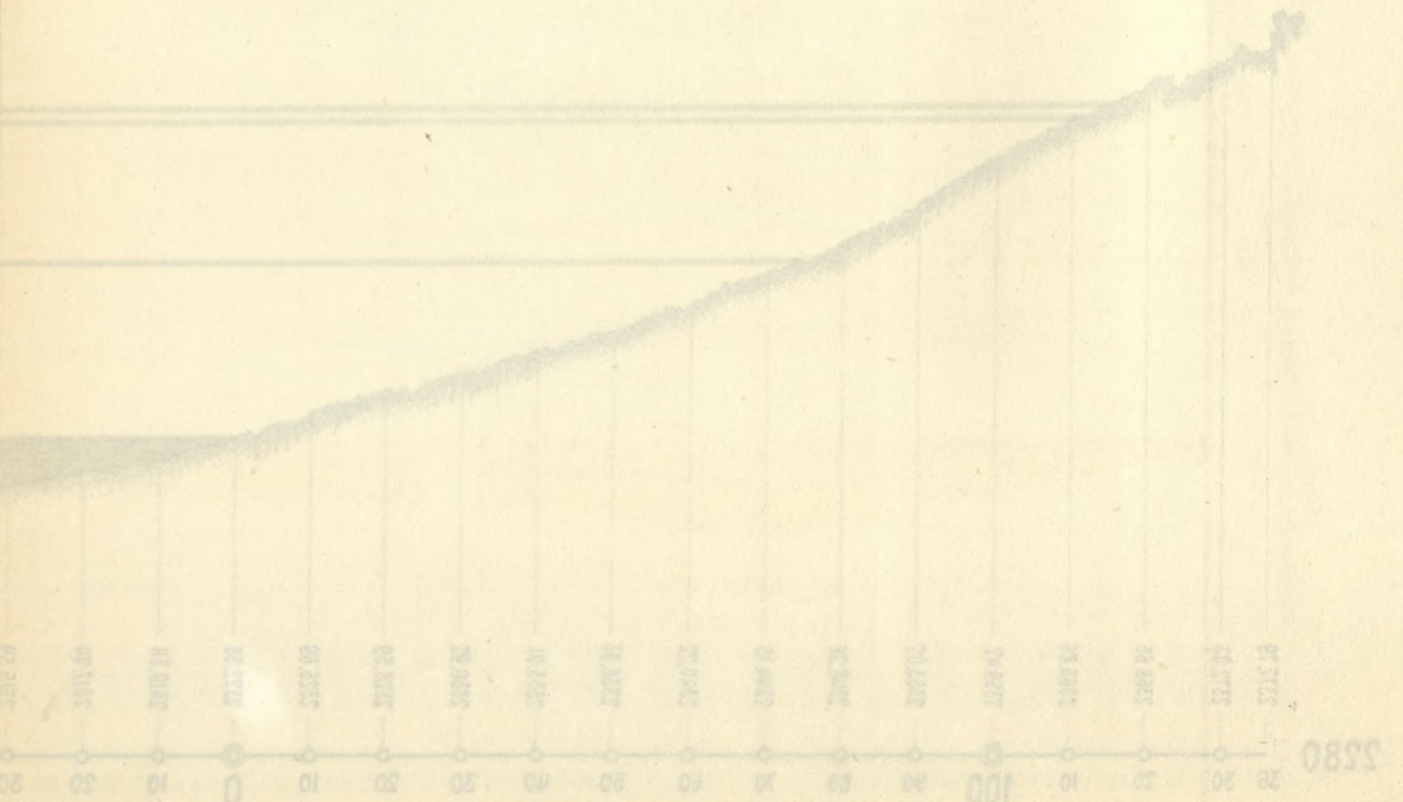
Profil 4



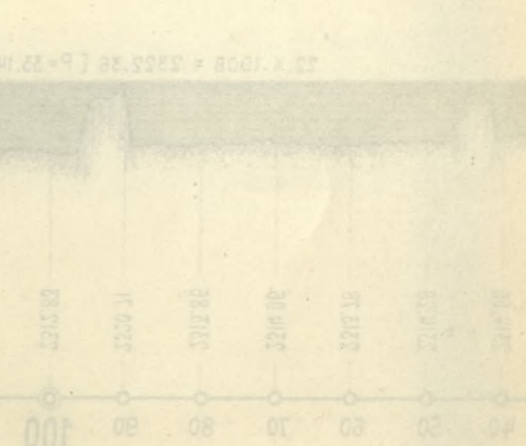
Profil 6



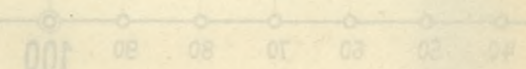
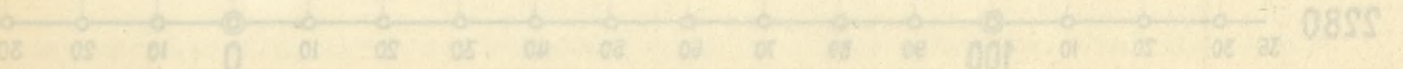
Profil 7



Profil 8



Profil 9



Profil 10



Längen und Höhen  
1 : 1000

# QUERPROFIL DER GLETSCHERZUNGE DES GROSSEN ALETSCHGLETSCHERS AM MÄRJELEENSEE

Profil 8

$\frac{1000}{1000}$

Änderung der Querprofilflächen

in der Zeit vom 10-12.X.1908 - 23-25.VIII.1909 = +184 m<sup>2</sup>

in der Zeit vom 23-25.VIII.1909 - 20.IX.1912 = -1439 m<sup>2</sup>

Berechnet als mittlere Höhe der Gletscheroberfläche

10-12.X.1908	= 2357.39	[ 0.0 - 530.0 ]
23-25.VIII.1909	= 2357.74	[ 0.0 - 530.0 ]
20.IX.1912	= 2355.19	[ 4.3 - 526.8 ]

Felshang des Eggishornes

Höchster und Niedrigster Punkt der Gletscheroberfläche

10-12.X.1908	= 2370.09	2342.72
23-25.VIII.1909	= 2370.83	2342.10
20.IX.1912	= 2367.35	2339.72

Felshang der Strahlhörner

Auf der Platte

⊕ 2007	= 2380.162	[ 10.X.1908 ]
⊕ 2006	= 2355.607	[ 10.X.1908 ]

Kühle Ecke

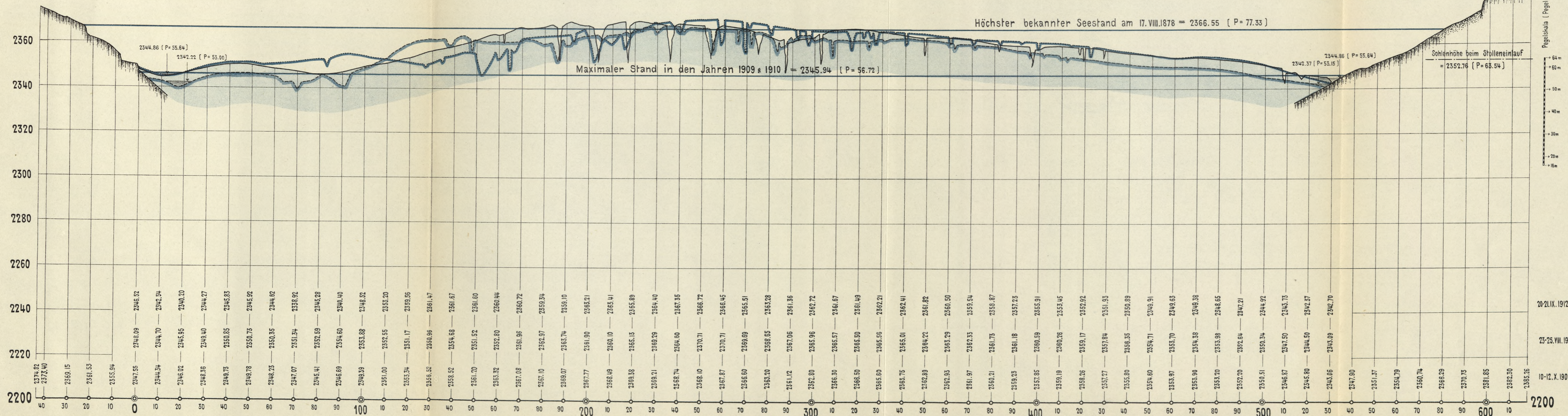
⊙ 636	= 2355.345	[ 28.VIII.1909 ]
⊙ 635	= 2351.861	[ 28.VIII.1909 ]

## Grosser Aletschgletscher

Maximaler Stand in den Jahren 1909 & 1910 = 2345.94 [ P = 56.72 ]

Höchster bekannter Seestand am 17.VIII.1878 = 2366.55 [ P = 77.33 ]

Sohlenhöhe beim Stolleneinlauf = 2352.76 [ P = 63.54 ]

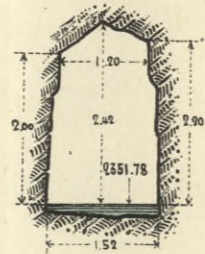




Querprofile des Stollens

1:100

Profil II  
Km 1.744



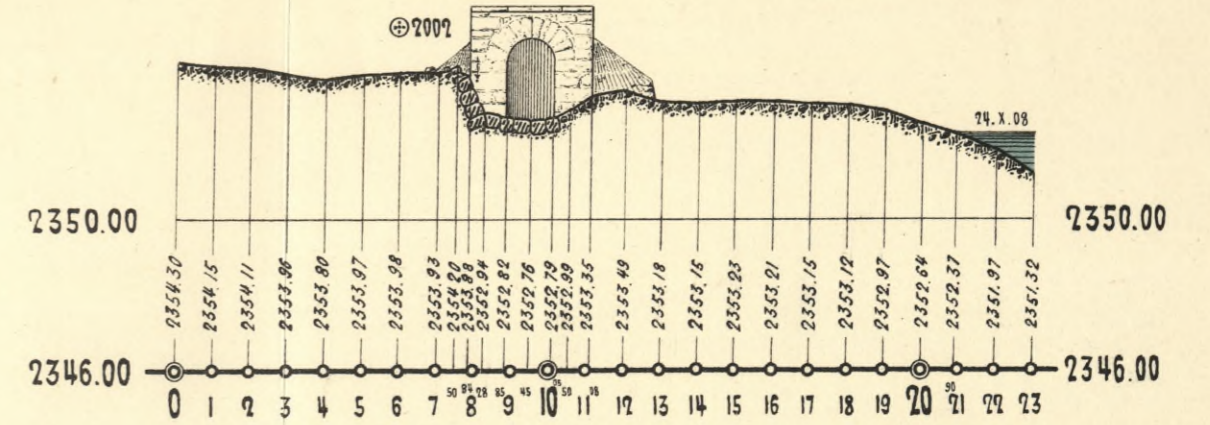
Profil III  
Km 2.269



Stollen-Einlauf

Profil IV (Km 2.319)

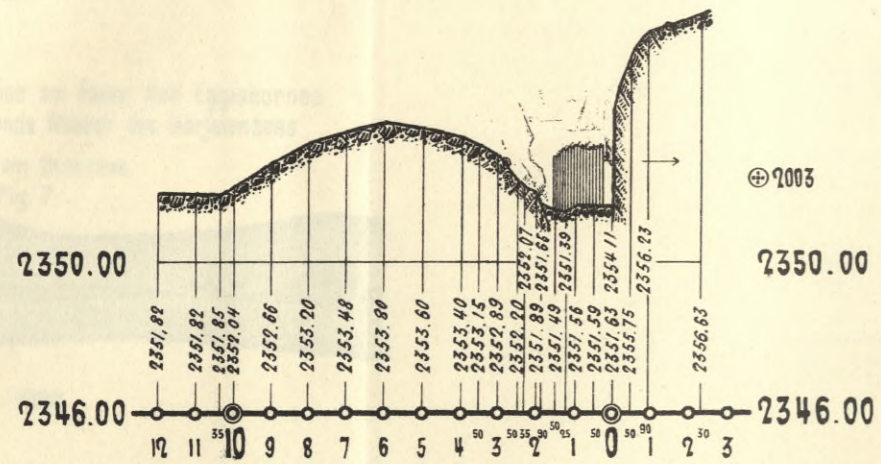
1:200



Stollen-Auslauf

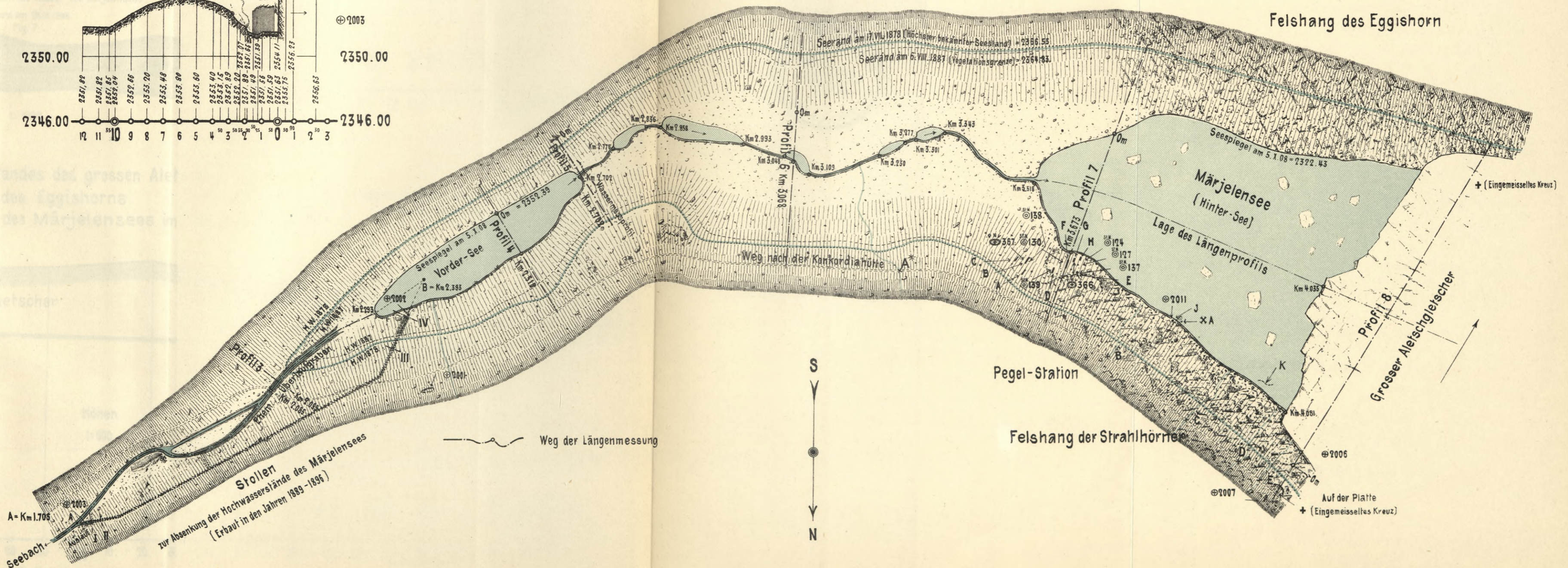
Profil I (Km 1.728)

