Hydrographische und hydrobiologische Beobachtungen im Liesenser Gletscherbachgebiet

I. Hydrographischer Teil.

Von Hannes An der Lan.

(Aus dem Zoologischen Institut der Universität Innsbruck.)

Mit 8 Figuren.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Hydrologisch, geologisch und auch biologisch stellt der Gletscherbach etwas ganz eigenes dar. Er ist ein Bach, der zum Gletschereis in engsten Beziehungen steht, aus denen sich auch diese Sonderstellung der Gletschergewässer ergibt. Der Wechsel der Jahreszeiten und der Wechsel von Tag und Nacht beeinflussen den Gletscher und damit den Gletscherbach in ausgiebigster Weise, das heißt während der Wintermonate ist der Wasserstand ein ganz geringer, das Wasser ist vollkommen klar oder es tritt überhaupt ein vollständiges Versiegen des Baches ein. Ganz anders sieht aber der gleiche Bach in den Sommermonaten aus, wo die nun schmutzigfarbenen Wassermassen sich zu reißenden und tosenden Bächen vereinigen, um dann in umso schnellerem Lauf dem Tale zuzueilen. Solche den jahreszeitlichen Schwankungen ganz analoge, ebenfalls rhythmische Erscheinungen werden durch den Wechsel von Tag und Nacht verursacht, in Bezug auf Wasserstand und Farbe, also auch hinsichtlich der mitgeführten Sink- oder Sedimentstoffe, die ja die Ursache für das bekannte milchigtrübe Aussehen jedes Gletscherbaches sind. Gerade diese Sinkstoffe, die in der warmen Jahreszeit in ungeheuerer Menge vom Wasser herabgetragen werden, sind es, die dem Gletscherbach ein bestimmtes biologisches Gepräge geben und dazu verleiten Untersuchungen anzustellen, ob und in welcher Art die vom Wasser mitgeführten Mineralstoffe die Bachfauna beeinflussen.

Mein hochverehrter Vorstand, Prof. Dr. Otto Steinböck war es, der mich auf diesen Lebensraum aufmerksam machte und mir die Anregung zu dieser Arbeit gab, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte. Zu ganz besonderem Dank aber bin ich dem D. u. Ö. A.-V. verpflichtet, durch dessen Unterstützung überhaupt erst die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht wurde. Praktische Gründe endlich waren es, die mich dann veranlaßten die Gegend um den Liesenser Fernerkogel als Arbeitsgebiet zu wählen, einmal der außerordentlich leichten Erreichbarkeit von Innsbruck halber und zweitens war die Lage des Gasthofes Liesens als Arbeitsstützpunkt die denkbar günstigste. Für die mir dort in jeder Hinsicht gewährte Unterstützung möchte ich auf diese Weise meinen Dank aussprechen.

Hydrographie des Arbeitsgebietes.

Der innerste Teil des im Südwesten von Innsbruck gelegenen Sellraintales die Liesens, war vom 22. VII. bis zum 11. VIII. 1935 mein engeres Arbeitsgebiet, das sich von etwas außerhalb des Gasthofes Liesens bis zum Ursprung der Melach am Längentalerferner erstreckte (vgl. Abb. 1). Ihr Einzugsgebiet, gerechnet bis zur Stelle D ist kein sonderlich großes, dafür aber ein sehr wasserreiches zugleich landschaftlich ein ganz hervorragend schönes Gebiet. In Abb. 1 habe ich das von der Melach entwässerte Gebiet skizziert. Die Wasserscheide beginnt im Osten mit dem Roten Kogel (2836 m), zieht den Grat entlang

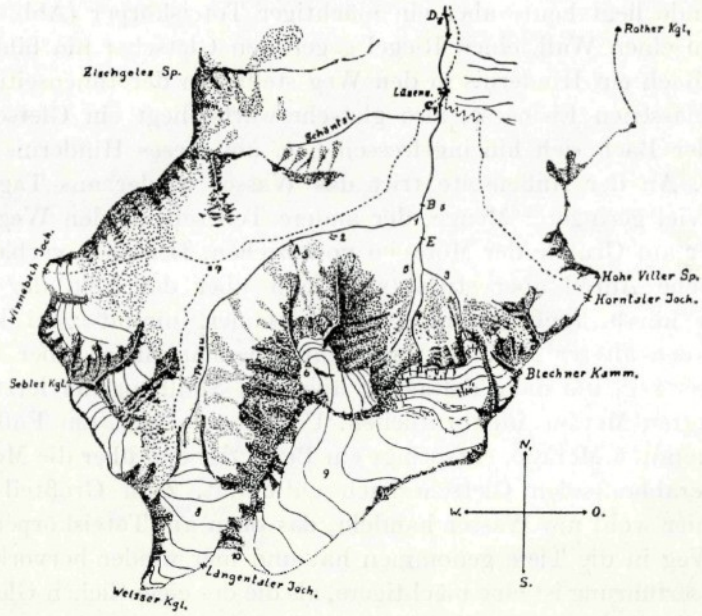

Abb. 1. Einzugsgebiet der Melach in der Liesenser Umgebung. A, B, C, D und E: Meßstellen; die Zahlenindices geben die Entfernung vom Gletschertor in km an. 1. Einmündung des Liesenserbaches in die Melach. 2. Längentaleralm. 3. Abfluß von der Zunge des Liesenserferners durch das kleine Horntal. 4. Liesenserbach. 5. Früherer Bachlauf, 1935 trocken gelegen. 6. Liesenser Fernerkogel. 7. Westfalenhaus. 8. Längentalerferner. 9. Liesenserferner. 10. Hinterer Brunnenkogel.

südlich über die Hohe Villerspitz (3104 m), Blechnerkamm (2978 m) weiter südwestwärts zum Hinteren Brunnenkogel (3326 m), Längentaler Weißenkogel (3208 m), biegt hier scharf nach Nordwesten gegen den Sebleskogel (3238 m) und führt dann langsam die Richtung ändernd, zuerst nordwärts dann nordöstlich, über das Winnebachjoch zum Zischgeles (3007 m). Innerhalb der eben umrissenen Wasserscheide liegen eine Reihe von Fernern, denen eine wichtige Rolle im Wasserhaushalt dieses Gebietes zukommt. Zwei größere Ferner, Liesenser- und Längentalerferner, und vier kleinere sind es, die höher gelegene Mulden ausfüllen, umrahmt von herrlichen dunklen Felsgestalten, wie Fernerkogel (3300 m), Villerspitze (3104 m) und Brunnenkogel (3326 m). Zur Zeit der Schneeschmelze und während der Sommermonate greifen dann die beiden größeren Ferner entscheidend in die Wasserführung ein, der Liesenserferner mit dem Liesenserbach und der Längentalerferner mit dem Ursprung der Melach, die hier Verhältnisse zeigt, hydrographischer als auch biologischer Natur, die es einem nicht erlauben, diesen Bach als einen typischen Gletscherbach anzusprechen (vgl. Abb. 2).

