

wasser des Rauhrefs, wie sie H. Köhler gefunden hatte. Es war zu bedenken, daß die hier gefundenen Messungen nur dann als Stütze von Köhlers Anschauung der Verfrachtung der meererzeugten Kondensationskerne durch den Wind über ganze Kontinente gelten konnten, wenn es sich nachweisen ließ, daß die Luft, aus der sie stammten, nicht die Oberfläche des Mittelmeers berührt hatte. Die Zeichnung der Luftbahnen ergab aber beinahe in allen Fällen, daß die Luft vom Atlantik herkam und bis zum Sonnblick mindestens $1\frac{1}{2}$ Tausend *km* über Land zurückgelegt hatte.

Es ist zu verstehen, wenn man nach so viel neuen und vielleicht fruchtbaren Eindrücken sich nur schwer von diesem Arbeitsfelde trennen konnte, zumal auch mancher wundervolle Sonnenaufgang, manches herrliche Abendrot sich unauslöschlich ins Gedächtnis geprägt hatte und auch die freundliche Aufnahme bei allen ständigen Bewohnern des Zittelhauses den Abschied nicht leicht werden ließ. So wurde erst am letzten möglichen Tage bei schönstem Wetter der Abstieg zum Tauernhof durchgeführt, von wo dann am anderen Morgen, begleitet von einem weniger angenehmen Aufgleitregen von beachtenswerter Intensität und bemerkenswerter Dauer, der Tagesmarsch nach Taxenbach, der Bahnstation zur Heimfahrt, angetreten werden mußte.

Niederschlagsmessungen im Hochgebirge.

Von R. BILLWILLER, Zürich.

Der Totalisator.

Die quantitative Bestimmung des Niederschlages war von jeher das Sorgenkind der Höhenstationen. Der in den Niederungen bei sachgemäßer Aufstellung mit genügender Genauigkeit funktionierende Regenmesser versagt auf exponierten Berghöhen mit ihren in der Regel bei Niederschlag starken Winden. Einmal gelangt wegen Stauungswirkung am Rezipienten nicht aller Niederschlag in das Auffanggefäß; besonders bei Schneefall ist dieser Fehlbetrag groß, weil die Ablenkung durch den Wind dann groß ist. Sodann wird der schon in den Rezipienten gefallene Schnee oft wieder teilweise herausgewirbelt. Bedenkt man, daß der Anteil des Schnees am Jahresniederschlag mit wachsender Meereshöhe rasch zunimmt, so wird man sich über das Versagen des Regenmessers nicht mehr wundern.

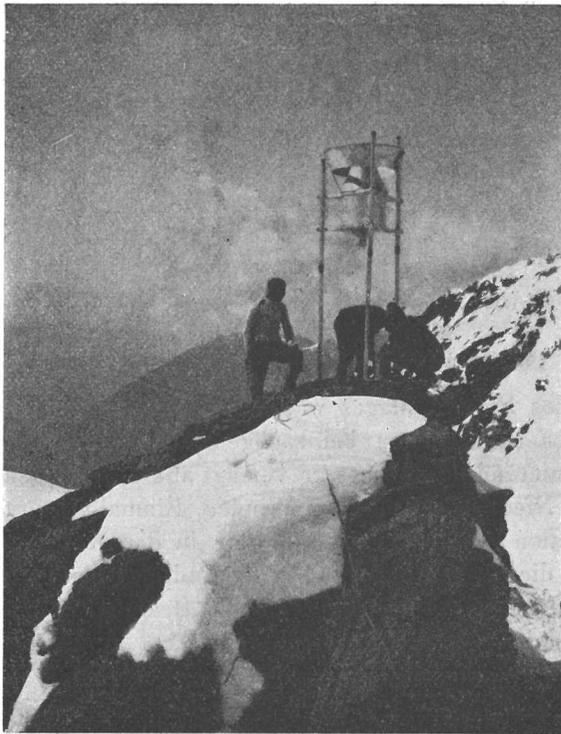
Und doch ist die Kenntnis der Niederschlagsmenge auch der obersten Bergregionen wichtig. Der Meteorologe möchte sie in jedem Einzelfall haben, um durch Vergleiche mit den Niederungen die atmosphärischen Vorgänge richtig einzuschätzen, der Klimatologe, um die geographische Verteilung des Niederschlages zu kennen, der Glaziologe, um sich ein Urteil zu bilden über die Hauptposten im Gletscherhaushalt: Akkumulation und Ablation. Und schließlich knüpfen sich in neuerer Zeit die praktischen Interessen des Ingenieurs an diese Kenntnis, der ihrer bedarf bei der Projektierung elektrischer Kraftanlagen. Gerade diese praktischen Interessen haben in der Schweiz im letzten Jahrzehnt sehr viel zur Förderung des Problems beigetragen.