1:200



Situations - Skizze

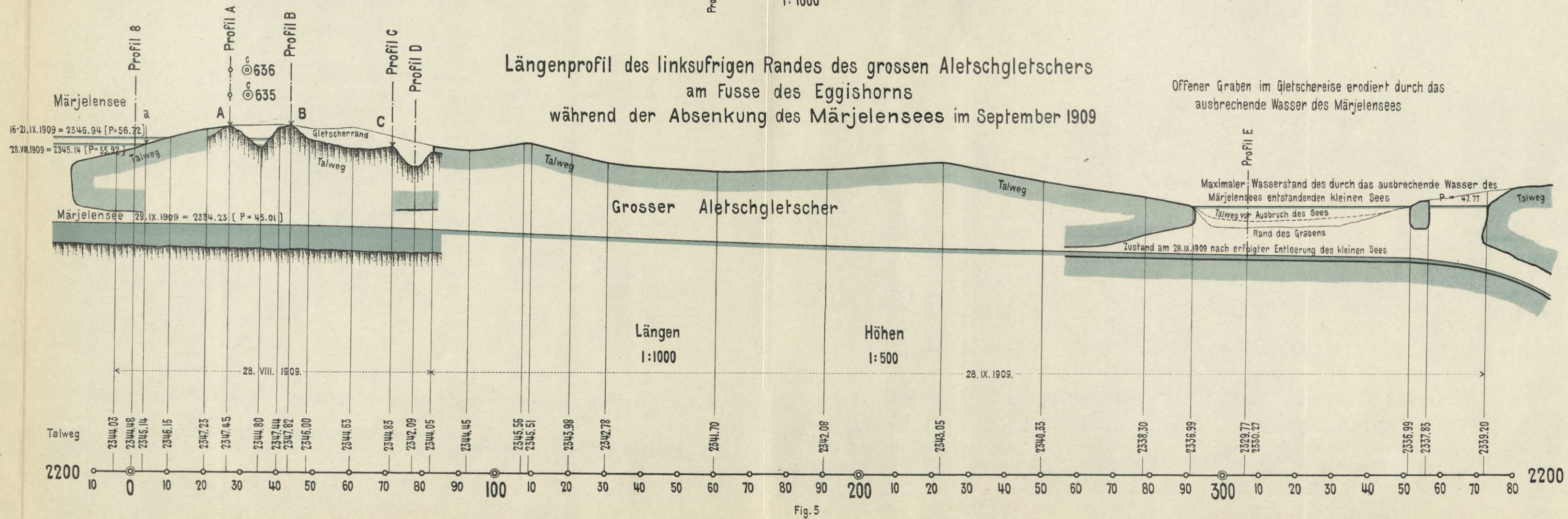
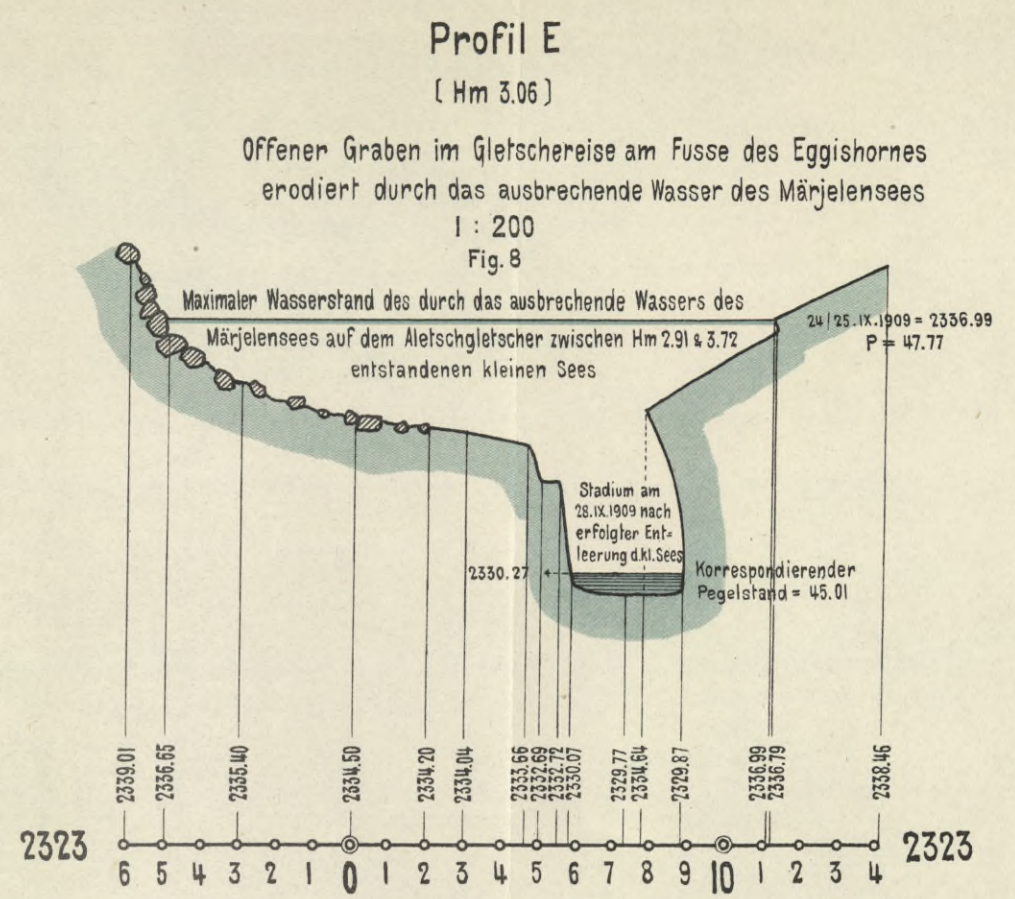
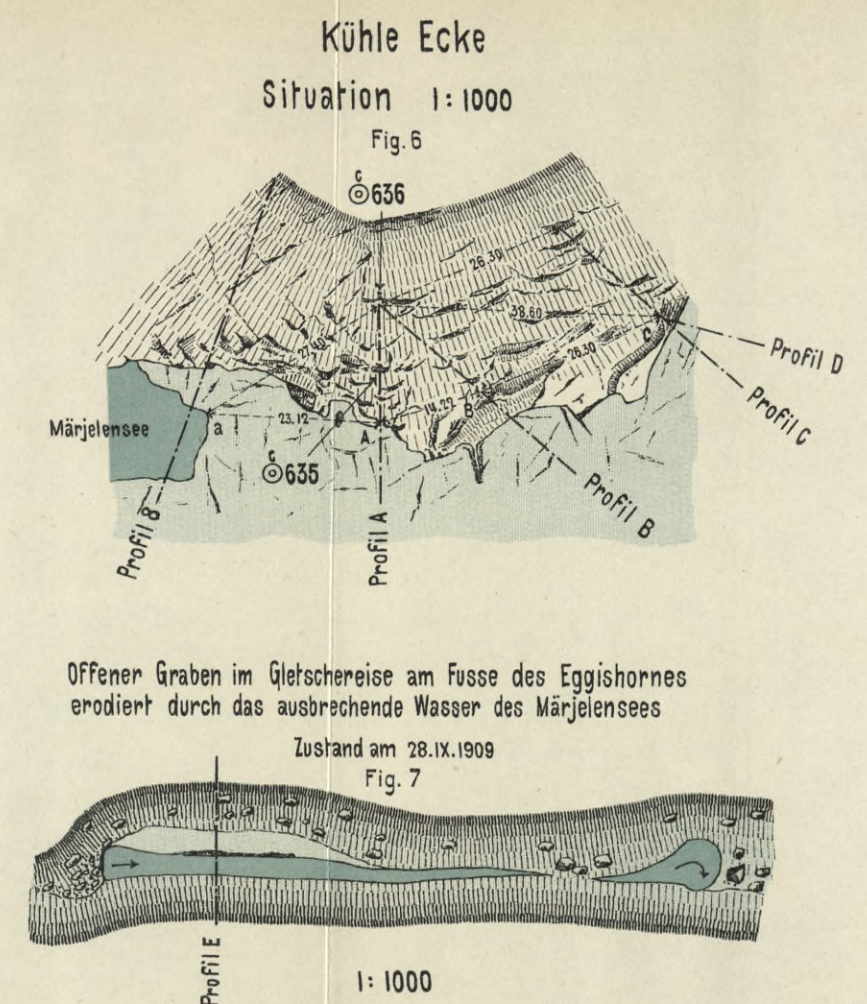
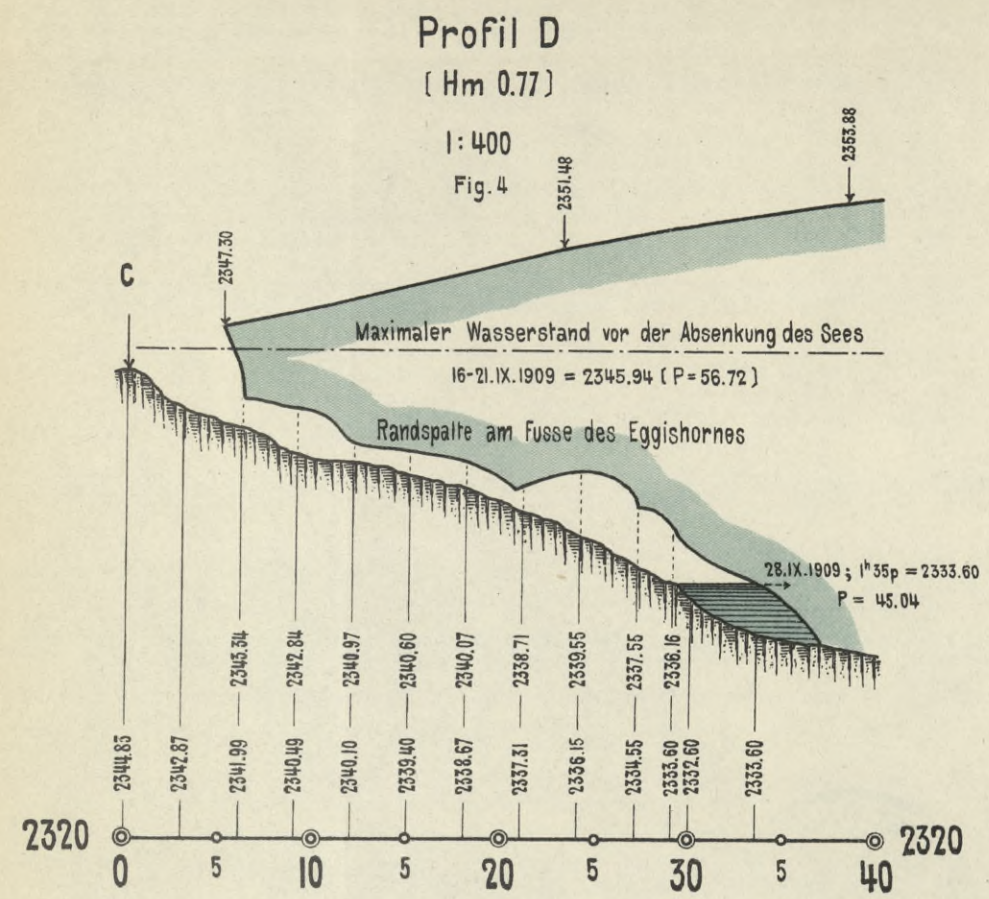
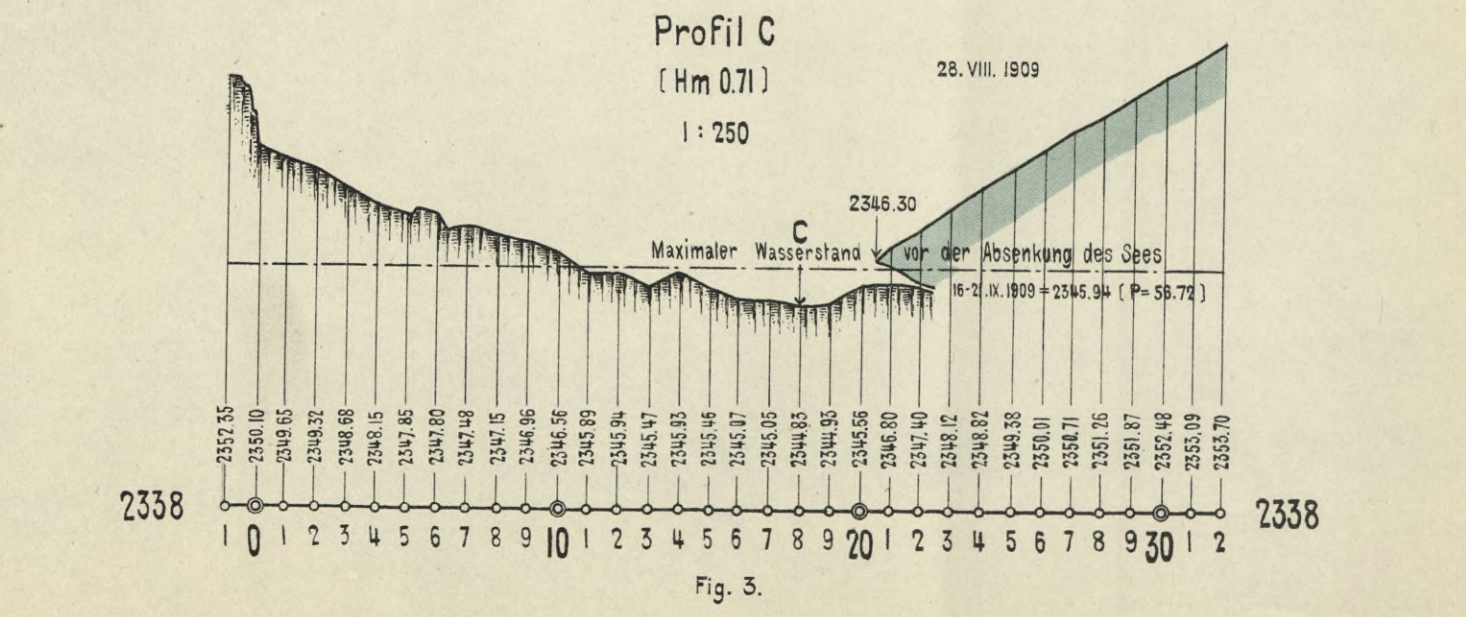
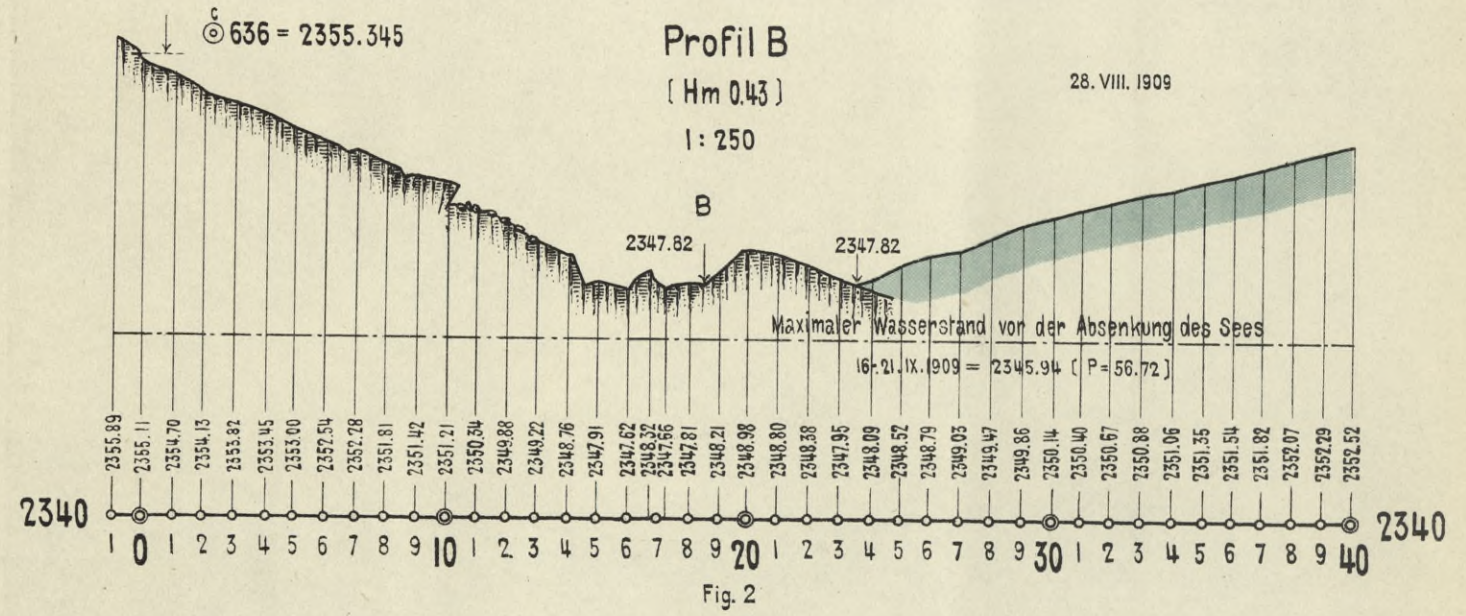
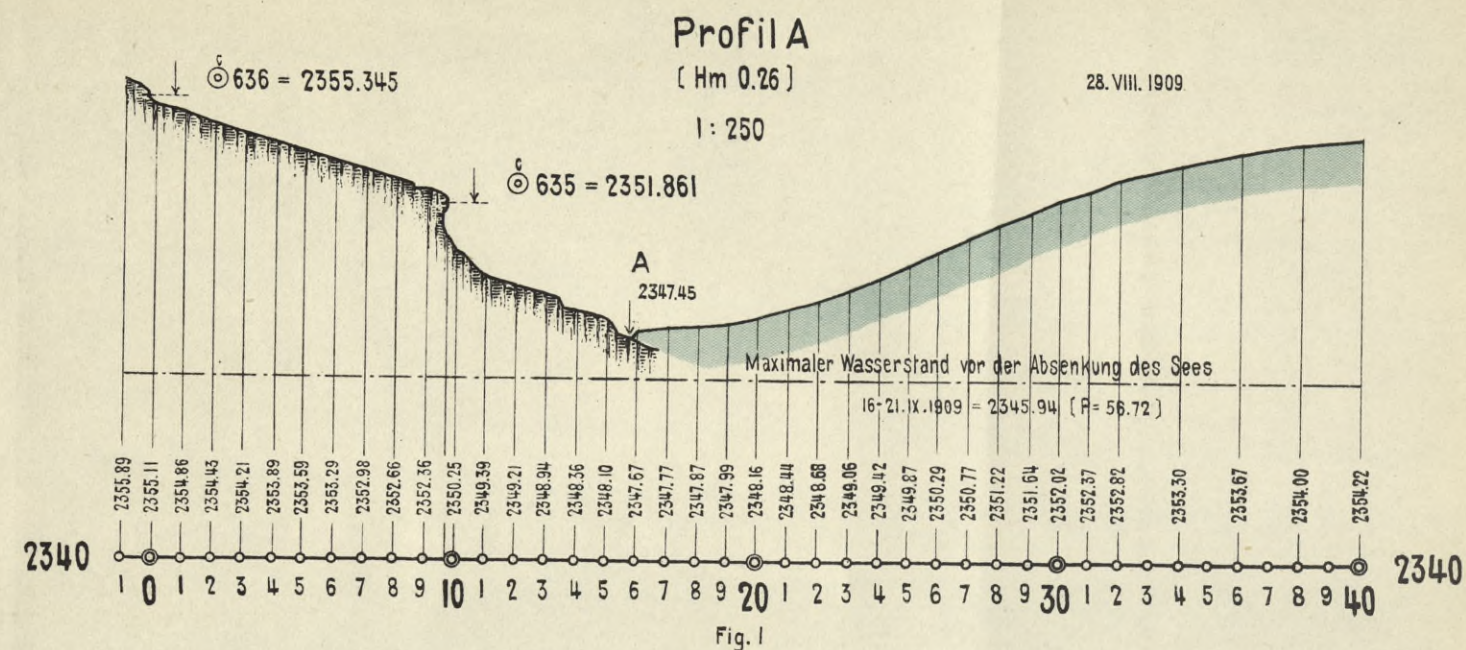
1:5000



Stollen  
zur Absenkung der Hochwasserstände des Märjelensees  
(Erbaut in den Jahren 1889-1896)









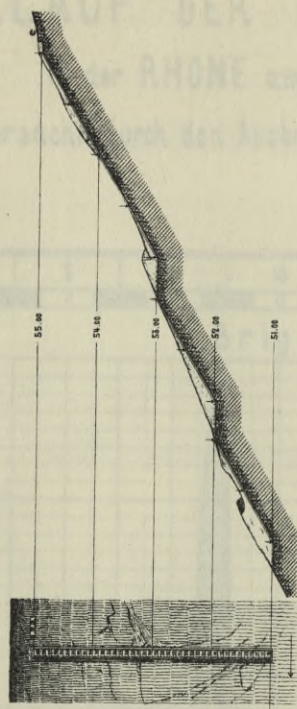
# PEGEL - ANLAGE

am nördlichen Ufer des Märjelensees, ca 400m aufwärts

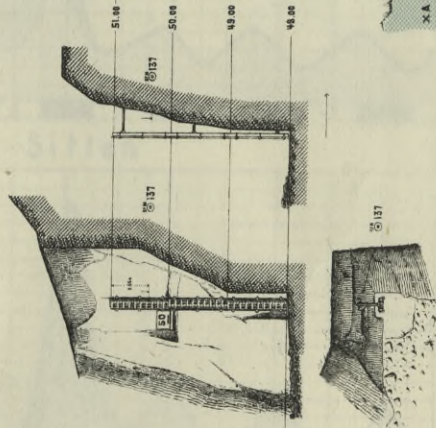
vom Grossen Aletschgletscher

Gruppen D, E & F

Gruppe D



Gruppe E

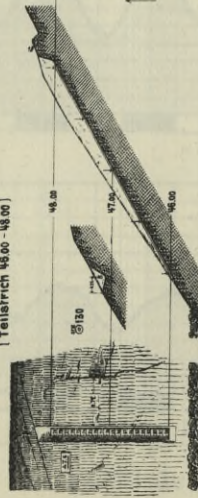


⊙ 137 im Felsen bei der Pegel-Gruppe E, auf Höhe von Teilstrich 50.36m

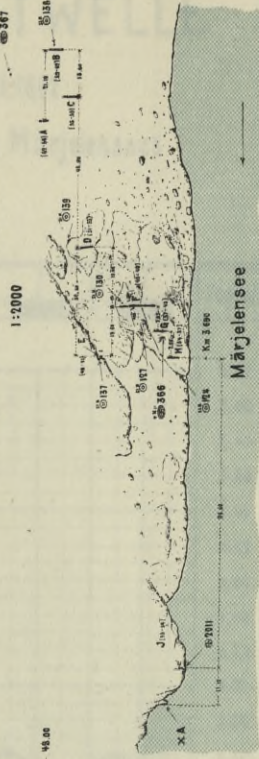
⊙ 130 im Felsen bei der Pegel-Gruppe F, auf Höhe von Teilstrich 47.17m

Gruppe F

(Teilstrich 46.00 - 48.00)