Vom Längentalerferner fließen die Schmelzwässer ab und vereinigen sich am Zungenende zu einem recht ansehnlichen Bach. Vor diesem Zungenende liegt heute aber ein mächtiger Toteiskörper (Abb. 2), der gleichsam einen Wall, einen Riegel gegen den Gletscher hin bildet und so dem Bach ein Hindernis in den Weg stellt. An der Innenseite dieser zurückgelassenen Eismasse, also gletscherwärts, liegt ein Gletschertor, in das der Bach sich hineingefressen hat, um dieses Hindernis zu bewältigen. An der Außenseite tritt das Wasser wieder ans Tageslicht, aber in viel geringerer Menge, der andere Teil scheint den Weg innerhalb oder am Grunde der Moränen vorzuziehen. Der noch verbleibende oberirdische Anteil aber stürzt sich jetzt über das Feld der 1850er Moränen hinab, fließt dann etwas langsamer, nimmt zwei kleinere Stufen noch älterer Moränen und zieht nun mäandrisch über ebenere Stellen hinweg, um dann deltaartig über den Steilhang der letzten gut ausgeprägten Moräne hinabzufließen. Und gerade hier, am Fuß dieser eben genannten Moräne, entspringt ein Bach, der den über die Moränenfelder herablaufenden Gletscherbach aufnimmt. Zum Großteil dürfte es sich hier wohl um Wasser handeln, das oben am Toteiskörper schon seinen Weg in die Tiefe genommen hat und hier wieder hervorkommt. Die Wasserführung ist eine mächtigere, als die des eigentlichen Gletscherbaches, die Temperatur scheint eine ständig tiefe zu sein, da sie bei schönem Wetter, gemessen am 2. IX. um 16 Uhr, nur $+1.2^0$ Celsius betrug. Die Sedimentführung ist jetzt allerdings eine bedeutend geringere geworden, das Wasser ist nur leicht getrübt, wohl infolge Filterung während des unterirdischen Dahinfließens. Der hier entspringende Bach

ist, wie Kinzl (1929) schon in seiner Arbeit erwähnt hat, der eigentliche Ursprung der Melach, oder wie sie hier auch genannt wird, des Längentalerbaches. Nur ein kurzes Stück, vielleicht 30 bis 40 m fließt sie ungestört dahin und nimmt dann an der rechten Seite das schmutzigbraune, über die Moränenfelder herabgelaufene Schmelzwasser des Längentalerferners auf. Vom Gletschertor angefangen bis zu dieser Vereinigungs-

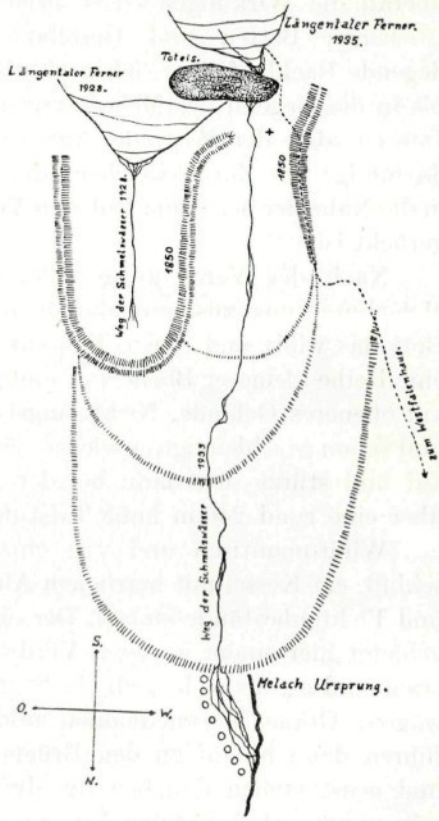

Abb. 2. Vorfeld des Längentalerferners. Nach Kinzl.

stelle können wir von einem richtigen Gletscherbach sprechen. Er bleibt es natürlich auch weiterhin, bis hinab ins Liesensertal und weiter ins Sellrain, wenn wir nur seine Farbe und Sedimentführung betrachten, aber faunistisch liegen die Dinge doch etwas anders, wie ich später genauer auseinandersetzen werde.

Weiter oben habe ich den Weg beschrieben, den die Schmelzwässer des Längentalerferners heute nehmen (vgl. Abb. 2). Vor sieben Jahren (1928) war ihr Lauf, zufolge anderer glaziologischer Verhältnisse, ein ganz anderer. Das Zungenende war damals weiter talauswärts und östlicher gelegen als heute, so daß die Schmelzwässer gezwungen waren das Schuttal der 1850er Moränen als ihr Bett anzusehen, versiegten aber

noch innerhalb des zugehörigen Moränenwalls (vgl. Abb. 2) und kamen dann am Fuß der letzten Moräne, neben dem eigentlichen Melachursprung wieder zum Vorschein (vgl. Abb. 1, bei Kinzl 1929). Damals (1928) war Kinzl westlich des großen Moränenrückens von 1850 ein altes Bachbett aufgefallen: „Talwärts von dieser Durchbruchstelle (+ in Abb. 2) zeigen sich in der großen, sanft geböschten Schuttmulde überall die Wirkungen eines alten Gletscherbaches in der Form von trockenen Betten und Geröllaufschüttungen. Dieser jetzt trocken liegende Bachlauf setzt sich noch über die unten beschriebenen Moränen bis in die Gegend des Melachursprunges hin fort" (Kinzl 1929, S. 71). Das ist aber der Weg, den die Schmelzwässer heute wieder nehmen, da infolge des Zurückweichens des Gletschers sein Zungenende wieder in die Nähe der bei einem früheren Vorstoß gebildeten Bresche (+ Abb. 2) gerückt ist.

Nach der Vereinigungsstelle, dort also, wo Schmelzwässer und Melachursprung zusammenkommen, fließt der Bach in geschlossenem Bett das wilde und ernste Fernautal hinab, nimmt an der linken Seite eine Reihe kleinerer Bäche auf, und gelangt kurz vor der Längentaleralm auf ebeneres Gelände. Nicht lange dauert hier das ruhige Dahinfließen und schon beschleunigt er wieder seinen Lauf, nimmt einige kleine Bäche auf und stürzt sich dann bei der genannten Alm mit wildem Getöse über eine rund 240 m hohe Talstufe hinab in den Liesenser Talschluß.

Wildromantisch und von einzigartiger Schönheit ist dieser Talschluß, ein Kessel mit herrlichen Almböden, auf dem vereinzelte Zirben- und Fichtenbestände stehen. Der eisige Hauch der Gletscherwinde aber gebietet hier einem weiteren Vordringen der Vegetation Halt, Strauchherlen sind es, die sich noch ein Stück gegen den Liesenserferner emporwagen. Graue Moränenhalden und abgeschliffene, glatte Felsplatten führen dann hinauf zu den Brüchen des genannten Ferners. Drohend und ernst stehen daneben die dunklen Wände des Fernerkogels, der mit seinem steil abfallenden Nordgrat gleichsam Wache steht über diesem mit vollem Recht als Fernerboden bezeichneten Erdenfleck.

Hier zwischen prächtigen Almwiesen mit verhältnismäßig geringem Gefälle kann die Melach ihrem Lauf zum erstenmal etwas Ruhe gönnen und zum erstenmal trifft sie hier auf einen ihresgleichen, auf einen Gletscherbach (1 in Abb. 1). Es ist der vom Liesenserferner herablaufende Liesenserbach, der sich hier mit der Melach zusammenschließt.

Die Geländeverhältnisse am Liesenserferner bringen es mit sich, daß zwei Bäche, die am Ferner gebildeten Schmelzwässer ins Tal herabbringen, übrigens beide ausgesprochene Gletscherbäche, die nur während der wärmeren Jahreszeit fließen. Der eine, der Liesenserbach im engeren Sinn (vgl. Abb. 1, Nr. 4), der von dem vom Fernerboden aus sichtbaren

Teil des Gletschers abfließt, ist der viel mächtigere, der bedeutend mehr Wasser führende. Der andere (Abb. 1, Nr. 3) entspringt an der ziemlich versteckten östlich gelegenen Zunge, nimmt dann den Weg durch die enge schattige Schlucht des Kleinen Horntales und vereinigt sich im Talboden bald mit dem eigentlichen Liesenserbach, der hydrographisch andere Verhältnisse zeigt, als der bisherige Lauf der Melach. Dieser Gegensatz besteht vor allem darin, daß der Liesenserbach nur kurze Strecken in einem geschlossenem Bachbett zurücklegt. Schon vom Gletscherende selbst fließen eine Menge kleiner und größerer Wässerchen ab, laufen glitzernd über große sich in der Sonne rasch erwärmende Felsplatten, setzen in so verzweigtem Lauf über Moränenfelder hinweg, und vereinigen sich erst, nachdem der halbe Weg bereits zurückgelegt, zu gemeinsamen Lauf. Ein kurzes Stück fließen die nun vereinten Schmelzwässer talabwärts und überspringen dann mit einem wild schäumenden und dumpf dröhnenden Wasserfall eine größere Felsstufe, nach der sie sich erst wieder in kleinere Wasserläufe trennen, aber nicht in so weitgehendem Maße, wie oberhalb des Wasserfalls. Erst in dem sanfter werdenden Gefälle gegen den Fernerboden hin hat das wilde Springen und Laufen ein Ende und etwas beruhigter fließen sie dann der Melach zu. Ganz anders die Melach selbst, die vom Längentalerferner angefangen fast durchwegs in geschlossenem Lauf dahinfließt. Gegensätze, die, wie wir später noch sehen werden, sich besonders in thermischer Hinsicht auswirken.

