

Der Einfluß der Sperrung des natürlichen Abflusses auf die Oberflächenwärme des Achensees.

Von Dr. Johann Müllner.

Wie ich bereits an anderer Stelle ausführte¹, hat es nach der Errichtung des Kraftwerkes am Achensee in Tirol² nicht an Stimmen gefehlt, die meinten, es sei dieser See durch die Sperrung seines natürlichen Ausflusses in einen „klimatischen See seiner Ortslage“ verwandelt worden.

Sie fußten bei dieser Annahme auf der Theorie E. Brückners, die in dem Ausmaße der Jahresschwankung der Oberflächenwärme eines Sees eine Funktion der Größe des Seeabflusses erblickte³. Nach ihr ist der jährliche Gang der Oberflächenwärme in Seen mit schwacher Durchflutung durch eine große Amplitude zwischen der höchsten und der niedrigsten Temperatur gekennzeichnet. Sie haben einen „kontinentalen“ Wärmezustand, der dem Klima der Ortslage der Seen entspricht.

Je bedeutender dagegen die Abflußmenge in bezug auf die Größe des

¹) Vergleichende Betrachtungen über den jährlichen Gang der Oberflächenwärme in einigen Alpengseen. Internat. Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. — 24. Bd., Leipzig 1930, S. 408 ff.

²) Vgl.: M. Pernt, Das Achenseewerk und die Energiewirtschaft Österreichs. — Die Wasserwirtschaft, 1924, Heft 11—13. — E. Heller, Das Achenseekraftwerk. — Ztschr. des österr. Ingenieur- und Architektenvereines, 1926, Heft 51/52. — Wien 1927. — In jüngster Zeit beschäftigte sich auch O. Stolz (Geschichtskunde der Gewässer Tirols, Schlernschriften, 32. Band, Innsbruck 1936, S. 192) mit dieser Frage. Unter Hinweis darauf, daß in den Jahren 1929 bis 1935 die Wassertemperaturen des Juli und August auf 16° bis 17·7° und die mittlere Jahreswärme auf 8·3° bis 10° gestiegen seien, betont er die große Bedeutung dieser Steigerung der Oberflächenwärme für die Verwertung des Achensees als Bad und gibt der Verwunderung darüber Ausdruck, daß in den Zeitungen wohl öfters Klagen über die landschaftliche Schädigung des Sees seit seiner Verwendung als Staubecken, nicht aber Äußerungen über die günstigen Folgen dieser Verwendung für seine Eignung als Bad zu lesen seien. Die Änderung der Oberflächenwärme des Sees begründet O. Stolz damit, daß nicht mehr „wie früher das erwärmte Oberflächenwasser am Nordende abfließe, sondern das kältere Tiefenwasser durch die Kraftleitung am Südende“. Von der nordseitigen Sperrung des Überwassers in den Sommermonaten verspricht er sich eine weitere Erhöhung der Oberflächenwärme.

³) Zur Thermik der Alpengseen und einiger Seen Nordeuropas. — Hettners Geograph. Zeitschrift, 1909, S. 305 ff. — Vgl. hiezu auch Fr. Machatschek, Das Wasser des Festlandes, in Supan-Obst, Grundzüge der Physischen Erdkunde, I. Bd., 7. Aufl., Berlin u. Leipzig 1927, S. 422, sowie 8. Aufl. 1934, S. 438, wo er an der Brücknerschen Theorie nicht mehr festhält.

Sees ist, um so geringer ist die Spannung zwischen den Extremwerten der Oberflächenwärme. Der jährliche Wärmegang derartiger Seen zeigt daher in mehr oder minder hohem Grade das Gepräge eines „ozeanischen“ Klimas.

Die Erwartung, es werde die Errichtung des Kraftwerkes nicht ohne Einfluß auf die Temperaturverhältnisse des Achensees bleiben, war um so berechtigter, als E. Brückner auf Grund von Untersuchungen, die er zwecks Feststellung der Einwirkung der Wasserentnahme auf die Oberflächentemperaturen in den Seen des Salzkammergutes sowie in den vier großen Kärntnerseen angestellt hatte¹ zu dem Ergebnisse gelangt war, es könne eine Verminderung der Oberflächenwärme vermieden werden, wenn die Wasserentnahme in der wärmeren Jahreszeit aus größerer Tiefe, während des Winters dagegen aus der Seeoberfläche erfolge.

Die Sohle des Wasserentnahmerohres liegt im Achensee 13·52 m unter dem höchsten Stande des Seespiegels, um zu verhüten, daß bei der größten in Aussicht genommenen Absenkung — um 10 m — auch Luft angesaugt wird² Bei der bisher geübten Absenkung um höchstens 5 bis 6 m bleibt die Stelle der Wasserentnahme selbst bei der größten Annäherung an den Seespiegel noch immer 7 m bis 8 m unter diesem. Der von E. Brückner ins Auge gefaßte Fall der Wasserentnahme aus dem Bereiche der Seeoberfläche träte mithin erst bei deren Absenkung um rund 13 m ein.

Um diese Sachlage richtig zu würdigen, müssen wir uns vergegenwärtigen, daß sich, wie Abbildung 1 lehrt, die Sprungschichte des Achensees über die Tiefen von 5 m bis mindestens 20 m erstreckt und vermöge der erst jüngst von G. Werestshagin genauer verfolgten³ Saugwirkung des Abflusses im See Wasserschichten in Bewegung versetzt werden, die sowohl unterhalb als auch oberhalb der Tiefe ge-

¹) Vgl. die Notiz über die „Wirkung der Wasserentnahme auf die Temperaturen bei Binnenseen“. In Hettners Geogr. Zeitschr. 1912, S. 524.

²) Vgl. E. Heller, Das Achenseekraftwerk a. a. O.

³) Materialien zur Kenntnis des thermischen Regimes in der Angara auf der Strecke Baikalsee—Irkutsk. Arbeiten der Limnologischen Station des Baikalsees. III. Bd. 1932, insbesondere S. 99 ff. — Zu dieser Frage vergl. auch M. Auerbach u. J. Schmalz: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. I. Teil, H. 55 der Schriften des Vereines für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung; II. Teil im XXIII. Bd. des Archivs für Hydrobiologie, 1931, S. 231 ff., sowie J. Schmalz, III. Teil, H. 60 der Schriften des Vereines, wie oben, ferner „Die Sauerstoff- u. Härteverhältnisse des Wassers bei den Tag- und Nachtuntersuchungen“ usw., Ztschr. für Hydrologie, 6. Jhrg., Heft 1 u. 2, Sonderabdruck S. 46 ff., sowie E. Wasmund, Temperaturschichtungen im Bodensee, Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 40, Heft 4, 1933, S. 450.

legen sind, in der sich die Ausflußstelle als Spitze des angesaugten Wasserkegels befindet.

Dieser Zustand bedingt nach E. Brückners Feststellungen, daß durch die Anlage des Wasserkraftwerkes die normalen Temperaturverhältnisse mindestens in der Seeoberfläche eine Störung erfahren müssen. Dabei bleibt die Frage offen, in welchem Sinne und Ausmaße sich diese Störung auswirkt, und ob die mit der Errichtung des Kraftwerkes verbundene Sperrung des natürlichen, das heißt des oberflächlichen Abflusses tatsächlich dem jährlichen Gange der Wärme des Seespiegels das erhoffte Gepräge eines „kontinentalen Klimas“ verleiht.

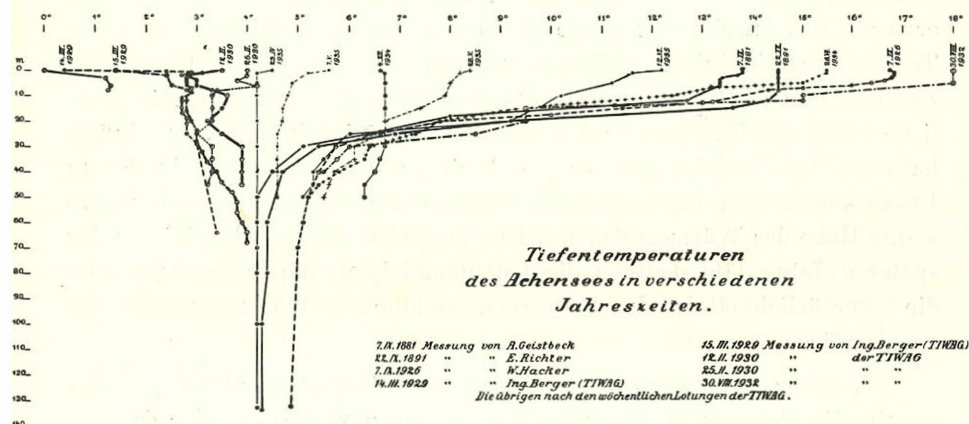


Abb. 1.

Unsere Untersuchung wird demnach zu erweisen haben, ob

1. überhaupt im jährlichen Gange der Oberflächentemperatur derartige Veränderungen aufscheinen, daß die Annahme E. Brückners gerechtfertigt erscheint, und

2. wenn sich solche Veränderungen tatsächlich vorfinden, sich die Spannung zwischen den höchsten und niedrigsten Temperaturen der Seeoberfläche in solchem Maße erhöht hat, daß von einer Umwandlung in den „kontinentalen“ Wärmezustand mit Recht gesprochen werden kann.

Das Beobachtungsmaterial, das für eine derartige Untersuchung zu Gebote steht, verdanke ich, soweit es in den Jahrbüchern des hydrographischen Zentralbüros und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien nicht bereits zur Veröffentlichung gelangte, der hydrographischen Landesabteilung in Innsbruck und der Direktion der Ti-

roler Wasserkraftwerke A.-G.¹. Im Hinblick darauf, daß für die Station Pertisau Beobachtungen der Lufttemperatur erst vom Jahre 1921 an vorliegen, bilden die Temperaturwerte der Jahre 1921 bis 1935 die Grundlage der nachstehenden Ausführungen. Es konnten demnach sechs Jahren vor dem Eingriffe in den normalen Wasserhaushalt des Achensees acht solche nach diesem gegenübergestellt werden. Hinsichtlich der Temperaturen der Seeoberfläche, die zumeist um elf Uhr, in den letzten Jahren aber um acht Uhr vormittags erhoben wurden, muß zunächst darauf verwiesen werden, daß die Messungen nicht durchwegs an der gleichen Stelle stattfanden. Eine weitere, für die Wertung des Beobachtungsergebnisses nicht belanglose Tatsache ist, daß bis Ende des Jahres 1928 nur ganze Wärmegrade zur Ablesung gelangten. Dadurch wird der Schein erweckt, daß jeweils eine ganze Reihe von Tagen hindurch die gleichen Temperaturverhältnisse geherrscht und wir es demnach mit Beharrungszuständen zu tun hätten. Der in der Abbildung 2 veranschaulichte jährliche Gang der Temperatur der Seeoberfläche zeigt infolgedessen innerhalb des An-, beziehungsweise des Abstieges der Wärmelinie in den in Frage kommenden Jahren scharfe Stufen und zwischen diesen eine konstante Höhe des Wärmeszustandes. Ein Vergleich mit den Graphikons der späteren Jahre läßt deutlich die Unzulänglichkeit der Ablesungen und die Unnatürlichkeit des durch sie versinnbildlichten Wärmeszustandes der Seeoberfläche erkennen.

Zu dieser Sachlage gesellt sich, daß die Höhenlage der Fläche, in der jeweils die Temperaturmessungen vorgenommen werden, infolge der Absenkung des Seespiegels im Laufe des Jahres nicht unbedeutenden Änderungen unterworfen ist, so daß, strenge genommen, die einzelnen Messungsergebnisse miteinander gar nicht in Vergleich gezogen werden können. Ein Blick auf Tabelle 1, in der die Monatsmittel des Wasserstandes des Achensees in den sieben Jahren vor der Sperrung des natürlichen Abflusses zusammengestellt sind, lehrt, daß sich damals im Jahresdurchschnitte der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedersten Monatsmittel in ziemlich bescheidenen Grenzen hielt. Während aber im Jahre 1926 die Schwankung zwischen dem absolut höchsten und dem absolut niedersten Wasserstande sich auf 69 cm belief, stieg sie im Jahre 1927 auf 192, im Jahre 1928 auf 459 und im Jahre 1929 gar auf 652·5 cm. Seither hat sie zwar diesen Wert nicht mehr erreicht, betrug aber immerhin im Jahre 1930 534 und im Jahre 1933 368 cm. Da eine Absenkung

¹) Für dessen Mitteilung sei auch an dieser Stelle dem Herrn Ingenieur der Tiwag P. Gaspari und Herrn Hofrat M. Kojetinski wärmstens gedankt.

des Seespiegels bis auf zehn Meter unter Pegelnull vorgesehen ist, kennzeichnet sich die Amplitude, innerhalb der die Seeoberfläche während eines Jahres auf- und abschwanken kann, durch einen Wert von fast elf Metern.

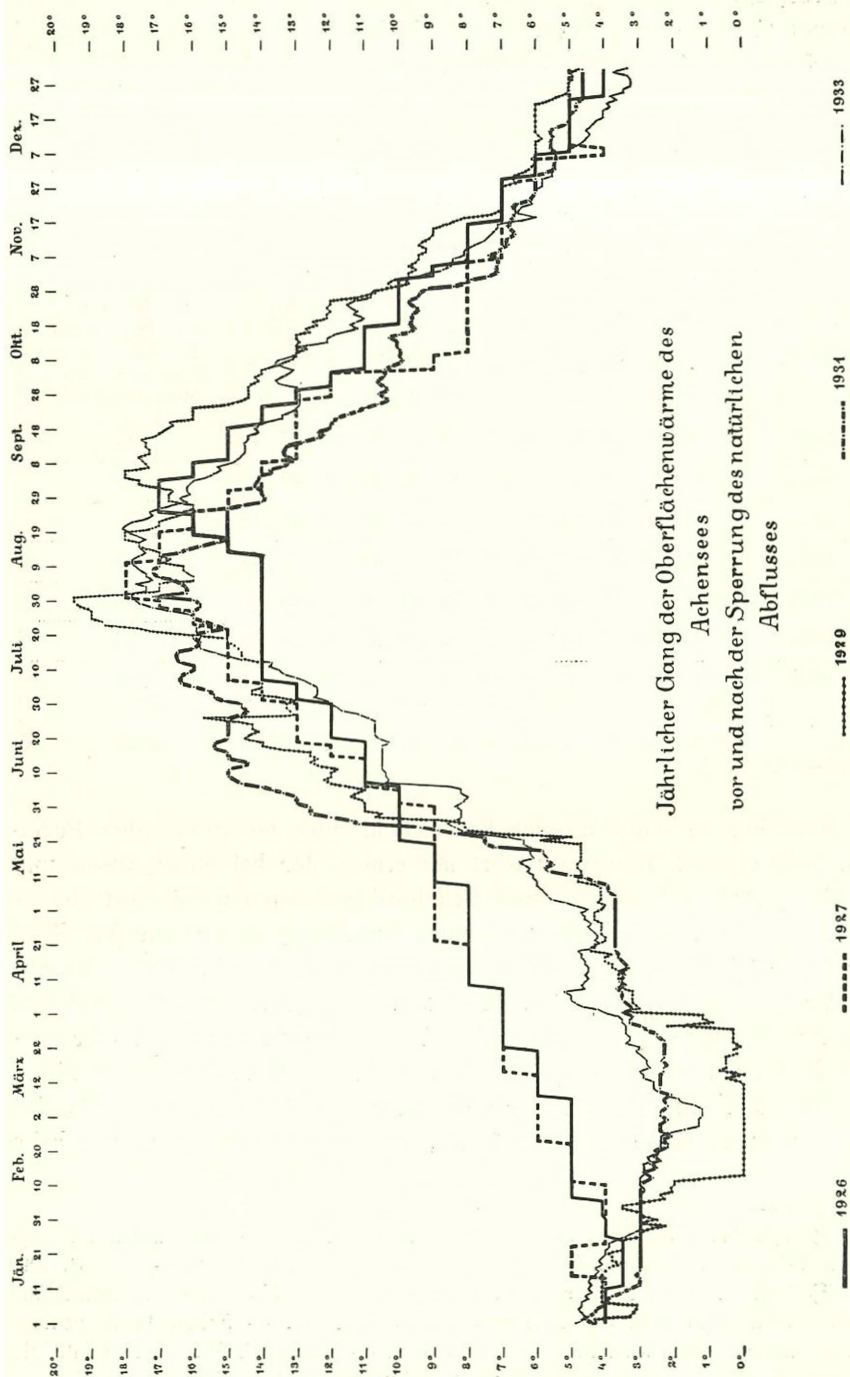
Tabelle 1. Monatsmittel des Wasserstandes des Achensees in cm. (Pegelstation Pertisau; Pegelnullpunkt 928·85 m über der Adria¹⁾)

Jahr	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedersten Monatsmittel
1921	23	30	27	38	43	46	43	33	40	50	56	47	40	33
1922	54	42	43	38	51	55	60	47	55	49	48	49	49	22
1923	44	48	40	46	62	62	55	43	41	56	50	46	49	22
1924	36	22	14	42	63	58	46	57	56	48	50	32	44	49
1925	12	5	—1	15	42	38	35	52	45	50	46	45	32	53
1926	48	47	56	57	64	65	62	63	39	35	35	27	50	38
1927	27	17	22	45	67	58	53	59	63	49	19	—67	34	134
Mittel der Jahre 1921—1926	36	32	30	39	54	54	50	49	46	48	47	41	44	24

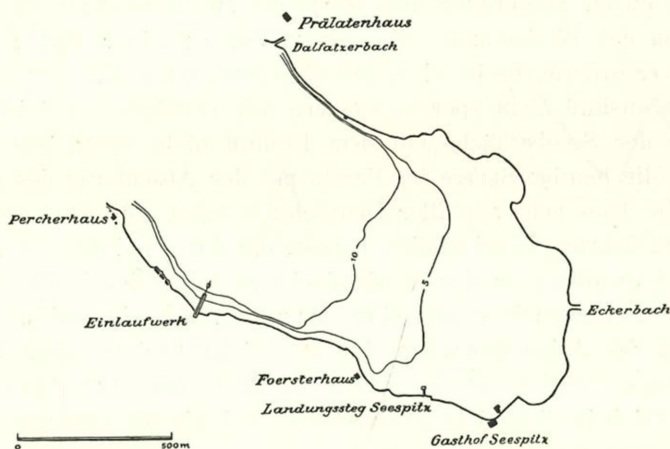
Erscheint es schon an sich bedenklich, einen bei 70 cm über Pegelnull beobachteten Temperaturwert mit einem, der bei einer Absenkung des Seespiegels auf 500 cm unter Pegelnull gewonnen wurde, auf gleiche Stufe zu stellen, so verdient auch noch Beachtung, daß es für den Grad der Oberflächentemperatur nicht gleichgültig ist, welche Tiefe der See an der Messungsstelle besitzt. In diesem Belange sei darauf verwiesen, daß eine Messung²⁾ am 8. September 1926 zwischen 10 und 11 Uhr vormittags bei einer Luftwärme von 19·0° C in der Mitte des Sees nördlich von Pertisau eine Wärme der Oberfläche von 16·15° C feststellte, bei Pertisau selbst eine solche von 16·75°, am gegenüberliegenden Ufer beim

¹⁾ Vgl. W. Hacker, Neue Lotungen und Temperaturmessungen im südlichen Teile des Achensees. Mitt. d. Geogr. Gesellschaft in Wien. — 1928, S. 106.