Lage der Pegel und Fixpunkte



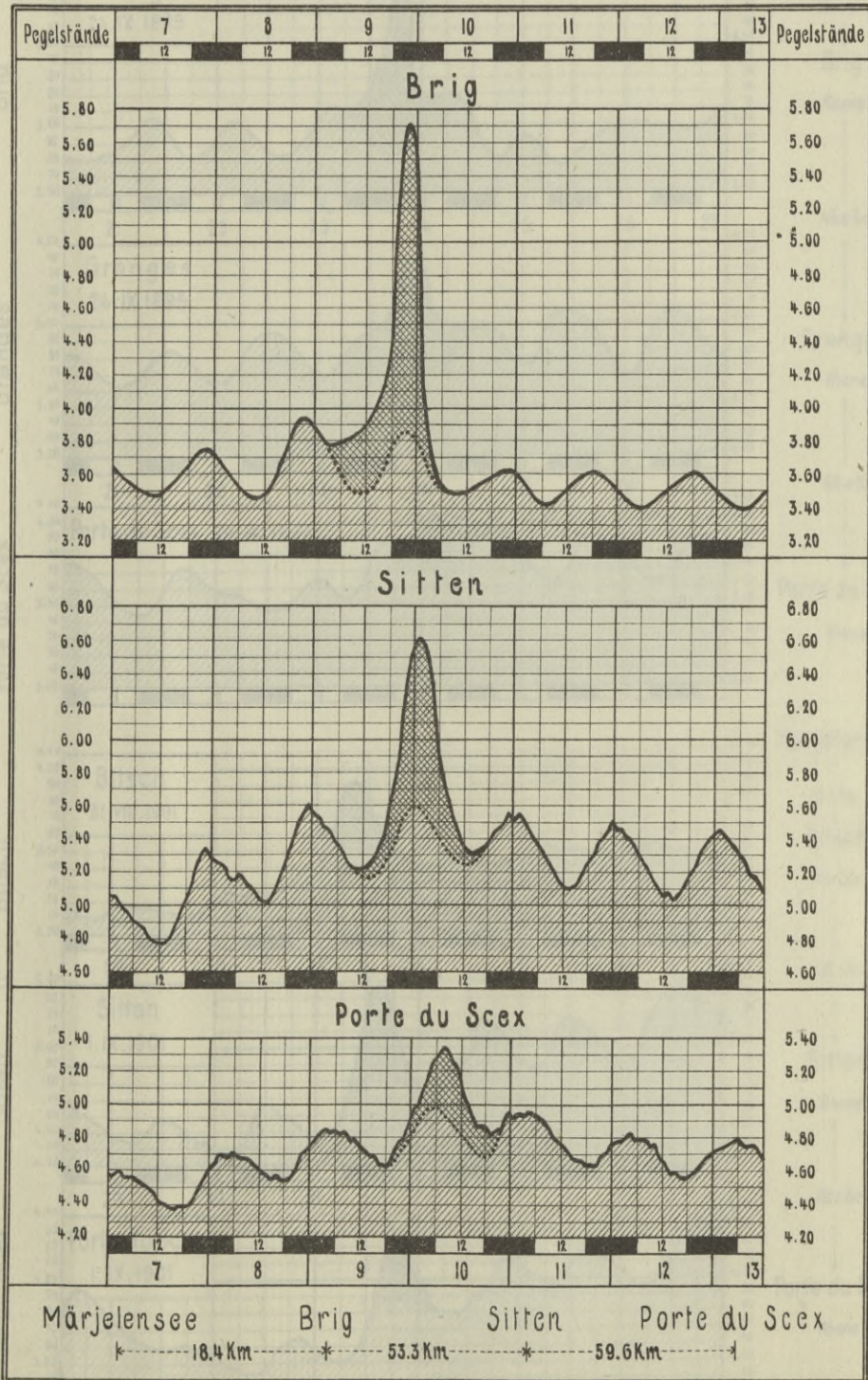
Maßstab 1 : 100



# VERLAUF DER FLUTWELLE

in der RHONE am 9.u.10.VII.1892

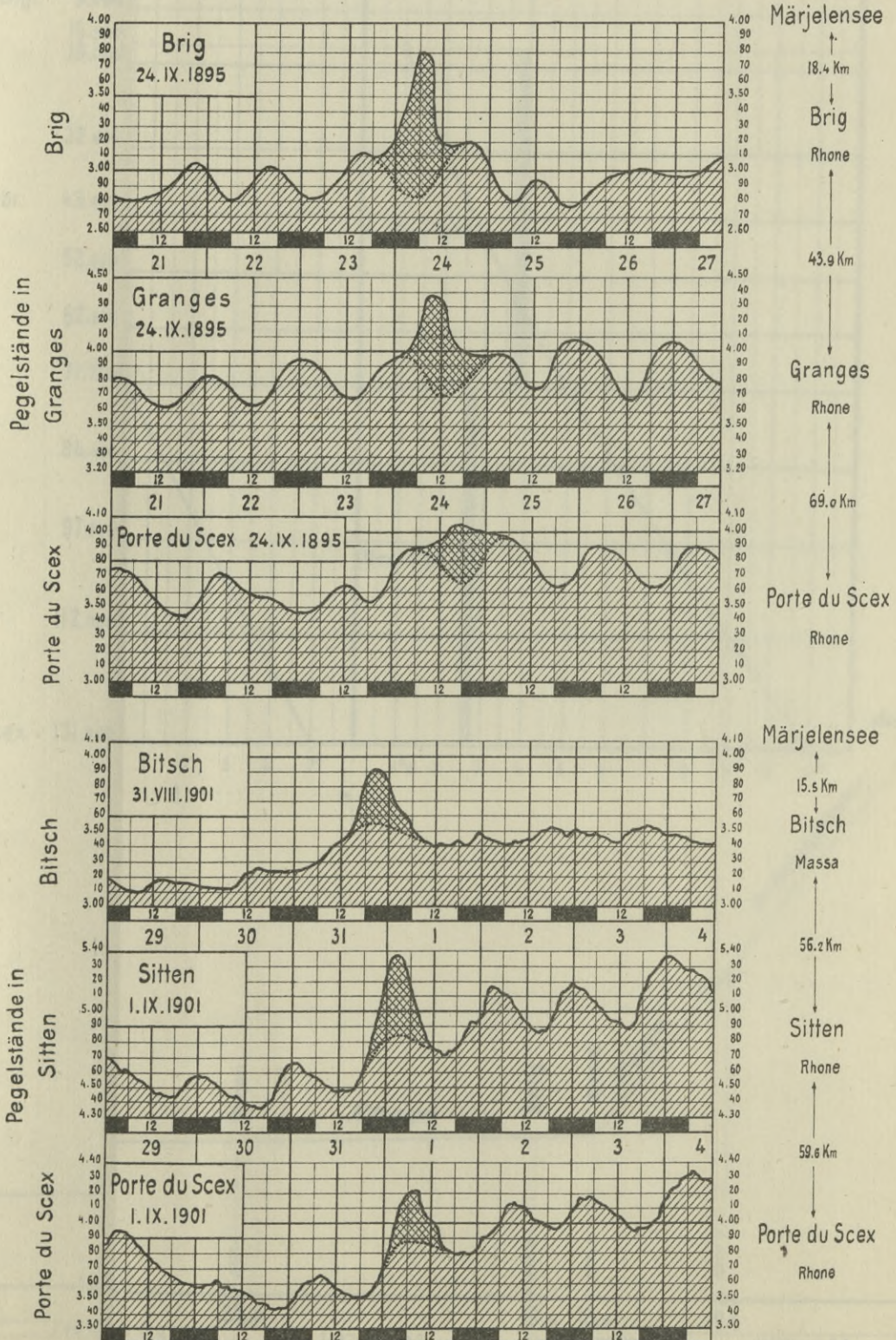
verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees





# VERLAUF DER FLUTWELLEN

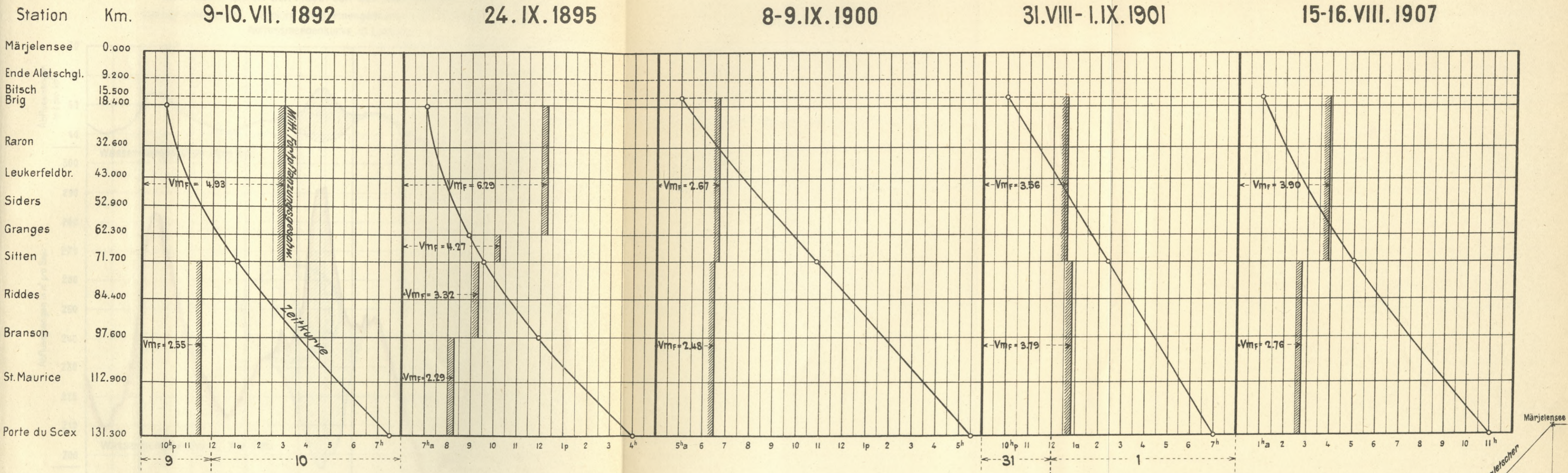
in der MASSA und der RHONE  
verursacht durch die Ausbrüche des Märjelensees  
in den Jahren 1895 u. 1901.





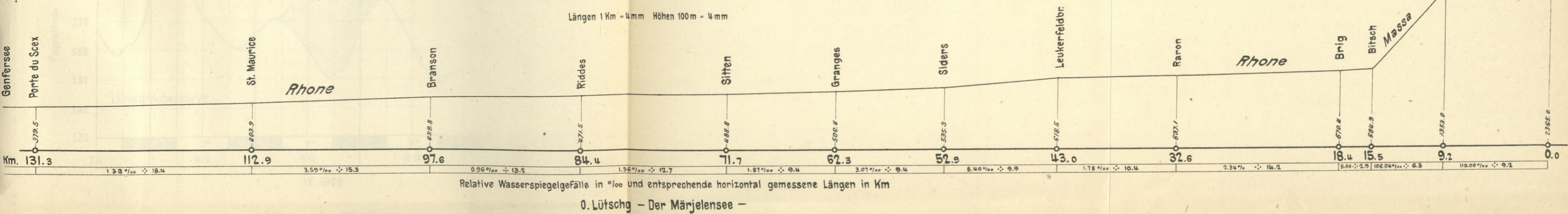


# Zeitkurve und mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit ( $V_{mF}$ ) des Scheitels der Flutwelle verursacht durch die Ausbrüche des Märjelensees



## Längenprofil Märjelensee - Genfersee

Längen 1 Km = 4 mm Höhen 100 m = 4 mm

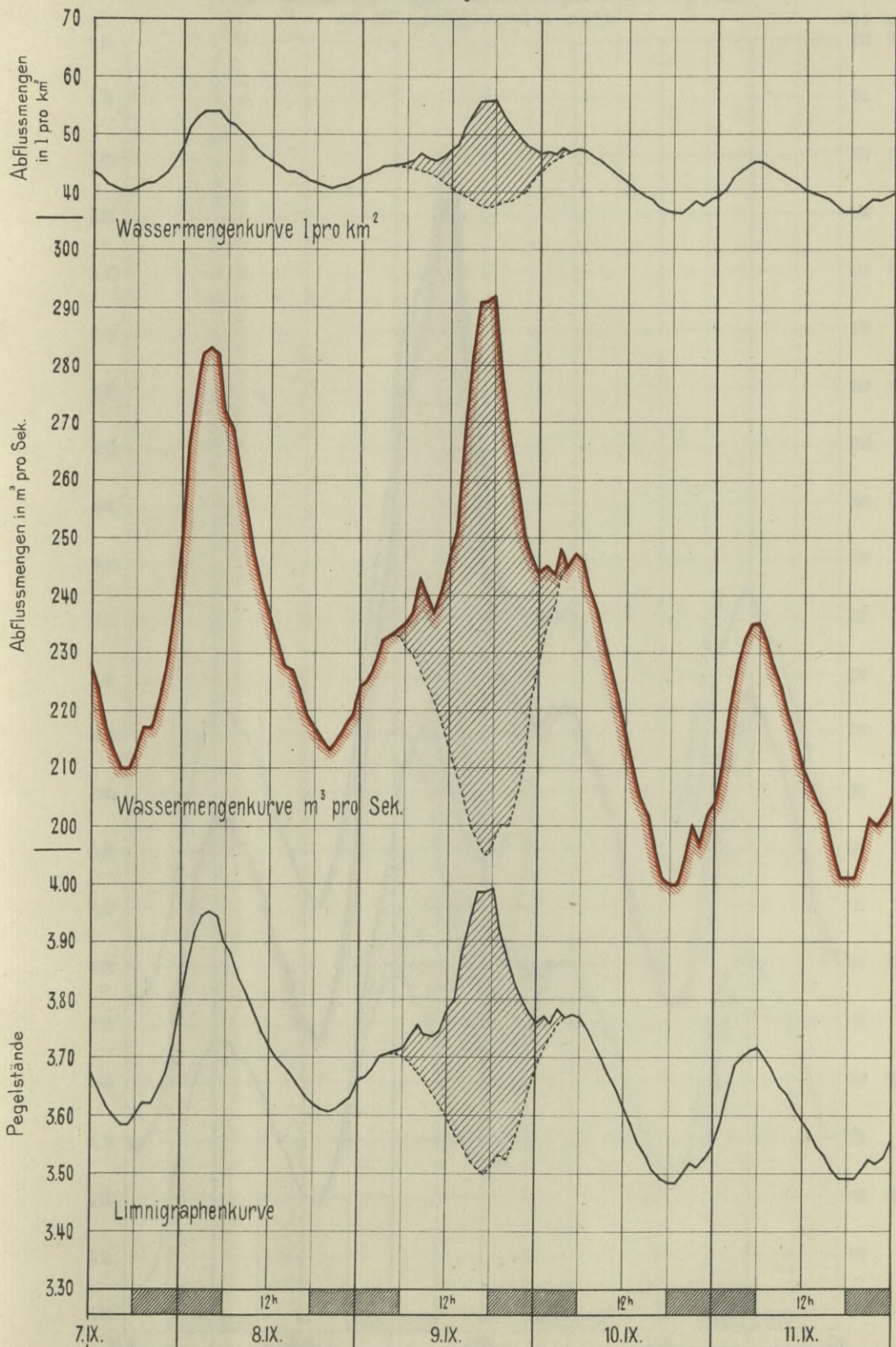




### Flutwelle der Rhone in Porte du Scex

verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees 1900

Limnigraphenkurve, absolute Wassermengenkurve in  $m^3$  pro Sekunde und  
Abflussmengenkurve in  $l$  pro  $km^2$

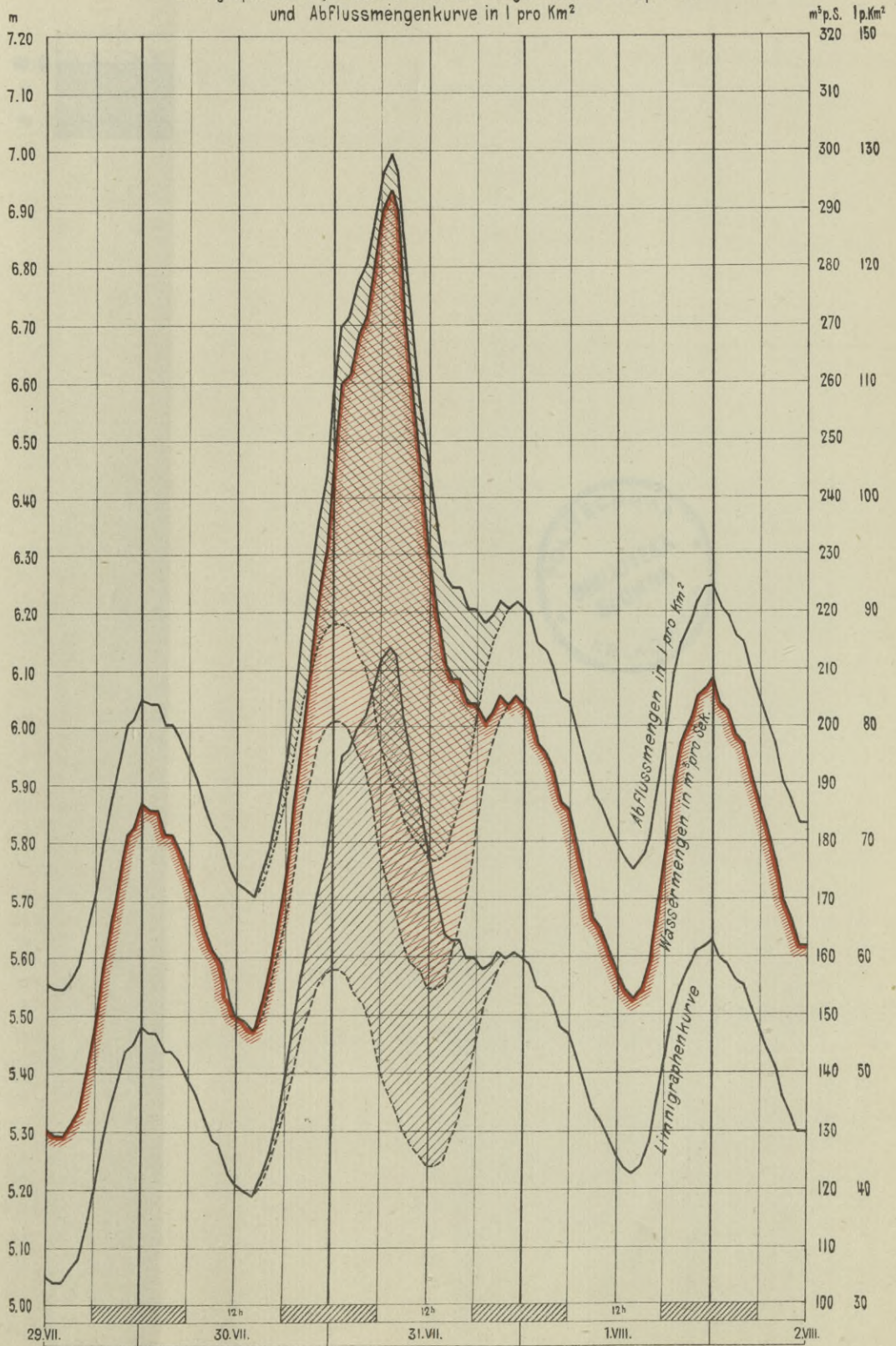


IX. 1900



### Flutwelle der Rhone in Sitten verursacht durch den Ausbruch des Märjelensees am 30. Juli 1913

Limnigraphenkurve, absolute Wassermengenkurve in m<sup>3</sup> pro Sek.  
und Abflussmengenkurve in l pro Km<sup>2</sup>

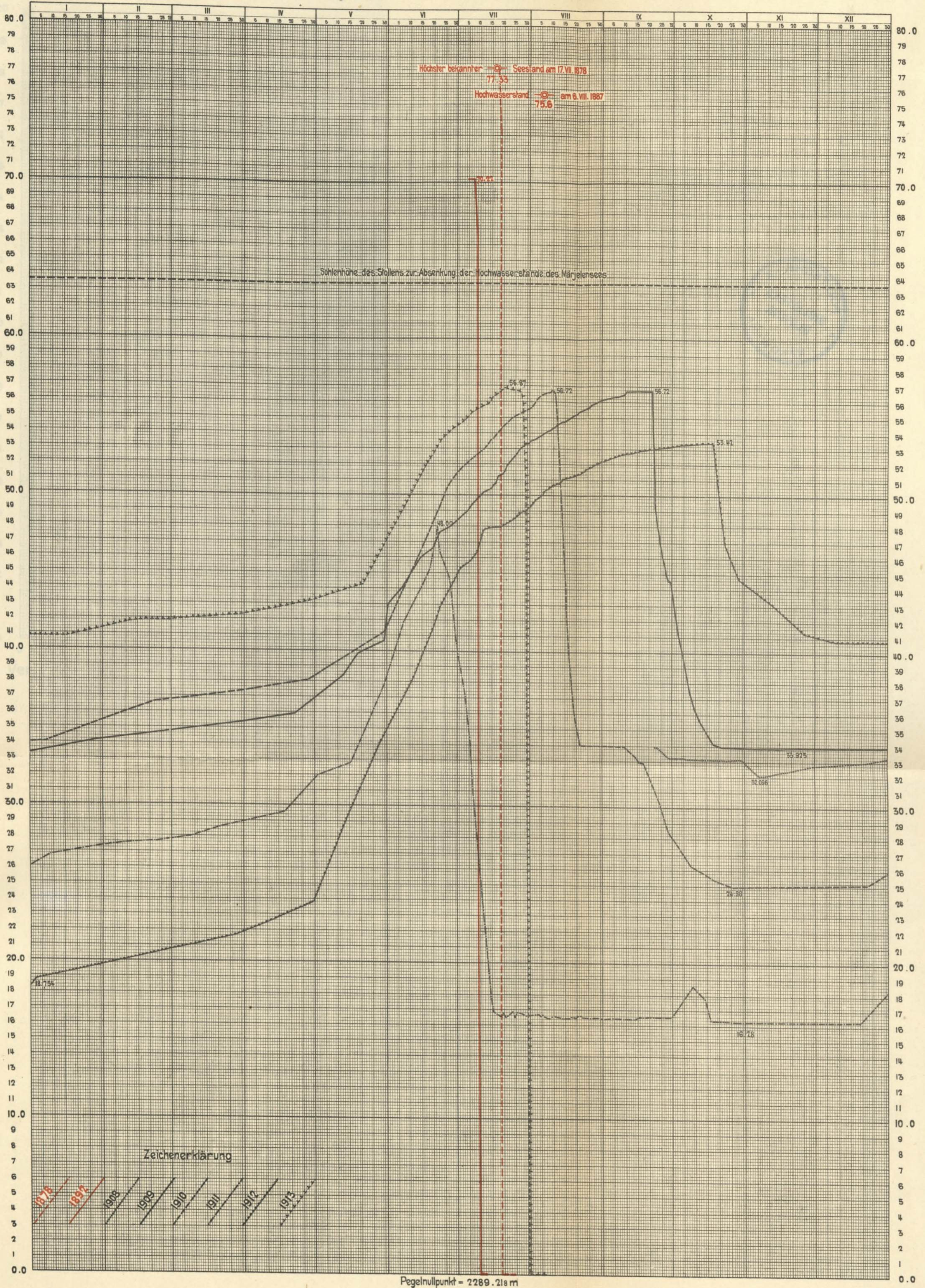




# MÄRJELENSEE

## WASSERSTANDS-VERHÄLTNISSE

Pegelkurven der Periode vom 23.IX.1908 bis 31.VII.1913.