Beide, Liesenserbach und Melach, sind nun herunten im Tal und vereint gehen beide den Weg talauswärts. Lebendiger und abwechslungsreicher ist es für sie geworden. An allen Biegungen und Wendungen fließt ihnen Sickerwasser zu, Wiesenbächlein und größere Bäche, wie der aus dem Schöntal, mischen sich unter das Gletscherwasser. Zum Teil sind diese Zuflüsse außerordentlich kalt (einer, gleich nördlich des Gasthauses, wies eine Temperatur von nur 3.6° auf), andere wieder sind verhältnismäßig warm. Man sieht das ganze Gebiet hier ist ein sehr wasserreiches, von überall stürzen sich Wassermassen herab, zum Teil mit wunderbar zarten fast schleierartigen Wasserfällen.

Die Sedimentführung im Liesenser Gletscherbachgebiet.

Das bezeichnendste eines Gletscherbaches ist wohl die Sediment- oder Sinkstofführung, die ja auch die Ursache für das bekannte milchigtrübe Aussehen des Wassers ist. Gerade in der wärmeren Jahreszeit, im Besonderen während der Monate Juli und August, nimmt die Menge der im Wasser suspendierten Stoffe ganz beträchtlich zu, so daß das Gletscherwasser einen schmutziggrauen, ja manchmal sogar einen

schmutzigbraunen Eindruck macht und uns die Farbe des Gletscherbaches schon einen gewissen Hinweis auf die Menge des vom Wasser herabgetragenen Materials gibt. Häufig läßt sich auf Bergwanderungen feststellen, daß am Morgen das Wasser verhältnismäßig klar und von grünlicher Färbung ist, daß es gegen Mittag aber und vor allem am Nachmittag immer schmutziger und trüber wird. Des Morgens lassen sich häufig noch die Steine am Bachgrund erkennen, am Nachmittag ist die Sicht durch eine wenige Zentimeter messende Wasserschicht schon unmöglich.

Es war eines der Hauptziele meiner in Liesens durchgeführten Arbeiten diese anscheinend recht beträchtliche Schwankung der Sedimentführung sowohl in ihrem täglichen Gang als auch quantitativ zu erfassen und dann ihren Einfluß auf die Bachfauna zu untersuchen. Vom Längentalerferner angefangen bis unterhalb Liesens wählte ich entlang des Bachlaufes vier geeignete Örtlichkeiten zur Messung der Sedimentführung aus, eine fünfte endlich war am Liesenserbach gelegen, um auch hier die vom Liesenserferner herabgetragenen Sinkstoffmengen zu erfassen.

In einem Zeitraum von acht Tagen führte ich an diesen Stellen 80 Messungen zur Erfassung der tageszeitlichen und quantitativen Schwankung der Sinkstofführung durch. Von früh bis abends wurde stündlich mit einem Litergefäß von der Oberfläche des Baches Wasser entnommen und dieses durch vorher genau gewogene Filter filtriert, die später nach vollständiger Wasserentziehung wieder gewogen wurden. Meist hatte ich vier, oft auch sechs Trichter mit den Filtern an einer Meßstelle stehen, da das geschöpfte und zu filtrierende Wasser manchmal recht beträchtliche Zeit beanspruchte, um durch die Filter hindurchzugehen. Die Zeit hing natürlich ganz von der Menge der mitgeführten Sinkstoffe ab. Des Morgens war das Wasser oft schon nach einer Stunde durchgelaufen, dauerte aber während der Mittags- und Nachmittagszeit drei ja sogar vier Stunden, besonders dann, wenn die mitgeführten Stoffe sehr fein, also schlammiger oder schlickiger Natur waren.

Schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden derartige Messungen durchgeführt; zuerst am Unteraargletscher im Jahre 1844, von Dollfuß-Außet. Eine Reihe anderer Forscher folgten dann mit ähnlichen Untersuchungen[1]), denen aber allen der Gedanke zugrundegelegt war, irgendwelche brauchbaren Werte für die Glazialerosion zu erhalten oder man wollte, wie in neuerer Zeit (Lütschg 1926), aus der Menge der suspendierten Stoffe die Verlandungszeit irgendwelcher in den Bachlauf eingeschaltener Seebecken berechnen, um dadurch Anhalts-

[1]) Eine diesbezügliche Zusammenstellung gibt Gogarten (1908/09).

punkte für die Wirtschaftlichkeit zu bauender Kraftwerke zu gewinnen. Leider wurden die früheren Messungen nur ein paarmal innerhalb eines Tages oder gar nur einer Woche ausgeführt, so daß Vergleichsmaterial von anderen Bachgebieten so gut wie gar keines vorhanden ist.

Meine Untersuchungen im Liesenser Gletscherbachgebiet waren aber vor allem von biologischen Gesichtspunkten geleitet, was auch seinen Grund in der vorhin geschilderten Verteilung der Meßstellen hat. Wollte ich doch untersuchen ob innerhalb der obersten und untersten Untersuchungsstelle irgendein Unterschied in der Sedimentführung festzustellen wäre, der mit faunistischen Verbreitungsgrenzen in Einklang gebracht werden könnte. Solche Unterschiede sind im Durchschnitt sicherlich gegeben, doch wurde mir bald nach Beginn meiner Untersuchungen in Liesens klar, daß es nicht möglich sein dürfte, innerhalb dieser kurzen Zeitspanne eine solche Grenzzone mit auch nur annähernder Genauigkeit zu erfassen. Die späteren Wägungen der getrockneten Filter ließen denn auch keine solche Grenzzone erkennen, wohl aber eine scharf ausgeprägte und ausgiebige Tagesschwankung in deutlicher Abhängigkeit von Bewölkung und damit von Sonnenscheindauer, Temperatur und Niederschlag.

Eine Reihe von Ursachen sind es, denen der Gletscherbach seine Herkunft und Wasserführung verdankt: Quellen, die am Grunde des Gletschers austreten und durch ihre Wärme das Eis zum Schmelzen bringen können, ähnlich der Wirkung der Erdwärme, die ja auch einen geringen Beitrag zum Abschmelzen des Gletschers liefert. Dem Wasser, das durch die Gletscherbewegung selbst entsteht, kommt eine gewisse Bedeutung zu, ebenso dem Quellwasser, das seitlich des Gletscherbettes an den Talhängen entspringt, unter das Eis hinabrinnt, sich mit dem Gletscherbach vermengt und dann am Gletschertor von neuem ans Tageslicht kommt. Den wichtigsten und ausschlaggebendsten Faktor aber, wenigstens einen Teil des Jahres hindurch, bilden die durch die Sonnenstrahlung entstehenden Schmelzwässer, die während der Sommermonate geradezu bestimmend sind für das Aussehen eines Gletscherbaches; bei Tagesanbruch ein fast harmloses Dahinfließen, wenige Stunden später gleicht er einem reißenden Wildbach, der mit dumpfem Getöse sich in das Tal hinabstürzt. Diese Schmelzwässer weisen jahreszeitliche sowohl, als auch ganz besonders starke und ausgiebige tageszeitliche Schwankungen auf und sie sind es auch, die für die reichliche Sinkstofführung verantwortlich zu machen sind; an schönen warmen Sommertagen ist die einstrahlende Wirkung der Sonne auf das Gletschereis eine ganz außerordentlich starke und in unzähligen Rinnsalen fließen dann die Schmelzwässerchen über die Gletscheroberfläche dahin, vereinigen sich zum Teil zu manchmal recht ansehnlichen Bächen, während

ein anderer Teil seinen Weg durch die vielen Spalten nimmt und hinabsickert an den Grund des Gletschers, wo er die dort abgelagerten oder durch Erosion entstandenen Gesteinsteilchen mit sich nimmt und sie als Sinkstoffe dem Tal zuführt.