²⁾ Vgl. O. Ampferer u. K. Pinter, Über geologische und technische Erfahrungen beim Bau des Achenseewerkes in Tirol. — Jahrbuch d. geolog. Bundesanstalt Wien, 77. Band, 1927, S. 318 ff. — Vgl. auch W. Halbfäß, Die Thermik des Ladogasees. Petermanns Mitteilungen 1934, S. 78.



Prälatenhaus (siehe Abbildung 3) von 16.85° , beim Einlaufwerk von 16.95° C, beim Försterhaus von 17.10° , beim Dampfersteg Seespitz von 17.20° und am Süden des Sees von 18.20° . Obwohl die Entfernung zwischen Pertisau und der letztgenannten Messungsstelle, längs des Ufers gemessen, bloß 2.7 km beträgt, bestand auf dieser Strecke ein Temperaturunterschied von nahezu 1.5° . Die starke Zunahme der Oberflächenwärme südöstlich vom Försterhaus ist sichtlich auf die Abnahme der Seetiefe in dieser Richtung zurückzuführen. Bezüglich der Messungsstelle Pertisau muß in diesem Zusammenhange ferner darauf verwiesen werden, daß dort die Fünfmeterisobathe in einer Uferentfernung von rund 25 m verläuft, so daß sich selbst Absenkungen von weniger als fünf Metern in dem Wärmezustande des Wassers der Uferpartien lebhaft auszuwirken vermögen, weil bei der geringen Wassertiefe der von den Sonnenstrahlen erwärmte Seeboden sich an der Erwärmung des Seewassers um so stärker zu beteiligen vermag, je seichter dieses ist¹.



Das Süden des Achensees

Nach der Tiefenkarte W. Hackers in „Neue Lotungen u. s. w.“ Mitteil. d. Geogr. Ges. Wien 1926

Abb. 3.

Wir werden uns im folgenden mit den hohen Oberflächentemperaturen im Juli des Jahres 1928 zu beschäftigen haben, die um die Mitte dieses Monates sogar den Wert von 21° erreichten. Sie waren es vor allem,

¹⁾ Vgl. J. N. Brönsted und C. Wesenberg-Lund, Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer. Internat. Revue der gesamt. Hydrobiologie und Hydrographie. Leipzig, 1912, S. 276 u. 277, und W. Halbfafß, Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde, Berlin, 1923, S. 195.

die auf das im Februar errichtete Sperrwerk am Nordende des Sees zurückgeführt wurden. Es sollte dem warmen Oberflächenwasser den Austritt aus dem See verwehrt und dadurch dessen Wärmeverhältnisse in den obersten Schichten „kontinentaler“ gestaltet haben¹. Einen Maßstab für die Beurteilung des Wertes dieser Temperaturzahlen gibt im Zusammenhalt mit dem über den Einfluß geringer Wassertiefe auf die Erwärmung eben Gesagten die Bemerkung im Messungsprotokolle, die erklärt, der Beobachter habe diese Temperaturbestimmungen vor seinem Hause (also nicht am gewöhnlichen Orte), an „seichten Stellen“ vorgenommen, die „je nach Seebewegung in der Temperatur stark schwanken“.

Abgesehen von dem Mangel an Zuverlässigkeit, der mithin diesen Messungen anhaftet, muß noch darauf verwiesen werden, daß bereits vor der gegenwärtigen Seesperre des Achenseewerkes fast an der gleichen Stelle wie diese schon eine solche bestand². Der Sixerbauer hatte sich nämlich hier eine ziemlich primitive Anlage geschaffen, die es ihm ermöglichte, durch Staubretter den Seespiegel zu heben oder zu senken, je nachdem der Werkskanal, den er vom See zu seiner Mühle geführt hatte, dies erforderte. Es ist klar, daß die Einwirkung dieser Stauanlage, die den Seeausfluß nicht sperrte, sondern nur verzögerte, auf die jeweilige Höhe der Seeoberfläche mit dem Einfluß nicht verglichen werden kann, den die heutige Sperre im Verein mit der Absenkung des Seespiegels ausübt. Dies geht mit aller Deutlichkeit schon aus den in der Tabelle 1 angeführten Pegelständen hervor, die das Produkt aus den natürlichen Schwankungen der Seeoberfläche und dem durch die alte Anlage hervorgerufenen Stau darstellen. Immerhin war aber schon vor der Errichtung des Achenseewerkes eine künstliche Beeinflussung der Abflußverhältnisse vorhanden. Im Sinne der Brückner'schen Theorie vermochte sie sich freilich nicht auszuwirken, weil sie die ansaugende Wirkung des Seeausflusses nicht aufhob.

Zusammenfassend muß gesagt werden, daß das Beobachtungsmaterial nicht nur bezüglich seiner Güte mehrfach zu wünschen übrig läßt, sondern auch Fehlerquellen in sich birgt, welche die Grundlagen der nachstehenden Erörterungen von vornherein unsicher gestalten und daher geeignet sind, die Zuverlässigkeit des gewonnenen Ergebnisses zu beeinträchtigen.

Was am augenfälligsten in die Erscheinung trat und infolgedessen auch die Aufmerksamkeit der Seeanwohner in erster Linie auf sich zog,

¹) Vgl. „Der Achensee und seine Wiederauffüllung“, Innsbrucker Nachrichten vom 9. Juli 1928.

²) Nach einer freundl. Mitteilung des Ing. P. Gaspari.

war, wie schon hervorgehoben wurde, das Ansteigen der absolut höchsten Oberflächenwärme auf eine bisher noch nicht beobachtete Höhe. In der Abbildung 4 sind für die Jahre 1911 bis 1935 die Schwankungen dargestellt, die sich sowohl innerhalb der absoluten Maxima als auch im Bereiche der höchsten Monatsmittel der Oberflächentemperatur während dieser Zeit vollzogen.

Das Graphikon zeigt vor allem mit voller Deutlichkeit, daß die in Frage stehenden Werte nicht nur keinerlei Beständigkeit besitzen, sondern sich nicht einmal zu beiden Seiten einer Mittellinie bewegen. Ihre Tendenz ist seit dem Jahre 1920 ausgesprochen steigend. Im großen ganzen vermögen wir innerhalb der sich fortwährend vollziehenden Änderungen im Ausmaße des erreichten höchsten Wärmegrades drei Abschnitte zu unterscheiden: im ersten, der mit einer Maximaltemperatur der Seeoberfläche von 16° beginnt und im Jahre 1920 mit einer solchen von 14°

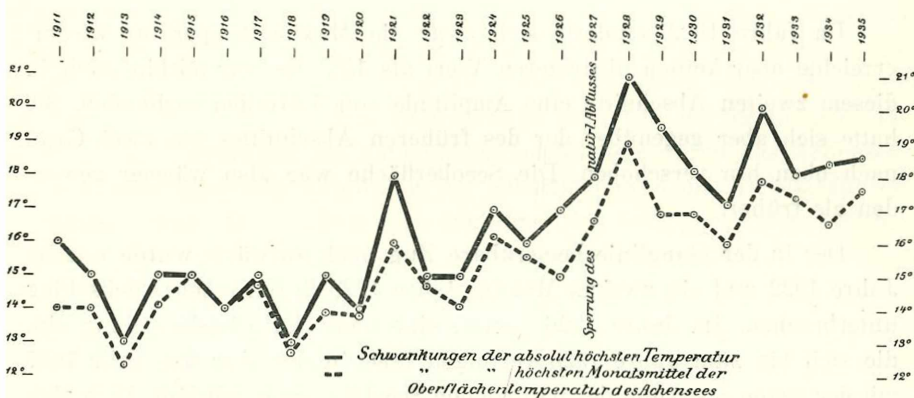


Abb. 4.

endet, findet sich zweimal ein Absinken der Höchstwärme auf bloß 13° . In diesem Zeitraume bestand demnach zwischen den erreichten Höchstwerten eine Amplitude von drei Graden. Im besonderen sei die Aufmerksamkeit auf die Spannung gegenüber den Schwankungen der höchsten Monatsmittel gelenkt, deren Mangel an Einheitlichkeit wohl nicht in letzter Linie auf die bereits erwähnte Ablesung der Temperaturen in ganzen Graden zurückzuführen sein dürfte. Im Jahre 1921 stieg die Höchstwärme der Seeoberfläche auf 18° . Sie übertraf dadurch die des vorausgegangenen Jahres um nicht weniger als vier Grade. Diese Tatsache ist von besonderer Wichtigkeit, weil sie zeigt, daß sich namhafte Steigerungen der Oberflächenwärme schon in der Zeit vor der Errichtung des Achenseewerkes einstellten. Ihre Ursache in der alten Stauanlage beim

Sixerbauern zu suchen, wäre nur dann gerechtfertigt, wenn diese in ihren Wirkungen mit dem Achenseewerke auf die gleiche Stufe gestellt werden könnte. Aber selbst wenn sie das warme Oberflächenwasser zurückzuhalten vermocht hätte, wäre der vorliegende Fall kein tauglicher Beweis hiefür, weil das Auftreten des Maximums der Oberflächenwärme Ende Juli und anfangs August sich ereignete, demnach in eine Zeit fiel, in der nach der Tabelle 1 der Pegelstand des Sees im Mittel nur 38 cm betrug und somit um mehr als 10 cm hinter dem mehrjährigen Durchschnitt dieser beiden Monate zurückblieb. Dies spricht nicht für eine besondere Stauung des Seespiegels und damit auch nicht für ein derartiges Zurückhalten des warmen Oberflächenwassers, daß dessen außergewöhnlich hohe Temperatur daraus erklärt werden könnte. Der Grund für diese kann nicht in einem Eingreifen des Menschen in die natürlichen Abflußverhältnisse gefunden werden, er muß auf einem anderen Gebiete gesucht werden.

Im Jahre 1922 minderte sich zwar die Maximaltemperatur wieder, erreichte aber keinen niedrigeren Wert als 15°. Es war mithin auch in diesem zweiten Abschnitte eine Amplitude von 3 Graden vorhanden. Sie hatte sich aber gegenüber der des früheren Abschnittes um zwei Grad nach oben hin verschoben. Die Seeoberfläche war also wärmer geworden als früher.

Der in der Ganglinie bemerkbare Zug nach aufwärts wurde nur im Jahre 1922 und ein zweites Mal im Jahre 1925 durch einen Rückschlag unterbrochen. Im Jahre 1926 setzte eine neue Aufwärtsbewegung ein, die sich bis zum Jahre 1928 verfolgen läßt, in die aber das Jahr 1927 mit der neuen Sperrung des natürlichen Seeabflusses hineinfällt. Was sich vor diesem Ereignisse vollzog, hat demnach mit der durch diese veranlaßten Änderung des Wasserhaushaltes des Sees nichts zu tun. Die durch die alte Stauanlage hervorgerufene ist zu geringfügig, als daß sie hiebei in Frage käme. Auch die Maximaltemperatur des Jahres 1927, die vom 31. Juli bis 10. August herrschte, gehört noch der Vorperiode an, da zwar Versuche der Seesperrung schon in der Zeit zwischen dem 11. und 13. Juli veranstaltet wurden, die endgültige Inbetriebsetzung des Kraftwerkes aber erst am 1. September dieses Jahres stattfand.

Lassen wir den zweiten Abschnitt mit dem Jahre 1927 enden, so umfaßt der dritte die Zeit, in der sich im Sinne der Brückner'schen Theorie die Folgen der Veränderung der Abflußverhältnisse im Bereiche des Wärmehaushaltes des Sees zu erkennen geben mußten. In der Tat finden wir im Jahre 1928 ein Ansteigen der Oberflächenwärme auf einen

Wert, der drei Grade über dem des Vorjahres gelegen war. So auffällig dies namentlich im Hinblick auf die Höhe der erreichten Temperatur ist, so dürfen wir doch nicht aus dem Auge verlieren, daß der Sprung vom Jahre 1920 zum Jahre 1921 unter wesentlich anderen Absperrungsverhältnissen sogar noch um einen Grad größer war und die im Juli 1928 abgelesenen Temperaturwerte vermöge ihrer Gewinnung an seichten Stellen nicht vollwertig in Rechnung gestellt werden dürfen. Immerhin scheint das Emporschnellen der Oberflächenwärme an sich eine dem Achensee eigentümliche Erscheinung zu sein.

In dieser Auffassung werden wir durch die Tatsache bestärkt, daß sich in den nächsten drei Jahren ein ununterbrochener Abstieg der Temperatur bis zum Werte von 17.2° vollzog und erst im Jahre 1932 ein neuerlicher Anstieg um fast drei Grade einsetzte, dem schon im Jahre 1933 wieder ein Rückgang um zwei Grade folgte. Genau genommen ist die Erhöhung der Oberflächenwärme vom Jahre 1927 zum Jahre 1928 nur eine Fortsetzung der zunehmenden Erwärmung des Sees, die schon im Jahre 1926 ihren Anfang genommen hatte. Das Herabsinken der Oberflächentemperatur im Jahre 1931 auf eine Höhe, die unter jener liegt, die sie schon im Jahre 1921 erreicht hatte, spricht ferner nicht dafür, daß die Sperrung des natürlichen Seeabflusses durch das Achenseewerk eine bleibende Erhöhung der Oberflächenwärme herbeizuführen imstande war. Die starken Schwankungen der vorausgehenden Zeit begegnen auch in den Jahren nach der neuen Sperre wieder.

Fassen wir in diesem Zusammenhange auch den Verlauf der Ganglinie der höchsten Monatsmittel ins Auge, so fällt uns nicht nur die Gleichsinnigkeit mit den Schwankungen der Höchsttemperaturen, sondern auch die Tatsache auf, daß der Abstand zwischen beiden vom Jahre 1926 an sichtlich größer war als vorher. Auch diese Erscheinung reicht aus der Zeit vor der jetzigen Seesperre in die nach dieser hinein und kann demnach nicht als eine Folge der Änderung des Wasserhaushaltes angesehen werden. An sich besagt die Vergrößerung der Spannung, daß das Anschwellen der absoluten Maximaltemperatur eine vereinzelte Erscheinung war, hinter welcher der längere Zeit anhaltende allgemeine Erwärmungszustand der Seeoberfläche mehr oder weniger weit zurückblieb.

Die Würdigung der Höchstwerte der Oberflächenwärme hat uns mithin zu dem Ergebnisse geführt, daß wir den Ursachen nachgehen müssen, die schon seit dem Jahre 1921 eine, wenn auch nicht kontinuierliche Aufwärtsbewegung der Temperatur der Seeoberfläche im Gefolge hatten.

Bevor wir der Beantwortung dieser Frage nähertreten können, erscheint es notwendig,

1. den jährlichen Gang der Oberflächenwärme einer Musterung zu unterziehen und

2. sich mit den Veränderungen zu beschäftigen, welche die Spannung zwischen der absolut höchsten und niedersten Oberflächenwärme, beziehungsweise die zwischen den extremen Monatsmitteln dieser Temperatur in der Zeit seit dem Jahre 1921 erfuhr, da diese Veränderungen als ein Beweis für die Zunahme der „Kontinentalität“ in den Wärmezuständen der Seeoberfläche angesprochen werden könnten.

Der jährliche Gang der Oberflächenwärme zeigt manche beachtenswerte Eigentümlichkeit. In Abbildung 2 tritt auffallend zutage, daß in den Jahren vor der gegenwärtigen Seesperre der Anstieg von der Winter- zur Sommerwärme ziemlich allmählich vonstatten ging, während aus den Beispielen der Jahre 1929, 1931 und 1933 ein längeres Verweilen der Oberflächenwärme bei niedrigeren Temperaturen und Ende Mai ein ziemlich jähes Anschwellen zur Höchsttemperatur ersichtlich ist. Es war also vor der Seesperre die Oberflächenwärme in dieser Zeit größer als nach ihr. Dies ließe den Schluß zu, daß das Sinken der Frühjahrswärme des Seespiegels eine Funktion der neuen Seesperre gewesen sei. Dabei ist im Auge zu behalten, daß die im Zusammenhang mit letzterer durchgeführte Absenkung des Seespiegels sich aus dem Winter über das ganze Frühjahr erstreckte und im März oder April ihr Maximum erreichte. Die niedrige Temperatur der Seeoberfläche in den Frühjahrsmonaten läßt sich mithin mit der Annahme E. Brückners¹ nicht in Einklang bringen, es könne im Winter durch Entnahme des Oberflächenwassers, in der warmen Jahreszeit durch solche aus größeren Tiefen eine Verminderung der Oberflächentemperatur vermieden werden. Der Grund hiefür mag vielleicht darin zu suchen sein, daß selbst zur Zeit der maximalen Spiegelsenkung die Wasserentnahme nicht aus der Oberflächenschichte oder wenigstens nicht ausschließlich aus ihr erfolgte und in der in Frage stehenden Zeit auch nicht von einer Wasserentnahme aus größeren Tiefen die Rede sein konnte. Daß in den Monaten November, Dezember und Jänner keine so bedeutenden Temperaturunterschiede zwischen der Zeit vor und jener nach der Sperre des Achenseewerkes aufscheinen, ist eine weitere beachtenswerte Tatsache.

An dem im Graphikon ausgewiesenen Temperaturunterschied in den Monaten Februar und März werden wir aber sofort irre, sobald wir die

¹) Wirkung der Wasserentnahme auf die Temperaturen bei Binnenseen. A. a. O. S. 524.

Sachlage beispielsweise im Jahre 1926 einer genaueren Prüfung unterziehen. Die in dem Graphikon der Abbildung 2 verwerteten Oberflächen-temperaturen waren: vom 1. bis 11. Jänner: 4° , vom 12. bis 25. Jänner: 3.5° , vom 26. bis 31. Jänner: 4° , vom 1. bis 5. Februar: 4.1° , vom 6. Februar bis 7. März: 5° . Dem steht gegenüber, daß der Achensee am 2., 3., 15., 20., 21. und 25. bis 28. Jänner, am 1. bis 8., am 14. und 26. Februar sowie am 1. März teilweise eine Eisdecke trug, also Stellen hatte, an denen sich die Oberflächenwärme auf 0° belief.