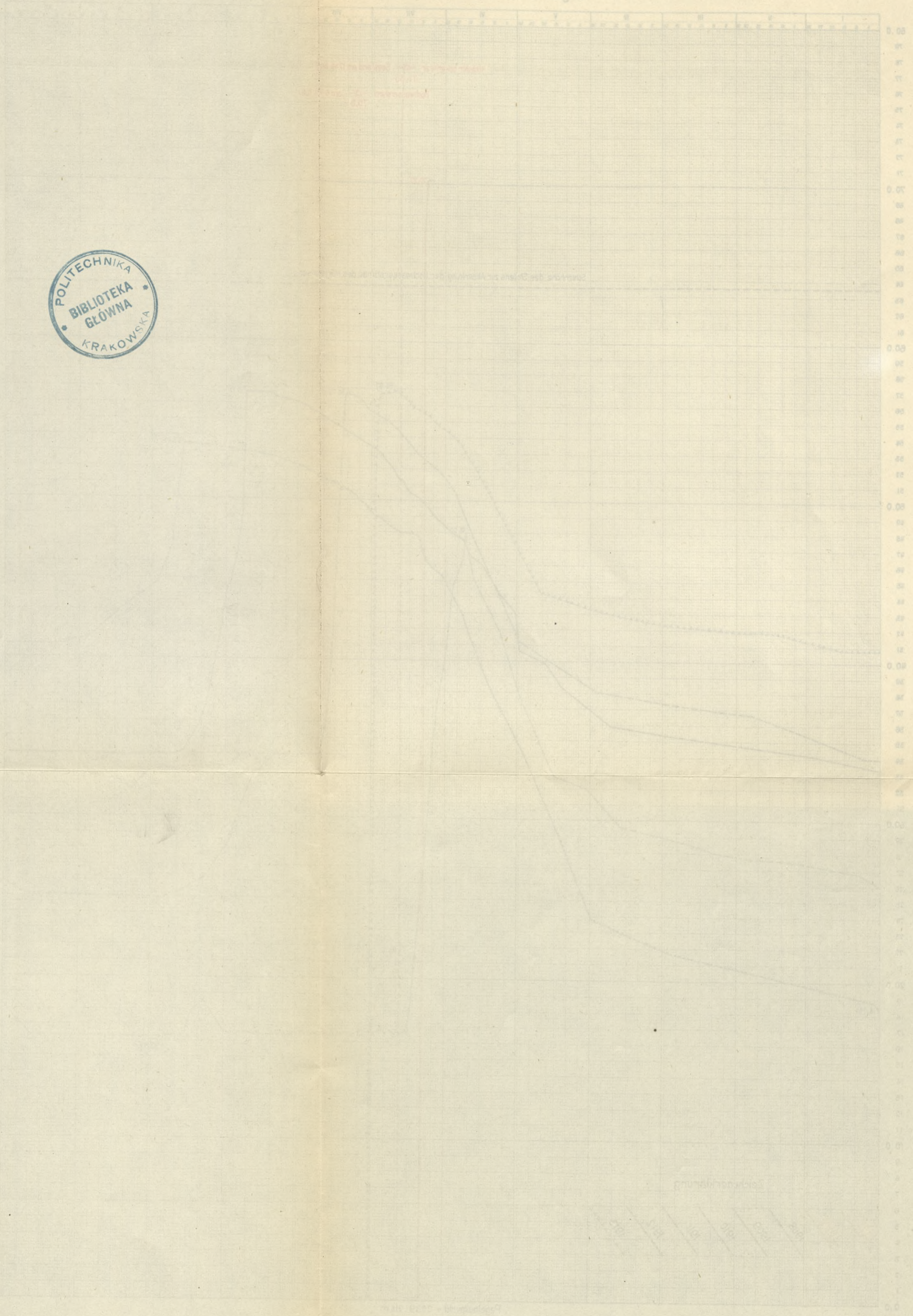




# MÄRJELEENSEE

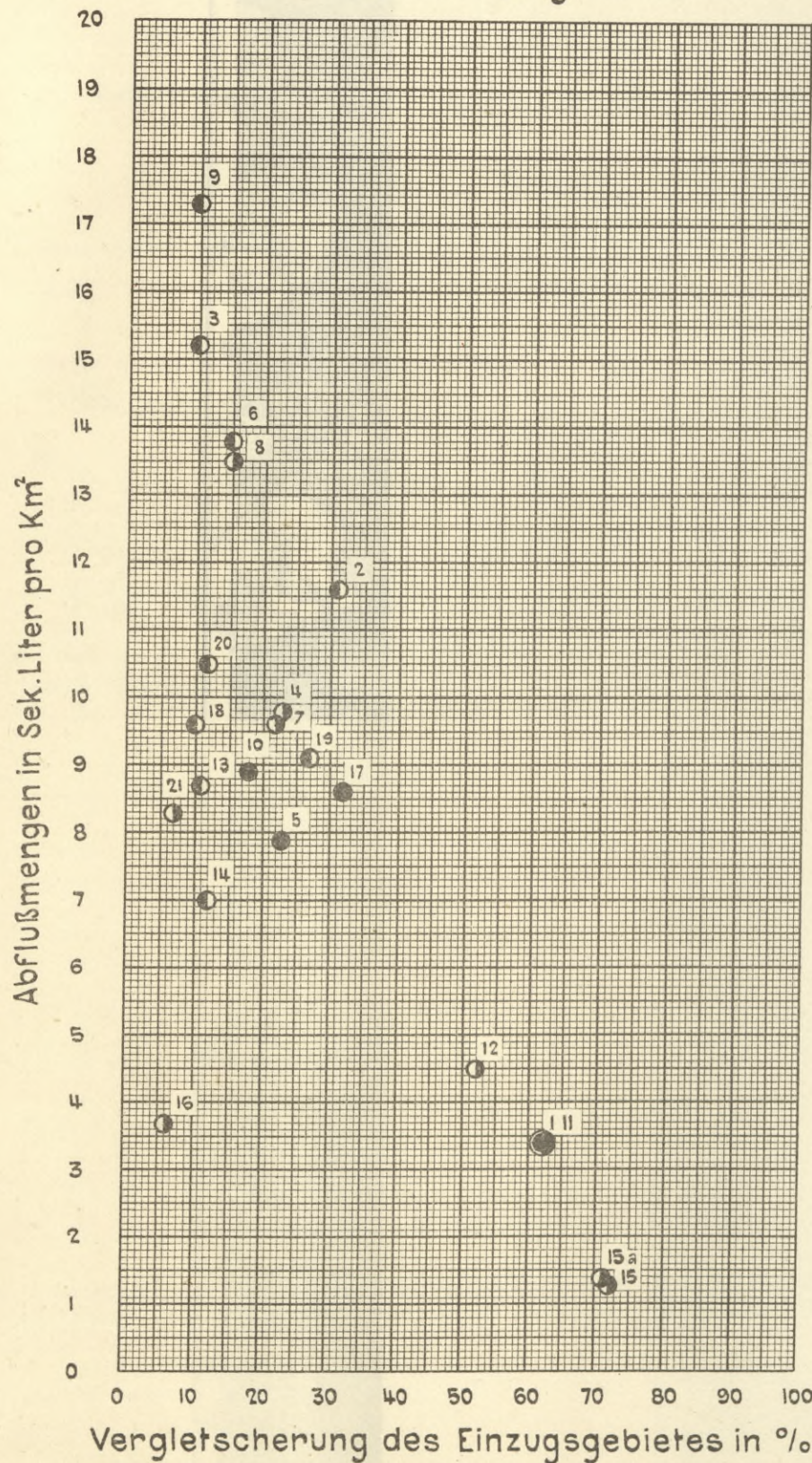
## WASSERSTANDS-VERHÄLTNISSE

Regelkurven der Periode vom 25. IX. 1898 bis 21. VI. 1903



# Einfluss der Gletscher auf die minimale Abflussmenge der Gebirgsbäche

## Rhone Gletsch - Brig

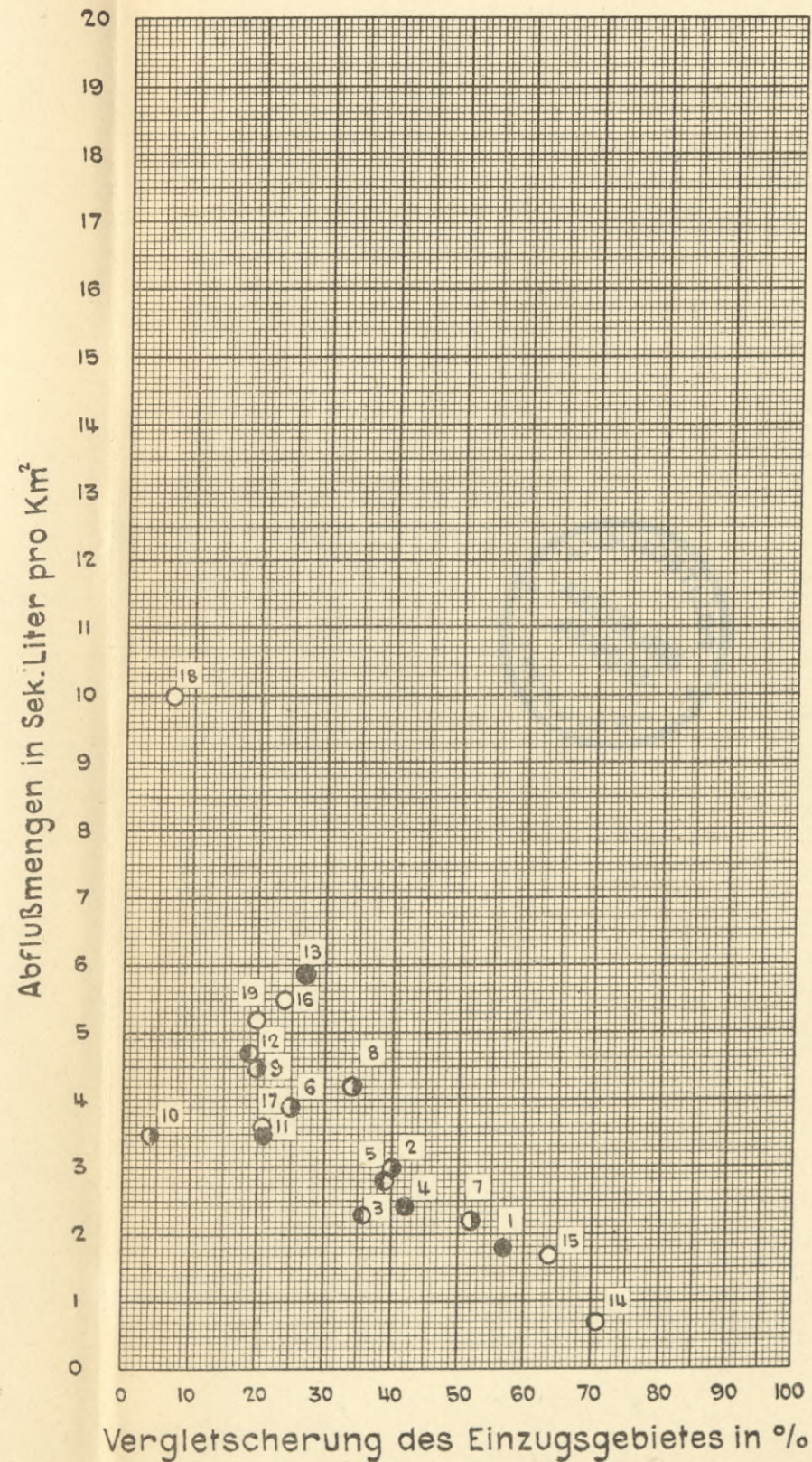


1. Rhone, Gletsch
2. Eginenbach
3. Merezobach
4. Münsterbach
5. Rhone, Reckingen
6. Blindenbach
7. Reckingerbach
8. Wallibach
9. Mühlbach
10. Rhone, Fiesch
11. Fiescherbach
12. Fiescherbach
13. Längtalbach
14. Binna
15. Massa
- 15a. Massa
16. Kelchbach
17. Rhone, Brig
18. Ganterbach
19. Taverbach
20. Saltine
21. Mundbach

- Rhone
- Rechtsseitige Zuflüsse der Rhone
- ◐ Linksseitige Zuflüsse der Rhone

0. Lütischg - Der Märjelensee -

## Aare Grimsel - Brienzensee

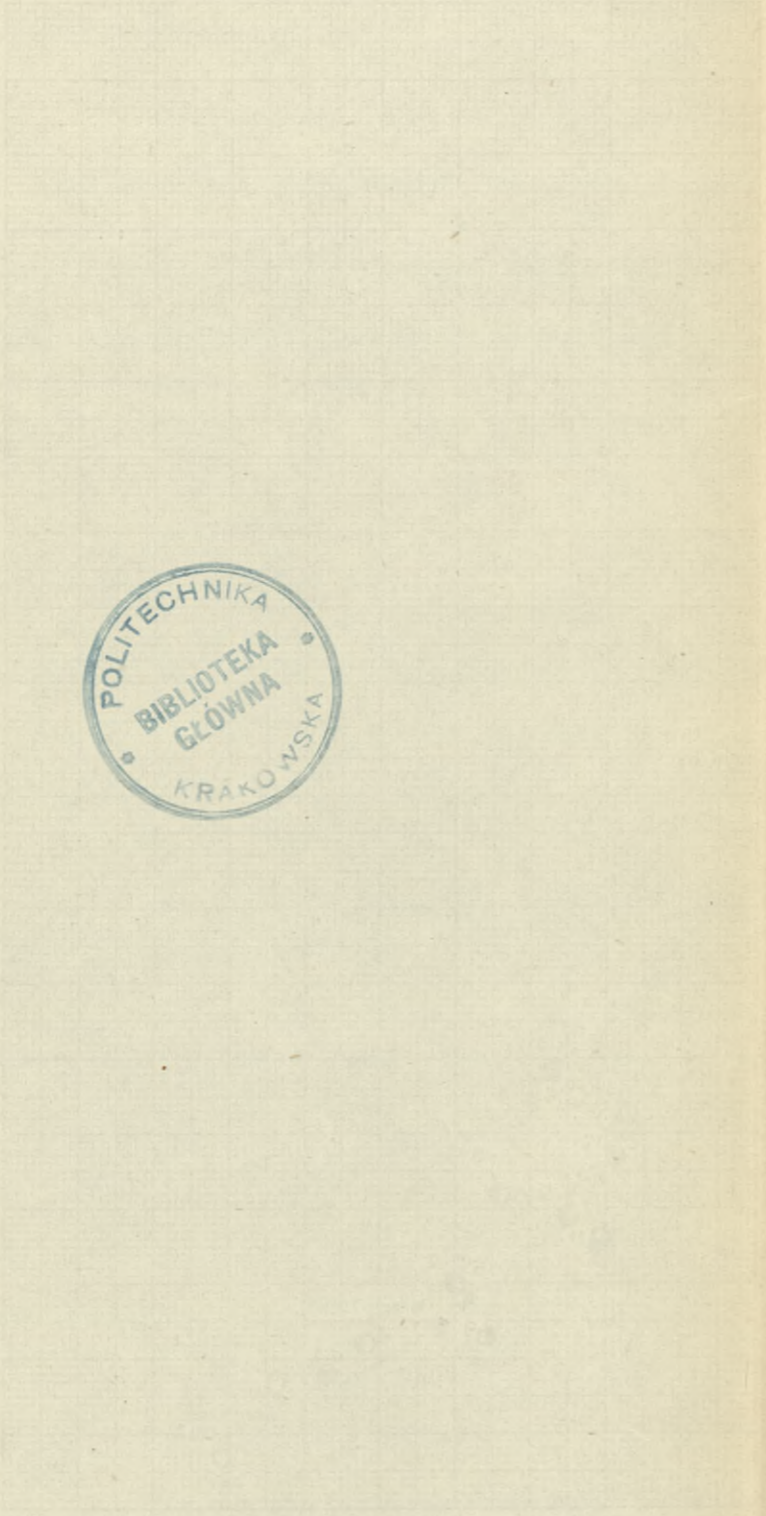


1. Aare, Grimsel
2. Gelmerbach
3. Ärlenbach
4. Aare, Guttannen
5. Urbachwasser
6. Unterwasser
7. Triftwasser
8. Gadmerwasser
9. Gentalwasser
10. Gentalwasser
11. Aare, Innertkirchen
12. Reichenbach
13. Aare, Meiringen
14. Ober Grindelwald - Gletscher
15. Unter Grindelwald - Gletscher
16. Schwarze Lütchine
17. Weisse Lütchine
18. Sefinen - Lütchine
19. Lütchine

- Aare
- ◐ Rechtsseitige Zuflüsse der Aare
- ◑ Linksseitige Zuflüsse der Aare
- Lütchine

# Einfluss der Gletscher auf die minimale Abflussmenge der Gebirgsbäche

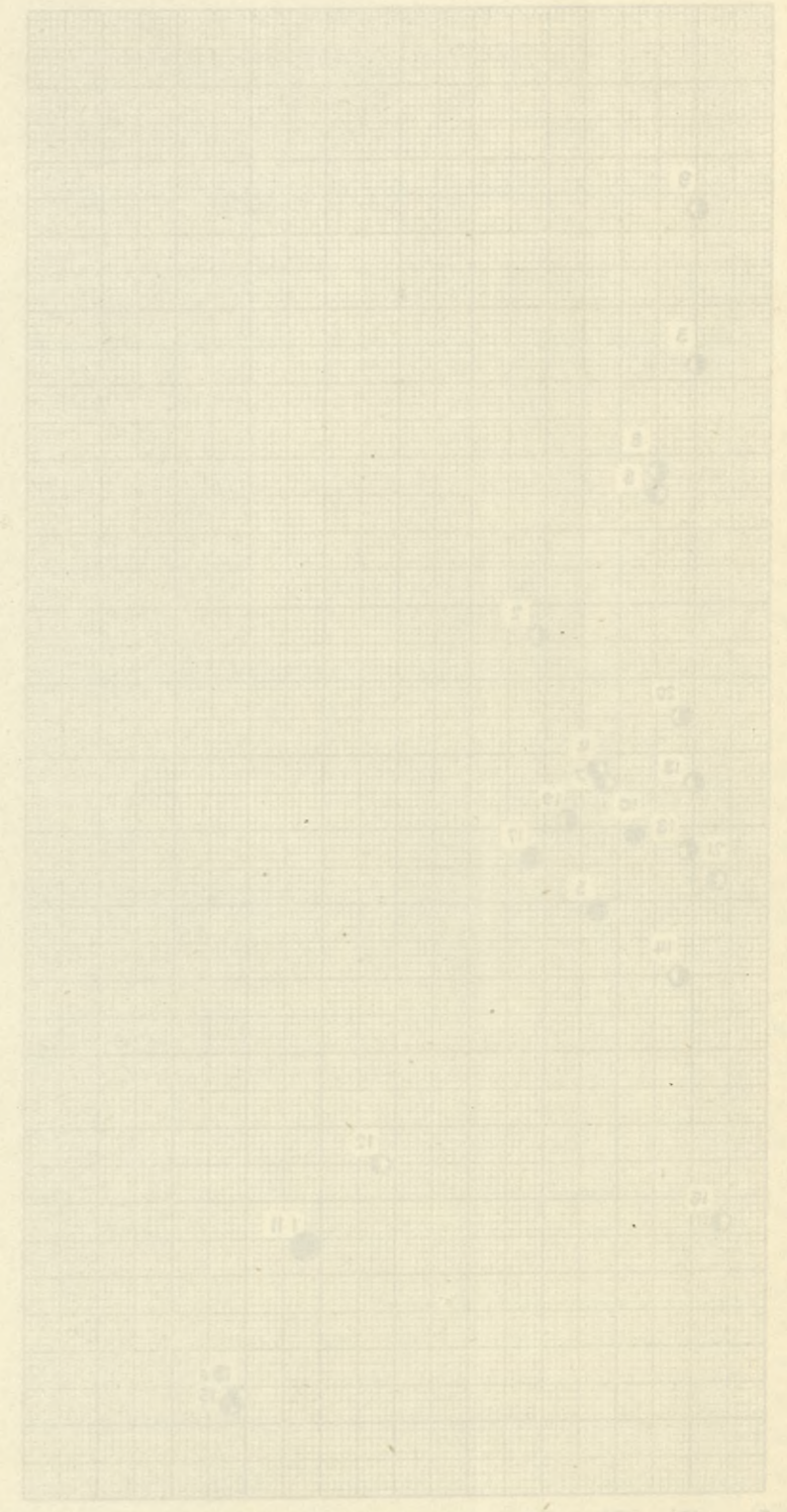
Aare  
Grimsel - Gletschersee



Abflussmengen in Sek. Liter pro Kw.

1. Rhone, Gletsch
2. Eginenbach
3. Merzerbach
4. Münsterbach
5. Rhone, Rechnungen
6. Brandbach
7. Räckingerbach
8. Wallibach
9. Mühlbach
10. Rhone, Fessen
11. Fischerbach
12. Fischerbach
13. Längelbach
14. Binna
15. Mass
16. Massa
17. Ketschbach
18. Rhone, Brig
19. Taverbach
20. Saline
21. Mundbach

Rhone  
Gletsch - Brig



Abflussmengen in Sek. Liter pro Kw.