Schon weiter oben habe ich angedeutet, daß die Sinkstoffführung eine erhebliche Tagesschwankung erkennen läßt, und mehr als dies Worte erläutern können, zeigen das die Kurven in den Abbildungen

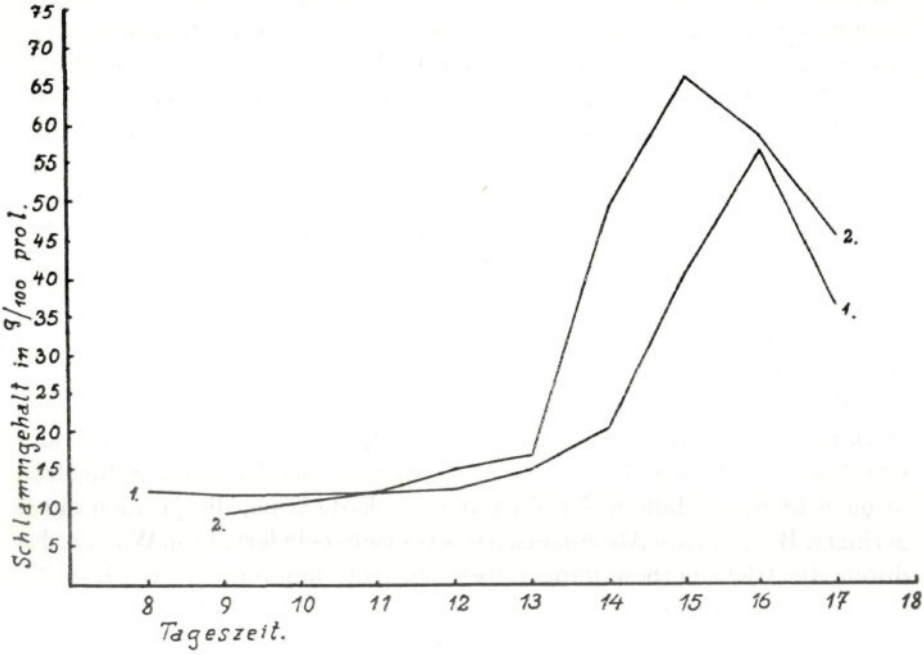

Abb. 3. Sinkstoffführung in Stelle A, 2000 m.
Kurve 1 — 1. VIII.
Kurve 2 — 25. VII.

3, 4, 5 und 6. Vorerst greife ich die, wie ich sie nenne, Schönwetterkurven heraus, Kurven, die sich in ihrem Verlauf anders verhalten, als die bei schlechtem Wetter ermittelten. In Abb. 3 sind zwei Kurven dargestellt, die der Sinkstoffführung in Stelle A (2000 m) am 25. VII. und 1. VIII. entsprechen (Abb. 3). Die in das Koordinatensystem eingetragenen Werte zeigen eine geringe fast gleich bleibende Sedimentführung im Verlauf der Vormittagsstunden, dann um 13 Uhr, für den Fall der Kurve 2, ein außerordentlich rasches und scharfes Ansteigen, das bei der anderen Kurve erst eine Stunde später erfolgt. Auf diesen unvermittelten Anstieg folgt nun noch ein etwas langsameres Steigen des Sinkstoffgehaltes, bis dieser eine Stunde später, im einen Fall um 15 Uhr, im anderen um 16 Uhr, seinen Maximalwert erreicht und nun verhältnismäßig rasch (Kurve 1)

wieder absinkt. Dieses Nachhinken der Kurve 1 ist wohl in meteorologischen Verhältnissen zu suchen. Beide Tage sind nämlich ausgesprochen schön; das allein ist aber noch nicht maßgebend, denn es kommt eben auch sehr darauf an, welcher Witterungscharakter die vorangegangenen Tage herrschend war. Der 25. VII. (Kurve 2) ist das Glied einer Reihe von schönen Sommertagen, so daß die Schmelzwasser-

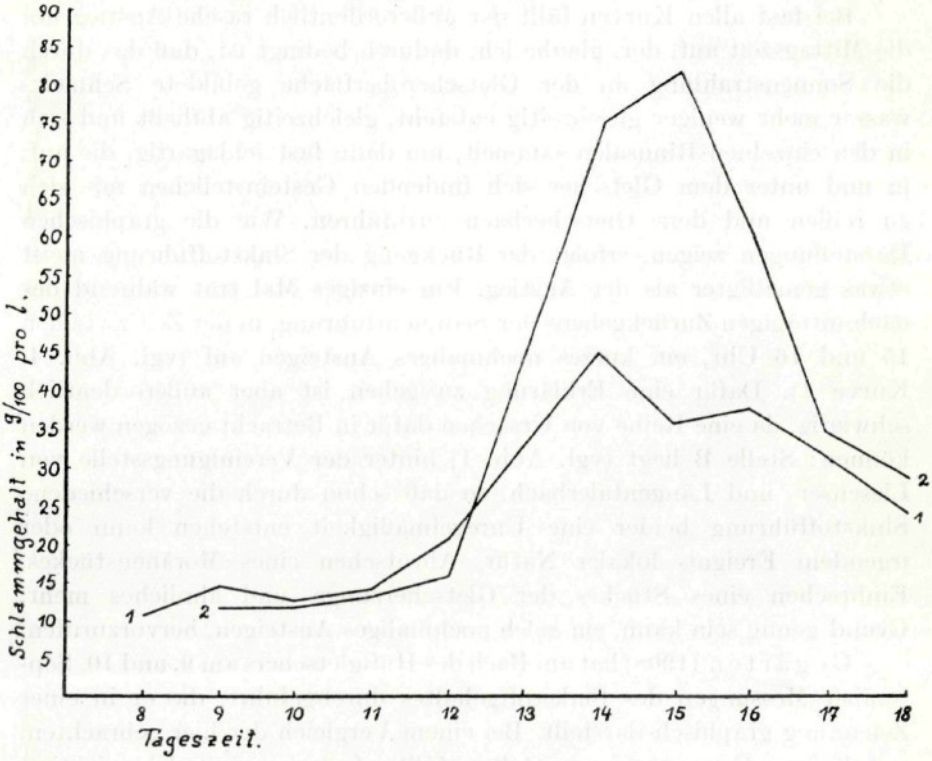

Abb. 4. Sinkstofführung in Stelle B, 1730 m.
Kurve 1 — 23. VII.
Kurve 2 — 6. VIII.

bildung in ihrem zeitlichen Verlauf, wenn ich mich so ausdrücken kann, eine gewisse Festlegung erfahren hat. Ganz anders der 1. VIII. (Kurve 1). Er ist genau ein so schöner Tag wie der andere, aber, und das ist das Ausschlaggebende, er ist der erste Schönwettertag nach einer ausgesprochenen Schlechtwetterzeit mit starkem Temperaturrückgang und für diese Jahreszeit kräftigen Schneefällen. Die Neuschneedecke läßt die schmelzende Tätigkeit der Sonne zunächst nicht zur Wirkung kommen und wenn die Schmelzwasserbildung einmal eingesetzt hat, muß man sich das Retentionsvermögen einer solchen Neuschneedecke

vor Augen halten, die, je nach den Umständen, bis zu 40% ihres Volumens an Wasser zurückhalten kann (Lütschg 1926), was allein schon Grund genug ist, die Schmelzwasserbildung zu verzögern und damit das einstündige Nachhinken dieser Kurve erklärlich erscheint. Im Prinzip verhalten sich die anderen Schönwetterkurven ähnlich (vgl. Abb. 4, Kurven 1 und 2), es wechselt nur die Zeit der maximalen Sinkstofführung ein wenig.