Diese Unstimmigkeit begegnet im Laufe des behandelten Zeitraumes mehrfach. Es wurden daher in der Tabelle 3 die den Messungsprotokollen entnommenen absolut niedersten Temperaturwerte wegen des Mangels an allgemeiner Gültigkeit in Klammern gesetzt.

Unter Berücksichtigung obiger Tatsache müßte demnach das Graphikon des Jahres 1926 bis zum 1. März mit der Ordinate 0° verlaufen. Wir hätten dann eine Ganglinie, die von der des Jahres 1929 keineswegs im besonderen Maße abweiche. Damit verschwände auch der auffallende Unterschied zwischen dem Wärmezustande der Seeoberfläche vor und nach der jetzigen Seesperre in dem in Frage stehenden Abschnitte des Jahres. Abgesehen davon darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß die Beobachtungen für die Monate Februar und März des Jahres 1917 eine Oberflächenwärme von 0° feststellen konnten, daß im Jahre 1922 in der Zeit vom 27. Jänner bis 17. Februar und ebenso vom 1. bis 7. März des Jahres 1924 eine solche von 1° , ferner im Jahre 1923 zwischen dem 25. Jänner und 1. Februar eine solche von 2° abgelesen wurde, woraus erhellt, daß derart niedrige Temperaturen wie in den Jahren nach der Errichtung des neuen Sperrwerkes schon vor dieser beobachtet werden konnten. Dies besagt aber nichts anderes, als daß die im Graphikon zutage tretenden Unstimmigkeiten im Verlaufe der Ganglinien nicht auf Rechnung der Seesperre zu setzen sind und daß sie, sofern sie in ihnen nicht die Unzulänglichkeit des Beobachtungsmaterials auswirkt, auf andere Ursachen zurückgeführt werden müssen. Im übrigen sei noch bemerkt, daß selbst aus den mangelhaften Beobachtungen des Jahres 1927 vom 1. Juni an ein ziemlich rascher Temperaturanstieg hervorgeht, während andererseits auch in den Jahren nach der neuen Seesperre Unterschiede in der Steilheit des Anschwellens zur Höchsttemperatur aufscheinen. Es sei in diesem Belange nur auf das Jahr 1931 im Vergleiche mit dem Jahre 1933 verwiesen.

Eine weitere auffallende Erscheinung ist der Wechsel des Zeitpunktes, in dem sich in den einzelnen Jahren die Höchsttemperatur des Seespiegels einstellte. Aus den Abbildungen 2 und 5 geht hervor, daß Ver-

schiebungen in dieser Hinsicht sowohl der Zeit vor als nach der gegenwärtigen Seesperre eigentümlich sind. Wenn sich andererseits zeigt, daß sich die höchste Erwärmung nach dieser in der Regel nur auf einen Tag beschränkte, vorher aber längere Zeit hindurch herrschte, so führt sich dieser Unterschied unzweifelhaft auf die Ablesung des jeweiligen Wärmezustandes in ganzen Graden zurück, die, wie bereits bemerkt wurde, Beharrungstemperaturen vorzutauschen geeignet sind (vgl. Abbildung 5).

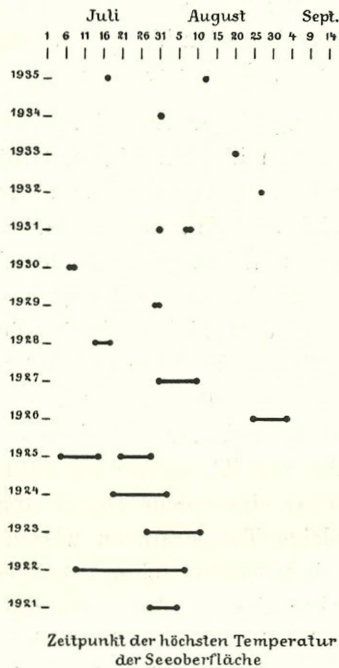


Abb. 5.

Der absteigende Ast der Ganglinie der Oberflächenwärme verläuft derart, daß von einem Unterschiede, der sichtlich in der Veränderung des Seeabflusses seinen Grund hätte, nicht gesprochen werden kann.

Hatte die Errichtung des Achenseewerkes tatsächlich eine tiefgreifende Änderung des Wärmehaushaltes des Sees im Gefolge, so mußte sich dies vor allem in der Zahl der Tage äußern, während denen der Seespiegel in den einzelnen Jahren gewisse hohe Temperaturgrade aufwies. In der Tabelle 2 sind die Zahlen der Tage mit einer Oberflächenwärme von 17° und von mehr als 17° verzeichnet. Den 10, beziehungsweise 23 Tagen der Jahre 1926 und 1927 stehen in den Jahren 1928 und

Tabelle 2

Zahl der Tage mit einer Oberflächenwärme von

Jahr	unter 4°						4°						Zu- sam- men	17°						über 17°				Zu- sam- men			
	Jän.	Febr.	März	April	Mai	Dez.	Sum- me	Jän.	Febr.	März	April	Mai		Dez.	Sum- me	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Sum- me	Juni	Juli	Aug.		Sept.	Sum- me	
1926	14	—	—	—	—	—	14	17	—	—	—	—	—	9	26	40	—	—	7	3	10	—	—	—	—	—	10
1927	—	—	—	—	—	—	0	21	10	—	—	—	3	34	34	34	—	3	9	—	12	—	1	10	—	11	23
1928	—	—	—	—	—	19	19	20	29	—	—	—	1	50	69	69	1	4	12	—	17	—	27	19	—	46	63
1929	14	28	31	16	—	—	89	3	—	—	4	1	—	8	97	97	—	—	7	1	8	—	11	7	16	34	42
1930	9	16	—	—	—	—	25	8	10	19	—	—	—	37	62	62	—	6	—	6	—	—	12	—	—	12	18
1931	23	28	31	30	8	—	120	3	—	—	—	—	—	3	123	123	—	—	5	—	5	—	1	2	—	3	8
1932	—	24	31	27	—	—	82	3	—	—	—	—	—	—	3	85	—	1	1	5	7	—	12	23	15	50	57
1933	9	28	31	—	—	12	80	2	—	—	1	—	3	6	86	86	—	—	—	0	—	—	4	25	—	29	29
1934	31	28	13	—	—	—	72	—	—	—	—	—	—	0	72	72	—	—	1	—	1	—	4	6	—	10	11
1935	—	24	31	12	—	—	67	—	2	—	5	—	—	7	74	74	1	1	1	—	3	2	28	8	—	38	41
Zehn- jährig- Mittel	10.0	17.6	16.8	8.5	0.8	3.1	56.8	7.7	5.1	1.9	1.0	0.1	1.6	17.4	74.2	74.2	0.2	1.5	4.3	0.9	6.9	0.2	10.0	10.0	3.1	23.3	30.2

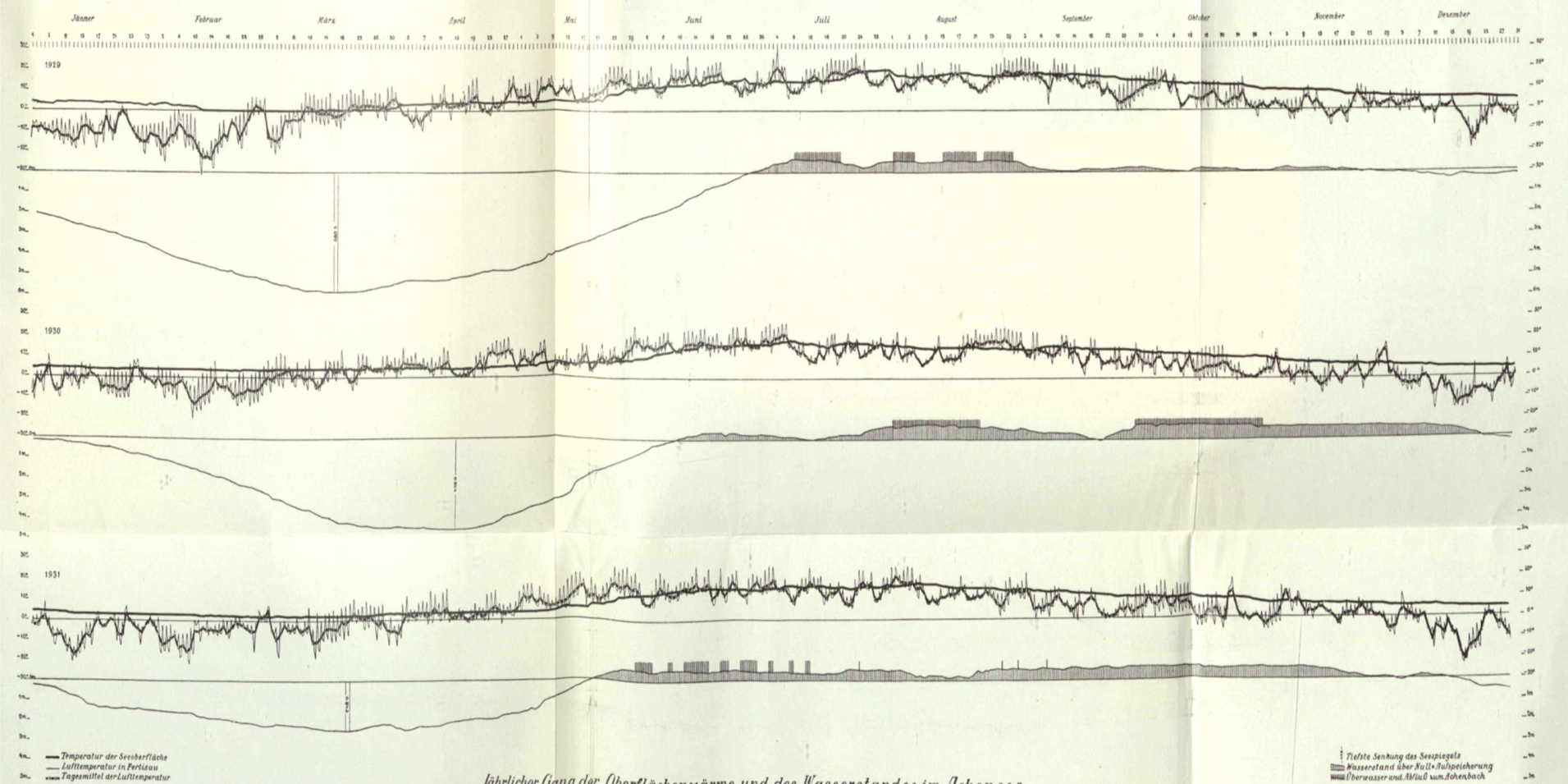
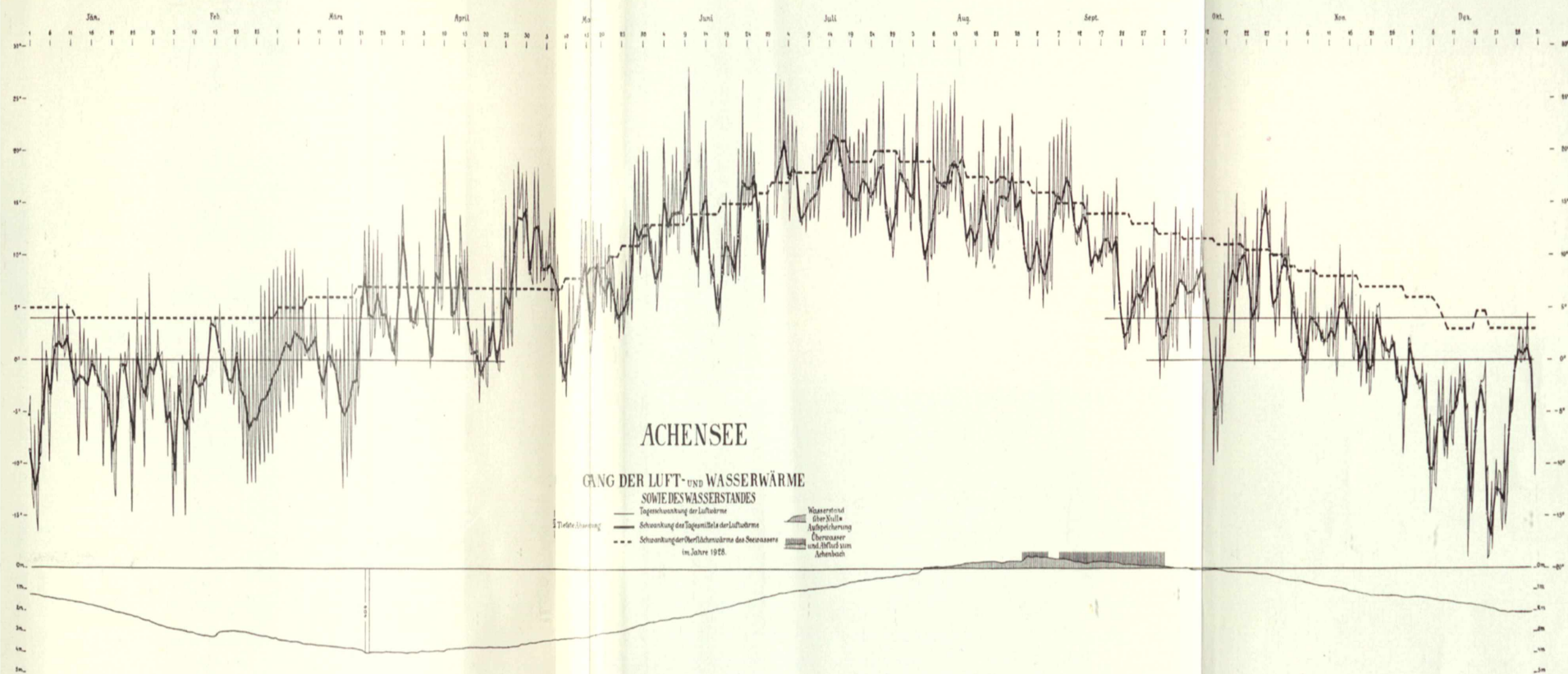
1929 63, beziehungsweise 42 Tage gegenüber. Dieser Zuwachs läßt klar erkennen, daß sich die Wärme des Seespiegels nach der Erbauung der neuen Seesperre namhaft erhöhte. Aber schon im Jahre 1930 sank diese Zahl auf 18 und im Jahre 1931 gar auf 8 Tage, mithin auf Werte, die hinter denen der Jahre 1926 und 1927 noch zurückblieben. Diese Tatsache ist mit der Annahme, es hätte das Achenseewerk dem Wärmehaushalt des Sees einen „kontinentaleren“ Charakter verliehen, nicht vereinbar. Wäre dies der Fall, dann mußte sich auch in diesem Belange eine Dauerwirkung zeigen, die wenigstens innerhalb einer gewissen Zone den Wärmezustand des Seespiegels auf annähernd gleicher Höhe erhielt. Solche Unterschiede, wie sie eben aufgezeigt wurden, fügen sich aber nicht in einen derartigen Rahmen. Im Jahre 1932 hob sich die in Frage stehende Tageszahl wieder auf 57, verminderte sich aber schon im nächsten Jahre auf 29 und im Jahre 1934 gar auf 11. Erst das Jahr 1935 brachte wieder ein Anschwellen auf 41 Tage. Es ergibt somit auch diese Betrachtung, daß

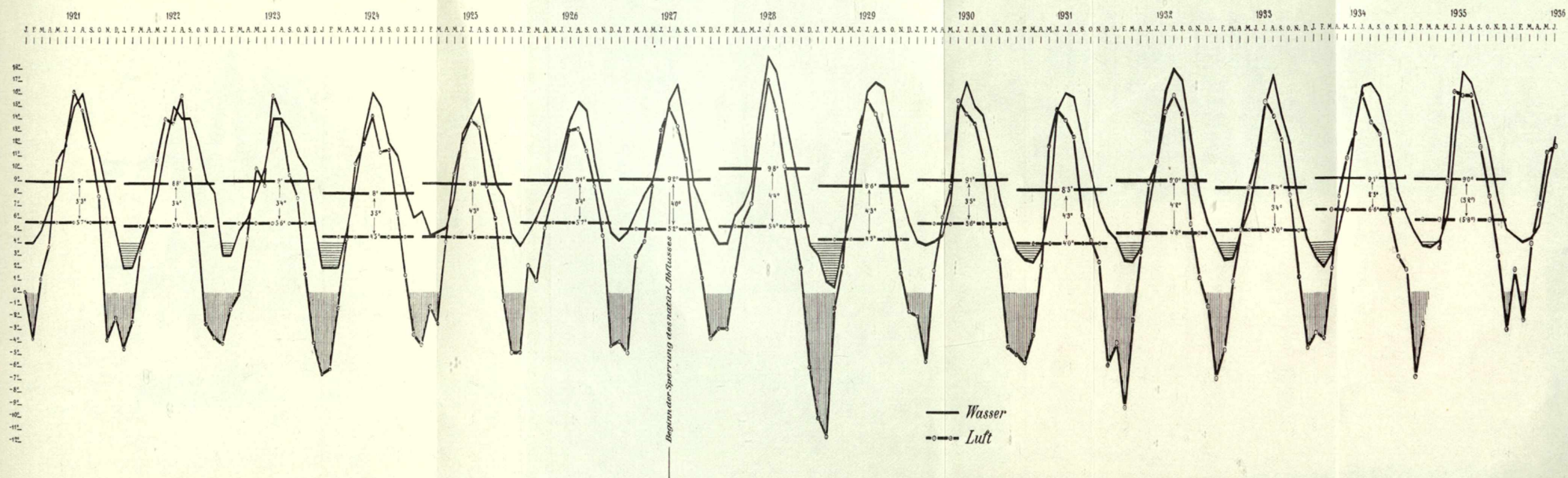
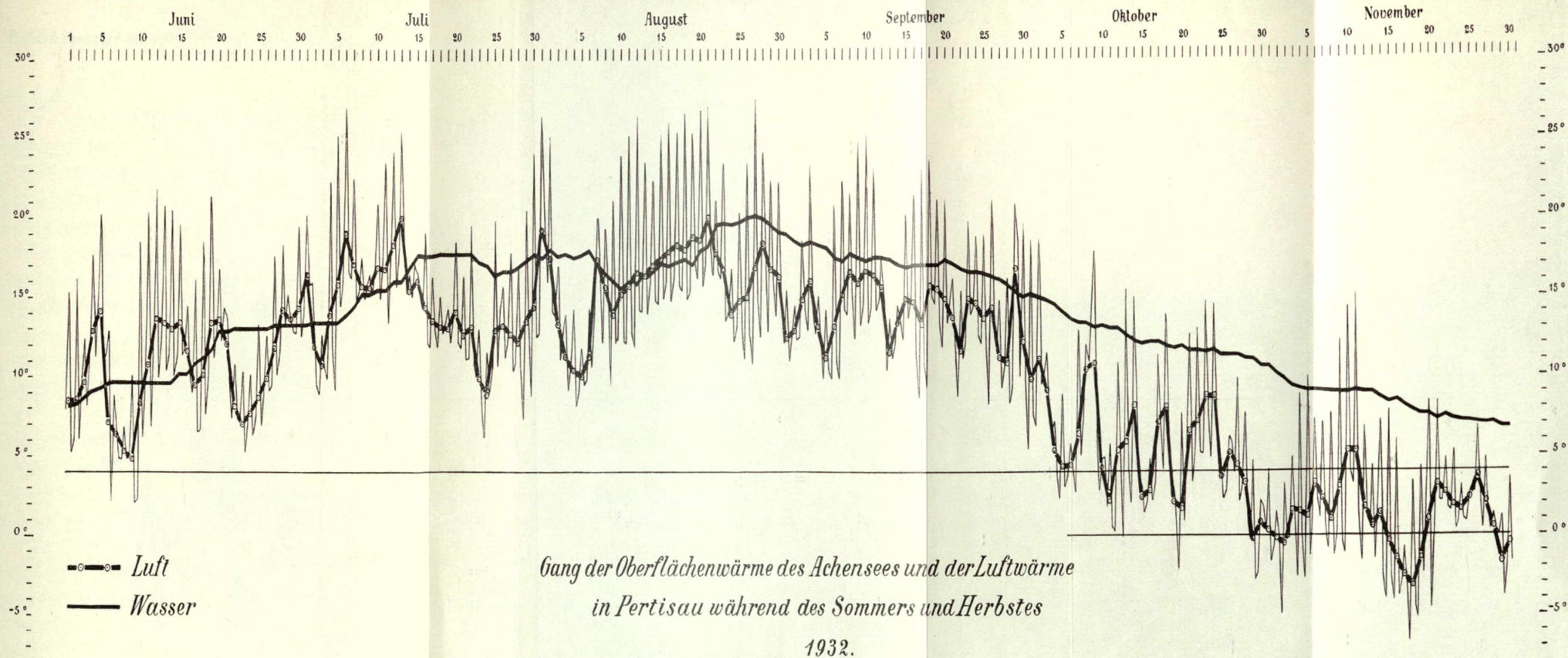
1. die neue Seesperre keineswegs eine scharfe Grenze zwischen vorher und nachher bildet, und
2. die Schwankungen in der Dauer der stärksten Erwärmung der Seeoberfläche durch die Verhinderung des Abflusses des warmen Oberflächenwassers nicht oder wenigstens nicht ausschließlich bedingt sein können.