Vergleichung des Einzugsgebietes in %

- Rhone
- Rechteitige Zuflüsse der Rhone
- ◐ Linkeitige Zuflüsse der Rhone



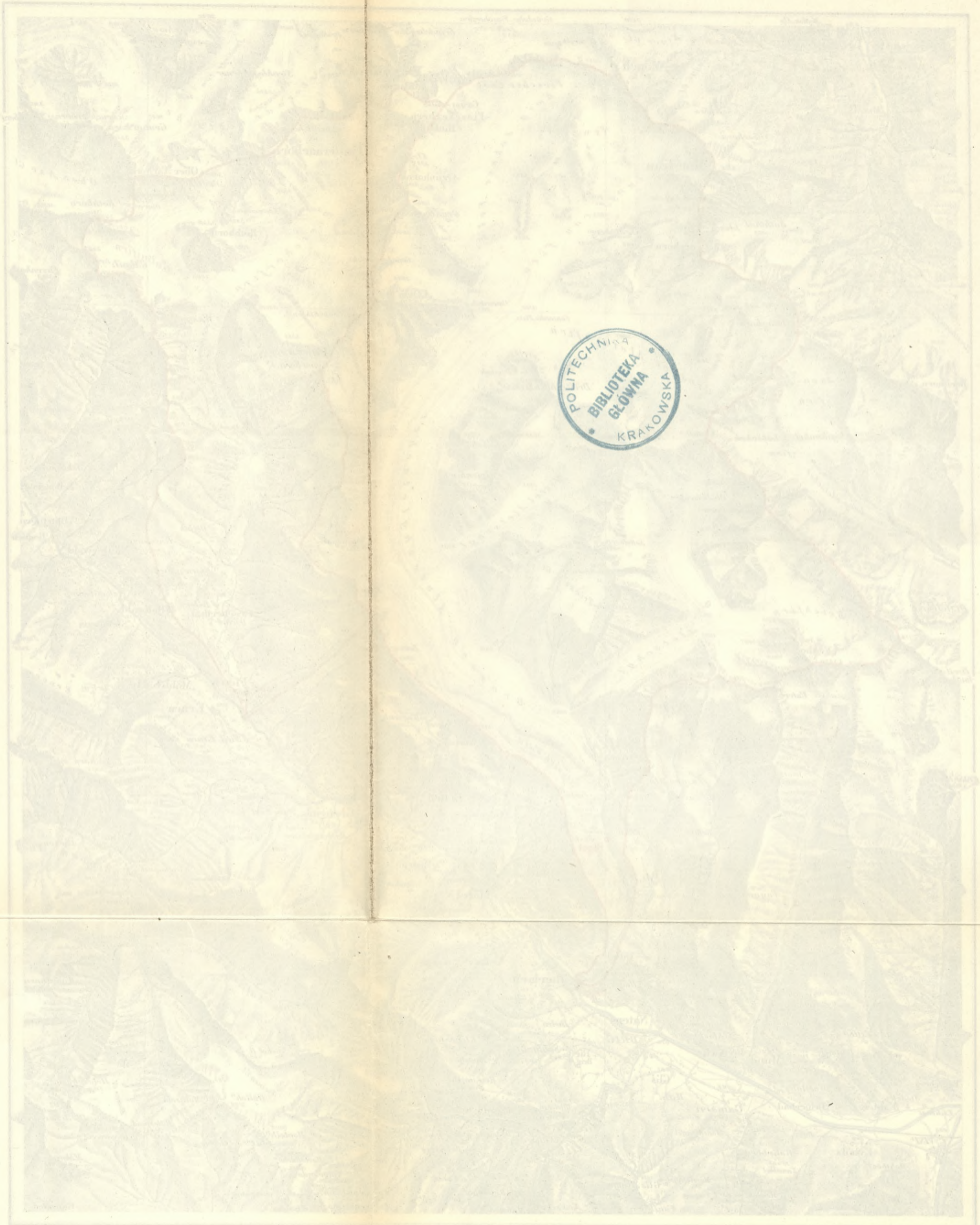
Schweizerische Landestopographie, Bern. 1913

Reproduktion vorbehalten

Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Massa  
und des Fiescherbaches

1:100000  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Kilom.

O. Lütischg -Der Märjensee-



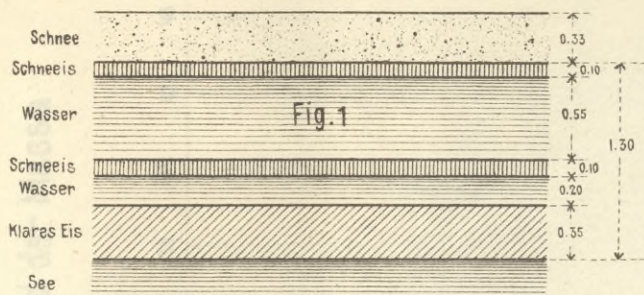
POLITECHNIKA  
 BIBLIOTEKA  
 GŁÓWNA  
 KRAKOWSKA

Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Massa  
 und des Fischerbaches

O. Lütjehg - der Maßstab

— Vordersee —

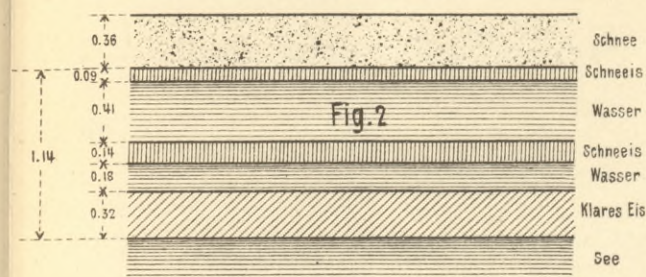
Km 2.500  
19. II. 1913 [12<sup>h</sup>30 - 12<sup>h</sup>55p]



Temperatur- und Eisschichtung  
des  
Märjelensees

— Hintersee —

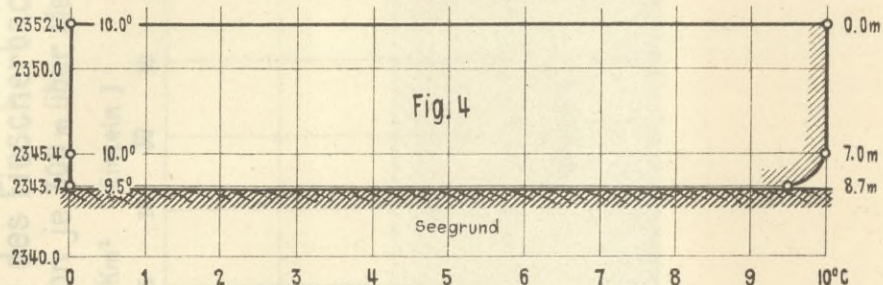
Km 3.680  
19. II. 1913 [1<sup>h</sup>50 - 2.20p]



— Vordersee —

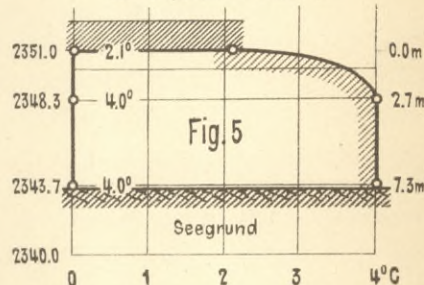
Km 2.500

6. VIII. 1912 [12<sup>h</sup>0 - 12<sup>h</sup>25p]  
Lufttemperatur: 12<sup>h</sup>30p = 5.0°



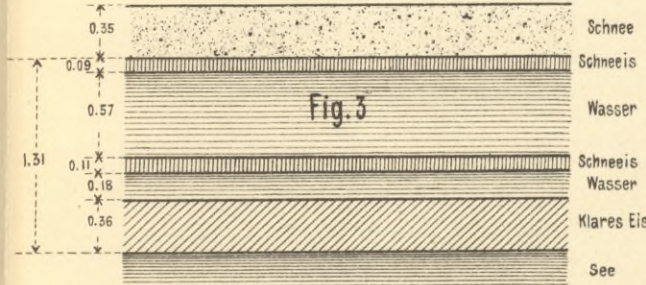
Km 2.500

19. II. 1913 [12<sup>h</sup>30 - 12<sup>h</sup>55p]  
Lufttemperatur: 1<sup>h</sup>15p = 3.0°



Km 3.900

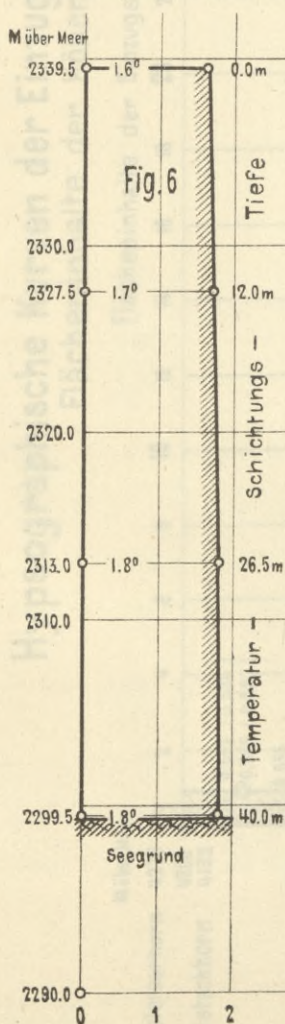
19. II. 1913 [2<sup>h</sup>35 - 3<sup>h</sup>0p]



— Hintersee —

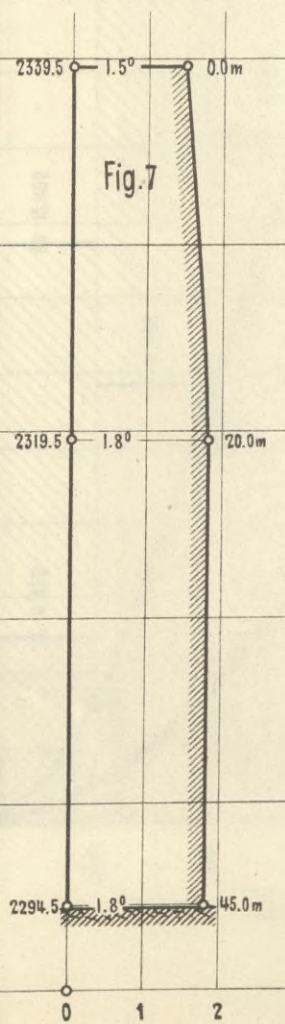
Km 3.770

7. VIII. 1912 [11<sup>h</sup>0 - 11<sup>h</sup>30a]  
Lufttemperatur: 11<sup>h</sup>35a = 4.0°



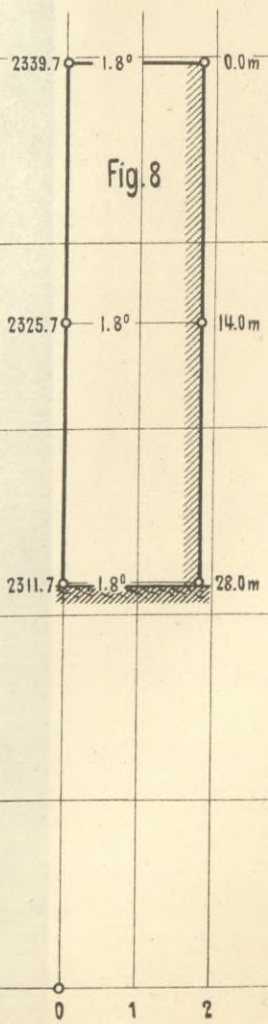
Km 3.900

7. VIII. 1912 [11<sup>h</sup>55 - 12<sup>h</sup>25p]  
Lufttemperatur: 1<sup>h</sup>15p = 3.0°



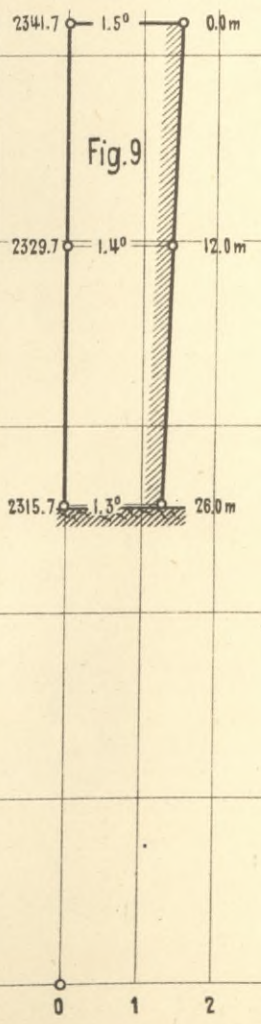
Km 3.680

8. VIII. 1912 [4<sup>h</sup>15 - 4<sup>h</sup>50p]  
Lufttemperatur: 5<sup>h</sup>0p = 2.5°



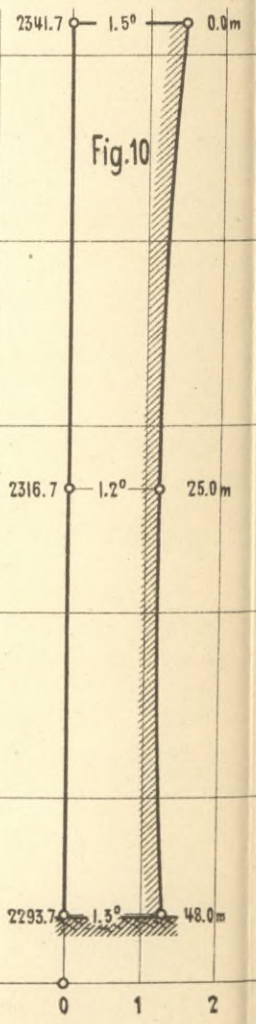
Km 3.680

6. IX. 1912 [1<sup>h</sup>0p - 1<sup>h</sup>55p]  
Lufttemperatur: 11<sup>h</sup>35a = 1.0°



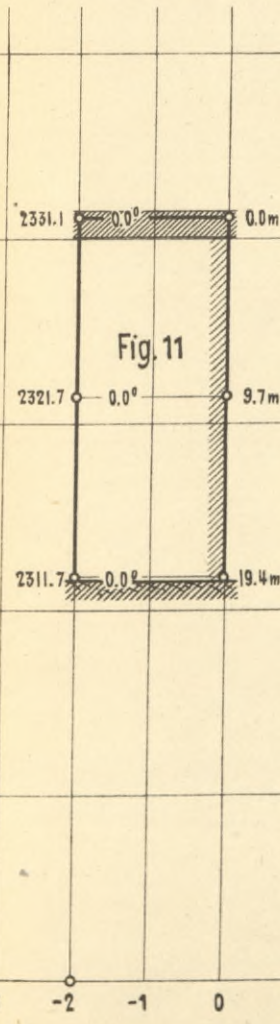
Km 3.900

6. IX. 1912 [2<sup>h</sup>25 - 3<sup>h</sup>15p]  
Lufttemperatur: 3<sup>h</sup>43p = 4.5°



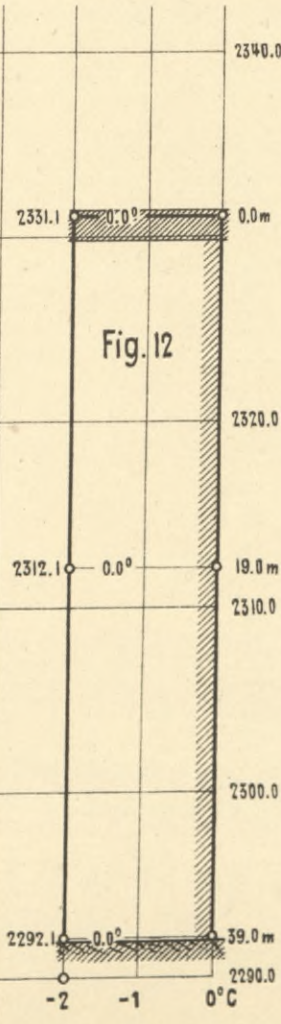
Km 3.680

19. II. 1913 [1<sup>h</sup>50 - 2<sup>h</sup>20p]  
Lufttemperatur: 11<sup>h</sup>0a = -11.0°



Km 3.900

19. II. 1913 [2<sup>h</sup>35 - 3<sup>h</sup>0p]  
Lufttemperatur: 11<sup>h</sup>0a = -11.0°

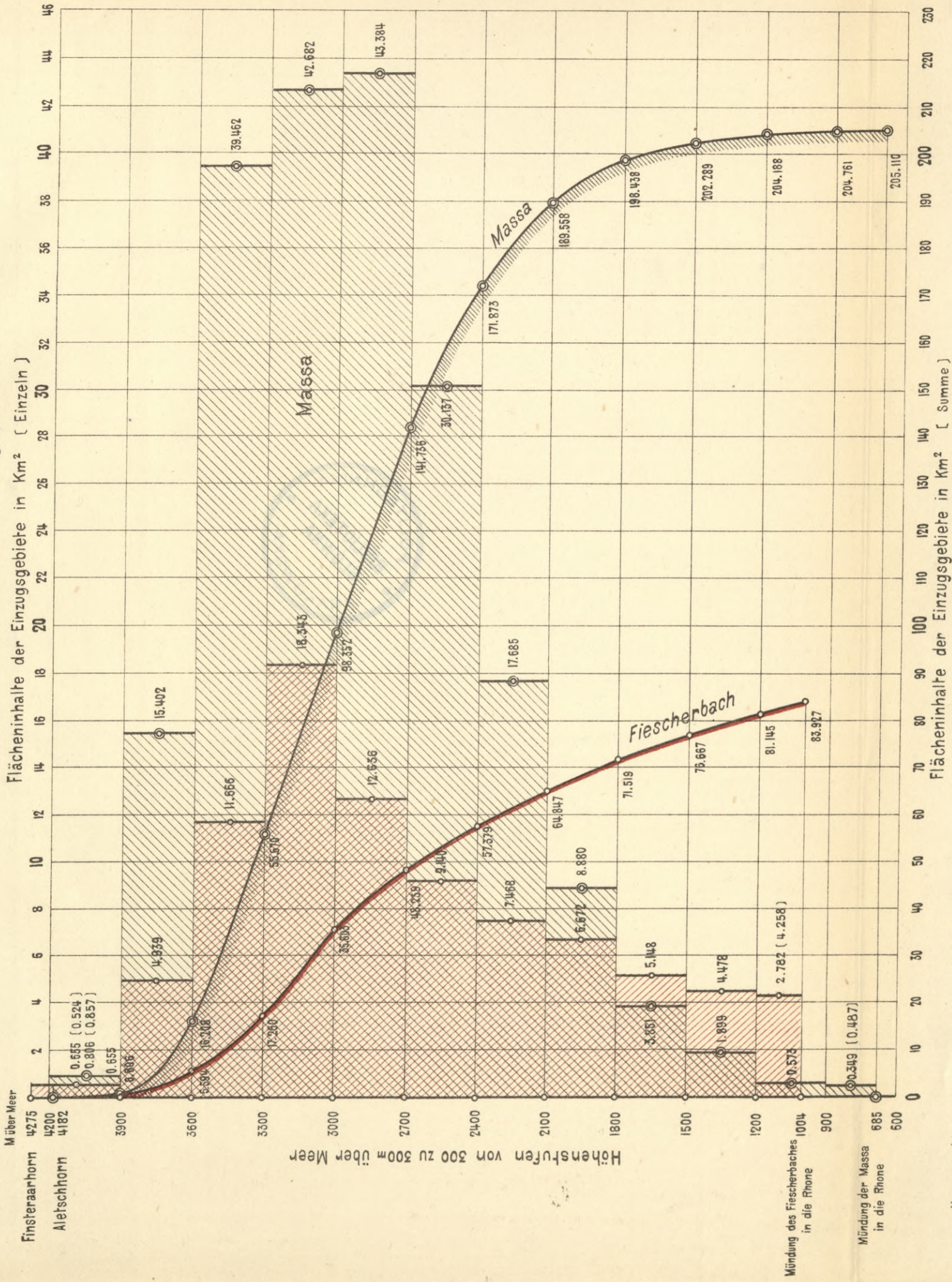


Maßstäbe : Eisschichtung 1m = 20mm -|- Temperaturschichtung 1m = 2.5mm 1.0°C = 10mm



# Hypsographische Kurven der Einzugsgebiete des Fiescherbaches und der Massa

## Flächeninhalte der Höhenstufen von je 300 m über Meer



Hypsographische Kurven : 100 m = 5 mm ; 1 Km² = 1 mm

Flächeninhalte der Einzugsgebiete in Km² ( Summe )

Flächeninhalte : 100 m = 5 mm ; 1 Km² = 5 mm

O. Lüttsch - Der Märlensee -

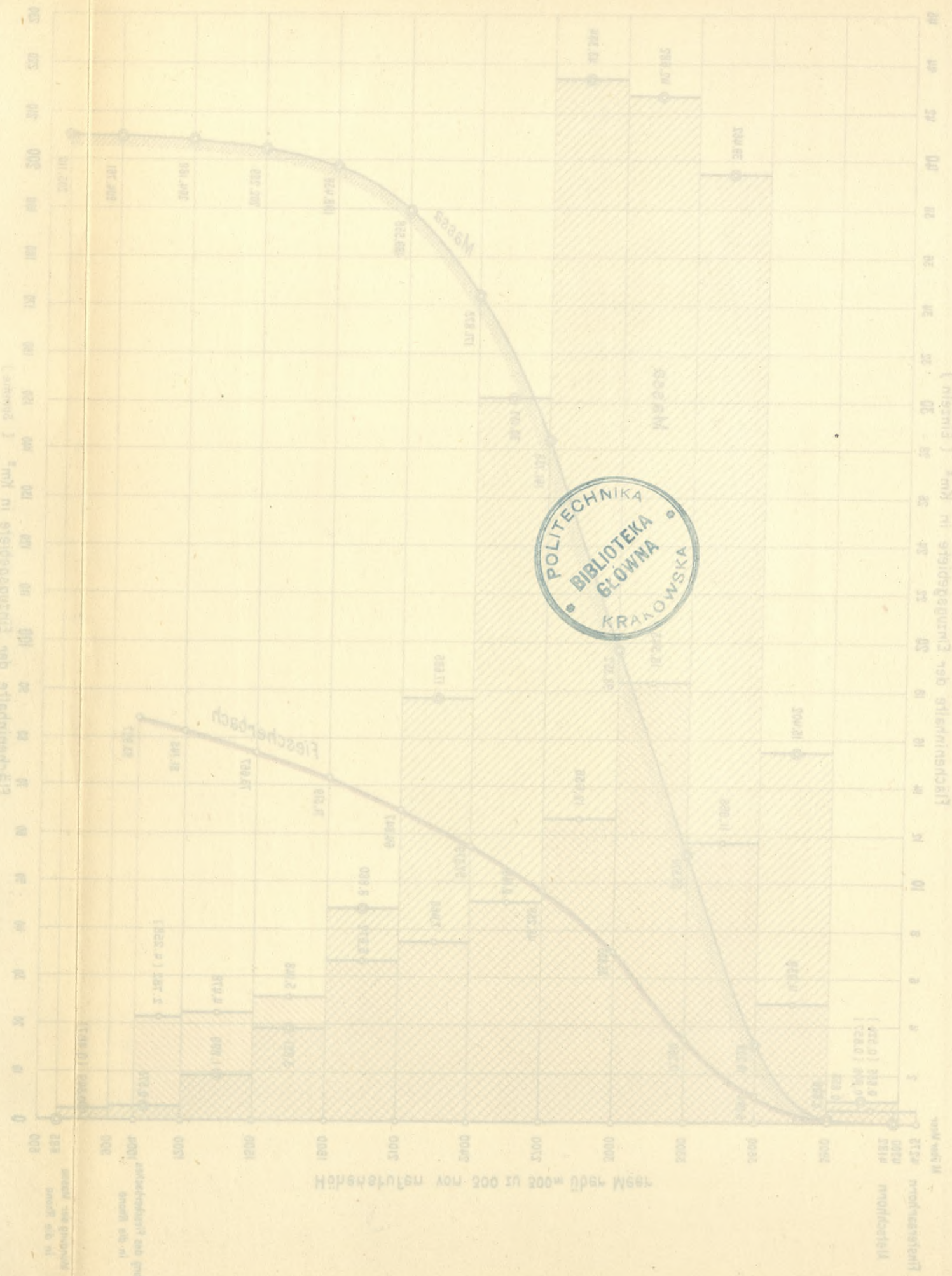
Kartogr. Anst. Lips & Co. Bern.