Bei fast allen Kurven fällt der außerordentlich rasche Anstieg um die Mittagszeit auf, der, glaube ich, dadurch bedingt ist, daß das durch die Sonnenstrahlung an der Gletscheroberfläche gebildete Schmelzwasser mehr weniger gleichzeitig entsteht, gleichzeitig abfließt und sich in den einzelnen Rinnsalen sammelt, um dann fast schlagartig, die auf, in und unter dem Gletscher sich findenden Gesteinsteilchen mit sich zu reißen und dem Gletscherbach zuzuführen. Wie die graphischen Darstellungen zeigen, erfolgt der Rückgang der Sinkstofführung meist etwas gemäßigter als der Anstieg. Ein einziges Mal trat während des nachmittägigen Zurückgehens der Sedimentführung, in der Zeit zwischen 15 und 16 Uhr, ein kurzes nochmaliges Ansteigen auf (vgl. Abb. 4, Kurve 1). Dafür eine Erklärung zu geben ist aber außerordentlich schwierig, da eine Reihe von Ursachen dafür in Betracht gezogen werden können: Stelle B liegt (vgl. Abb. 1) hinter der Vereinigungsstelle von Liesenser- und Längentalerbach, so daß schon durch die verschiedene Sinkstofführung beider eine Unregelmäßigkeit entstehen kann oder irgendein Ereignis lokaler Natur, Abrutschen eines Moränenstückes, Einbrechen eines Stückes der Gletscherzunge und ähnliches mehr, Grund genug sein kann, ein solch nochmaliges Ansteigen, hervorzurufen.

Gogarten (1908) hat am Bach des Hüfigletschers am 9. und 10. September Messungen des Sinkstoffgehaltes durchgeführt, die er in einer Zeichnung graphisch darstellt. Bei einem Vergleich der hier gebrachten, mit der von Gogarten ermittelten, fällt sofort eine große Übereinstimmung bezüglich des zeitlichen Verlaufs der maximalsten Sinkstofführung auf. Leider fehlen, soweit ich aus der mir zugänglichen Literatur entnehmen kann, andere diesbezügliche Messungen. Denn es ist immerhin möglich, daß es sich bei den Werten des Hüfigletscherbaches doch um irgendeinen innerhalb des Gletschergebietes eingetretenen besonderen Fall handelt, wofür meines Erachtens das unglaublich rasche Ansteigen und das ebenso rasche Absinken der dort gefundenen Werte sprechen würde. Der Verfasser selbst gibt nämlich in seiner Arbeit an, daß das Wasser vor Beginn des Sedimentanstieges klar war und zwei Stunden später wieder klar war, „trotzdem der Wasserspiegel noch stieg" (Gogarten 1908). Verhältnisse, wie ich sie in meinem Arbeitsgebiet innerhalb drei Wochen nie beobachten konnte, da das Wasser wohl

recht rasch trüb und undurchsichtig wurde, die Trübung aber den ganzen Nachmittag bis in die Abendstunden hinein anhielt.

Ganz anders aber steht es mit der Sinkstofführung bei Eintritt schlechter Witterung. Die auftretende Bewölkung, eine bestimmte Stärke natürlich vorausgesetzt, unterbindet fast vollständig die schmelzwasserbildende Tätigkeit der Sonne, die Temperatur beginnt zu fallen oder bleibt überhaupt in der Nähe des während der Morgenstunden erreichten Tiefstandes, Niederschläge fallen dann auch während des Sommers vielfach in Form von Schnee, so daß die Schmelzwasserbildung

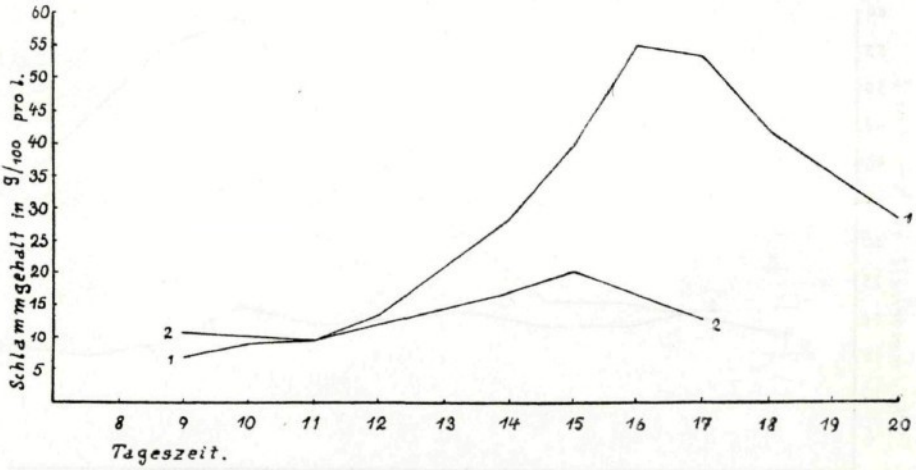

Abb. 5. Sinkstofführung in Stelle C und D.
Kurve 1 — Stelle C 1650 m, 28. VII.
Kurve 2 — Stelle D 1630 m, 3. VIII.

an der Gletscheroberfläche so gut wie vollständig aussetzt. Auch die Farbe des nunmehr wenig Wasser führenden Gletscherbaches ist bei solcher Witterung eine grünliche, so daß wir aus dem allein schon auf eine sehr geringe Sedimentführung schließen können.

Dem entsprechend ist auch die Auswertung solcher an Schlechtwettertagen durchgeführten Messungen. Untersuchen wir die für Kurve 2 Abb. 6 damals herrschenden Witterungsverhältnisse, so sind sie folgendermaßen charakterisiert. Der 31. Juli ist ein vollständig trüber und niederschlagsloser Tag mit Temperaturen von $+7^0$ am Morgen und am Abend. Um die Mittagszeit weht starker Taleinwind, dem im Haupttal und in der Höhe sicherlich eine andere starke Strömung entspricht, da ja bei solcher Witterung keine Veranlassung für die Bildung eines kräftigen Talwindes gegeben ist. Die Tage vorher herrschte ebenfalls schlechtes Wetter, das in der Nacht vom 30. auf den 31. Niederschlag brachte, in der Höhe in Form von Neuschnee, der den ganzen Tag über nicht weg-

schmolz, weder am Ferner, noch an den ihn umgebenden Felswänden, so daß für diese Regionen eine recht niedrige Lufttemperatur anzunehmen ist. Diesem Witterungscharakter entspricht nun auch der Verlauf der Sedimentführungskurve. In den Vormittagsstunden sinkt sie zuerst etwas ab, steigt zu Mittag ein wenig an, bleibt dann bis 14 Uhr auf ungefähr gleicher Höhe und erreicht zwischen 14 und 15 Uhr ein nur schwach ausgeprägtes Maximum, von dem aus sie dann etwas rascher absinkt. Der Kurvenverlauf als Ganzes aber ist ein außerordentlich flacher und nur wenig gegliederter.