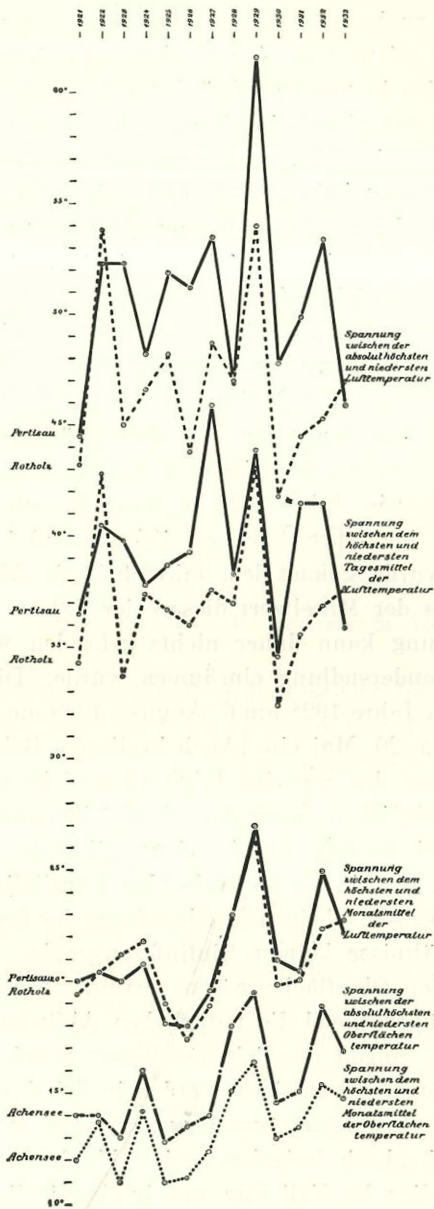
Im Gegensatze zur Zahl der Tage des Maximums der Seespiegelwärme hat sich die Zahl der Tage mit einer Oberflächentemperatur von 4° und von unter 4° nach der Errichtung der neuen Sperre auf einer größeren Höhe gehalten als vorher. Dies hängt mit den Vereisungsverhältnissen zusammen. Über die Ungleichmäßigkeit der Temperaturangaben in dieser Zeit wurde bereits oben gesprochen. Die Vereisung selbst wird im folgenden noch eingehender gewürdigt werden.

Wenden wir uns nun den Spannungsverhältnissen zu, so vermögen wir der Abbildung 6 zu entnehmen, daß sich die Spannungswerte in ihrer Größe zwar ziemlich von einander unterscheiden, daß aber auch in ihnen sich schon im Jahre 1924 eine steigende Tendenz geltend macht, die nur durch drei Rückschläge: im Jahre 1925, 1930 und 1933 unterbrochen wird. Es begann also auch die Vergrößerung des Extremintervalles schon in der Zeit vor der jetzigen Seesperre.

Dem Rückschlag im Jahre 1930 kommt deswegen besondere Bedeutung zu, weil ein Zurückgehen der Spannung von 19.5° auf 14.6° , dem-







Schwankungen der Spannung der Extreme der Luft und Wasserwärme in den Jahren 1921 - 1933.

Abb. 6.

nach ein Abswellen um rund fünf Grade sichtlich mit der Annahme nicht in Einklang zu bringen ist, die Vergrößerung des Abstandes der Temperaturextreme sei nur als eine Funktion der neuen Seesperre anzusehen. Wäre sie dies in uneingeschränktem Maße, dann müßten sich in der Absenkung des Seespiegels in diesem Jahre derartige Veränderungen vollzogen haben, daß die Wirkung der Seesperre auf den Wärmezustand der Seeoberfläche ausgeschaltet wurde und sich automatisch ein Zustand entwickeln konnte, der nahezu dem des Jahres 1922 mit seinen fast natürlichen Abflußverhältnissen glich, ja hinsichtlich der Monatsmittel sogar hinter diesem zurückblieb.

Zwecks Beantwortung der Frage, ob die Absenkungsvorgänge im Jahre 1930 an dem Rückgang des Extremintervalles schuld sind, sei der Blick auf die Abbildungen 7 u. 8, Taf. VII, gelenkt, in denen für die Jahre 1928 bis 1931 neben dem Gange der Oberflächenwärme auch das jeweilige Ausmaß der Absenkung des Seespiegels zur Veranschaulichung gebracht ist. Da dessen Niveau im Jahre 1928 im Maximum um 404 cm, im Jahre 1929 um 583·5 cm, im Jahre 1930 um 458 cm und im Jahre 1931 um 248 cm erniedrigt wurde, kommt dem Jahre 1930 ein Absenkungsgrad zu, der größer war als der Mittelwert dieser vier Jahre. In dem Ausmaße der Seespiegelsenkung kann daher nichts gefunden werden, was dem Jahre 1930 eine Sonderstellung einräumen würde. Die Auffüllung des Achensees setzte im Jahre 1928 am 6. August, 1929 am 28. Juni, 1930 am 9. Juni und 1931 am 20. Mai ein. Auch in diesem Belange ist ein ungewöhnliches Verhalten des Sees im Jahre 1930 nicht zu erblicken. Vergleichen wir den jährlichen Gang der Oberflächenwärme in den Jahren 1929, 1930 und 1931, so fällt uns im Gegenteil trotz dem verschiedenen Grade der Absenkung ein so weitgehender Parallelismus auf, daß er allein schon zu beweisen scheint, die Absenkung des Seespiegels habe auf dessen Wärmeverhältnisse keinen Einfluß ausgeübt. Die Gleichmäßigkeit des Ganges der Oberflächenwärme erfuhr aber auch dann keine Störung, wenn vorübergehend die natürlichen Abflußverhältnisse wieder hergestellt wurden. Sobald nämlich der Wasserstand des Sees eine gewisse Höhe über Pegelnul erreicht, werden in Scholastika die Schützen, die den natürlichen Seeabfluß sperren, gezogen und dem Überwasser der Weg nach dem Achenbach freigegeben. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen, an welchen Tagen dies der Fall war, und inwieweit die Zeiten des Überwassers der einzelnen Jahre miteinander übereinstimmten.

Ob und in welchem Umfange die Überwasserabgabe im einzelnen einen Einfluß auf den Gang der Oberflächenwärme des Sees ausübte, möge aus dem Beispiele der Jahre 1929 und 1931 ersehen werden. In ersterem maß die Temperatur des Seespiegels am 20. Juli erst 15·8°. Am

21. betrug sie schon 17.2° , am 25. erreichte sie 19° und am 30. den Höchstwert des Jahres: 19.5° . Dieser konnte auch noch am nächsten Tage abgelesen werden. In der Zeit vom 8. bis 19. Juli wurde Überwasser abgegeben. Es herrschte demnach während dieser Tage ein natürlicher Abfluß des Sees. Vom 20. bis 31. Juli fand keine Überwasserabgabe statt. Es könnte daher der Anstieg der Oberflächentemperatur am 30. und 31. Juli auf 19.5° der Sperrung des natürlichen Abflusses zugeschrieben werden. Die Beobachtungen im Monate August gewähren jedoch dieser Annahme keine Stütze. In der Zeit vom 1. bis 6., während welcher Überwasser abfloß, erniedrigte sich die Oberflächenwärme zwar von 18° auf 16° und stieg vom 7. bis 12. während einer Sperre von 16.2° auf 17° , aber diese Erhöhung setzte sich auch in den nächsten Tagen noch fort, so daß am 17., 18. und 19. der Seespiegel wieder eine Wärme von 18° erreichte, obwohl vom 13. bis zum 20. August durch Überwasserabgabe ein natürlicher Abfluß des Sees stattfand. Die Sperre des Überwassers am 21. und 22. August hatte keine Erhöhung der Oberflächenwärme im Gefolge. Die Öffnung der Scholastikaschützen in der Zeit vom 23. bis 30. August war dagegen zuerst von einem Sinken der Temperatur von 16.7° auf 16° , vom 28. an aber wieder von einem Ansteigen auf 16.7° begleitet.

Im Jahre 1931 wurde am 6. Juli eine Oberflächenwärme von 16.4° festgestellt. In der Zeit vom 4. bis 6. wurde kein Überwasser abgegeben. Am 7. und 8. gab es solches. Die Wasserwärme blieb aber auf gleicher Höhe. Am 9. und 10. war der Abfluß wieder gesperrt. Die Oberflächentemperatur sank bis auf 16° . Am 11. und 12. war wieder Überwasserabgabe, die Wärme erhob sich am 12. auf 16.4° . Vom 13. bis 23. Juli erfolgte keine Abgabe von Überwasser. Die Temperatur des Seespiegels, die am 13. auf 16.5° gestiegen war, sank bis zum 22. auf 15.1° und erhöhte sich erst am 23. auf 15.4° . Der 24. Juli hatte Überwasser. Trotzdem erhob sich die Seewärme auf 15.7° . In der Zeit vom 25. Juli bis 27. August gab es wieder kein Überwasser. Die Seeoberfläche erreichte am 31. Juli, ferner am 7. und 8. August eine Temperatur von 17.2° . Bis zum 27. August erniedrigte sich diese bis auf 14.6° .

Daraus geht hervor, daß auch im einzelnen ein eindeutiger Einfluß des zeitweiligen Einsetzens des natürlichen Abflusses im Sinne der E. Brückner'schen Theorie sich nicht nachweisen läßt.

Zum Jahre 1930 zurückkehrend, muß noch darauf verwiesen werden, daß in diesem die Seeoberfläche ihre größte Wärme am 7. und 8. Juli erreichte. Da die Überwasserabgabe erst am 1. August begann, demnach zur Zeit der stärksten Erwärmung des Seespiegels der natürliche Abfluß noch gesperrt war, fällt der Rückgang der Maximaltempe-

ratur auf $18^{\circ}2'$ — im Jahre 1929 betrug sie $19^{\circ}5'$, im Jahre 1928 21° — und in weiterer Folge der der Spannung der Extremwerte nicht in den Bereich einer Änderung der Abflußverhältnisse. Er muß demnach durch andere Faktoren als durch die Seesperre bedingt sein.

Eine Stütze dürfte unser bisheriges Ergebnis vielleicht auch in der Tatsache finden, daß im Jahre 1924 der Anstieg der absolut höchsten Oberflächentemperatur von einer Zunahme der Amplitude zwischen den Extremwerten begleitet war, daß aber mit der starken Erhöhung der Maximalwerte im Jahre 1928 das Maximum der Spannung nicht gleichen Schritt hielt, sondern sich erst im Jahre 1929 einstellte, in dem die Höchstemperatur der Seeoberfläche bereits zurückgegangen war. Es erreichten ferner die Temperaturhöchstwerte ihr Minimum erst im Jahre 1931, während sich das Minimum der Spannung — vergl. Abbildung 6 — schon im Jahre 1930 eingestellt hatte. Nicht unbeachtet darf ferner bleiben, daß vom Jahre 1931 an dem Anwachsen der absolut höchsten Temperatur auch eine Erhöhung der Spannung zwischen den Extremwerten entsprach und der Rückgang des ersteren Wertes im Jahre 1933 auf $18^{\circ}1'$ von einem Nachlassen der Spannung begleitet war.

All das sind Erscheinungen, die sich durch die Sperrung des natürlichen Seeabflusses nicht erklären lassen. Um ihren Ursachen nähere treten zu können, müssen wir uns vergegenwärtigen, daß

1. die Erwärmung der Seeoberfläche zwar in erster Linie und in ausschlaggebender Weise im Wege der unmittelbaren Bestrahlung durch die Sonne erfolgt, daß aber auch die Luft, wenn auch im geringen Maße, den Wärmezustand des Seewassers beeinflusst,

2. der Wärmeverlust, den dieses im Laufe des Jahres erleidet, hauptsächlich auf Rechnung der Ausstrahlung zu setzen ist, daß aber die Seeoberfläche der Luft, mit der sie in Berührung steht, auch durch Leitung Wärme zuteil werden läßt, und

3. wie W. Schmidt gezeigt hat¹⁾, die Luft als ein „Indikator“ zu werten ist, der den Einfluß der Witterung auf die Zu- und Abfuhr der Wärme erkennen läßt.

Diese Erwägung legt es nahe, zu untersuchen, ob sich in dem Verhältnisse des jährlichen Ganges der Oberflächenwärme zu dem der Luftwärme seit der heutigen Seesperre Änderungen einstellten, und ob aus diesen vielleicht mittelbar auf Folgen dieser Sperre geschlossen werden kann.

¹⁾ Ein Jahr Temperaturmessungen in 17 österreichischen Alpenseen. Sitzungsberichte d. Akademie der Wissenschaften in Wien, math. naturw. Klasse, Abt. II a, 143. Bd. 1934, S. 441.

Die Abbildungen 7, 8 u. 9 auf Taf. VII u. VIII veranschaulichen uns sowohl den täglichen Gang als auch die Schwankungen der Tagesmittel der Lufttemperatur. Im Vergleiche mit der Ganglinie der Oberflächenwärme des Sees kennzeichnen sich die Veränderungen der Luftwärme durch eine weit größere Beweglichkeit. Dies ist an sich keine absonderliche Erscheinung, da ja der Wärmezustand der Seeoberfläche sowohl durch die dem Wasser eigentümliche größere Wärmekapazität als auch durch den Wärmeverrat beeinflusst wird, den der See in seiner ganzen Wassermasse birgt, während die Erwärmung der Luft in erster Linie unmittelbar eine Funktion der Wärme ist, welche die Fläche, der sie aufruht, im Wege der Ein- und Ausstrahlung der Sonnenwärme besitzt. Was auffällt, ist die bereits erwähnte Tatsache, daß sich auch in den Jahren nach der neuen Seesperre die Schwankungen der Oberflächenwärme in unverändert schwerfälliger Weise abspielten. Bei der geringen Größe des jeweiligen Ausschlages der Ganglinie der Seetemperatur darf daher von vornherein nicht erwartet werden, aus dem Verhältnisse beider Ganglinien einen Schluß auf irgendwelche Veränderungen in dem Wärmezustande der Seeoberfläche ziehen zu können. Vergleichen wir mit unserem Graphikon beispielsweise das des Millstättersees¹, also eines Sees von „kontinentalem“ Charakter, so zeigt sich mit aller Deutlichkeit, wie beweglicher dort die Ganglinie der Oberflächenwärme ist und in wie stärkerem Grade sie die Schwankungen der Luftwärme widerspiegelt. Eine Veränderung der Wärmeverhältnisse der Oberfläche des Achensees in „kontinentalem“ Sinne hätte sich demnach in einer mehr oder minder großen Abkehr der Ganglinie dieser Wärme von der gewohnten Ruhelage und damit auch in einem geänderten Verhältnisse zu den Schwankungen der Luftwärme äußern müssen.

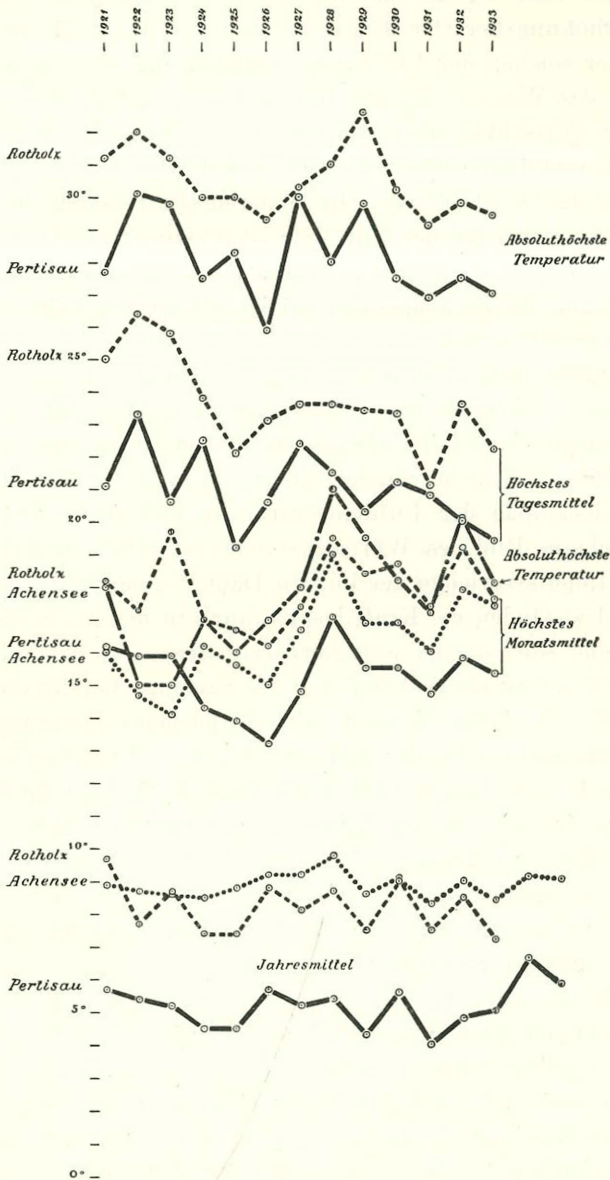
Da uns diese Sachlage auf unsere obigen Fragen eine Antwort zu geben nicht imstande ist, sei der Blick auf die Tabelle 3 und auf die Abbildung 10 gelenkt, welche die Temperaturschwankungen der höchsten absoluten und mittleren Temperaturen zur Darstellung bringt.