Удлинение при растяжении в %

Среднее значение при растяжении в %

Удлинение при растяжении в %



Удлинение при растяжении в %

Среднее значение при растяжении в %

Удлинение при растяжении в %

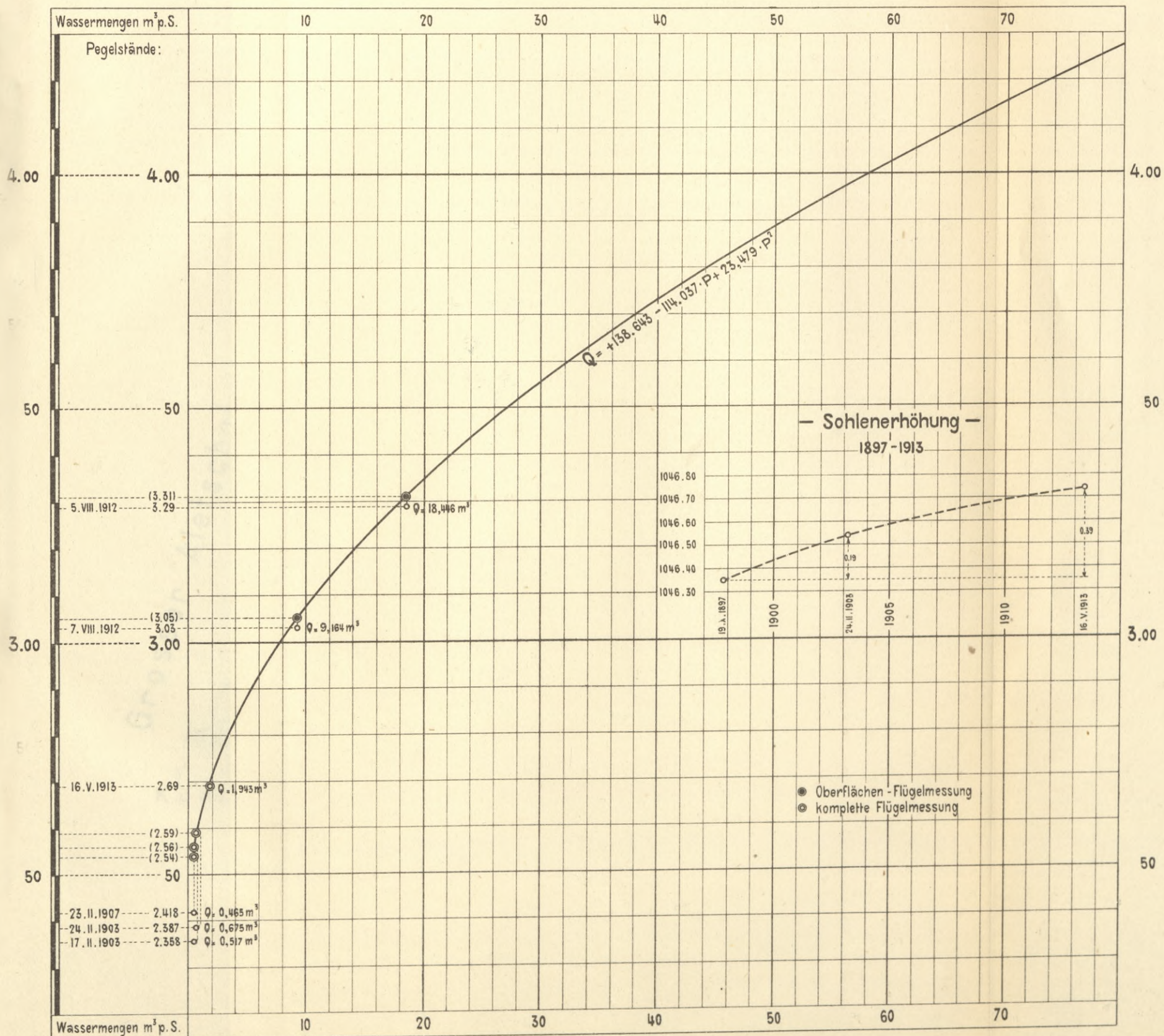
Удлинение при растяжении в %

Удлинение при растяжении в %

# KURVE DER ABFLUSSMENGEN DES FIESCHERBACHES IN FIESCH

bezogen auf die Sohlenhöhe des Pegelprofils vom 16.V.1913

Pegel - Nullpunkt = 1049,23 (16.V.1913)  $\frac{1}{4}$  Einzugsgebiet = 81,05 km<sup>2</sup>



Kartogr. Anst. Lips & Co. Bern.



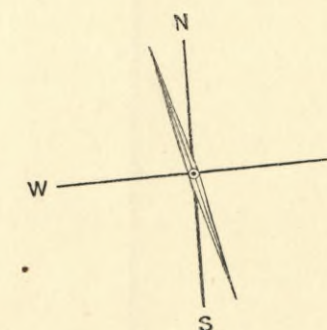
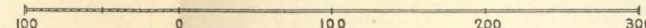
Märjelenalp

Auf der Platte

# Tiefenkarte des Märjelensees

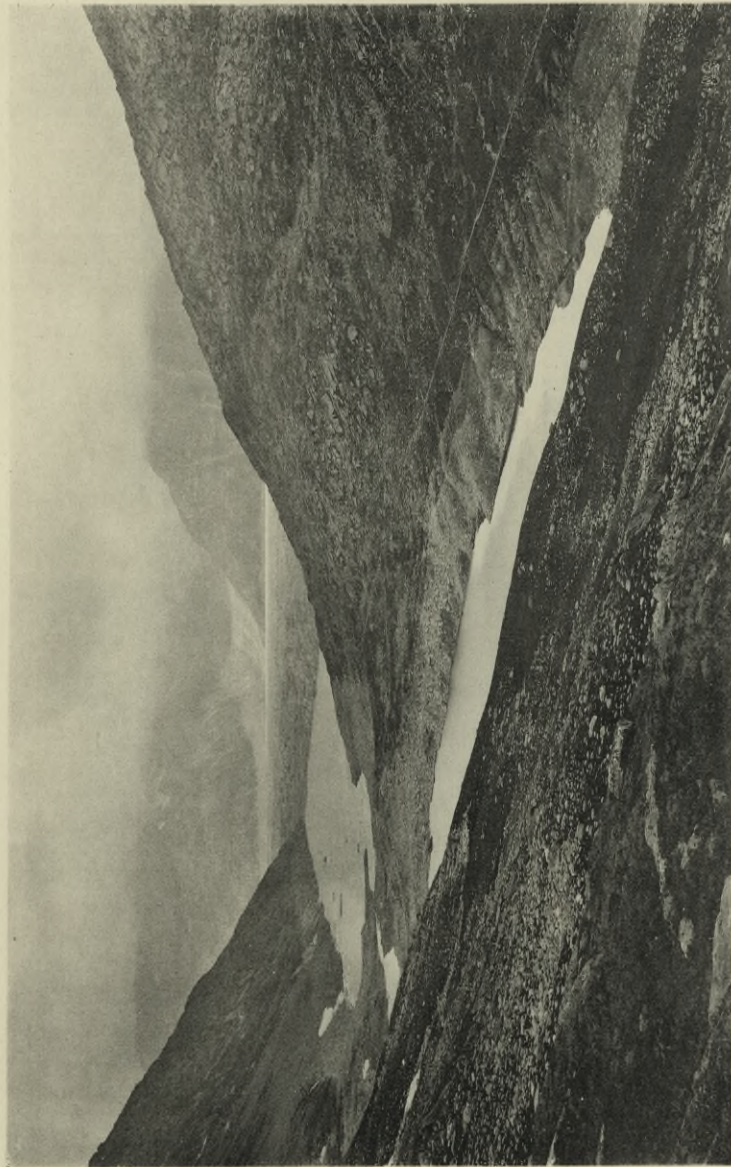
Zustand nach dem Ausbruche  
des Sees im VIII. 1913

Maßstab 1:5000





Hintersee



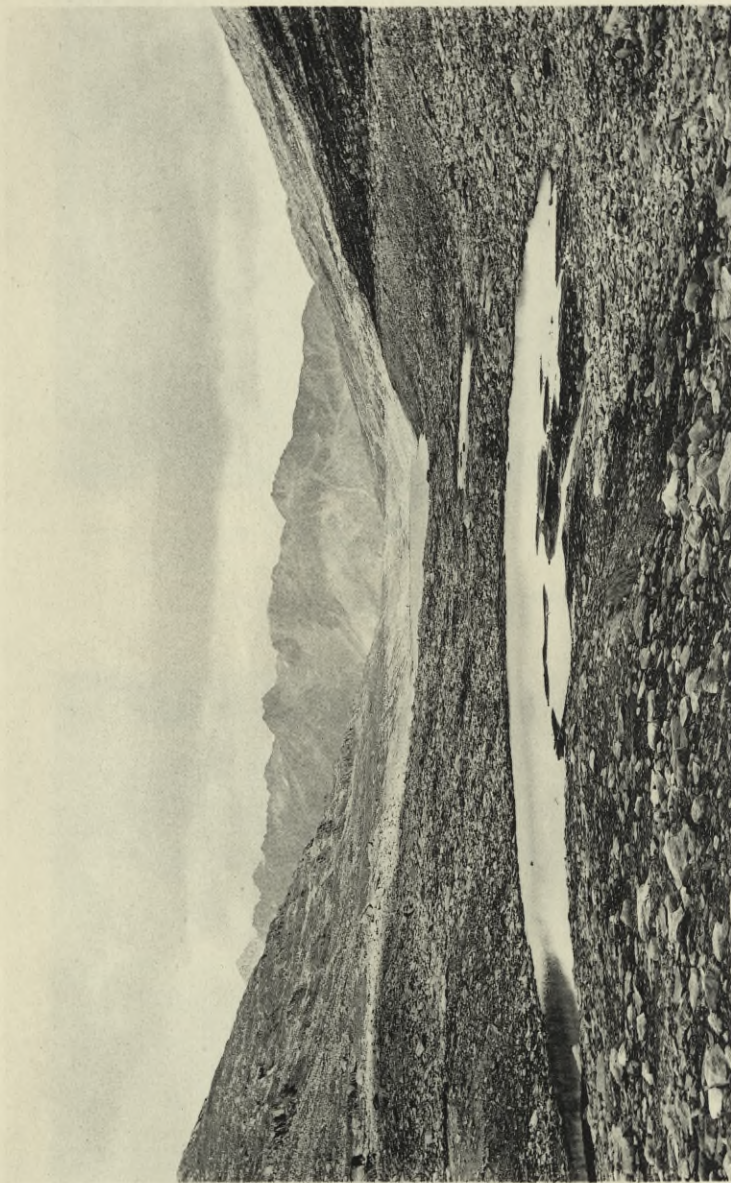
Vordersee

Phot. O. Lütschg.

Gesamtansicht der beiden Becken des Märjelsees am 28. VIII. 1909 vom Thälligrat  
(Osten). — Pegelstand : 55,91 m

O. Lütschg. — DER MÄRJELEENSEE.





Vordersee

Phot. O. Lüttschg.

Östlicher Teil des ehemaligen Beckens des Märjensees mit dem Vordersee und Tümpel zwischen dem Vorder- und Hintersee. Im Hintergrund der niedrige Sattel, der ostwärts die Wasserscheide zwischen den Flussgebieten der Massa und des Fiescherbaches bildet; 6. X. 1908.







Phot. O. Lütshg.

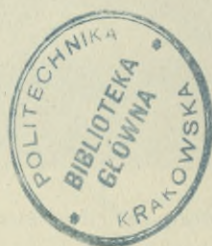
Vordersee (oberes Becken des Märjensees) von Osten gesehen.  
Zustand am 6. X. 1908.

A = Portal des Absenkungstollens.



Phot. O. Lütshg.

Vordersee von Osten gesehen. Zustand am 18. VI. 1913. — Durch die Schneeschmelze im Frühjahr hat sich der See und mit ihm die winterliche Eisdecke gehoben.





Phot. O. Lütshg.

Zunge des Grossen Aletschgläubers im Seitental der Märjelenalp.  
Mittelwasserstand am 10. X. 1908. — Pegelstand: 33,18 m.

Mönch Trugberg



Phot. O. Lütshg.

Zunge des Grossen Aletschgläubers im Seitental der Märjelenalp.  
Hochwasserstand am 24. VIII. 1908. — Pegelstand: 55,56 m.





Phot. O. Lütchg.

Der Märjensee vom Gletscher (Westen) aus gesehen; 28. VIII. 1909.  
Pegelstand : 55,91 m.



Phot. O. Lütchg.

Rand des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Eggishorns;  
28. VIII. 1909. — Pegelstand : 55,91 m. — A = Überlauf-  
stelle des Dammes. (Pegelstand : 58,60 m).





Phot. O. Lütschg.

Märjelensee und Grosser Aletschgletscher von Osten gesehen am 18. VI. 1913.  
Pegelstand: 55,10 m. — Die Vorwärtsbewegung des Gletschers faltet die ursprüngliche ebene Eisfläche in eine wellenförmige. Das Schmelzwasser der Wellenberge sammelt sich im Wellental und bildet Wasserlachen.

O. LÜTSCHG. — DER MÄRJELEENSEE.





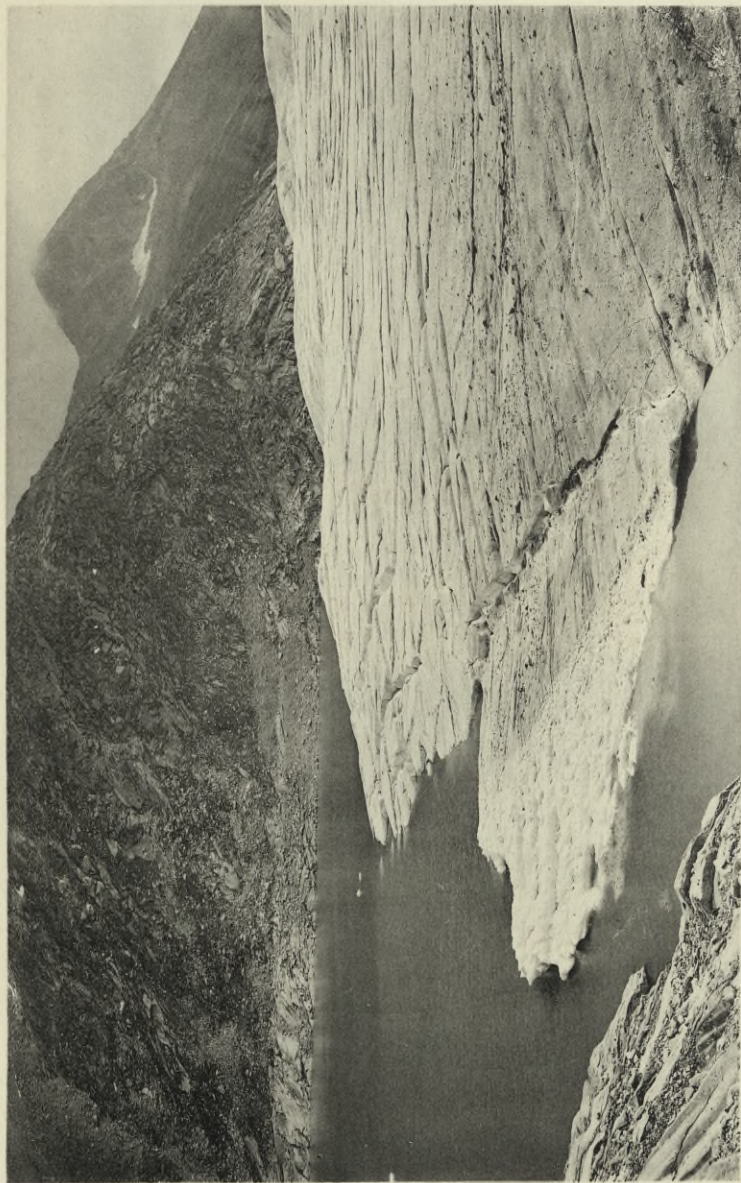


Phot. O. Lütschg.

Märjelensee und Aletschgletscher von Norden gesehen am 18. VI. 1913.  
Pegelstand: 52,10 m. — Ergänzung zu Tafel 26.

O. Lütschg. — DER MÄRJELEENSEE.





*Phot. O. Lütshg.*

Kalbender Gletscher am 28. VIII. 1909. — Pegelstand: 45,00 m. — Der vor Beginn der Kalbung unter Wasser befindliche Teil des Gletschers unterscheidet sich durch die hellere Farbe deutlich von dem früher über Wasser liegenden Teil.





Phot. L. W. Collet.

Zustand des Vordersees am 23. X. 1912, 1 h. 30 p. nach 12 stündigem Schneefall. — Der frisch gefallene Schnee bedeckt die noch ungefrorene Seefläche.



Phot. L. W. Collet.

23. X. 1912. 2 h. 10 p. — Luftwirbel bilden auf der Seefläche kleine Häufchen, die vermöge ihrer Schwere langsam einsinken und so das Entstehen dieser dunkeln nach und nach erscheinenden und immer grösser und zahlreicher werden den Flecken bewirken.

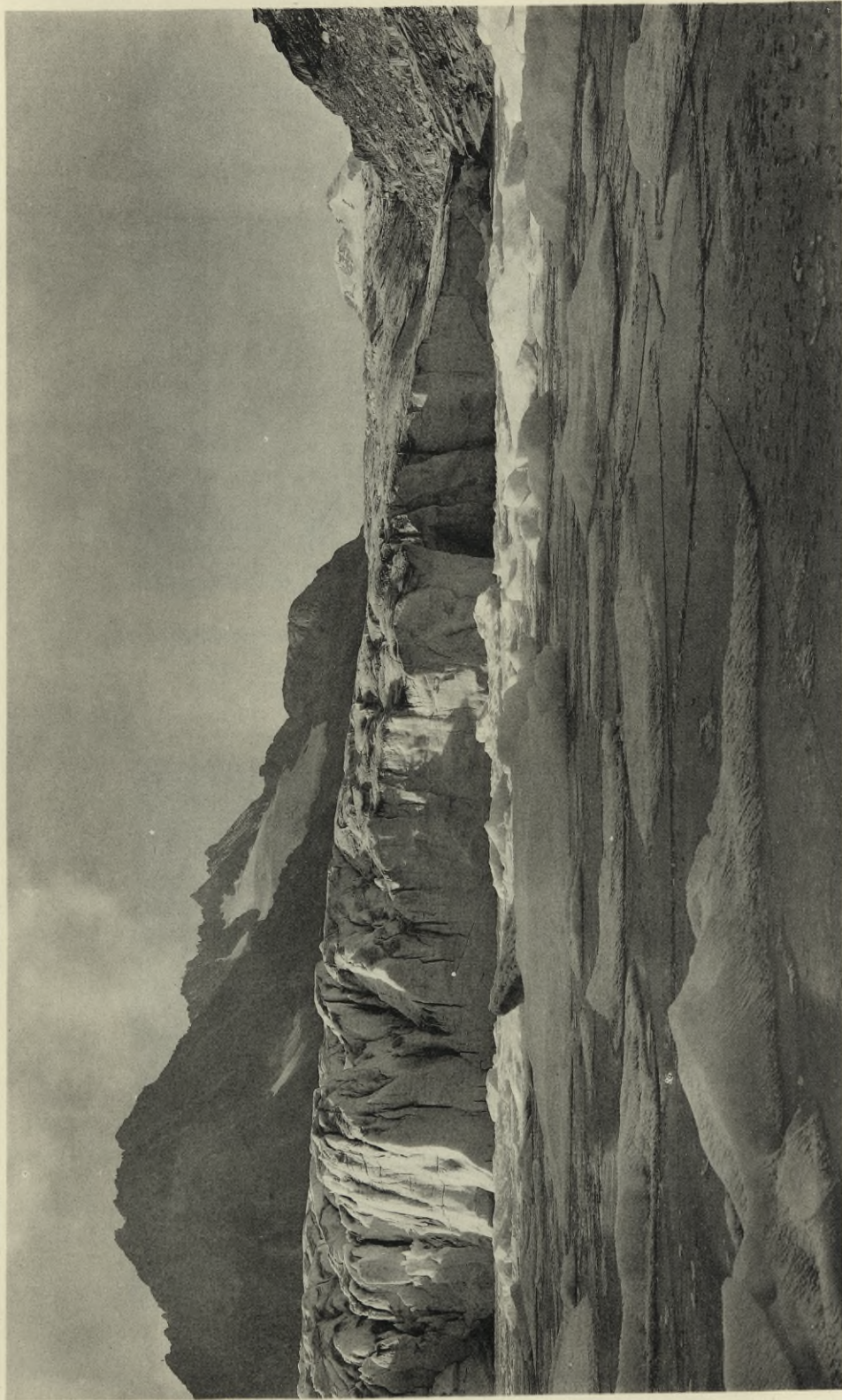


Olmenhorn

Dreieckhömer

Mönch

Trugberg



Phot. O. Lüttschg.