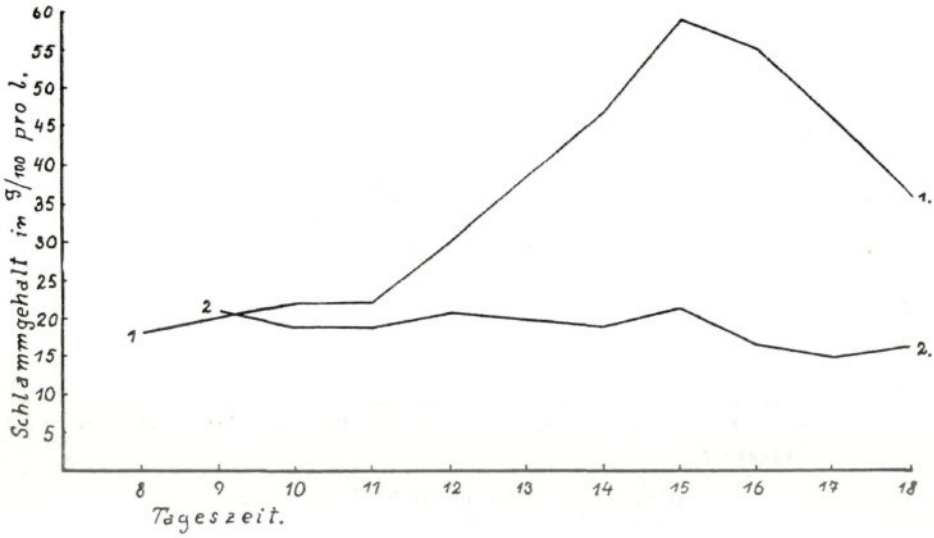

Abb. 6. Sinkstofführung in Stelle E, 1740 m.
Kurve 1 — 24. VIII.
Kurve 2 — 31. VII.

Die drei Tage später, am 3. August, gemessenen Werte, die zu der in Abb. 5 gezeichneten Kurve 2 führten, gehören ebenfalls zu einem schlechten, diesmal aber etwas regnerischen Tag. Die Lufttemperaturen waren herunten im Tal etwas höher als am 31. VII. und, was meines Erachtens von größerer Wichtigkeit ist, es war auch im Gletschergebiet verhältnismäßig warm, da die über Nacht gefallenen Niederschläge auch oberhalb 3000 m in Form von Regen gefallen sind. Den für die Sinkstofführung etwas günstigeren Temperaturverhältnissen entspricht auch ein etwas ausgeprägterer Verlauf der Kurve, die in ihrem Aufbau prinzipiell gleichgestaltet ist wie andere, d. h. stärkeres Ansteigen ab 12 Uhr und Erreichung des Maximalstandes um 15 Uhr, im Gegensatz zu den eigentlichen Schönwetterkurven aber doch eine bedeutend geringere Amplitudenhöhe zeigt. Ich habe nur an den beiden eben beschriebenen

Schlechtwettertagen solche Messungen durchgeführt, glaube aber, daß diese beiden Kurven, im Vergleich mit den anderen, schon deutlich genug zeigen, wie außerordentlich abhängig die Sinkstofführung von den Witterungsverhältnissen ist. Wir erhalten eine ganze Reihe von Kurven verschiedenster Amplitude, entsprechend dem gerade herrschenden Wettercharakter. Innerhalb der Schlechtwetterzeit selbst werden die Kurven auch nicht immer einen fast vollständig flachen Verlauf aufweisen, wie etwa die gerade vorhin besprochene Kurve 2 in Abb. 6, da ja dieses während der Sommermonate viel öfter mit bis in die Höhe hinaufreichenden warmen Regenfällen einhergeht, als wie mit Temperaturrückgang und Schneefällen.

Ob und wie weit Regenfälle, besonders warme, für die Sinkstofführung von Bedeutung sind, ist noch nicht ganz sicher zu beantworten. Greim (1903) ist in seiner Arbeit „Studien aus dem Paznaun" eher der Meinung, daß Regenfällen keine größere Bedeutung beizumessen sei und Gogarten (1908) ist ähnlicher Ansicht, wenn er zu seiner am 10. IX. gewonnenen Sedimentkurve schreibt, „der warme Regen, der vom 9. auf den 10. von 2 bis 6 Uhr fiel, hat dem Anschein nach gar keinen Einfluß auf die Schlammführung gehabt". Meine Beobachtungen liegen aber auf der gegenteiligen Seite und ich glaube sicher, daß länger andauernden Regenfällen mit hoher Lufttemperatur ein bestimmter Einfluß auf die Sinkstofführung zuzusprechen ist, wofür ich Kurve 2 Abb. 4 als Beispiel heranziehen möchte. Quantitativ erreicht diese Kurve die höchsten mir untergekommenen Werte. Das Wetter war mäßig schön, warm und die vorhergehenden Tage waren vollständig trüb mit ausgiebigen warmen Regenfällen, so daß ich der Ansicht bin, daß doch diesen ein gewisser Anteil an der starken Sedimentführung zukommt.

Zum Schluß möchte ich noch kurz auf eine Eigentümlichkeit der Sinkstofführung aufmerksam machen, die bei einem Teil meiner Schön- als auch Schlechtwetterkurven zu beobachten ist. Im Verlauf des Vormittags tritt gewöhnlich um 9, 10 oder 11 Uhr ein leichtes aber doch deutlich ausgeprägtes Absinken, zumindest aber ein Gleichbleiben der Sedimentführung auf, um kurz darauf zur schon bekannten Maximalhöhe emporzusteigen und nicht, wie man vielleicht erwarten möchte, das Ansteigen schon während der Vormittagsstunden beginnt. Sichere Ergebnisse über die Art der Zusammenhänge wird man erst später einmal auf Grund zahlreicherer Messungen erzielen, ich glaube aber, daß vorwiegend zwei meteorologische Faktoren für dieses vormittägige Absinken der Kurven in Betracht kommen. Der tägliche Temperaturgang einerseits und das Auftreten des Gletscherwindes andererseits. Es ist ja schon hinlänglich bekannt, daß das Minimum der Lufttemperatur nicht in der Nachtzeit eintritt, sondern am Morgen ungefähr zur Zeit des Sonnen-

aufganges erreicht wird, so daß man annehmen könnte, daß die Sedimentführung ein bis zwei Stunden nach dem Temperaturtiefstand auftritt. Einige Bedeutung dürfte sicherlich auch dem im Verlauf des Vormittags einsetzenden Gletscherwind beizumessen sein, der bei einiger Windgeschwindigkeit die zu dieser Zeit noch nicht so kräftige Insolation und damit die Schmelzwasserbildung herabsetzen, wenn nicht ganz unterbinden kann. Spezielle Untersuchungen (vgl. Eckhart 1935) am Hintereis- und Gepatschferner in den Ötztaleralpen haben ergeben, daß sein Beginn in die spätere Vormittagszeit fällt (11 Uhr), wobei das plötzliche Auftreten dieses Lokalwindes mit einer Abnahme der Lufttemperatur um 2° einherging. (Selbstverständlich kann für das vormittägige Absinken der Sedimentkurve an Schlechtwettertagen der Gletscherwind nicht mit zur Erklärung herangezogen werden.) Jedenfalls glaube ich, daß einer dieser Faktoren oder noch besser das Ineinanderarbeiten beider, schon genügen dürfte, das gerade vorhin beschriebene Absinken des Sinkstoffgehaltes zu bewirken.

Temperaturverhältnisse des Längentaler- und Liesenserbaches.