Betrachten wir zuerst die Schwankungen des absoluten Maximums der Luftwärme zu Pertisau in den Jahren 1921 bis 1933 in ihrem Verhältnisse zu denen der absolut höchsten Oberflächenwärme des Sees, so bemerken wir, daß letztere mit dem Anstieg der Luftwärme im Jahre 1922 nicht gleichen Schritt hielt, sondern sich im Gegenteil erniedrigte, und daß umgekehrt einer Zunahme der Wasserwärme im Jahre 1924 ein Rückgang der Luftwärme entsprach. Auch im Jahre 1925 und ebenso

¹⁾ Vgl. Abbildung 2 auf Tafel III meiner „Vergleichenden Betrachtungen“ usw. a. a. O.

Tabelle 3. Extremwerte der Luft- und Wasserwärme und deren Spannung.

Jahr	Ort	Absolut höchste Temperatur	Absolut niederste Temperatur	Spannung zwischen beiden	Höchstes Tagesmittel	Niedrigstes Tagesmittel	Spannung zwischen beiden	Höchstes Monatsmittel	Niedrigstes Monatsmittel	Spannung zwischen beiden
1921	Rotholz	31·2	-12·0	43·2	25·0	- 9·3	34·3	18·2	- 1·2	19·4
	Pertisau	27·7	16·8	44·5	21·1	-15·4	36·5	16·2	- 3·8	20·0
	Achensee	18·0	[4·0]	14·0	—	—	—	16·0	4·0	12·0
1922	Rotholz	32·0	-21·8	53·8	26·4	-16·4	42·8	17·3	- 3·1	20·4
	Pertisau	30·1	-22·2	52·3	23·3	-17·2	40·5	15·9	- 4·5	20·4
	Achensee	15·0	[1·0]	14·0	—	—	—	14·7	1·0	13·7
1923	Rotholz	31·2	-13·8	45·0	25·8	- 7·9	33·7	19·7	- 1·5	21·2
	Pertisau	29·8	22·5	52·3	20·6	-19·2	39·8	15·9	- 4·1	20·0
	Achensee	15·0	[2·0]	13·0	—	—	—	14·1	3·1	11·0
1924	Rotholz	30·0	-16·6	46·6	23·8	-13·6	37·4	17·0	- 4·8	21·8
	Pertisau	27·5	-20·7	48·2	22·5	-15·3	37·8	14·3	- 6·5	20·8
	Achensee	17·0	[1·0]	16·0	—	—	—	16·2	2·0	14·2
1925	Rotholz	30·0	-18·2	48·2	22·1	-14·6	36·7	16·7	- 2·3	19·0
	Pertisau	28·3	-23·6	51·9	19·2	-19·5	38·7	13·9	- 4·2	18·1
	Achensee	16·0	[3·2]	12·8	—	—	—	15·6	4·6	11·0
1926	Rotholz	29·3	-14·5	43·8	23·1	-12·9	36·0	16·2	- 1·2	17·4
	Pertisau	25·9	-25·3	51·2	20·6	-18·7	39·3	13·2	- 4·8	18·0
	Achensee	17·0	[3·5]	13·5	—	—	—	15·0	3·8	11·2
1927	Rotholz	30·3	-18·4	48·7	23·6	-14·0	37·6	17·4	- 1·5	18·9
	Pertisau	30·0	-23·5	53·5	22·4	-21·5	43·9	14·8	- 4·8	19·6
	Achensee	18·0	[4·0]	14·0	—	—	—	16·7	4·3	12·4
1928	Rotholz	31·0	-16·0	47·0	23·6	-13·4	37·0	19·5	- 3·3	22·8
	Pertisau	28·0	-18·9	46·9	21·5	-16·8	38·3	17·1	- 5·9	23·0
	Achensee	21·0	[3·0]	18·0	—	—	—	19·0	3·9	15·1
1929	Rotholz	32·6	-21·4	54·0	23·4	-19·8	43·2	18·4	- 8·2	26·6
	Pertisau	29·8	-31·8	61·6	20·3	-23·6	43·9	15·5	-11·5	27·0
	Achensee	19·5	0·0	19·5	—	—	—	16·9	0·5	16·4
1930	Rotholz	30·2	-11·6	41·8	23·3	- 9·1	32·4	18·7	- 1·2	19·9
	Pertisau	27·5	-20·3	47·8	21·2	-13·4	34·6	15·5	- 5·5	21·0
	Achensee	18·2	[3·6]	14·6	—	—	—	16·9	3·9	13·0
1931	Rotholz	29·1	-15·4	44·5	21·1	-14·5	35·6	17·4	- 2·7	20·1
	Pertisau	26·9	-23·0	49·9	20·8	-20·7	41·5	14·7	- 5·8	20·5
	Achensee	17·2	[2·1]	15·1	—	—	—	16·0	2·5	13·5
1932	Rotholz	29·8	-15·5	45·3	23·6	-13·3	36·9	19·2	- 3·2	22·4
	Pertisau	27·5	-25·9	53·4	20·0	-21·5	41·5	15·8	- 9·2	25·0
	Achensee	20·1	[1·2]	18·9	—	—	—	17·9	2·5	15·4
1933	Rotholz	29·4	-17·6	47·0	22·2	-15·5	37·7	17·6	- 5·2	22·8
	Pertisau	25·0	-20·9	45·9	19·4	-16·5	35·9	15·3	- 6·9	22·2
	Achensee	18·1	[1·2]	16·9	—	—	—	17·4	2·6	14·8
1934	Pertisau	26·4	-18·0	44·4	20·7	-12·3	33·0	15·9	- 3·7	19·6
	Achensee	18·4	[1·7]	16·7	—	—	—	16·6	2·0	14·6
1935	Pertisau	28·7	-22·0	50·7	21·5	-17·8	39·3	16·0	- 6·7	22·7
	Achensee	18·6	[3·2]	15·4	—	—	—	17·6	3·6	14·0



Schwankungen der absolut höchsten Temperatur, des höchsten Tages- und des höchsten Monatsmittels, sowie des Jahresmittels der Lufttemperatur zu Rotholz und Pertisau und der Oberflächentemperatur des Achensees in den Jahren 1921-1933.

1926 bewegen sich die beiden Ganglinien im entgegengesetzten Sinne. Erst die Erhöhung der Oberflächenwärme im Jahre 1927 erscheint wieder von einer solchen der Luftwärme begleitet, die aber viermal so groß war als die des Wassers. In den Jahren 1928 und 1929 vollzog sich der beiderseitige Ausschlag abermals im entgegengesetzten Sinne. In den Jahren 1930 und 1931 erniedrigte sich sowohl die Temperatur der Luft als auch die der Seeoberfläche. In letzterem Jahre sank aber die Wasserwärme stärker als die der Luft. Die Gleichsinnigkeit der Temperaturbewegung hielt auch noch in den Jahren 1932 und 1933 an. Wieder war die Schwankung der Seetemperatur größer als die der Luft.

Daraus erhellt, daß die Zu- und Abnahme der absolut höchsten Temperaturen engere Beziehungen zwischen dem Gange der Luft- und Wasserwärme nicht erkennen läßt, daß sich aber Unstimmigkeiten im Verlaufe der beiden Ganglinien ebenso vor wie nach der neuen Seesperre vorfinden. Dies darf nicht wundernehmen, da einmalige oder auch kurzfristige Höchststände der Lufttemperatur an sich noch nicht geeignet sind, ein sicheres Bild des Wärmezustandes zu geben, und der sie hervorrufoende Impuls vermöge der kurzen Dauer seiner Wirksamkeit nicht unter allen Umständen die Kraft besitzt, auch in der schwerfälligen Seeoberfläche eine Höchsttemperatur hervorzurufen.

Aus diesem Grunde gestaltet sich die Sachlage bereits etwas klarer, wenn wir die absoluten Maxima der Oberflächentemperaturen mit den höchsten Tagesmitteln der Lufttemperatur in Vergleich bringen. Es ergeben sich in den Jahren 1924, 1925, 1926, 1927, 1929, 1931 und 1933 gleichsinnige, in den übrigen Jahren entgegengesetzte Bewegungen der Ganglinien. Wieder begegnen beide Ausschlagsrichtungen sowohl in den Jahren vor als auch in denen nach der Seesperre. Es sind mithin auch die Tagesmittel nicht geeignet, die Beziehungen zwischen Wasser- und Luftwärme eindeutig zu erfassen.

Ein befriedigendes Bild gewährt erst der Vergleich der höchsten Monatsmittel. Vom Jahre 1924 an verlaufen die beiderseitigen Bewegungen im selben Sinne. Daß in den Jahren 1921, 1922 und 1923 die höchsten Monatsmittel der Luftwärme zu Pertisau über denen der Temperaturen der Seeoberfläche lagen, ist wohl der bereits hervorgehobenen, nicht einwandfreien Art der Bestimmung der Wasserwärme zuzuschreiben. Für unsere Untersuchung ist das Verhältnis in den genannten Jahren von untergeordneter Bedeutung, weil es zur Gänze noch in die Zeit vor dem jüngsten Eingriffe in die natürliche Entwässerung des Achen-sees fällt. Das Ausmaß der Spannung zwischen den Ausschlagswerten ist, wie aus Tabelle 4 hervorgeht, in den übrigen Jahren nicht gleich. Es bewegt sich innerhalb der Grenzen von 1·3 und 2·5° und beträgt daher im

Tabelle 4. Unterschied zwischen dem höchsten Monatsmittel der Wasser- und der Lufttemperatur in den einzelnen Jahren.

	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935
Grade:	— 0.2	— 1.2	— 1.8	1.9	1.7	1.8	1.9	1.9	1.4	1.4	1.3	2.1	2.1	2.5	(3.2)

Mittel 1.9. Von dem Werte für das Jahr 1935 muß Abstand genommen werden, weil er wegen des Mangels an Temperaturbeobachtungen im März unzuverlässig ist. Daß sich die Werte der Jahre 1924 bis 1928 auf dieser Höhe halten, ist ebenso beachtenswert wie der Abfall in den Jahren 1929 bis 1931 und der plötzliche Anstieg in den Jahren 1932 bis 1934. Ersteres läßt den Schluß zu, daß die neue Sperre eine Änderung in diesem Belange nicht bewirkte. Letzteres kann um so weniger als ein Beweis für die Einwirkung dieser Sperre angesehen werden, als es sich zur Gänze auf einen Zeitraum nach dieser bezieht und in diesem dem Sinken um 0.6° unter den Mittelwert ein Anschwellen um den gleichen Betrag über diesen folgte. Dabei scheint nicht ohne Bedeutung zu sein, daß sich selbst im Durchschnitte der Jahre 1929 bis 1934 der Unterschied zwischen dem höchsten Monatsmittel der Wasser- und dem der Luftwärme auf 1.8° , das ist um nur 0.1° weniger als den Mittelwert belief.

Halten wir uns vor Augen, daß der mittlere Wärmezustand der Luft an einem bestimmten Orte seinen präzisesten Ausdruck in den Monatsmitteln findet¹, so müssen wir den Zahlen der Tabelle 3 besonderen Wert beimessen. Sie besagen, daß Luft und Wasser auf einen sie treffenden Impuls vor und nach der Sperre des Achenseewerkes in gleicher Weise antworteten. Diese kann demnach den Wärmezustand der Seeoberfläche nicht beeinflußt haben. Es waren nach wie vor Schwankungen klimatischer Natur, denen sowohl die Temperatur der Luft als auch die der Seeoberfläche in ihrer Weise antwortete. Was im besonderen das Jahr 1928 betrifft, so genügt ein Blick auf die Gletscher der Ostalpen, um einen Beweis für den abnorm hohen Wärmezustand des Sommers zu erhalten. Nach R. Klebelsberg² zeichneten ihn vor allem Beständigkeit und Trockenheit aus. Auf die Gletscher vermochte er eine um so

¹) Vgl. J. Hann, Handbuch der Klimatologie, vierte, von K. Knoch besorgte Auflage, I. Bd., Stuttgart, 1932, S. 26.

²) Ostalpengletscher 1928, Berichte über die Gletschermessungen des Deutschen u. Österreichischen Alpenvereines in den Ostalpen 1928, Zeitschrift f. Gletscherkunde, XVII. Bd., Leipzig 1929, S. 176. — Vgl. auch K. Treven, Das Sommerwetter 1928 und 1929 in den Ostalpen. — Zeitschr. f. Gletscherkunde, XIX. Bd., Leipzig 1931, S. 157.

stärkere Wirkung auszuüben, als der vorausgegangene Winter nur wenig Schnee geliefert hatte. Die auffallendsten Folgen der hohen Sommerwärme waren: das Emporrücken der Schneefleckenzone um 100 bis 300 m, die Entblößung der Gletscher von Firn bis in große Höhen, das Ausapern der Spalten, das oberflächliche Einsinken der Gletscherzunge und das Einstürzen von Gletschertoren.

Die Bedeutung der Monatsmittel für die Beurteilung des Wärmezustandes der Luft und der Seeoberfläche legt es nahe, auch die Beziehungen der Mitteltemperaturen aller Monate einer Prüfung zu unterziehen. Zu diesem Behufe wurden sie für den betrachteten Zeitraum in Abbildung 11 zu einem Graphikon vereinigt. Aus ihm tritt der absonderliche Charakter des Jahres 1928 auch noch in einem anderen Belange zutage. Während die Ganglinien aller übrigen Jahre mit Ausnahme des Jahres 1926 im Frühjahr ein Überwiegen der Luftwärme erkennen lassen, war das ganze Jahr hindurch die mittlere Oberflächentemperatur höher als die der Luft. Das Auftreten der gleichen Erscheinung im Jahre 1926, also vor der Seesperre, benimmt ihr die Fähigkeit, als Auswirkung dieser zu gelten.

Weit stärker als diese Erscheinung fällt die Zunahme der Spannung zwischen den Extremen der Mittelwerte ins Auge, die sich nach der Seesperre einstellte. Sie wäre ein Beweis für das Entstehen einer „Kontinentalität“ in den Wärmeverhältnissen der Seeoberfläche, wenn nicht bei den Mitteln der Luftwärme die Vergrößerung der Spannung in sogar noch verstärktem Grade wiederkehrte. Wir werden uns im folgenden mit dieser Frage noch näher beschäftigen.

Wie der Sommer des Jahres 1928 sowohl in der Luft als auch im Wasser eine ungewöhnliche Erhöhung des Wärmezustandes im Gefolge hatte, führte im entgegengesetzten Sinne der Winter 1928/29 eine Sachlage herbei, die innerhalb des in Betracht gezogenen Zeitraumes vereinzelt dasteht, aber gerade deswegen schon von vornherein nicht auf Rechnung des veränderten Seeabflusses gesetzt werden darf.

Mit Rücksicht auf die bereits berührten Wintertemperaturen der Seeoberfläche und die Annahme J. Haßlers¹, es werde der Achensee „je nach dem Seewerksbetriebe im Bereiche der oberen Sperrschichte mehr oder weniger rein das klimatische Temperaturbild des abflußlosen oder doch abflußschwachen A-Nullsees im Sommer und jenes des unterseeisch abwässernden A-U-Sees im Winter annehmen, endlich bei oberflächlicher Winterentnahme zum noch schwerer gefrierenden und vielleicht gar zum offenen Wintersee des oberflächenabflußstarken Durchflutungssees wer-

¹) Seetemperaturfragen beim Achenseewerk. Klagenfurt 1921, S. 3.

den“, erscheint es besonders wertvoll, einen weitgehenden Vereisungsprozeß näher verfolgen zu können. Aus Abbildung 7 entnehmen wir, wie stark sich die Luft im Dezember 1928 abkühlte, während die Seeoberfläche selbst an der Jahreswende noch eine Temperatur von $+3^{\circ}$ aufwies. Die Abbildung 8 zeigt andererseits, wie trotz den ungemein niedrigen Lufttemperaturen im Jänner und Februar 1929 die Temperatur des Seespiegels an der Messungsstelle erst am 11. Februar auf 0° sank. An diesem Tage wurden um 21 Uhr — 23.1° der Lufttemperatur abgelesen. Das Tagesmittel der Luftwärme betrug — 19.9° . Vergewärtigen wir uns, daß im Jänner bei einem solchen von — 15.2° der Seespiegel eine Temperatur von $+3^{\circ}$ aufwies und sich auf dieser Höhe auch noch anfangs Februar bei einem Tagesmittel der Lufttemperatur von — 17.9° hielt, so scheint es, als habe die Seeoberfläche lange Zeit selbst der stärksten Kälte getrotzt und sich hierbei des Wärmeverrates bedient, der in der gesamten Wassermasse des Sees aufgespeichert war. Daß nicht die Seeoberfläche in ihrer ganzen Ausdehnung erst in diesem Zeitpunkte gefrierbereit war, geht aus den Aufzeichnungen des Baubureaus der Tiroler Wasserkraftwerke A.-G. in Pertisau hervor, die melden, daß sich schon am 8. Jänner die ersten Eisbildungen am Süden des Sees zeigten. Es führt sich dies darauf zurück, daß der Seespiegel an diesem Tage um 232 cm abgesenkt war und dadurch die Seichtigkeit des Südendes des Sees eine Verstärkung erfahren hatte. Die Abbildung 12 gibt uns Aufschluß über das weitere Wachstum der Eisdecke. Am 9. Jänner erstreckte sich diese vom Punkte B bis ungefähr in die Mitte des Sees; am Westufer schob sie sich erst am 10. bis etwa zu dem Punkte P vor. Am nächsten Tage treffen wir eine geschlossene Decke südöstlich von der Linie A—B. Infolge Einsetzens eines Nordwindes geht sie in der Zeit vom 16. bis zum 26. Jänner soweit zurück, daß sie ungefähr von einer Linie begrenzt wird, die von E nach G verläuft. Die Ausdehnung vom 11. Jänner erreichte sie erst am 30. Jänner wieder. An diesem Tage wurde sie nachmittags schon tragfähig. Wohl den niedrigen Nachttemperaturen der Luft ist es zuzuschreiben, daß sich gleichzeitig am Westufer Eisbildungen zwischen den Punkten H und I einstellten. Am 14. Februar war der See mit Ausnahme des Ausflußgebietes nördlich von der Linie K—L zugefroren und konnte bis auf eine Fläche von ungefähr 0.2 km^2 als tragfähig angesehen werden. Dies hängt sichtlich damit zusammen, daß sich die Luft am 11. Februar um 21 Uhr bis auf — 23.1° und am 12. Februar um 7 Uhr morgens gar auf — 31.8° abgekühlt hatte und die Tagesmittel der Luftwärme am 11. — 19.9° , am 12. — 23.0° , am 13. — 22.6° und am 14. — 23.6° betrugen. Das Zufrieren des Sees war demnach nicht eine Wirkung des Eingriffes

in die natürlichen Abflußverhältnisse, sondern eine Folge der abnormen Kälte des Winters 1928/29 und damit die Funktion eines rein klimatischen Faktors.