Es traf sich glücklich, daß zur rechten Zeit zwei Neuerungen im meteorologischen Instrumentarium eingeführt worden waren: eine praktisch verwendbare Windschutzvorrichtung und sodann die Möglichkeit, die Niederschläge eines längeren Zeitraumes aufzuspeichern, wodurch sich deren Messung auch in unbewohnten Gegenden verwirklichen läßt: das Totalisatorsystem. Der savoyische

Forstinspektor Mougin hatte es zuerst angewandt durch Aufstellung von Niederschlagsmessern, die mit einer bestimmten Menge von Chlorkalziumlösung von bekannter Konzentration beschickt wurden. Der tiefe Gefrierpunkt dieser Lösung soll das angesammelte Regenwasser bis zu zirka -30° flüssig halten und auch den in den Rezipienten fallenden Schnee verflüssigen. Eine dünne, oberflächliche Vaselineölschicht soll Verdunstungsverluste verhindern. Wählt man das Verhältnis von Auffangfläche und Fassungsvermögen des Rezipienten passend, so lassen sich darin die Jahresmengen auch unserer niederschlagsreichsten Gebiete aufspeichern, und die Entleerung und volumetrische Bestimmung braucht nur einmal im Jahre vorgenommen zu werden, was bei den entlegenen und teilweise schwer zugänglichen Standorten wesentlich ist.

Dem Mougin-Totalisator fehlte aber eine Windschutzvorrichtung. Es war gegeben, die einige Jahre vorher vorgeschlagene, erprobte Abänderung des

Nipherschen Trichters¹⁾ zu verwenden, einen das Auffanggefäß umhüllenden, ihm aber unten nicht anliegenden, abgestumpften Konus. Er erfüllt durch die Ablenkung des sich am Apparat stauenden Windes nach unten die ihm zugedachte Funktion, ohne den Nachteil des ursprünglichen Nipher-Trichters zu haben, welcher dem Rezipienten anschließt, daher sehr bald vollgeschneit ist und dann seinen Dienst versagt. Parallelmessungen mit dem ungeschützten Ombrometer auf einigen unserer Höhenstationen (Rigi, St. Gotthard, St. Bernhard und Säntis) haben übereinstimmend ergeben, daß im Jahresmittel die Wirksamkeit dieses Windschutzes in Säntishöhe schon gegen 50% erreicht. Einzelne Tagesmengen ergeben bei Schneefall und stürmischem Wind im geschützten Ombrometer ein Mehrfaches des ungeschützten.



Totalisator am Eckhorn (Silvrettagruppe) in ca. 3150 m Höhe. Der Totalisatorfelsen ist durch den Hauptgrat gegen SE noch etwas überhöht.

Mit Verwendung dieses Schutztrichters am gewöhnlichen

Regenmesser wurden auf einigen unserer täglich beobachtenden Höhenstationen in den letzten Jahren brauchbare Niederschlagsmessungen erzielt. Sodann wurde das Meßgebiet durch sukzessive Aufstellung eines Netzes von Totalisatoren mit Windschutztrichtern wesentlich erweitert und bis in die obersten, gänzlich unbewohnten Regionen der Alpen vorgetragen. Es funktionieren gegenwärtig — abgesehen von einem dichten Netze solcher Apparate zu Spezialzwecken im St. Theodul-Monte Rosa-Gebiet — über zwei Dutzend von Totalisatoren in den Schweizeralpen,

¹⁾ Vgl. R. Billwiller. Ein neues Modell eines geschützten Regenmessers (abgeänderter Nipherscher Trichter), Meteorolog. Zeitschr. 1910, Heft 5.

installiert vom eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft, der meteorologischen Zentralanstalt und einigen privaten Körperschaften. Das Verzeichnis aller Apparate und ihre Resultate finden sich seit 1914 publiziert in den „Annalen“ der Zentralanstalt unter Reduktion der Jahresergebnisse auf gleiche Zeiträume.

Aus den gesammelten Erfahrungen sei das Nachfolgende erwähnt. Große Sorgfalt ist der Platzwahl für den Totalisator zu widmen. Man hat dabei insofern nicht ganz freie Hand, als man trotz der hohen Aufhängung des Rezipienten an einen Standort gebunden ist, an welchem er nicht in den winterlichen Schneemassen verschwindet, sondern der vom Winde mehr oder weniger schneefrei gehalten wird. Andererseits darf dieser Standort aber auch nicht zu exponiert sein und die Bodenkonfiguration nicht Wirbel bedingen, wie wir sie auf der Luvseite hoher Gebäude finden. Die Verhältnisse sind oft bei der Aufstellung nicht genau zu übersehen und erst aus den Resultaten erkenntlich. Oft ist man auch an ganz bestimmte Stellen gebunden. Nicht alle unsere Totalisatoren haben einwandfreie Aufstellung; eine zusammenfassende Darstellung ihrer Resultate wird darauf zu achten haben.