Hand in Hand mit den zur Ermittlung des Sinkstoffgehaltes durchgeführten Schöpfproben wurden zu denselben Zeiten auch die Wassertemperaturen gemessen und später die erhaltenen Werte zu Kurven zusammengestellt. Es ist selbstverständlich, daß der Verlauf dieser völlig abhängig ist von der Lage der Stelle, von der aus die Wassertemperatur gemessen wird, ob direkt am, oder in der Nähe des Gletschertores oder in einiger Entfernung von demselben, da die die Temperatur beeinflussenden Faktoren, bis zu einer bestimmten Grenze wenigstens, rasch an Zahl zunehmen. Am Gletschertor beträgt bekanntlich die Temperatur normalerweise 0° Celsius, aber schon 100 m unterhalb ist ein merklicher Anstieg festzustellen (vgl. Heß 1904) und der weitere Temperaturverlauf ist dann nicht nur von der Sonnenstrahlung, Bewölkung und Lufttemperatur allein abhängig, sondern auch in weitgehendem Maße von den orographischen Verhältnissen; ob starkes mit eingeschaltenen Wasserfällen versehenes Gefälle vorhanden ist, ob der Bach in enger schattiger Schlucht dahinfließt oder Gelegenheit hat, sich an ebeneren Geländestellen zu zerteilen und schließlich auch davon, wieviel Wasser er von seitlichen Zuflüssen zugeführt bekommt. Alles in allem können wir sagen, die Wassertemperatur ist „das Produkt aller Faktoren, die bis zu dieser Stelle deren Temperatur beeinflussen" (Lütschg 1926).

Die Temperaturschwankungen sind im Untersuchungsgebiet bei schönem Wetter recht beträchtliche. Die ihnen entsprechenden Kurven zeigen ungefähr symetrischen Verlauf, rasche und gleichmäßige Zunahme

bis zum Maximalwert und dann ein ungefähr im gleichen Maße vor sich gehendes Absinken (vgl. Abb. 7, 8). Der Höchststand der Temperatur wird bei allen Kurven, nur eine einzige Ausnahme ist mir untergekommen (Abb. 7, Kurve 2), um 14 Uhr erreicht, worauf die Temperaturwerte meist gleich abnehmen, in einigen Fällen aber noch bis 15 Uhr auf gleicher Höhe bleiben. Die höchsten während meiner Beobachtungszeit und innerhalb der weiter vorn besprochenen Meßstellen gefundenen Temperaturen waren $+10^0$, einmal auch $+10.4^0$ Celsius. Die Morgentempe-

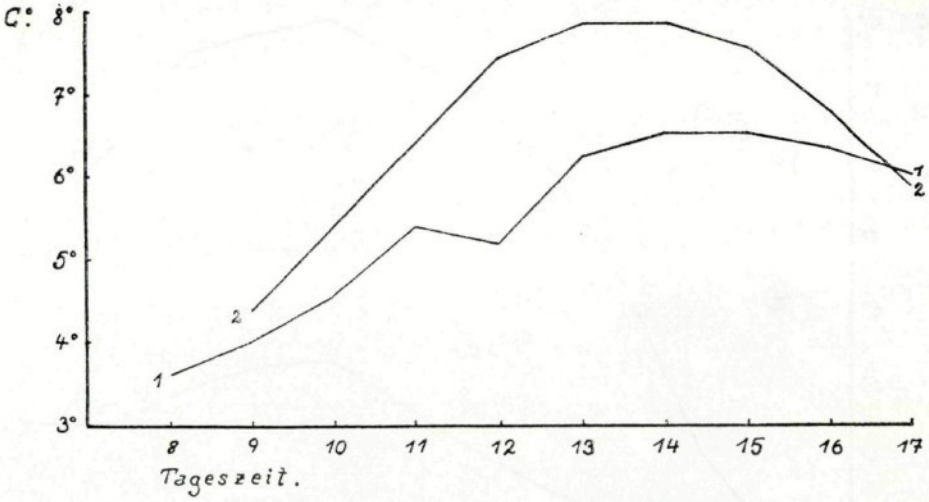

Abb. 7. Temperaturverlauf in Stelle A, 2000 m.
Kurve 1 — 25. VII.
Kurve 2 — 1. VIII.

raturen sind fast immer sehr niedrige und liegen für gewöhnlich zwischen 3 und 5^0. Den Typus des Verlaufes einer Schönwetterkurve veranschaulichen uns die Kurven 2 in Abb. 7 und 1 in Abb. 8. Erläuterungen, glaube ich, erübrigen sich, da die Kurven ein vollständig klares Bild ergeben. Auffallend an der einen (Abb. 8, Kurve 1) ist die starke Temperaturdifferenz innerhalb der Zeiten 8 und 14 Uhr, besonders dann, wenn man die Entfernung vom Gletscherende in Betracht zieht (vgl. Abb. 1) und die erhaltenen Werte in Vergleich setzt, ähnliche Witterungsverhältnisse natürlich vorausgesetzt, z. B. zur Meßstelle A, oberhalb der Längentaleralm (vgl. Abb. 1). A liegt ein gutes Stück weiter vom Gletscherende entfernt als E und doch sind die Temperaturunterschiede im Falle von E bedeutend größere. Die Ursache ist orographischer Natur und ich erinnere nur an die auf Seite 37 gegebene hydrographische Beschreibung beider Bachläufe. Der sich vom Liesenserferner herabstürzende Gletscherbach fließt eben an vielen Stellen über breite Felsplatten, zerteilt sich

auf Moränenfeldern in eine Reihe von Armen und außerdem ist noch ein mächtiger Wasserfall in den Bachlauf eingeschaltet. All das ermöglicht dem Wasser eine viel innigere Berührung mit der Luft einzugehen und außerdem hat die wärmende Tätigkeit der Sonnenstrahlung bei so zerteilten Wassermengen viel leichtere Arbeit, als wenn das Wasser in einem geschlossenen Bachbett dahinfließt. Wie stark sich das Wasser bei schönem Wetter erwärmen kann zeigt folgende am 2. IX. um 16 Uhr durchgeführte Messung: Vom Ende des Längentalerferners fließt der

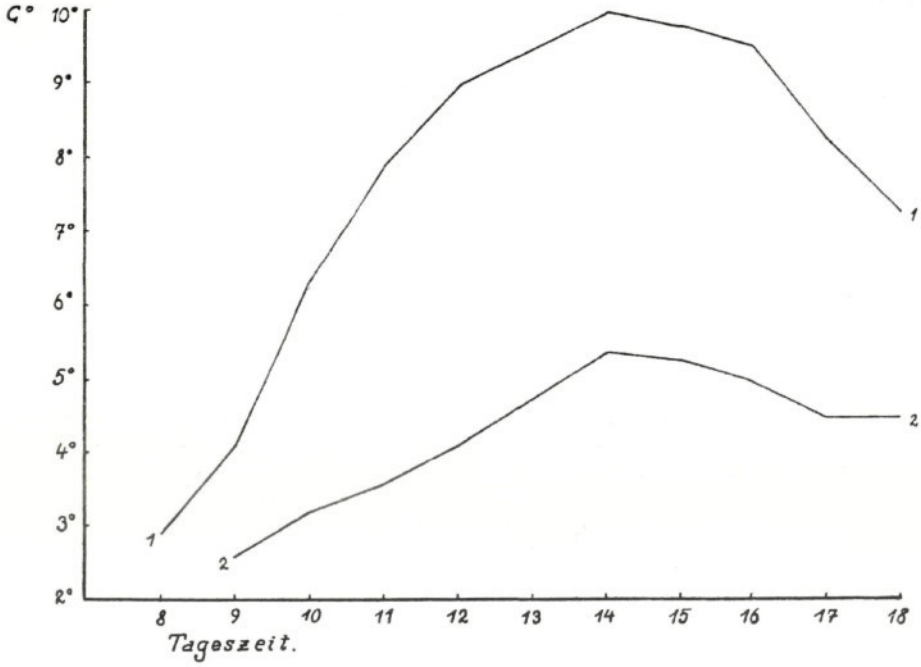

Abb. 8. Temperaturverlauf in Stelle E, 1740 m.
Kurve 1 — 24. VII.
Kurve 2 — 31. VII.