Dieses Ergebnis ist durchaus verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß nicht nur eine vollständige Vereisung des Achensees vom 16. Jänner 1868 berichtet wird¹, sondern auch A. Schaubach schon im allgemeinen bemerkt², der See friere im Winter so fest zu, daß man mit schweren Lasten darüber hinfahren könne.

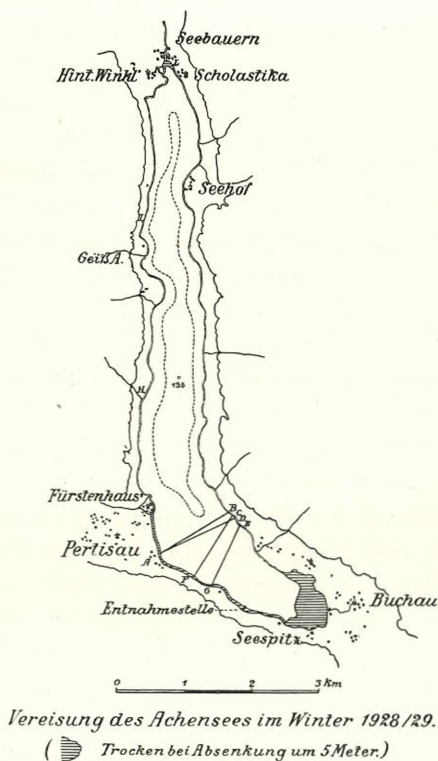


Abb. 12.

Die Ausdehnung der Eisdecke vom 14. Februar erhielt sich bis zum 31. März, an dem ein Nordwind ihre Auflösung herbeiführte. Bis zum 20. März war es möglich, den Lastenverkehr über das Eis mit Hörnerschlitten aufrecht zu erhalten, die ein Gewicht von ungefähr 800 kg befaßen. Am 24. März erwies sich die Eisdecke noch für Personen als trag-

¹) Vgl. K. Dalla Torre, Tirol, Vorarlberg und Liechtenstein in Junks Naturführer, Berlin 1913, S. 81.

²) Die deutschen Alpen, II., 2. Aufl., Jena 1866, S. 426.

fähig. Das seichte Südende des Sees wurde bereits am 10. April ziemlich eisfrei, das Nordende erst am 14. April. Beachtenswert ist, daß sich an der Messungsstelle die Wassertemperatur schon am 12. März über 0° erhob, am 30. dieses Monates bereits $+1^{\circ}$ überschritt und am 1. April über $+3^{\circ}$ betrug.

Wie tief in diesem strengen Winter die Auskühlung des Seewassers hinabreichte, geht aus den Temperaturmessungen hervor, die Ing. Berger der Tiwag am 14. und 15. März 1929 in einer Entfernung von etwa 150 m von dem Fürstenhause durchführte (vgl. Abbildung 1). Bei der des ersteren Tages verwendete er ein in Zehntelgrade geteiltes Thermometer. Es befand sich in einer mit einem Stöpsel verschlossenen Glasröhre, die jeweils in der betreffenden Tiefe geöffnet wurde. Durch das Aufziehen des Thermometers durch kältere Schichten scheint, wie der Beobachter bemerkt, eine Abkühlung und dadurch eine Verkürzung des Quecksilberfadens verursacht worden zu sein. Die abgelesenen Temperaturwerte sind deshalb etwas niedriger als die der Messung vom 15. März, bei der ein Maximum- und Minimumthermometer zur Benützung gelangte. Die Temperatur des Dichtemaximums fand sich erst in einer Tiefe von rund 60 m. In der Seeoberfläche war sie zuletzt am 9. Dezember 1928 gelegen gewesen. Nach der Vereisung drang sie bis zu dieser erst wieder am 16. April 1929 empor.

In ihrer Gesamtheit währte demnach die Vereisung des Sees vom 8. Jänner bis zum 14. April, das heißt 97 Tage hindurch. Halten wir dem gegenüber, daß die Dauer der Eisperiode beispielsweise im Winter 1921/22 sich auf 100, im Winter 1909/10 auf 108, im Winter 1908/9 auf 133 und im Winter 1901/2 gar auf 153 Tage belief¹ und daß andererseits das Eis im Winter 1902/3 eine Stärke von 30, in den Wintern 1906/7, 1913/14 und 1916/17 von 24 bis 28 cm besaß, so ist in der Vereisung während des Winters 1928/29 nichts gelegen, was auf den Einfluß eines anderen Faktors als den des Klimas schließen ließe.

Zur Vervollständigung des Bildes sei noch der Verlauf einer Vereisung vor der neuen Seesperre solchen nach dieser gegenübergestellt. Nach V. Brehm² zeigte sich am 9. November 1901 am Südende des Sees die erste Eisbildung. Am 12. Dezember war dieser Seeabschnitt bereits zur Gänze vereist. Bis zum 18. Jänner 1902 nahm die Ausdehnung der Eisdecke nach Norden hin zu. Am 12. Februar war der See bis auf eine etwa 1 m dicke Eisschicht im Süden eisfrei. Dies blieb so bis 7. März.

¹) Vgl. J. Müllner, Zur Vereisung der Seen der Ostalpen. Geografiska Annaler, Stockholm, 1924, S. 144.

²) Zusammensetzung, Verteilung und Periodizität des Zooplanktons im Achensee. — Ztschr. d. Ferdinandeums, Innsbruck 1902, S. 47 ff.

Von den Fesseln des Eises vollkommen befreit war der See erst am 11. April. Im Winter 1927/28 kam es zur ersten Eisbildung bei Seespitz am 7. Februar. Vom 19. an vereiste der See im Süden auch in der Mitte. Am 29. Februar schwand die Eisdecke. Im Winter 1929/30 fror das Südostende des Sees am 25. Jänner in einer Ausdehnung von rund 2 km² zu. Die Eisdicke erreichte nur eine Stärke von 4 bis 6 cm. Ähnliche Verhältnisse walteten am 30. Jänner 1932 ob. In Pertisau wurde an diesem Tage noch eine Oberflächenwärme von 4.1° abgelesen. Ergänzend sei bemerkt, daß der Seespiegel an der Messungsstelle im Winter 1927/28 eine Temperatur von 4° oder weniger in der Zeit vom 6. bis 8. Dezember und vom 12. Jänner bis 29. Februar, im Winter 1929/30 vom 15. Jänner bis 18. März und im Winter 1931/32 vom 20. bis 22. Jänner sowie vom 6. Februar bis 27. April hatte. Für den Winter 1933/34 liegen die Temperaturmessungen vor, die im Dienste der meteorologischen Zentralanstalt in Wien mittels einer Ruttnerschen Schöpfflasche allwöchentlich vorgenommen werden¹. Die Messungsstelle liegt ungefähr 140 m vom Ufer entfernt auf der Höhe des „Fürstenhauses“.

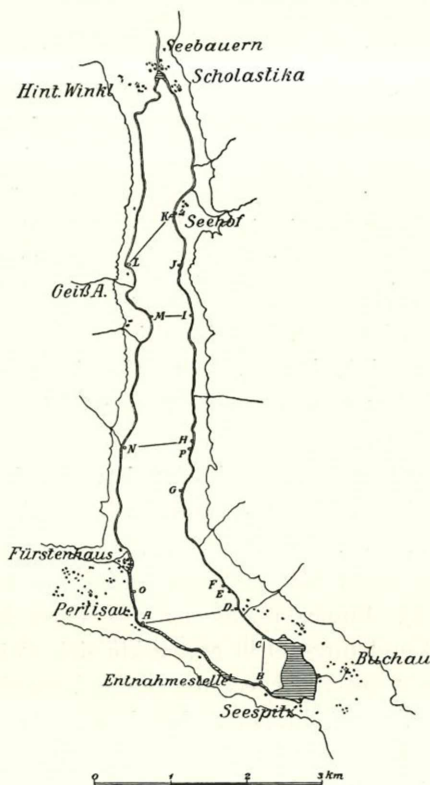
Die geringste Ausgangstemperatur der Messung war 2.1° am 9. Jänner und 2.2° am 6. sowie am 13. Februar. Am 10. April maß die Temperatur des Seespiegels 4.1°. Damit endigte die Periode, während der an der Seeoberfläche eine Wärme von 4° oder weniger herrschte. Wir erhalten dadurch eine Dauer der Eisperiode von 115 Tagen, demnach etwas mehr als im Winter 1928/29. Da der Grund des Sees an der Beobachtungsstelle 53 m unter dem Seespiegel gelegen ist, geben die Messungen nur über die Temperaturverhältnisse bis zu dieser Tiefe Aufschluß. An der Oberfläche wurde am 17., 18. und 19. Dezember eine Wärme von 4° festgestellt. Vom 20. blieb sie unter diesem Werte. Aber selbst am 27. Dezember hatte die Abkühlung des Sees sich nur auf eine verhältnismäßig dünne Schichte erstreckt, da in einer Tiefe von 1 m noch eine Temperatur von 4.1° vorgefunden wurde. Auch am 2. Jänner lag die Wärme des Dichtemaximums noch in einer Tiefe von 1 m. Sie umfaßte an diesem Tage eine Wasserschichte von zehn Meter Mächtigkeit. Am 9. Jänner, also eine Woche später, konnte die Temperatur von 4° erst in einer Tiefe von 30 m angetroffen werden. Die Auskühlung des Sees hatte sich demnach sehr rasch vollzogen. Das spezifisch schwerste Wasser lag in der Zeit zwischen dem 16. Jänner und dem 22. März in einer Tiefe von mehr als 50 m, da alle Messungen Temperaturen von weniger als 4° ergaben.

¹) Für die Gewährung der Einsichtnahme in die Ergebnisse dieser Messungen sowie für die Mitteilung der Vereisung des Sees im Winter 1933/34 bin ich Herrn Ingenieur Paul Gaspari der Tiwag zu besonderem Dank verpflichtet.

Erst am 3. April war das Wasser dieses Wärmezustandes wieder bis zu einer Tiefe von 50 m emporgestiegen. Wie schnell sich von nun an die Erwärmung der Oberflächenschichten vollzog, geht daraus hervor, daß schon am 10. April vom Seespiegel bis zur Tiefe von 50 Metern eine Wärme von 4.1° herrschte. Am 17. April besaß die Oberfläche bereits eine Temperatur von 5.5° , während in der Tiefe von 50 m eine solche von 4.3° festgestellt werden konnte.

Das Bild des Wärmezustandes des Sees entspricht demnach im großen ganzen dem, das wir aus der Temperaturlotung des Ingenieurs Berger vom 14. und 15. März 1929 kennen lernten, und doch war der Grad der Vereisung im Winter 1933/34 wesentlich anders als im Winter 1928/29. Wäre die Vereisung des letzteren Winters tatsächlich der Ausfluß der durch die neue Seesperre herbeigeführten „Kontinentalisierung“ des Wärmehaushaltes des Sees, so müßte das Vereisungsbild in den folgenden Jahren mit dem des Winters 1928/29 eine weitgehende Ähnlichkeit aufweisen, da seine Umrisse von den jeweiligen klimatischen Zuständen doch nur in zweiter Linie beherrscht werden konnten. So aber sehen wir, daß die Eisbedeckung zwar am 8. Jänner 1934, mithin am gleichen Tage wie im Winter 1928/29, bei Seespitz am Südostende des Sees begann, aber einen ganz anderen Verlauf nahm wie damals. Der Unterschied tritt deutlich in Erscheinung, wenn wir die Abbildungen 12 und 13 miteinander vergleichen. In Abbildung 13 kennzeichnet ungefähr die Linie von B nach C den Grad der Ausdehnung des Eises am nächsten Tage. Am 10. und 11. Jänner reichte es von Süden her bis zur Linie A—D. Ein zweites Vereisungsgebiet erstreckte sich zwischen den Linien N—H und K—L; teilweise Eisbedeckung bestand daneben zwischen Seehof und Scholastika. Am 20. Jänner zerbrach das Eis und verlor gleichzeitig an Ausdehnung. Erst sechs Tage später kam es wieder zu einer Eisbildung. Sie erfüllte am 27. Jänner den Raum von Scholastika bis zum Punkte G. Am 3. Februar war der See bis zur Linie M—I eisfrei; nur in der Bucht zwischen L und M gab es noch Eis. Der 6. Februar brachte eine Schließung der Decke zwischen Seespitz und Punkt O einerseits und nördlich von der Linie N—P bis Scholastika andererseits. Über den ganzen See breitete sich eine geschlossene Decke nur am 7. Februar aus, doch ging deren Ausdehnung unter der Wirkung des Windes schon am folgenden Tage zurück. Am 10. Februar treffen wir daher Eis nur vom Punkte G bis Scholastika und von Seespitz bis zum Punkte E an. Der 13. Februar führte zwar eine weitere Schließung der Decke herbei, doch blieb bereits ein Streifen von Pertisau bis zum Punkte F quer über den See eisfrei. Damit begann schon der Auflösungsvorgang. Am 15. Fe-

bruar riß das Eis bei dem Punkte L ab. Der See trug zwischen Pertisau und dem Punkte I kein Eis mehr; nur in der bereits erwähnten Bucht innerhalb der Punkte L und M vermochte sich dieses noch zu behaupten. Am 3. März fand sich zwischen Pertisau und Seehof kein Eis vor. Eine Decke bestand nur noch zwischen Seespitz und dem Punkte O im Süden und zwischen Seehof und Scholastika im Norden. Am 11. März begann das



Vereisung des Achensees im Winter 1933/34.

( Trocken bei Absenkung um 5 Meter.)

Abb. 13.

noch vorhandene Eis morsch zu werden; am 12. zerbrach die Scholle zwischen B und O; am 27. März war der See zur Gänze eisfrei. Die Eisperiode hatte mithin 78 Tage gedauert. Im Winter 1928/29 waren es 97 und im Winter 1901/2 153 Tage gewesen. Es gab mithin vor der gegenwärtigen Seesperre Eisbedeckungen, die sich denen nach dieser ebenbürtig zur Seite stellen können, wie sich auch nach dieser schwache

und nur teilweise Vereisungen ebenso einstellten wie vor ihr. Auch diese Erwägung bekräftigt, daß das wechselnde Bild der Eisbedeckung in erster Linie in Witterungseinflüssen begründet ist.

Die Beziehungen zwischen dem Gange der Monatsmittel der Luftwärme und dem der Wärme des Wassers zeigen, wie aus der Abbildung 11 erhellt, auch in den dem Jahre 1928 folgenden Jahren kein absonderliches Gepräge. Im Winter 1929/30 finden wir beispielsweise fast das gleiche Verhältnis wie im Winter 1925/26. Der gleichsinnige Verlauf beider Ganglinien verrät in allen Jahren die beiderseitige Abhängigkeit von den jeweiligen klimatischen Faktoren. Einer größeren Spannung zwischen den Extremen der Wasserwärme entspricht überall auch eine solche der Lufttemperatur. Auch die Schwankungen der Jahresmittel (vgl. Abb. 10) bewegen sich mit zwei Ausnahmen in dem gleichen Geleise. Solche sind die Jahre 1925 und 1933, in denen einer Erhöhung des Temperaturwertes auf der einen eine Erniedrigung oder mindestens ein Gleichbleiben auf der anderen Seite gegenübersteht. Da es sich um zwei Jahre handelt, die vor und nach der heutigen Absperrung des Sees gelegen sind, nimmt ihnen diese Tatsache die Berechtigung, als Beweis für einen etwaigen Einfluß dieser zu gelten. Von einer dauernden Erhöhung der Jahresmittel nach der Seesperre kann nicht gesprochen werden, da sich deren Wert auch in dieser Zeit in Grenzen hielt, die von denen vor der Sperre nicht in auffallender Weise abweichen. Der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Jahresmittel der Oberflächenwärme, der vor der Sperre in den Jahren 1921 bis 1927 0.7° betrug, erhöhte sich freilich nach dieser dank dem hohen Mittel des Jahres 1928 auf 1.5° , ohne dieses bloß auf 0.8° . Diese Tatsache erscheint jedoch in einem milderen Lichte, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß die Höchst- und die Niedrigstwerte der Jahresmittel der Luftwärme vor der heutigen Sperre um 1.4° , nach dieser dagegen um 2.6° voneinander abstehen. Darin ist wohl unzweifelhaft die Wirkung eines Faktors zu erkennen, der Luft und Wasser im gleichen Sinne beeinflusste.

Zu dem gleichen Ergebnisse kommen wir bei Gegenüberstellung der Spannung zwischen dem Maximum und dem Minimum des Jahresmittels innerhalb des Zeitraumes von 1921 bis 1935. Bei der Wärme des Seespiegels belief sich diese Spannung auf 1.5° — ohne das Jahr 1928 auf 0.9° —, bei der Lufttemperatur auf 2.6° . Der Unterschied zwischen dem jeweiligen Jahresmittel der Wasser- und dem der Lufttemperatur zeigt ein ähnliches Bild. Vor dem Jahre 1928 belief er sich im Maximum auf 4.3° , im Minimum auf 3.3° ; nach der Errichtung des Achenseewerkes waren die Werte 4.4° , beziehungsweise 2.5° .