Totalisator auf dem St. Gotthardpaß, wo sein Funktionieren während eines Jahres überwacht und das Resultat mit den Ergebnissen eines täglich bedienten geschützten Ombrometers verglichen wurde. Die Übereinstimmung war eine vollständige.

Auch Funktionsstörungen kommen vor. Sei es, daß die Konzentration im obersten Teil der CaCl_2 -Lösung zu klein wird, sei es, daß bei starken Schneefällen die Schmelzung des Schnees nicht schnell genug vor sich geht — wobei die dünne Ölschicht ungünstig wirken mag —, kurz, wir fanden im Totalisator bei winterlichen Verhältnissen schon hie und da eine Eisschicht über der Flüssigkeit (bis zur Dicke von 12 cm!). Fällt in solchen Fällen weiter viel Schnee, bevor diese Schicht in einer warmen Periode — ob die winterlichen Antizyklonsituationen dazu ausreichen? — geschmolzen ist, so füllt sich der Rezipient mit Schnee und kann nichts mehr aufnehmen. Also auch die einzelnen Jahresresultate gut aufgestellter Totalisatoren müssen mit Kritik betrachtet werden.

Schließlich wurden auch schon Befürchtungen ausgesprochen, der Totalisator erhalte zu viel Niederschlag durch Auffangen schon gefallenen Schnees bei Schneetreiben. Wie weit dies zutrifft, möchte ich dahingestellt sein lassen. Persönlich neige ich der Ansicht zu, der Totalisator gebe im allgemeinen noch eher zu wenig

als zu viel Niederschlag, einmal wegen der oben erwähnten Fälle zeitweisen Versagens, und dann, weil doch wahrscheinlich der Windschutz nur ein relativer ist.

Firnzuwachsbestimmungen.

Eine willkommene Ergänzung finden die Totalisatormessungen in den Bestimmungen des Jahreszuwachses auf Firnfeldern, die systematisch namentlich von der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft Zürich seit 1914/15 ausgeführt werden. Wir übernahmen dabei die von P. Mercanton in der Schweiz (am Ornygletscher) erstmals verwendeten Firnbojen von A. Hamberg. Das sind oberhalb der Schneegrenze in der Firnoberfläche verankerte Metall- oder Holzstangen mit Meterteilung, die im Herbst 5—6 m aus dem Firn herausragen müssen und an denen die nun im Winterhalbjahr einsetzende Akkumulation von Schnee möglichst oft abgelesen wird, ebenso wie im Sommer die Abschmelzung. Für diese Ablesungen reflektieren wir auf die Mithilfe von Touristen und Führern, die auch in befriedigender Weise geleistet wird. Im Herbst ergibt sich aus der Differenz des Firnstandes gegenüber dem Vorherbst die Höhe des glaziologisch in Frage kommenden Jahreszuwachses des Firns. Mit deren Feststellung begnügen wir uns aber nicht. Vielmehr versuchen wir, den Wasserwert sowohl der maximalen Schneehöhe — diese kann je nach der Witterung und Höhenlage der Meßstelle im späten Frühjahr oder erst gegen den Juli erreicht werden — als auch des am Ende des Sommers verbleibenden Jahreszuwachses zu ermitteln und vergleichen ihn mit den Niederschlagsmengen des in der Felsumrahmung des Firns aufgestellten Totalisators. Zu diesem Zwecke wird im Herbst um die Boje herum Ocker gestreut und im nächsten Jahr mit dem Schneebohrer von Church (beschrieben in der Meteorolog. Zeitschr. 1913, Heft 1) auf diese noch leicht erkennliche Ockerschicht heruntergebohrt. Der Schneekern wird gewogen und daraus — natürlich Mittelwerte verschiedener Bohrungen — der Wasserwert errechnet. Dabei wurden Wasserwerte gefunden, die bis zu 90% der gleichzeitig im Totalisator aufgespeicherten Niederschlagsmengen erreichten. Je höher diese Messungen über der Firngrenze gemacht werden, um so größer ist die Übereinstimmung.

Auf die Technik dieser Bohrungen,¹⁾ auf die Resultate im einzelnen kann hier nicht eingegangen werden. Man findet darüber alles Wünschenswerte in den Jahresberichten der genannten Kommission (bis 1919 erschienen im „Ski“, Jahrbuch des schweizerischen Skiverbandes, Bern; seit 1920 in der Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich); das Wesentliche daraus wird jeweils auch in den „Annalen“ der schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt mitgeteilt. Hier waren die Firnzuwachsbestimmungen nur zu erwähnen als eine — natürlich nur innerhalb gewisser Grenzen zulässige — Verifikation der Totalisatormessungen.