Steilrand des Grossen Aletschglaciers gegen den Märjensee am 15. X. 1908.  
Pegelstand: 33,17 m. Die Eisdecke im Vordergrund ist aus Tafeln und Eisblöcken  
zusammengesetzt.

O. LÜTSCHG. — DER MÄRJELENSEE.







Phot. O. Lütshg.

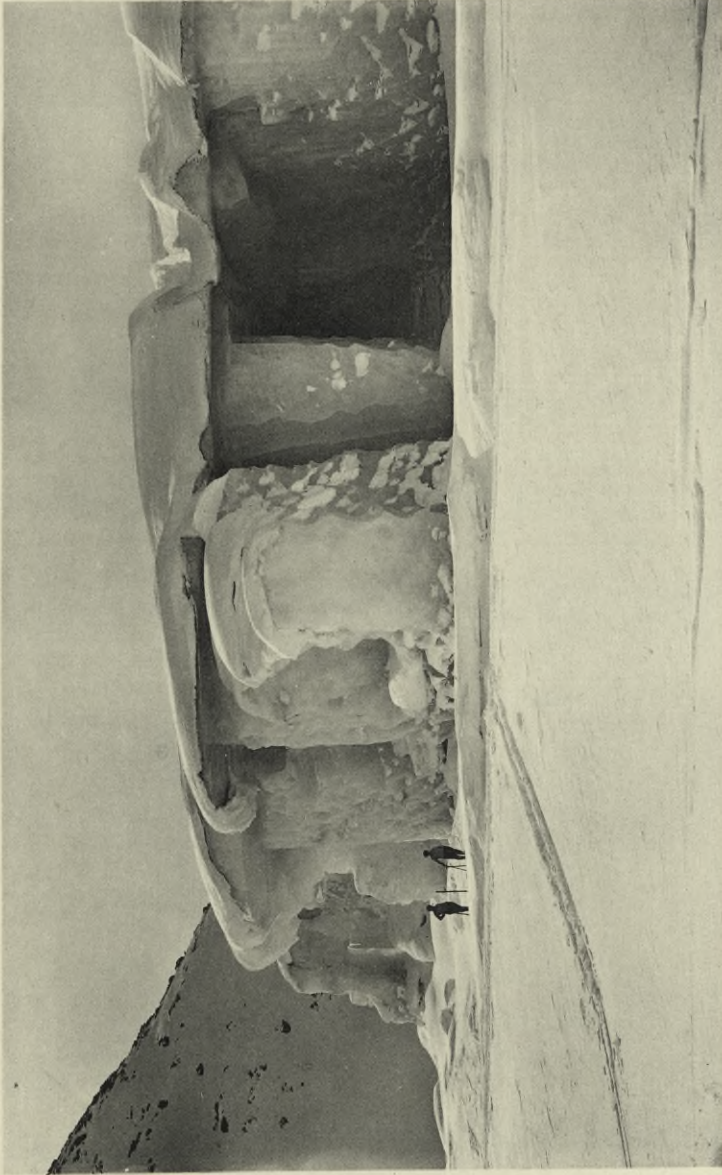
Pegelgruppe J (33,0 — 34,0 m.) Zustand am 5. XI. 1908. — Pegelstand : 32,28 m. — Durch die Absenkung des Sees hervorgerufene, aus glattem Eis bestehende Randböschung mit Längspalte.



Phot. O. Lütshg.

Hintersee mit dem Grossen Aletschgletscher von Nordosten aus gesehen. Zustand am 18. VIII. 1909. — Pegelstand : 55,02 m. Im Vordergrund während des Schneefalls ruhig entstandene Eisschicht.





Phot. O. Lüttschg.

Steilrand des Grossen Aletschgletschers gegen den Märjelensee am 19. II. 1913.  
Pegelstand: 41,86 m

Im Vordergrund eine mit Schnee zugedeckte Eisfalte, deren Entstehung auf das Vordringen des Gletschers zurückzuführen ist. An der Gletscherwand sind die durch den Wärmegehalt des Seewassers ausgefressenen und durch die Absenkung des Sees zu Tage getretenen Spalten und Löcher deutlich sichtbar.

O. LÜTSCHEG. — DER MÄRJELEENSEE.

..... A = Maximal-  
Wasserstand des Sees  
vor seiner Absenkung  
am 18. X. 1912. —  
Pegelstand: 53,42 m.

... B = Wasserstand  
des Sees am 19. II.  
1913. — Pegelstand:  
41,86 m.



Olmehorn



Phot. L. W. Collet.

Hintersee und Grosser Aletschgletscher am 19. Februar 1913, von Osten gesehen.  
Pegelstand: 41,86 m.

Im Vordergrund: Liegen gebliebene Eisblöcke, herrührend von der Absenkung des  
Sees im Oktober 1912.

O. LÜTSCHG. — DER MÄRJELENSEE.





Phot. O. Lütchg.

Pegelgruppen E, F, G und H (34,00 — 51,00 m.) in den grob und fein geschrammten, glatten Augeneis-Felsbändern; 15. X. 1908. — Pegelstand : 33,16 m.

O. LÜTSCHEG. — DER MÄRJELEENSEE.







Phot. O. Lütshg.

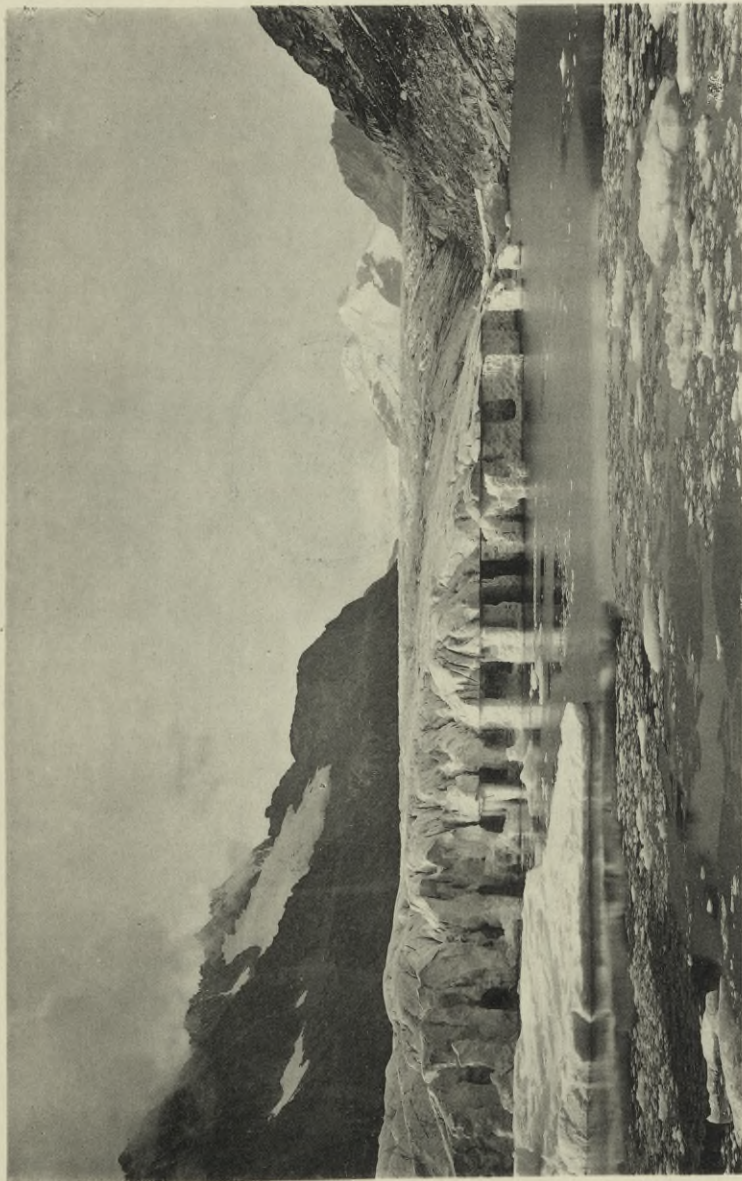
Westportal des Stollens am Vordersee ; zur Absenkung der Hochwasserstände; 6. X. 1908.



Phot. O. Lütshg.

Ostportal des Stollens bei der Märjelenalp; 20. X. 1908.





Phot. O. Lütshg.

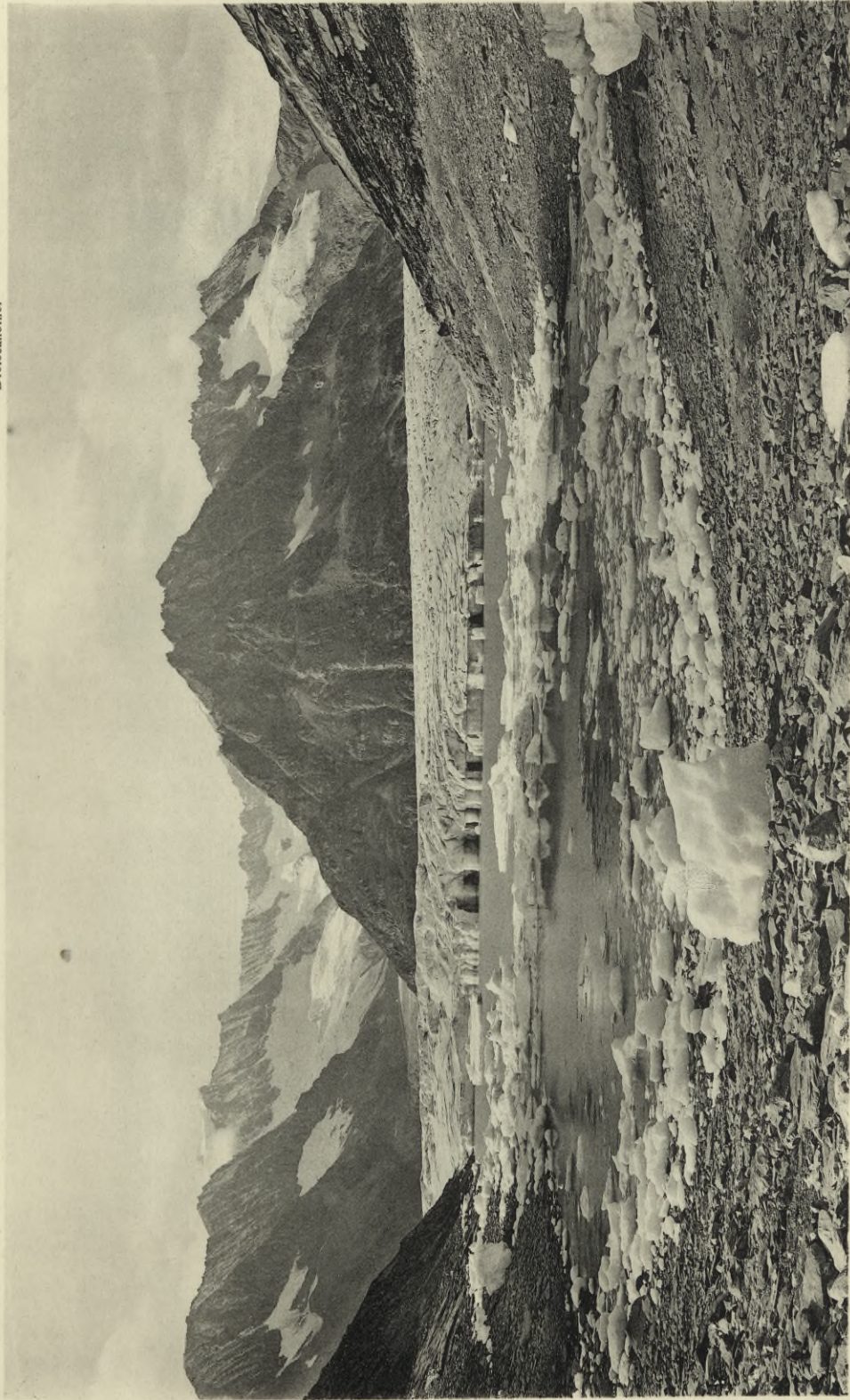
Blick von der Ostseite des Sees auf den Hintersee und den Aletschgletscher während der Absenkung des Sees am 25. IX. 1909. — Pegelstand : 47,36 m.

O. LÜTSHG. — DER MÜRREENSEE.



Olmenhorn

Dreieckhörner

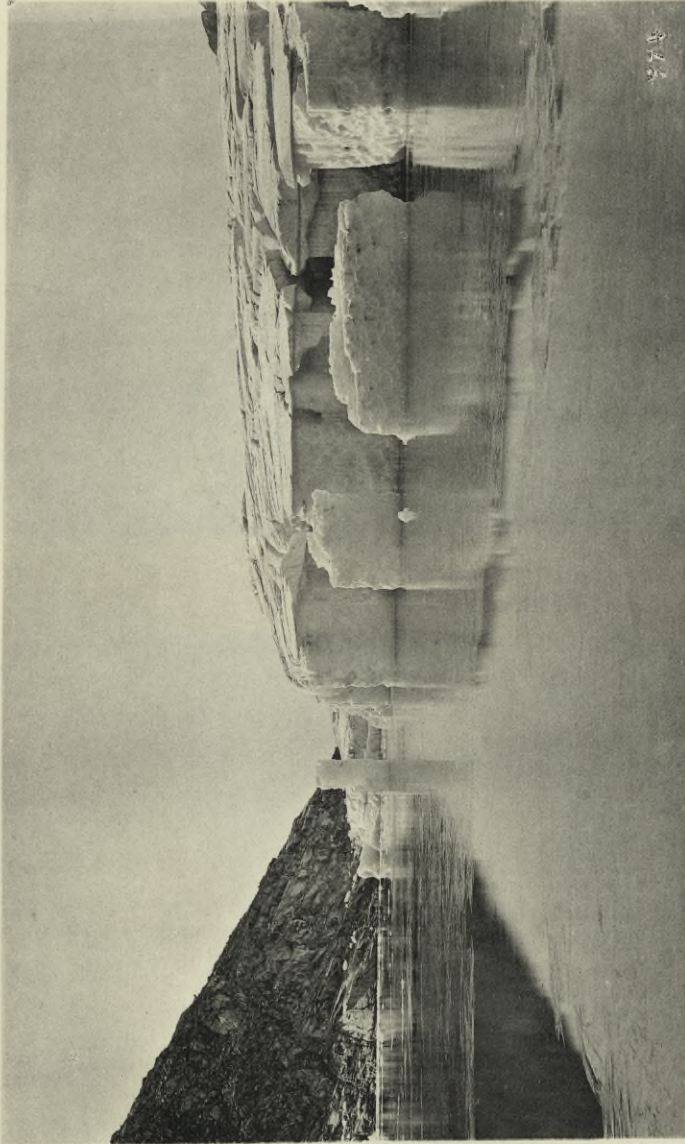


Phot. O. Lütchg.

Gesamtansicht des Hintersees und Aletschgläubers von Osten gesehen während der Absenkung des Sees am 24. IX. 1909. — Pegelstand: 48,10 m.

O. Lütchg. — DER MÄRJELEENSEE.





..... Maximal-Wasserstand des Sees vor seiner Absenkung am 31. VIII. 1909. — Pegelstand : 56,11 m.

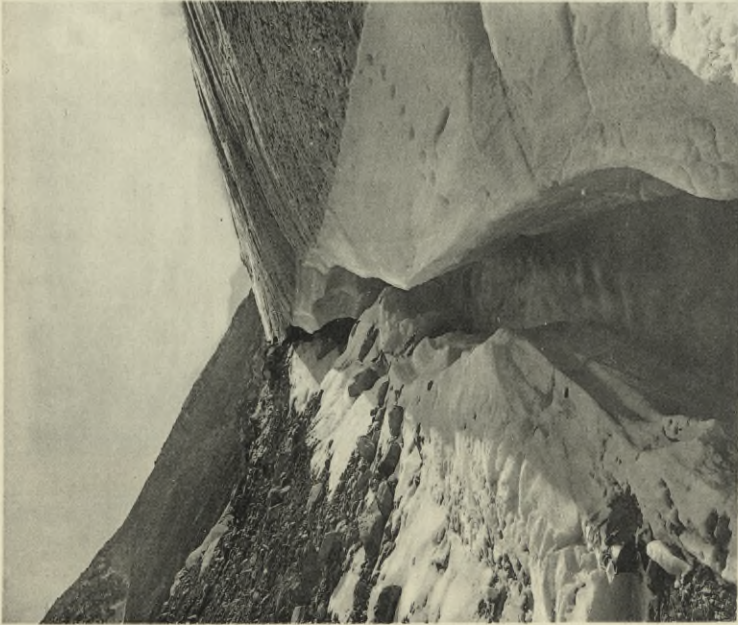
Phot. O. Lütschg

Steilrand des Grossen Aletschglaciers von Norden gesehen am 28. IX. 1909. Pegelstand : 45,00 m während der Absenkung des Sees. Die Säulen und Aushöhlungen des Gletschers erscheinen im reinsten und durchsichtigsten Blau.

O. Lütschg. — DER MÄRJELEENSEE.

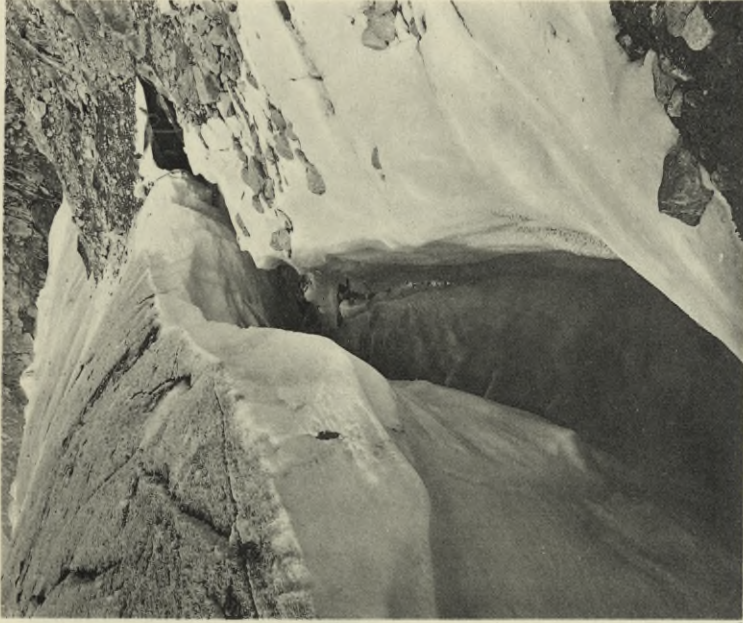






*Phot. O. Lütshg.*

Offener Graben im Eise des Grossen Aletsch-  
gletschers am Fusse des Eggishorns, erodiert  
durch das ausbrechende Wasser des Märjelen-  
sees. Ansicht von Norden; 28. IX. 1909.  
Pegelstand: 44,99 m.



*Phot. O. Lütshg.*

Offener Graben im Eise des Grossen Aletsch-  
gletschers am Fusse des Eggishorns, erodiert  
durch das ausbrechende Wasser des Märjelen-  
sees. Ansicht von Süden; 28. IX. 1909.  
Pegelstand: 44,99 m.



Walliser-Fiescherhömer

Strahlhömer



Phot. O. Lütshg.

Offener Graben, im Eise des Grossen Aletschgletschers am Fusse des Fiescherhornes, erodiert durch das ausbrechende Wasser des Märjelensees; Ansicht von Süden. — 27. IX. 1909. — Pegelstand: 45,55 m.





Phot. O. Lütshg.