Daß die Maxima der Monatsmittel der Luft- und der Wasserwärme

sich zum Teil im selben Monate einstellten, zum Teil aber der Höchstwert der Wasserwärme dem der Lufttemperatur erst mit einer Verspätung von einem Monate folgte, ist gleichfalls eine Erscheinung, die sich sowohl vor als nach der derzeitigen Seesperre feststellen läßt. In den Jahren 1923, 1924, 1926, 1928 und 1932 fielen die Maximalwerte zusammen. In den Jahren 1921, 1925, 1927, 1929, 1933 und 1934 brachte der Juli das Maximum der Luftwärme, der August das der Wasserwärme. Eine ganz vereinzelt und vielleicht auf die Art der Beobachtung zurückzuführende Stellung nimmt das Jahr 1922 ein, in dem das höchste Monatsmittel der Lufttemperatur höher war als das der Temperatur der Seeoberfläche, während in allen übrigen Jahren das entgegengesetzte Verhältnis herrschte. In den Jahren 1930, 1931 und 1935 trat der Höchstwert der Wasserwärme zwar auch erst einen Monat nach dem der Luftwärme ein, die Luft erreichte aber ihre höchste Temperatur schon im Juni.

Gerade diese Tatsache dürfte wieder ein Beweis dafür sein, in welcher großer Abhängigkeit sich der Gang der Seespiegelwärme von dem jeweiligen klimatischen Charakter der einzelnen Jahre befand. Selbst wenn die neue Seesperre einen Einfluß auf den Temperaturgang der Seeoberfläche auszuüben vermocht hätte, konnte dieser nicht so bedeutend sein, daß er den des jeweiligen Klimas in den Hintergrund zu drängen oder gar zu beseitigen vermochte.

Diese Erwägung bringt uns zu der bereits berührten Frage der Schwankungen zurück, denen die Spannung zwischen den Extremwerten sowohl in der Luft als auch im Wasser während des betrachteten Zeitraumes unterworfen war. Aus der Abbildung 6 erhellt nicht nur, daß die Spannung zwischen der absolut höchsten und der niedersten Oberflächenwärme parallel zur Spannung zwischen den Extremen der Monatsmittel dieser Temperatur verlief, sondern auch, daß mit Ausnahme der Jahre 1926 und 1931 sich auch die Spannung zwischen dem höchsten und dem niedersten Monatsmittel der Lufttemperatur im selben Sinne bewegte. Dies dürfte wohl dartun, daß der Wärmegang beider Elemente die Funktion einer und derselben Kraft war.

Im besonderen sei die Aufmerksamkeit noch auf das jähe Anschwellen der Spannung im Jahre 1929 gelenkt, hinter dem die des Jahres 1928 zurückblieb. Diese Tatsache findet ihre Erklärung in der abnormalen Kälte des Februar 1929, die sich auch in der Temperatur des Seespiegels im Rahmen der Vereisung auswirkte. Von welchem gewaltigem Grade sie war, tritt uns aus der Spannung zwischen der absolut höchsten und der niedersten Lufttemperatur dieses Jahres klar entgegen. Der Abstand zwischen dem größten und dem kleinsten Werte des Tagesmittels der Luftwärme war freilich im Jahre 1927 größer, er scheint aber im

klimatischen Allgemeinzustande dieses Jahres eine geringere Rolle gespielt zu haben, weil die Seeoberfläche auf ihn nicht in besonderem Maße antwortete.

Aus der Abbildung 6 geht die bereits betonte Bedeutung der Monatsmittel für die Beurteilung des Wärmezustandes sowohl der Luft als auch des Wassers mit aller Deutlichkeit hervor. Daß beispielsweise im Jahre 1928 trotz einem Rückgange der Spannung sowohl der absoluten Extreme als auch der Tagesmittel der Lufttemperatur die Spannung der Grenzwerte der Monatsmittel dieser zunahm und mit dieser Erhöhung der Abstand der Extremwerte des Seespiegels gleichen Schritt hielt, läßt erkennen, wie sehr sich nicht einzelne Episoden, sondern erst Beharrungszustände der Witterung in den Schwankungen der Wärme der Seeoberfläche Geltung zu verschaffen vermögen.

In diesem Zusammenhange entbehrt es hinsichtlich der Jahre 1928 und 1929 nicht des Interesses, daß nach K. Treven¹ deren Luftwärme den Durchschnittswert übertraf, daß aber nach R. Klebelsberg² im Hochsommer 1929 der Rückgang der Gletscher nicht nur anhielt, sondern die Abnahme des Eises in vielen Fällen sogar noch größer als im Vorjahre war, obwohl nicht nur die Besonnungsdauer, sondern auch die Wärme und Trockenheit der Luft wesentlich hinter dem Zustande des Jahres 1928 zurückblieben. Sollte es da nicht mehr als ein Zufall sein, daß trotz der Steigerung der Spannung zwischen allen Extremwerten sowohl der Luft- als auch der Wasserwärme und trotz dem Anschwellen der absolut höchsten Lufttemperatur in Pertisau im Jahre 1929 die absolut höchste Wassertemperatur ebenso wie das höchste Tages- und Monatsmittel, ja auch das Jahresmittel beider Elemente in diesem Jahre kleinere Werte aufweisen als im Jahre 1928?

Um einen tunlichst anschaulichen Einblick in das jeweilige Verhältnis zwischen der Oberflächen- und der Lufttemperatur zu gewinnen und hieraus etwaige in der Sperre des natürlichen Abflusses wurzelnde Veränderungen ersehen zu können, wurde in der Tabelle 5 für die einzelnen Monate und Jahre der Unterschied beider Temperaturwerte durch „Wärmesummen“³ ausgedrückt. Aus ihr erhellt:

1. Hinsichtlich der jahreszeitlichen Verteilung der Extremwerte, daß in den Jahren bis einschließlich 1927 das Maximum dreimal auf den Dezember, zweimal auf den Jänner und einmal auf den Februar fiel,

¹⁾ a. a. O. S. 157.

²⁾ Ostalpengletscher, Ztschr. für Gletscherkunde, XVIII. Band. A. a. O. S. 198.

³⁾ Vgl. hierüber: Hann-Knoch, Handbuch der Klimatologie, 4. Aufl., Stuttgart 1932, S. 41 und 94.

Tabelle 5. Unterschied zwischen der Oberflächen- und der Lufttemperatur zu Pertisau, ausgedrückt durch Wärmesummen.

Jahr	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Oktob.	Nov.	Dez.	Jahres- summe	Monats- mittel
1921	124	216	115	84	—81	3	—37	40	45	99	351	216	1176	98
1922	214	92	40	15	—71	—75	34	—53	117	186	345	360	1204	100
1923	223	134	152	60	—71	57	—59	3	99	90	243	310	1241	103
1924	279	235	112	15	—50	30	59	118	27	136	210	276	1447	121
1925	332	162	229	33	—56	21	3	71	111	90	252	298	1546	129
1926	266	74	158	75	41	34	23	63	92	128	90	281	1325	110
1927	254	272	174	115	6	—37	13	104	68	121	173	269	1532	128
1928	223	197	143	34	52	57	60	99	126	163	163	306	1623	135
1929	406	350	53	51	—110	—22	21	76	126	186	200	224	1561	130
1930	189	262	71	—46	—45	—39	78	44	103	195	147	304	1263	105
1931	254	234	182	40	—151	12	61	97	186	169	125	337	1546	129
1932	257	341	145	7	—63	12	49	65	88	218	213	210	1542	128
1933	341	203	55	—13	—54	—23	—13	101	61	129	174	269	1230	102
Mittel 1921—1926	240	152	134	47	—48	12	4	40	82	121	248	290	1323	110
Mittel 1928—1933	278	264	108	12	—62	0	43	80	115	177	170	275	1460	122
Mittel 1921—1933	259	213	125	36	—50	2	22	64	96	147	207	282	1403	117

wobei nicht unbeachtet bleiben darf, daß im Jahre 1924 die Dezembersumme nur um 3° kleiner war als die Jännersumme und im Jahre 1927 die Dezembersumme nur um ebensoviele Grade von der des Februar übertroffen wurde. Das Minimum des Unterschiedes zwischen Wasser- und Lufttemperatur begegnet uns viermal im Mai, zweimal im Juni und einmal im Juli. In den sechs Jahren nach der jetzigen Seesperre treffen wir das Maximum dreimal im Dezember, zweimal im Jänner und einmal im Februar. Das Minimum stellte sich zweimal im April und viermal im Mai ein. Im Mittel der Jahre 1921—1926 erscheint das Maximum im Dezember, das Minimum im Mai; im Mittel der Jahre 1928—1933 das Maximum im Jänner, das Minimum im Mai, aber die Dezembersumme ist auch hier bloß um 3° kleiner als die des Jänner.

Die Verteilung der Extremwerte weist mithin keine Störung auf, die auf einen Einfluß der Seesperre schließen ließe. Folgerichtig bringt daher das Mittel der Jahre 1921—1933 den Maximalwert des Unterschiedes im Dezember, den Minimalwert im Mai.

2. Hinsichtlich des Ausmaßes des Unterschiedes, daß sich in den Jahren 1921—1926 das Maximum in den Grenzen zwischen 281° und 360° , das Minimum zwischen -81° und $+23^{\circ}$ hielt. In dem Zeitraume zwischen 1928 und 1933 waren die Grenzen des Maximums 304° und 406° , die des Minimums -151° und $+34^{\circ}$. Im Mittel der Jahre 1921—1926 erscheint der Dezember mit einer Wärmesumme von 290° , der Mai mit einer solchen von -48° ; im Mittel der Jahre 1928—1933 hatte der Jänner ein Maximum von 278° , der Mai ein Minimum von -62° . In ersterem Falle belief sich die Spannung auf 338° , in letzterem auf 340° . Sie war also trotz manchen Schwankungen in den einzelnen Jahren im Durchschnitt vor und nach der Seesperre gleich groß. Es gestattet demnach auch das Ausmaß des Unterschiedes der extremen Wärmesummen keinen Schluß auf eine Einwirkung der Seesperre.

Zum Schlusse wollen wir uns mit der Frage beschäftigen, ob der Achensee einen Einfluß auf das Klima seiner Umgebung ausübt, und ob sich vielleicht in diesem Belange Wirkungen der geänderten Abflußverhältnisse nachweisen lassen.

Zu diesem Behufe steht uns außer der in einer Meereshöhe von 929 m gelegenen Uferstation Pertisau die Station Rotholz zu Gebote, die sich im Inntale in einer Meereshöhe von 543 m befindet. (Vgl. die Tabellen 2 und 6, sowie die Abbildung 14.)

W. Halbfäß¹ und W. Ule² haben bereits auf die große Bedeutung hingewiesen, die den Seen in Bezug auf die Lufttemperatur zukommt, da sie im Sommer Wärme aufspeichern und im Herbst sowie im Winter solche an die Luft abzugeben vermögen und infolgedessen im Sommer auf ihre Umgebung eine abkühlende, in den beiden anderen Jahreszeiten eine erwärmende Wirkung ausüben. Dadurch verleihen sie dem Klima ihrer Ufer einen mehr oder minder ozeanischen Charakter. Wie beispielsweise F. Walter³ gezeigt hat, ist das Jahresmittel der an den

¹) Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung limnologischer Landesanstalten. Vhdlgn. d. 13. Deutsch. Geographentages zu Breslau, Berlin 1901, S. 253.

²) Physiogeographie des Süßwassers. Leipzig u. Wien 1925, S. 141.

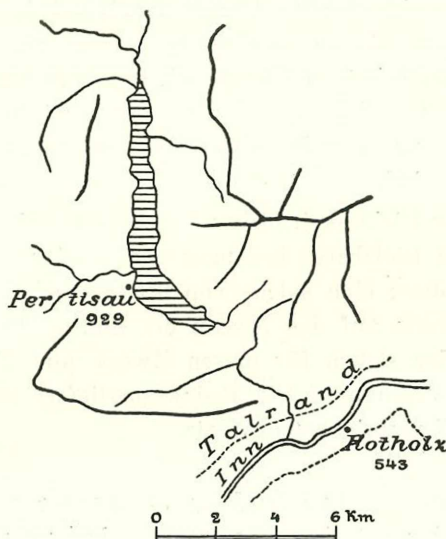
³) Eine Studie über die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Bodenseebecken. Freiburg i. Br. 1892. Vgl. Hann-Knoch, Handbuch der Klimatologie, a. a. O., S. 131.

Tabelle 6. Monatsmittel der Luft- und Wassermesowie deren Unterschiede.

	Mittel der Jahre	Jän.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Luft { Rotholz { Pertisan		-3.0	-0.8	2.1	6.0	11.1	12.3	15.1	14.2	11.2	7.3	1.1	-2.4	6.2
Unterschied Rotholz—Pertisan	1921—	-4.0	-2.1	0.3	4.5	9.8	11.4	14.5	13.7	10.5	6.9	0.1	-3.7	5.2
Seespiegel	1926	1.0	1.3	1.8	1.5	1.3	0.9	0.6	0.5	0.7	0.4	1.0	1.3	1.0
Unterschied Seespiegel—Rotholz		3.7	3.3	4.5	6.1	8.3	11.8	14.6	15.0	13.2	10.6	8.4	5.7	8.8
Unterschied Seespiegel—Pertisan		6.7	4.1	2.4	0.1	-2.8	-0.5	-0.5	0.8	2.0	3.3	7.3	8.1	2.6
		7.7	5.4	4.2	1.6	-1.5	-0.4	0.1	1.3	2.7	3.7	7.2	9.4	3.6
Luft { Rotholz { Pertisan		-3.2	-3.7	1.7	5.6	10.1	13.7	15.5	14.7	11.8	6.8	3.0	-2.8	6.1
Unterschied Rotholz—Pertisan	1928—	-5.1	-6.5	-0.4	4.1	9.1	12.9	15.1	14.2	11.0	5.8	1.9	-3.9	4.8
Seespiegel	1933	1.9	2.8	2.1	1.5	1.0	0.8	0.4	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.3
Unterschied Seespiegel—Rotholz		3.8	2.8	3.1	4.5	7.1	12.9	16.5	16.8	14.8	11.5	7.6	5.0	8.9
Unterschied Seespiegel—Pertisan		7.0	6.5	1.4	-1.1	-3.0	-0.8	1.0	2.1	3.0	4.7	4.6	7.8	2.8
		8.9	9.3	3.5	0.4	-2.0	0.0	1.4	2.6	3.8	5.7	5.7	8.9	4.1
Luft { Rotholz { Pertisan		-3.0	-2.3	2.1	5.9	10.6	13.0	15.3	14.4	11.5	7.0	2.1	-2.6	6.2
Unterschied Rotholz—Pertisan	1921—	-4.5	-4.3	0.2	4.3	9.4	12.2	14.8	13.9	10.7	6.3	1.0	-3.8	5.0
Seespiegel	1933	1.5	2.0	1.9	1.6	1.2	0.8	0.5	0.5	0.8	0.7	1.1	1.2	1.2
Unterschied Seespiegel—Rotholz		3.8	3.2	4.0	5.5	7.8	12.3	15.6	16.0	14.0	10.8	7.9	5.3	8.8
Unterschied Seespiegel—Pertisan		6.8	5.5	1.9	-0.4	-2.8	-0.7	0.3	1.6	2.5	3.8	5.8	7.9	2.6
		8.3	7.5	3.8	1.2	-1.6	0.1	0.8	2.1	3.3	4.5	6.9	9.1	3.8

Ufern des Bodensees gelegenen Orte um 0.4° höher als das der Orte in weiterer Entfernung. Im Jänner erhöht sich dieser Betrag sogar auf 0.8° . Im August und September bezieht er sich auf 0.6° — 0.7° . Im März und April konnte kein Unterschied zwischen den Seeufern und dem Hinterlande festgestellt werden.

Um einen Vergleich der Luftwärme von Pertisau und Rotholz anstellen zu können, müssen wir die Temperaturwerte der letzteren Station auf das Niveau des Seespiegels reduzieren. Hierbei gehen wir von der



Lage der Stationen Pertisau u. Rotholz

Abb. 14.

Voraussetzung aus, daß auf der Nordseite der Ostalpen in einer geographischen Breite von 47° N pro 100 m Erhebung die Temperatur abnimmt ¹ im

Jän.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr:
um 0.33°	0.40°	0.54°	0.62°	0.64°	0.65°	0.62°	0.59°	0.54°	0.47°	0.40°	0.32°	0.51°

Die sich hienach ergebenden Werte sind, wie aus Tabelle 6 her-

¹) Siehe Hann-Knoch, Handbuch der Klimatologie I. Bd., a. a. O., S. 237. — Nehmen wir die Reduktion nach den Werten von Th. Schwarz (Klimatographie von Oberösterreich, Wien 1919, S. 111) vor, so ergeben sich für Rotholz folgende Werte: J. F. M. Apr. M. J. In. — 2.4 , — 1.9 , 2.4 , 6.3 , 10.9 , 13.2 , 11. Aug. S. O. N. Dez. 15.5 , 14.6 , 11.8 , 7.3 , 2.5 , — 2.3 Jahresmittel 6.5 . Das Jahresmittel ist um 0.3° größer als nach der Hann-Knoch'schen Reduktion. Der Unterschied Rotholz—Pertisau erhöht sich dadurch auf 1.5° .

vorgeht, im Durchschnitte der Jahre 1921 bis 1933 im Jahresmittel um 1.2° größer als die der Station Pertisau. Am bedeutendsten ist der Unterschied im Februar mit 2.0° , am geringsten im Juli und August mit 0.5° . In den Jahren 1921—1926 bezifferte sich das Jahresmittel des Unterschiedes auf 1.0° , in den Jahren 1928—1933 auf 1.3° . Während in jenem Zeitraum das Maximum der Differenz in den März und das Minimum in den Oktober fiel, finden wir in diesem das Maximum im Februar und das Minimum im Juli. Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß in den Jahren 1921—1926 im Monate August das Mittel des Unterschiedes nur um 0.1° größer war als im Oktober, so daß im großen ganzen die beiden je sechsjährigen Zeiträume ebenso wie der dreizehnjährige Durchschnitt als Regel erkennen lassen, daß die Temperaturunterschiede zwischen beiden Stationen zu Ende des Winters am größten, im Hochsommer dagegen am kleinsten sind.

Zur Kontrolle der Richtigkeit dieses Ergebnisses seien die Stationen Seefeld und Altaussee (Salzberg) herangezogen. Da jene in 1180 m Meereshöhe gelegen ist, diese eine solche von 950 m besitzt, müssen auch deren Beobachtungswerte auf das Niveau der Station Pertisau zurückgeführt werden. Leider stehen für diesen Zweck nur die Jahre 1921, 1922 und 1923 zur Verfügung. Die Reduktion liefert für diesen Zeitraum die in Tabelle 7 verzeichneten Werte.

Tabelle. 7. Mittelwerte der Lufttemperatur zu Pertisau, Rotholz, Seefeld und Altaussee (Salzberg) im Triennium 1921—1923, reduziert auf die Meereshöhe der Station Pertisau.