Einige Ergebnisse.

Dagegen sei versucht, kurz ganz allgemein die Resultate zu skizzieren, welche alle diese Anstrengungen für eine bessere Einsicht in die Niederschlagsverhältnisse der obersten Alpenregionen gezeitigt haben. Da ist vor allem zu sagen, daß die Niederschlagsmengen vieler Gebiete sich als wesentlich größer erwiesen haben, als auf Grund der bisher vorliegenden Beobachtungen angenommen werden mußte. Namentlich sind es die Außenflanken der Alpen, welche große Beträge erreichen: über 300 cm fallen im Jahresmittel am Col d'Orny (Nordende des

¹⁾ Man vergleiche darüber A. de Quervain, Die Bestimmung des jährlichen Firnniederschlags durch Schneefärbung und -wägung, Meteorolog. Zeitschr. 1917, Heft 2.

Montblancmassivs), auf Jungfraujoch und Mönchsgrat, am Klaridenfirn (Tödigruppe). Auch der Säntis kommt nach neueren Messungen mit Windschutz des Ombrometers weit über den genannten Wert. Ebenso hoch oder noch höher ist die Jahressumme des Apparates am Skopi (Adulagruppe). Die inneren Ketten sind bedeutend niederschlagsärmer so z. B. die Nordengadiner Alpen, wo 200 *cm* nicht erreicht werden. — Das niederschlagreichste Jahr der Reihe 1914—1924 war 1915/16, wo vom 1. September bis 31. August auf Col d'Orny 382, am Skopi 479, am Klariden 403 *cm* gemessen wurden. — Ohne auf die Frage der Existenz und Höhenlage einer Maximalzone des Niederschlages in den Alpen einzutreten, muß gesagt werden, daß die Zunahme der Niederschläge jedenfalls viel höher hinaufreicht als früher angenommen wurde.

Was die durch die Firnbojen und -bohrungen nachgewiesenen Schneehöhen betrifft, variieren auch sie naturgemäß von Jahr zu Jahr stark. Eine der größten Schneemengen brachte 1918/19; auf dem Klaridenfirn wurde die über 5 *m* lange Stange in 2900 *m* Höhe schon im Jänner eingedeckt und aperte den ganzen Sommer und Herbst hindurch nicht mehr aus. Auch die Firnbohrung im Herbst vermochte mit der verfügbaren Rohrlänge von 5½ *m* den vorjährigen Ocker nicht zu erreichen. Mit der ermittelten Schneedichte von 0.615 errechnet sich damit der Wasserwert des Jahreszuwachses zu minimal 338 *cm*, während im Totalisator 380 *cm* aufgespeichert wurden. Auch der Säntis hatte in jenem Jahr die größte Schneehöhe seit Beginn der Messungen (1887). Das Extrem nach der anderen Seite brachte der unerhört warme Sommer 1921, welchem zudem ein auffallend schneearmer Winter vorausgegangen war. An derselben Stelle des Klaridenfirns wurde daher statt eines Firnzuwachses ein Abtrag von 0.65 *m* konstatiert. Bei der untersten Boje auf dem Silvrettafirn (2760 *m*), wo die Schneegrenze etwas höher liegt, war der Abtrag in jenem exzeptionell warmen Sommer sogar 6.40 *m* (in einjährigem Firnzuwachs gerechnet), womit aller Firnzuwachs seit Beginn der Messungen (1915) abgetragen wurde. Nur die höchstgelegene unserer Meßstellen auf dem Jungfraufirn (in zirka 3350 *m*) behielt in jenem denkwürdigen Sommer einen bescheidenen Firnzuwachs.

Ergebnisse der Temperaturregistrierungen in drei Höhenstationen auf Teneriffa.

Von Dr. B. TZSCHIRNER.

In den Jahren 1910 und 1911 wurde im Auftrage des Herrn Geheimrates Hergesell unter Leitung R. Wengers eine Expedition in das Hochland von Teneriffa unternommen, deren Temperaturregistrierungen dem folgenden Berichte zugrunde liegen.

Das Gebirge in der Mitte Teneriffas bildet ein ringförmiges Becken von etwa 20 *km* Durchmesser, das den Doppelvulkan des Pico de Teyde und Pico Viejo umschließt und den Namen Cañadas-Circus führt. Die von SW nach NO streichende Hauptkordillere der Insel schließt es im Süden und Osten ringförmig ab. In Guajara erreicht dieser Ringwall seine größte Höhe.

Drei von der Natur selbst scharf gekennzeichnete Klimazonen können wir hier unterscheiden: die Küsten- oder Kulturzone, die Waldzone, d. i. die feuchtkühle Region der Wolken, und die Wüstenzone über den Wolken. Starke Sonnen-