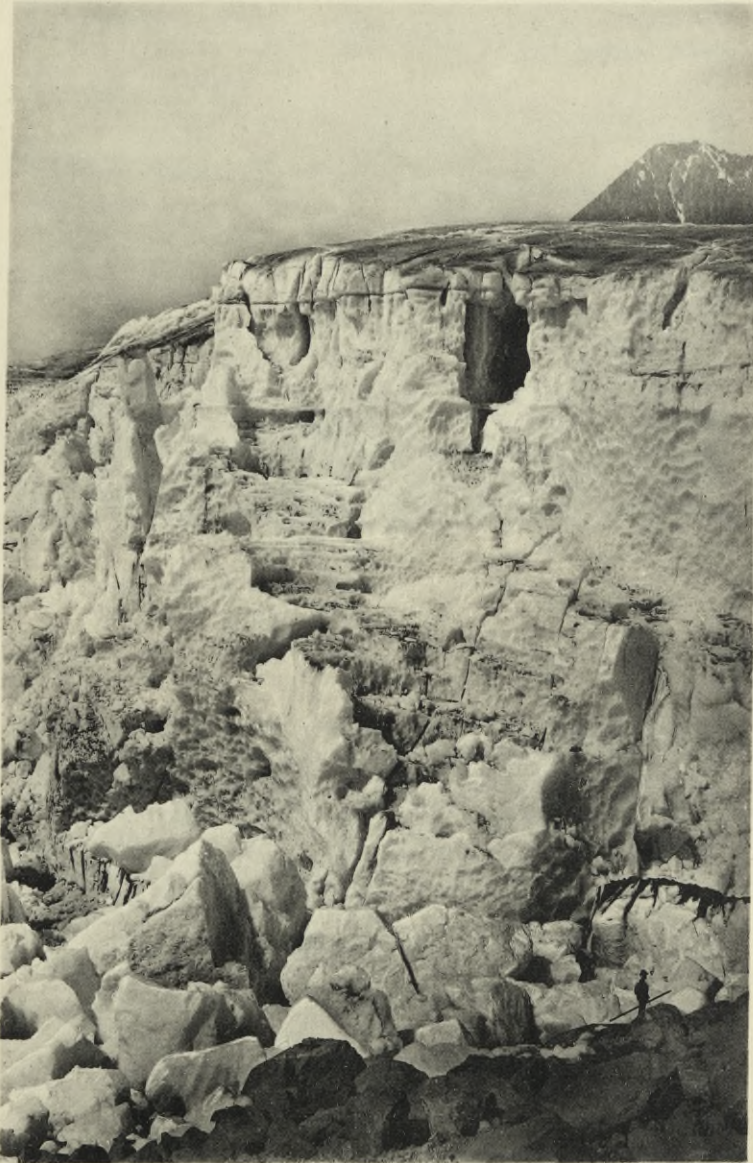
Zustand des Märgjelsees am 19. VII. 1911 nach seinem Ausbruche.  
Pegelstand: 16,52 m.



Phot. O. Lütshg.

Zustand des Märgjelsees am 16. VII. 1911 nach seinem Ausbruche.  
Pegelstand: 16,82 m. — Die früher schwimmenden Eisblöcke  
liegen an dem trocken gelegten Ufer.





... Maximal-Wasserstand des Sees am 21. VII. 1913. — Pegelstand : 56,87 m.

... Minimal-Wasserstand des Sees am 18. I. 1913. — Pegelstand : 40,79 m.

Phot. O. Lütshg

Die durch den vollständigen Ausbruch des Märjelensees am 31. VII. 1913 in der Mitte des Gletschers freigelegte 69,04 m hohe Eiswand; 3. VIII. 1913. — Pegelstand : — 12,17 m.







Phot. O. Lütshg.

Der durch plötzliches Verstopfen der Grundspalte am 6. IX. 1913  
gebildete Hintersee. — Tiefe 16,20 m



Phot. O. Lütshg.

Ansicht der Grundspalte am 6. IX. 1913. Das Wasser des Seebaches  
verschwindet in derselben.





Phot O Lütshg

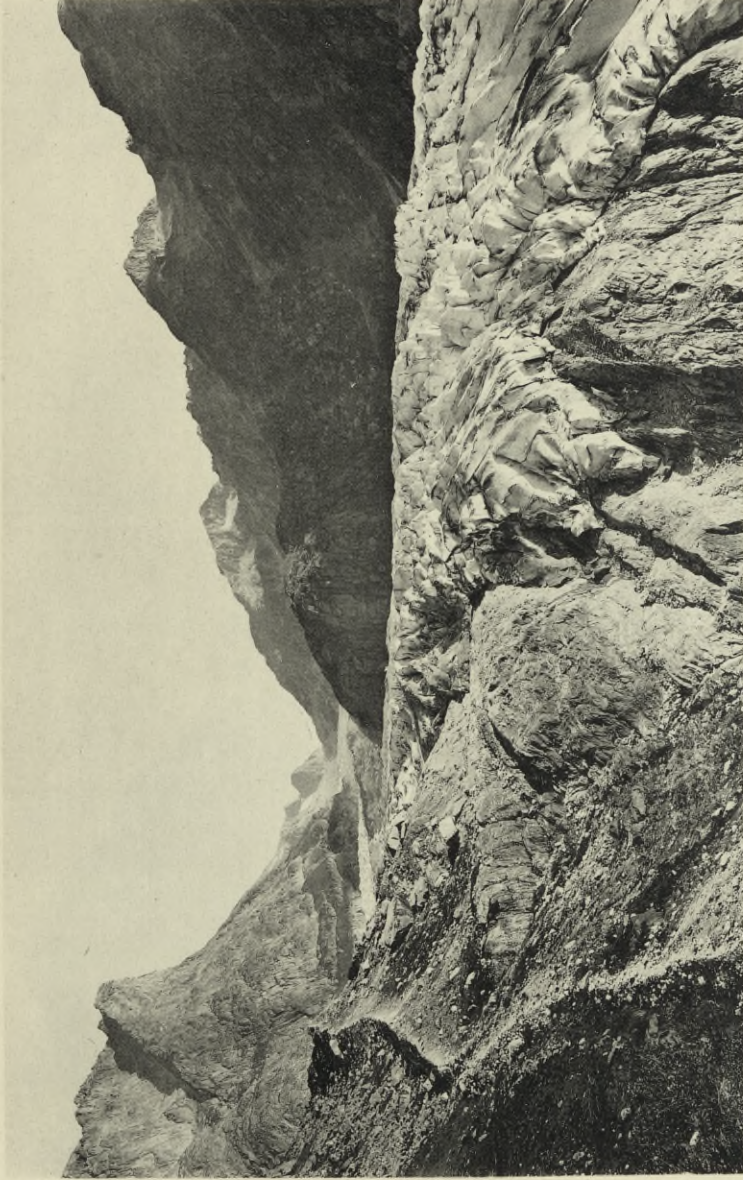
Nach dem Ausbruche (1913) zurückgebliebener kleiner See, gebildet durch die alte Endmoräne der Gletscherzunge im Becken des Hintersees. 12. IX. 1913. Maximale Tiefe des Seeleins : 4,80 m.



Phot O. Lütshg.

Blick vom Ostende des kleinen Moränensees auf die alte, vom Ausfluss des Seeleins durchbrochene Endmoräne der Gletscherzunge; 12. IX. 1913.





Phot. O. Lütshg.

Ende des Fieschergletschers von Westen gesehen; 6. X. 1908.

O. Lütshg. — DER MÄRJELEENSEE.





Phot. O. Lüttschg.

Taltrog mit dem rechten Quellarm des Fiescherbaches ; 30. X. 1908.



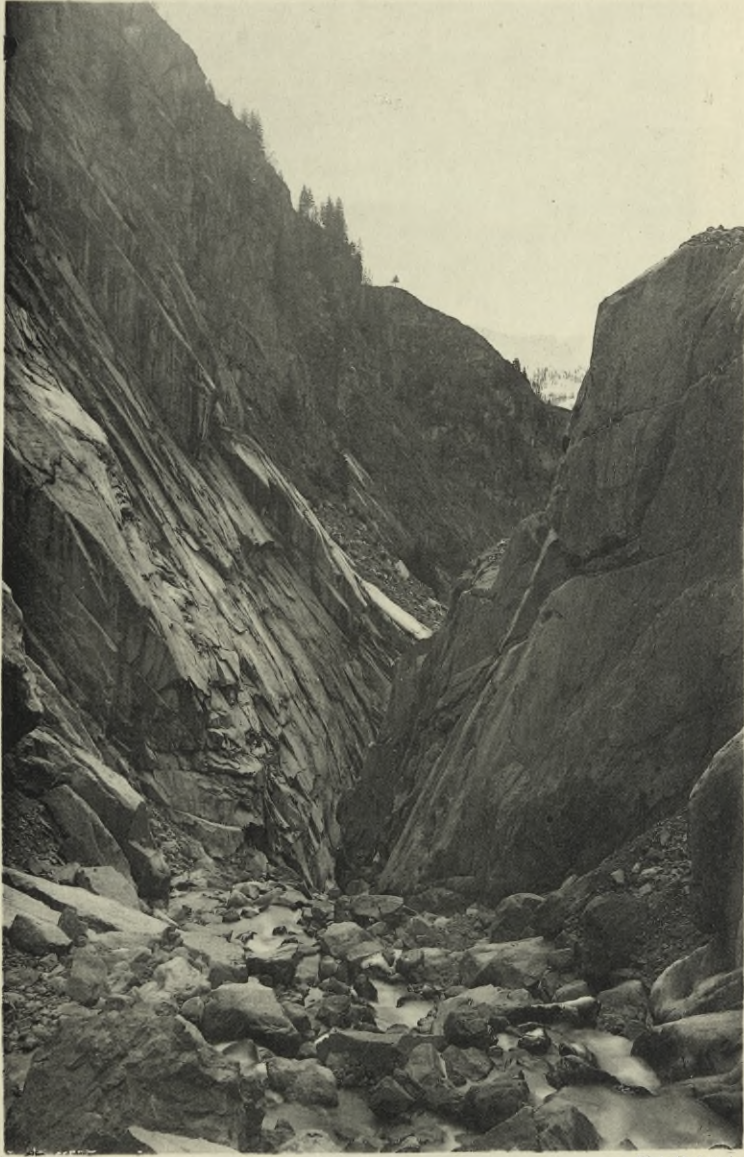




Phot. O. Lütchg.

Zunge und Tor des linksseitigen Armes des Fieschergletschers;  
Höhe  $A B = 150$  m; 17. XI. 1908.





*Phot. O. Lütchg.*

Felschlucht des linkseitigen Quellarmes des Fiescherbaches, vom  
Fusse der Gletscherzunge aus gesehen; 17. XI. 1908.





Phot. O. Lütjchg.

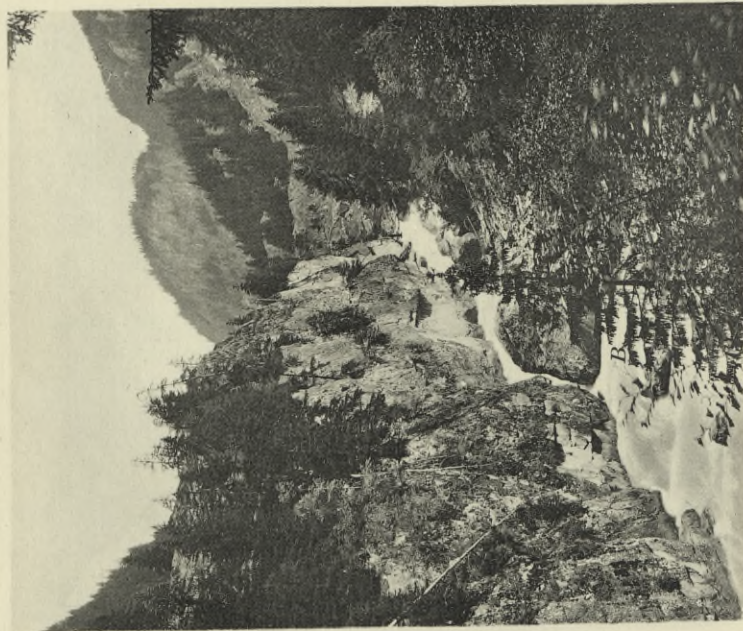
Oberes Ende der Massaschlucht vom Absturz  
des Grossen Aletschglätschers aus gesehen;  
18. X. 1908.



Phot. O. Lütjchg.

Zunge und Tor des Grossen Aletschglätschers;  
18. X. 1908. — A = Ende des Glätschers im  
Herbst 1913.





Phot. O. Lüttschg.

«Gebidem», Massaschlucht von Süden gesehen;  
1. VII. 1913. — A: Stelle der Einführung der  
konzentrierten Salzlösung in die Massa. —  
B: Stelle der Entnahme des Wassers für die  
Ermittlung der sekundlichen Wassermenge.



Phot. O. Lüttschg.

Massaschlucht unterhalb der Gebidembrücke;  
1. VII. 1913. In der Mitte: Steg für Nieder-  
wassermessungen. Links: Rieder Bewässerungskanal (Bisse).







Phot. O. Lüttschig.

Unteres Ende der Massaschlucht bei Bitsch;  
19. XI. 1908. (Rechts der Steinbruch für den  
Simplontunnel).



Phot. O. Lüttschig.

Massaschlucht bei Bitsch 100 m oberhalb des  
Steinbruches; 19. XI. 1908.

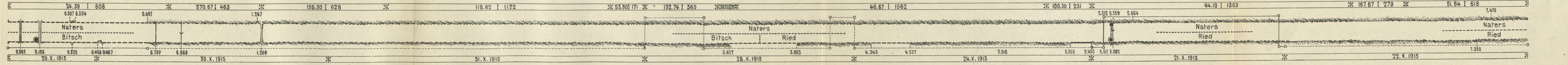
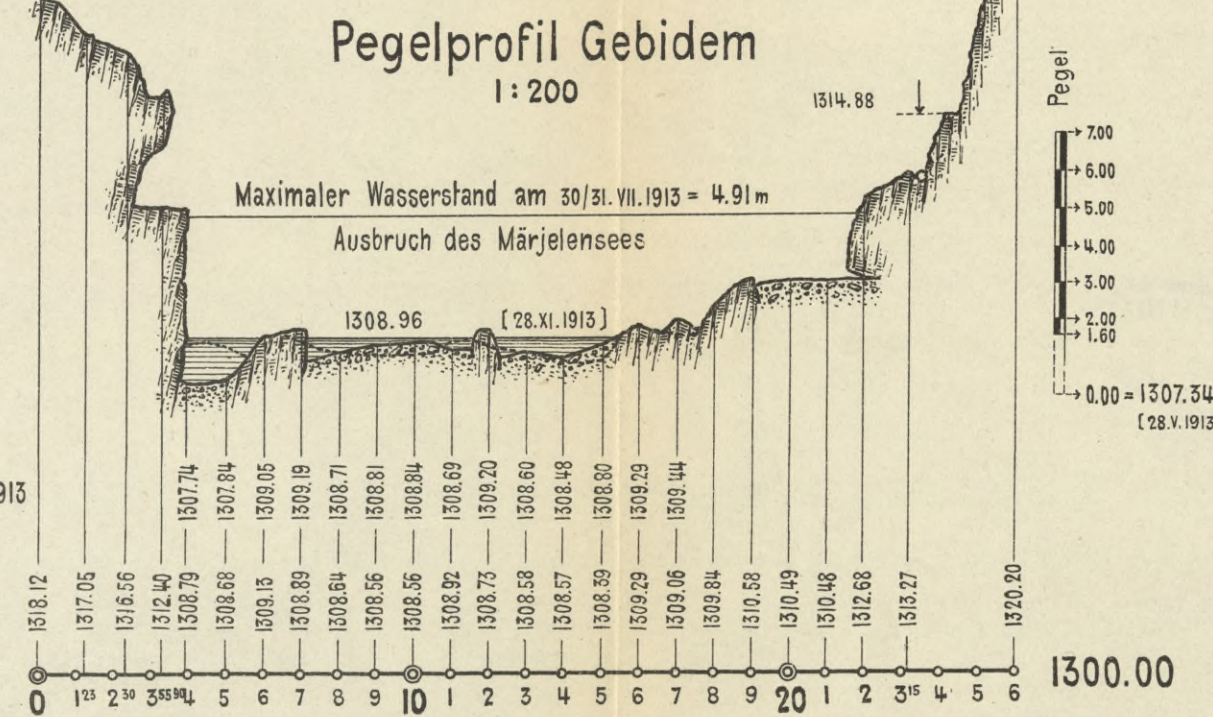
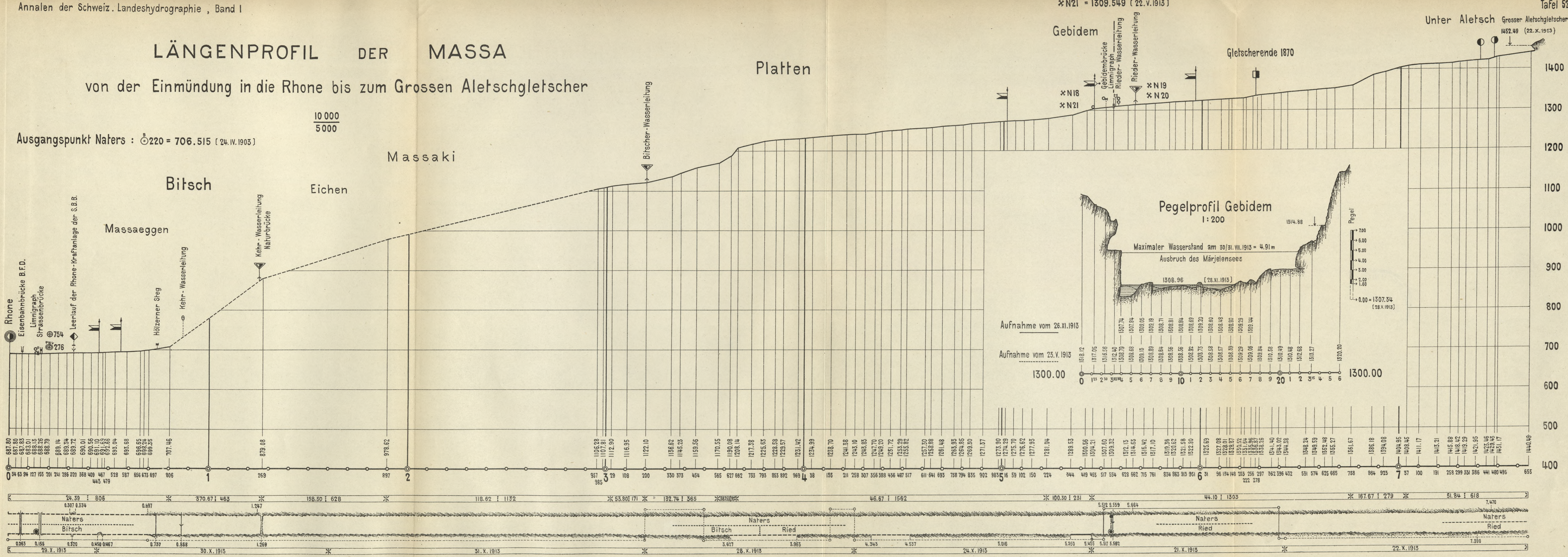


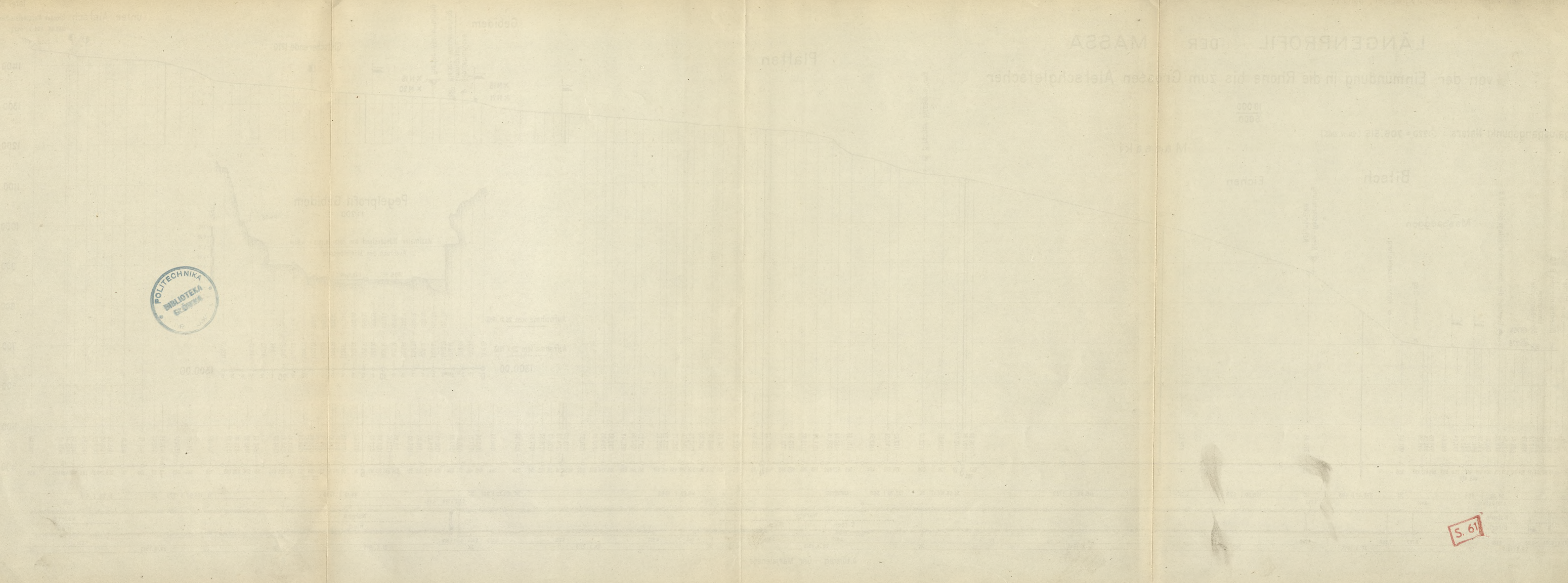
# LÄNGENPROFIL DER MASSA

## von der Einmündung in die Rhone bis zum Grossen Aletschgletscher

Ausgangspunkt Naters :  $\odot 220 = 706.515$  ( 24. IV. 1903 )

10 000  
5000





S. 61









POLITECHNIKA KRAKOWSKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



IV-301098

Kdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300864