Station	Jän.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Pertisau	−2.9	−2.4	1.4	4.5	10.4	11.5	15.2	14.9	10.4	6.9	−1.6	−3.2	5.4
Rotholz	−2.3	−1.5	3.4	5.7	12.0	12.6	15.9	15.4	11.3	7.6	−0.3	−2.3	6.4
Seefeld	−2.8	−1.5	3.4	4.9	12.1	12.5	17.7	17.5	11.2	7.6	−0.3	−2.5	6.6
Altaussee-Salzberg	−1.7	−1.4	3.1	4.9	12.5	12.3	16.9	16.3	11.7	8.1	0.7	1.9	6.8
Mittelw. der Stationen Rotholz, Seefeld und Altaussee	−2.3	−1.5	3.3	5.2	12.2	12.5	16.8	16.4	11.4	7.8	0.0	−2.2	6.6
Differenz: Pertisau—diesem Mittelwert	−0.6	−0.9	−1.9	−0.7	−1.8	−1.0	−1.6	−1.5	−1.0	−0.9	−1.6	−1.0	−1.2

Ihnen entnehmen wir, daß Rotholz mit der Höhe seiner Lufttemperatur keine Ausnahme darstellt, sondern sich in guter Übereinstimmung mit Seefeld und Altaussee befindet. Vor allem ist beachtenswert, daß die Differenz zwischen Pertisau und den für die übrigen drei Stationen gewonnenen Mittelwerten im Jahresmittel derjenigen gleich ist, die sich aus der Tabelle 6 zwischen Pertisau und Rotholz im Durchschnitte der Jahre 1921—1933 ergibt. Des weiteren ist nicht ohne Interesse, daß ebenso wie in diesem Zeitraume auch in dem Triennium 1921—1923 in allen Monaten die Lufttemperatur in Pertisau niedriger war, als erwartet werden durfte, daß also Pertisau ein kühleres Klima hat, als ihm vermöge seiner Höhenlage zukommt.

Dies wird auch durch die Tabelle 8 bekräftigt, die für das Lustrum 1921—1925 die Monatsmittel der Station Nauders, denen von Pertisau gegenüberstellt.

Tabelle 8. Monatsmittel der Lufttemperatur im
Lustrum 1921—1925.

Station	Meereshöhe in m	Jän.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Pertisau	929	—3·9	—2·9	0·1	4·4	10·3	11·7	14·8	13·8	10·3	6·6	—0·8	—3·6	5·1
Nauders	1362	—4·1	—3·0	0·4	4·0	10·0	11·6	14·1	13·2	9·9	6·8	—0·1	—3·8	4·9
Unterschied Pertisau—Nauders		0·2	0·1	—0·3	0·4	0·3	0·1	0·7	0·6	0·4	—0·2	—0·7	0·2	0·2

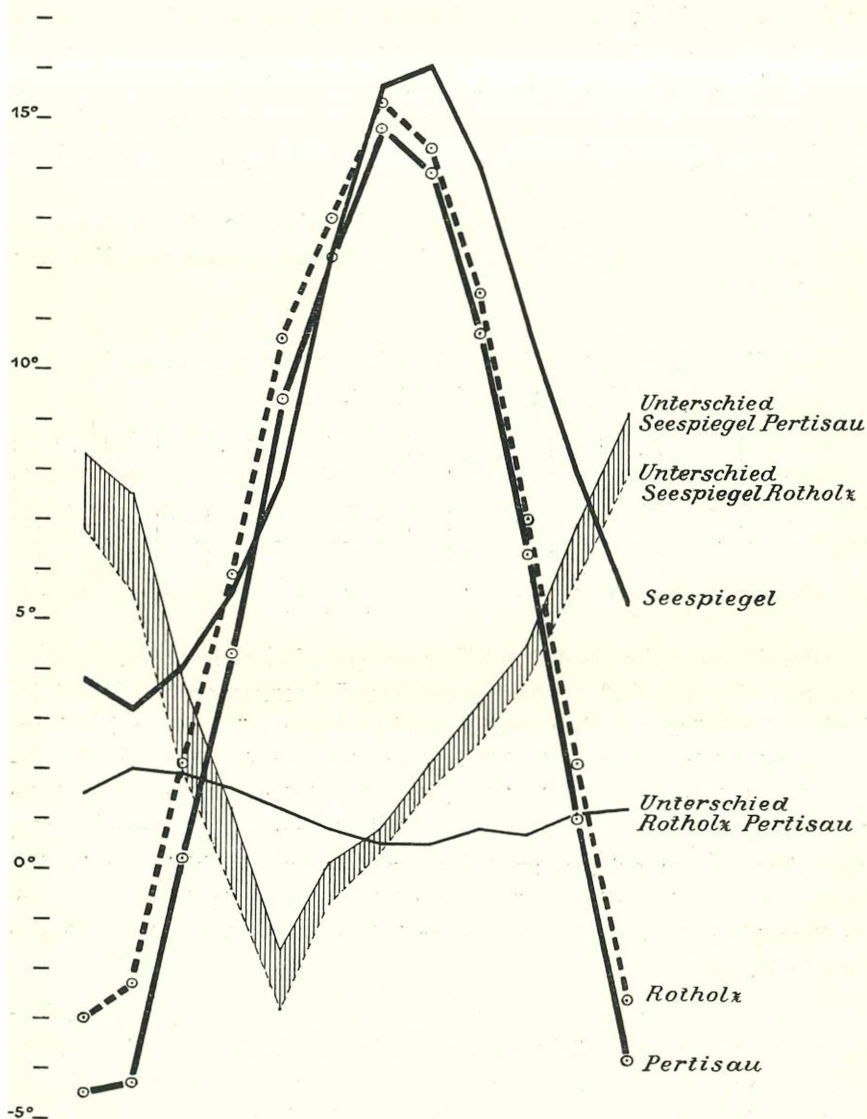
Obwohl um mehr als 400 m höher gelegen als Pertisau, hat Nauders doch nur eine um 0·2° niedrigere mittlere Jahrestemperatur. Dabei ist Nauders im März, Oktober und November sogar wärmer als Pertisau.

Im Hinblick auf diese Sachlage ließe sich aus den Werten der Tabelle 7 mittelbar der Schluß ziehen, daß der Achensee das ganze Jahr hindurch auf seine Umgebung eine abkühlende Wirkung ausübt, deren Ausmaß am größten zu Ende des Winters, am kleinsten in den Sommermonaten ist. Ein erwärmender Einfluß auf die Lufttemperatur, der diese über die normale Höhe emporheben würde, käme demnach gar nicht in Frage.

Zwecks besserer Beleuchtung dieses sonderbaren Temperaturzustandes wollen wir uns zunächst das absolute Verhältnis zwischen der Luftwärme zu Pertisau und der Temperatur der Seeoberfläche nochmals vergegenwärtigen. Die Tabelle 6 lehrt, daß in dem Zeitraum zwischen 1921 und 1933 der Seespiegel im Jahresmittel um 3·8° wärmer war als die Luft. Das Maximum des Unterschiedes zwischen der Seespiegel- und der Luftwärme erscheint im dreizehnjährigen Durchschnitte mit 9·1° im

J. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D.

| | | | | | | | | | | |

*Temperaturmittel 1921-1933.*

Dezember, das Minimum mit -1.6° im Mai. In diesem Monate allein war demnach die Luft wärmer als der Seespiegel. Für das Maximum im Dezember sprechen die hohen Kältegrade der winterlichen Luft, für das Minimum im Mai, daß sich das Wasser im Frühjahr langsamer erwärmt als die Luft und diese, wie Abbildung 15 zeigt, erst im Juni an Wärme übertraf. Daß der See zur Zeit des Schmelzens seiner Eisdecke auf seine Umgebung abkühlend wirkt, weil er zu diesem Vorgange Wärme braucht und diese daher bindet, während er durch den Prozeß der Vereisung im Winter imstande ist, Wärme an die Luft abzugeben, ist ein Faktor, der beim Achensee nur in untergeordnetem Grade in Betracht zu kommen scheint, weil der See schwer vereist und eine umfangreichere Eisdecke nicht zu den normalen Erscheinungen seines Lebens zählt. Für einen etwaigen abkühlenden Einfluß im Sommer oder einen erwärmenden im Herbst finden sich in der Abbildung 15 keine Anhaltspunkte. Es bleibt somit nur die einzige Tatsache bestehen, daß mit Ausnahme eines Monats die mittlere Temperatur der Seeoberfläche höher ist als die der Luft. Sie spricht wohl mit aller Klarheit gegen die Annahme einer abkühlenden Wirkung des Sees.

Andererseits berechtigt der in der Tabelle 7 niedergelegte Sachverhalt zu dem Schlusse, daß die auf die Meereshöhe von Pertisau zurückgeführten Temperaturen von Rotholz in Pertisau herrschen würden, wenn dort der Achensee nicht bestünde. Für die Lösung dieser Frage fehlt sichtlich das erforderliche Beobachtungsmaterial.

Unsere Untersuchung wird durch sie nur insoweit berührt, als vielleicht das Achenseewerk in dem wechselseitigen Verhältnisse zwischen der Luft- und der Seespiegelwärme irgendwelche Änderungen herbeizuführen imstande war.

Nach der Tabelle 6 belief sich in dem Zeitraume zwischen 1928 und 1933 der Unterschied zwischen der Wärme des Seespiegels und der Luft zu Pertisau im Jahresmittel auf 4.1° ; in den Jahren 1921—1926 betrug er 3.6° . Jener Wert erklärt sich daraus, daß infolge der bereits gewürdigten außerordentlich niedrigen Wintertemperaturen dieser Periode das Jahresmittel der Luft um 0.4° kleiner war als in dem vorhergehenden Zeitabschnitte. Die Ursache für die Vergrößerung des Unterschiedes ist mithin in einem Faktor zu suchen, der sich außerhalb des Wirkungsbereiches des Sees und seines Wärmehaushaltes befand.

Des weiteren verdient Beachtung, daß, wie im dreizehnjährigen Durchschnitte, auch in der Zeit von 1921 bis 1926 die Monate Dezember und Mai als Vertreter der Extremwerte des Unterschiedes aufscheinen, während in den Jahren 1928 bis 1933 zwar der Mai noch das Minimum brachte, das Maximum mit 9.3° aber auf den Februar fiel. Die Unter-

schiedsmittel des Dezember und Jänner waren aber nur unwesentlich kleiner als das des Februar.

Aus dem Vergleiche der zu beiden Seiten der heutigen Seesperre gelegenen Zeiträume folgt somit, daß ein tiefgreifender und darum auffallender Unterschied des absoluten Verhältnisses zwischen der Luft- und der Seespiegelwärme sich nicht nachweisen läßt und daß mithin auch in diesem Belange ein ursächlicher Zusammenhang mit der nunmehrigen Sperre des natürlichen Abflusses nicht besteht. Damit schwindet aber auch die Möglichkeit, aus etwaigen Veränderungen dieses Verhältnisses mittelbar auf den Einfluß zu schließen, den der See auf das Klima seiner Umgebung ausübt.

Unsere Ausführungen versuchten auf den verschiedensten Wegen zu prüfen, ob der jährliche Gang der Oberflächenwärme des Achensees durch die Erbauung des Achenseewerkes in einer Weise umgestaltet wurde, die den Annahmen der Brückner'schen Theorie entspricht. Wir konnten zwar eine Reihe von Änderungen feststellen, aber immer wieder in den klimatischen Faktoren eine Erklärung für sie finden. Selbst dort, wo diese nicht mit der entsprechenden Klarheit zutage traten und Unstimmigkeiten übrig blieben, ließ sich zeigen, daß für diese nicht die neue Seesperre verantwortlich gemacht werden kann. Dabei trafen wir allenthalben auf die Spuren eines Faktors, der neben dem klimatischen Habitus einer bestimmten Zeit von Einfluß auf den Wärmehaushalt der Seeoberfläche war. Wir glauben nicht zu irren, wenn wir in ihm die eigenartigen Windverhältnisse vermuten, von denen das Gebiet des Achensees beherrscht wird. Schon W. Hacker¹ berichtet von einem Abbrechen der Lotungen bei plötzlich einsetzendem starken Wind sowie davon, daß auf dem See nur in den frühen Morgenstunden Windstille herrsche, während vormittags ein mäßig starker Südwind wehe, der nach einer kurzen Mittagspause von einem kräftigen Nordwind abgelöst werde. Die Messungsprotokolle weisen in den Jahren 1928 bis 1935 die nachstehende Zahl von Tagen mit Wind und Sturm aus:

1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	Im Mittel
33	62	60	59	55	33	55	79	55

Es sind dies Tage, an denen sich die Luftbewegung außergewöhnlich heftig gestaltete und nicht selten sogar den Charakter eines Sturmes annahm. Dabei ist nicht gleichgültig, ob derartige Windtage vereinzelt oder in einer mehr oder minder langen Reihe unmittelbar nacheinander auftreten. So wehte beispielsweise vom 28. November bis 3. De-

¹⁾ Neue Lotungen und Temperaturmessungen im südlichen Teile des Achensees. Mitteil. d. Geogr. Gesellschaft in Wien 1928, Bd. 71, S. 104.

zember 1928 ununterbrochen ein Nordwind mit Sturm am 2. und 3. Dezember. Die Zeit vom 17. bis zum 23. April 1934 war von einem andauernden Südwind beherrscht, dem schon in den Nachmittagsstunden des 22. und 23. und dann vollends am 24. wieder ein starker Nordwind folgte. Durch diese lebhafte und mehr oder minder täglich sich einstellende Luftbewegung mit ihrer im entgegengesetzten Sinne wechselnden Richtung werden die Oberflächenschichten des Sees bis in große Tiefen aufgewühlt und miteinander vermischt. Die Seebewegung bringt in der warmen Jahreszeit kälteres und in der kalten wärmeres Tiefenwasser an die Seeoberfläche. Einen kleinen Einblick in die dadurch hervorgerufenen Störungen gewähren einige Messungsergebnisse, die den wöchentlichen Temperaturlotungen der Tiwag entnommen wurden.

Tiefe	1934										1935					1936		
	15. V.	14. VIII.	21. VIII.	11. X.	19. X.	24. X.	1. XI.	14. XI.	20. XI.	12. XII.	2. I.	12. II.	3. VII.	16. VII.	27. VIII.	2. VI.	9. VI.	30. VI.
0 m	8·4°	15·9°	17·4°	13·2°	11·5°	10·7°	10·0°	8·2°	7·5°	6·4°	5·4°	3·4°	17·8°	18·0°	16·6°	10·4°	9·4°	15·5°
1 „	8·2°	16·1°	17·5°	13·3°	10·9°	11·0°	10·4°	8·2°	7·5°	6·4°	5·7°	3·2°	17·8°	18·1°	16·6°	10·5°	9·6°	15·8°
5 „	8·5°	16·0°	16·7°	13·3°	11·4°	11·0°	10·4°	8·2°	7·5°	6·4°	5·7°	3·2°	17·1°	17·4°	16·6°	10·4°	9·7°	15·4°
10 „	8·0°	14·6°	15·0°	13·3°	11·6°	11·0°	—	8·2°	7·5°	6·4°	5·7°	3·2°	12·9°	15·6°	16·4°	9·8°	9·7°	11·2°

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Gang der Oberflächenwärme des Achensees in erster Linie durch zwei Faktoren bedingt ist: den klimatischen, der sich in der Intensität und in der Dauer der Ein- und Ausstrahlung auswirkt, und die Windverhältnisse, welche diese Wirkung beeinträchtigen. Herrscht längere Zeit hindurch Windstille, dann vermag jener dem Temperaturbilde sein Gepräge zu geben. Dies ist namentlich dann der Fall, wenn der Himmel gleichzeitig heiter ist. Dann entwickeln sich im Bereiche des Seespiegels jene hohen, beziehungsweise niederen Wärmegrade, die uns in den Temperaturbeobachtungen als außergewöhnliche Erscheinungen begegneten. Wird dagegen die Zeit des heiteren Himmels von trübem Wetter mehr oder weniger unterbrochen oder von heftigen Seebewegungen begleitet, dann vermag sich der Impuls des klimatischen Faktors entweder gar nicht oder nur in beschränktem Maße durchzusetzen. Im ersteren Falle gewinnt das Temperaturbild das Aussehen „kontinentaler“, in letzterem das „ozeanischer“ Wärmeverhältnisse.

Wären diese tatsächlich durch die Errichtung des Achenseewerkes im Sinne der Brückner'schen Theorie beeinflusst, so müßte sich die

Umwandlung des Sees in einen klimatischen seiner Ortslage im Temperaturbilde in weit aufdringlicherer Weise zu erkennen geben, als dies aus dem vorliegenden Beobachtungsmateriale hervorgeht, oder die Wirkungen der eben gekennzeichneten beiden Faktoren sind trotz der Erbauung der neuen Seesperre noch immer so groß, daß ihnen gegenüber der Einfluß der letzteren vollkommen in den Hintergrund tritt.

Zur Erfassung all dieser ungemein verwickelten und sich gegenseitig bedingenden Vorgänge in den Oberflächenschichten des Sees reicht das vorhandene Beobachtungsmaterial nicht aus. Vor allem dürfte die Feststellung der Oberflächentemperatur bloß an einem Punkte des Sees eine richtige Vorstellung von dem jedesmaligen Wärmezustande des ganzen Seespiegels nicht zu geben vermögen. Die Verschiedenheit des Temperaturgrades an verhältnismäßig nahen Stellen weist zwingend darauf hin, daß nur ein aus vielen, tunlichst gleichzeitigen Messungen gewonnenes Temperaturbild eine brauchbare Grundlage für die Lösung aller im vorhergehenden angeschnittenen Fragen zu bieten imstande ist. Vielleicht läßt sich dann auch der Einfluß des Sees auf das Klima seiner Umgebung in befriedigenderer Weise aufzeigen, als es mit den gegenwärtigen Behelfen geschehen konnte.

* *

* *

Die Drucklegung dieser Abhandlung wurde durch einen Beitrag für die Wiedergabe der zahlreichen bildlichen Darstellungen ermöglicht, welchen über Vermittlung des Herrn Direktors der Österreichischen Credit-Anstalt-Wiener Bankverein, Baurat Ing. Erich Heller die Tiroler Wasserkraftwerke A.-G. gewährten. Verfasser und Vorstand der Geographischen Gesellschaft bringen hiefür auch an dieser Stelle den verbindlichsten Dank zum Ausdruck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1936

Band/Volume: [79](#)

Autor(en)/Author(s): Müllner Johann

Artikel/Article: [Der Einfluß der Sperrung des natürlichen Abflusses auf die Oberflächenwärme des Achensees. 225-270](#)