Bach, ohne sich zu zerteilen und ohne irgendwelche seitliche Zuflüsse aufzunehmen, bis an die unterste Moräne über eine Strecke von kaum 500 m und weist hier bereits eine Temperatur von $+4.8^0$ Celsius auf, wobei allerdings die an dieser Stelle noch sehr starke Sinkstofführung auch mit berücksichtigt werden muß, da das so getrübte Wasser stärker die Wärme absorbiert, als klares. Diese Beobachtungen gelten nicht nur für schönes Wetter, sondern in ähnlicher Weise auch für schlechtes. Schlechtwetter mit seinen viel niedrigeren Temperaturen übt natürlich einen starken Einfluß auf den täglichen Temperaturgang des Bachwassers aus, d. h. der Verlauf ist ein bedeutend flacherer, die Temperaturdifferenz

zwischen Morgen und Abend eine bedeutend geringere (vgl. Abb. 8, Kurve 2).

Der vorhin geschilderte Kurvenverlauf bei schönem Wetter ist selbstverständlich nicht immer von so regelmäßiger Gestalt, da ja eine Reihe von Umständen, wie z. B. plötzlicher Ausbruch von kaltem Schmelzwasser u. ä. m. eintreten und dann einen Knick in der Kurve verursachen können (Abb. 7, Kurve 1).

Wie ich im vorhergehenden Abschnitt gezeigt habe, ändert sich der Sinkstoffgehalt außerordentlich sprunghaft, am Vormittag ein leichtes Absinken oder Gleichbleiben, um dann um die Mittagszeit umso rascher den Höchststand zu erreichen, was im Mittel ungefähr um 15 Uhr der Fall sein dürfte. Die Temperaturänderungen hingegen verlaufen ruhiger, gleichmäßiger und erreichen ihren Maximalstand im Durchschnitt um 14 Uhr, so daß sich für die Sinkstofführung, wenigstens für die meisten Fälle, ein Nachhinken um eine Stunde ergibt. Untersuchen wir schließlich, so weit dies heute überhaupt möglich ist, die Tagesschwankungen von Temperatur und Sedimentführung hinsichtlich der Beziehungen zu ihrem eigenen jahreszeitlichen Verlauf, so kommen wir zu der interessanten Tatsache, daß das Mittel des täglichen Verlaufs, sowohl von Temperatur als auch von Sinkstofführung, in der Art und Weise des jahreszeitlichen Kurvenverlaufes vollkommen übereinstimmt. Genauere diesbezügliche Arbeiten fehlen ja noch, aber aus dem wenigen, was an Zusammenstellungen vorhanden ist, läßt sich doch schon Einiges herauslesen. Betrachten wir zuerst die Beziehungen der Temperaturverhältnisse in ihrem täglichen und jährlichen Gang. Greim (1903), den ich schon einmal erwähnt habe, gibt in seiner Arbeit „Studien aus dem Paznaun" auf Taf. IX das Temperaturmittel aus den Jahren 1896—1900. Dieser dort abgebildete fünfjährige Durchschnitt zeigt deutlich die grundsätzliche Ähnlichkeit mit den von mir gefundenen und dann graphisch zusammengestellten Werten, d. h. ungefähr symetrischer Kurvenverlauf, langsames Ansteigen und langsames Übergehen zum Maximalwert und schließlich ein ebenso geartetes Absinken. Genau das Gleiche, was ich eben für die Temperatur gezeigt habe, gilt auch für die Sinkstofführung. So schroff und unvermittelt der tägliche Gang der Sedimentführung ist, so unvermittelt ist auch der jährliche Verlauf (Greim 1903, Taf. IX). Demnach würden bei der Schlammführung die Morgen- und Vormittagsstunden den Monaten von Jänner bis Mai entsprechen, der rasche Anstieg um die Mittagszeit wäre dann den Sommermonaten Juni, Juli gleichzusetzen und der Spätsommer und die erste Winterzeit den Nachmittag-, bzw. Abendstunden, wobei diese Gegenüberstellung von Tagesstunden und Jahreszeit natürlich auch für den Temperaturverlauf in der ganz der gleichen Weise Geltung hat. An und für sich

wäre ja dieser Tatsache keine besondere Bedeutung beizumessen, wenn nicht auf anderen Gebieten ähnliche Beobachtungen gemacht worden wären, Beobachtungen, die auch hier wieder mittelbar oder unmittelbar vom Temperaturverlauf abhängig sind. Es ist das Gebiet der hydrographischen Kleingewässerforschung, über das Brandt (1935) in den „Forschungen und Fortschritte" berichtet. Solche Kleingewässer wurden von den verschiedenen Forschern unabhängig voneinander, hinsichtlich ihrer thermisch-tageszeitlichen Schwankungen untersucht, wobei sie zu dem überraschenden Ergebnis kamen, daß der tägliche Temperaturgang einzelner kleiner Tümpel den jährlichen Temperaturgang großer Seen wiederspiegelt. „Die morgendliche Homothermie entspricht der Frühjahrsvollzirkulation, die mittägliche direkte Schichtung den Verhältnissen im sommerlichen See. Die abendliche Homothermie gibt den Seezustand im Herbst und die zuweilen auftretende nächtliche indirekte Schichtung denjenigen des Sees im Winter wieder" (Brandt 1935). Ergebnisse also die ganz analog sind mit den weiter oben beschriebenen Schwankungen von Sedimentgehalt und Temperatur. Es scheint, als ob eine Reihe irgendwie von Temperaturschwankungen abhängiger Vorgänge in der Natur in ihren kleinen Perioden vollständig dem Gang ihrer großen Perioden entsprechen und es ist weiterhin wohl auch anzunehmen, daß andere physikalische Faktoren sich in ihrer Auswirkung auf einzelne Lebensräume ähnlich verhalten. Wie Brandt in seiner Mitteilung hervorhebt, liegt die Bedeutung dieser Erscheinung vornehmlich darin, daß es möglich ist, Naturvorgänge im Kleinen zu untersuchen, wo sie durch eine viel geringere Zahl von anderen Faktoren überlagert sind.

Literaturverzeichnis.

Brandt, A., 1935. Über den heutigen Stand der hydrographischen Kleingewässerforschung und ihre Bedeutung für Limnologie. Forschungen und Fortschritte, Heft 20/21.

Eckhart, E., 1934. Klima von Innsbruck. In Ber. d. naturwiss.-med. Vereines in Innsbruck, Jahrgang 1931/32 bis 1933/34.

Eckhart, E., 1935. Gletscherwind. Zeitschr. für Gletscherk. Bd. 22.

Forster, A., 1849. Die Temperatur fließender Gewässer Mitteleuropas. Penk's Geogr. Abhandl. Wien.

Gogarten, E., 1908/09. Messungen der Schlammführung von Gletscherbächen. Zeitschr. für Gletscherk. Bd. 3.

Greim, G., 1903. Studien aus dem Paznaun. Gerld's Beitr. z. Geophysik, Bd. 5, Wien.

Kinzl, H., 1929. Beitrag zur Geschichte der Gletscherschwankungen in den Ostalpen. Zeitschr. für Gletscherk. Bd. 17.

Klebelsberg, R., 1913. Die Wasserführung des Suldenbaches. Zeitschr. für Gletscherkunde Bd. 7.

Lütschg, O., 1926. Über Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Veröffentlchg. d. hydrolog. Abtlg. d. schweiz. meteorologischen Zentralanstalt in Zürich.

Lütschg, O., 1931. Die klimatischen Verhältnisse der Vispertäler im besonderen im oberen Saastale. Extrait du Bulletin de la Murithienne, Fascicule XLVIII, 1930/31.

Lütschg, O., 1929. Mitteilungen der hydrologischen Abteilung der schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt Zürich.

Lütschg, O., 1932. Zur Hydrologie des Hochgebirges der schweizer Alpen. Verh. d. Schweiz. Natf. Ges. Thun. Teil 2.