

Über Bodentemperaturen im Schwarzwald, in Graubünden und in Egypten.

Von

J. Koenigsberger, E. Thoma und F. Leier.

Mit 3 Tafeln und 1 Figur im Text.

1. Über die praktische Verwendung unserer Messungen der Bodentemperaturen.

Die folgenden Messungen wurden nicht wie viele bisherige Messungen in der Absicht unternommen, die Fortpflanzung der täglichen und jährlichen Schwankungen zu studieren und die theoretisch dafür abgeleiteten Sätze zu prüfen. Inwieweit letzteres möglich ist und welche Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung sich ergibt, haben die Untersuchungen von QUETELET, HOMÉN, WILD, P. SMITH, BETZOLD, SCHUBERT und anderer Forscher ergeben. Hingegen macht sich gerade an unsern Stationen mit zunehmender Höhe und längerer Schneebedeckung der Einfluss der Schneebedeckung und Schmelzwässer stärker geltend; die einfachen von FOURIER und POISSON entwickelten Beziehungen gelten nur in sehr roher Annäherung. Wir wollten hauptsächlich Daten für die Westalpen und ihr Vorland erhalten, um die Änderung der mittleren Bodentemperatur mit der Höhe und ihren Unterschied gegen die Lufttemperatur hinreichend genau zu kennen, also dasselbe, was A. und F. VON KERNER aus den Quelltemperaturen für die Ostalpen ermittelt haben. Das war für die Temperaturprognose in Tunnels und die ganze Frage der geothermischen Tiefenstufe, welche die zahlreichen Messungen in den westalpinen Tunnels heranziehen muss, notwendig. Wir haben die Quelltemperaturen am gleichen Ort mitbeobachtet, um zu sehen, inwieweit durch diese die Boden-

temperaturen im Urgebirge sich annähernd ermitteln lassen, und ob die von A. und F. VON KERNER abgeleiteten Sätze für die praktische Ermittlung der mittleren Boden- aus Quelltemperaturen für den Schwarzwald gelten. Dass die Bodentemperaturen auch pflanzenbiologisch und somit wirtschaftlich von Bedeutung sind, ist durch die Untersuchungen von A. KERNER VON MARILAUN bekannt.

Wir haben die wichtige und interessante Frage des Wärmeaustauschs nicht berücksichtigen können, da uns für die Messungen im Schwarzwald nur sehr geringe Mittel zur Verfügung standen — wir mussten den grössten Teil der Kosten selbst tragen — und die Messungen im Kanton Graubünden wegen der Höhe der Beobachtungsorte nur während eines kleinen Teiles des Jahres angestellt werden konnten.

2. Über die Reduktion der Bodentemperatur auf 0 m zur Berechnung der geothermischen Tiefenstufe.

Zur Berechnung der geothermischen Tiefenstufe sind zwei Temperaturen in bekannten Tiefen erforderlich. Die besten Resultate wird man stets erhalten, wenn man am unteren Ende des Bohrlochs und an der Oberfläche die Temperatur bestimmt. Das soll a. a. O. bei Diskussion unserer Messungen in Bohrungen von 800 m Tiefe, angelegt von der Gewerkschaft „Gute Hoffnung“ im Elsass, auseinandergesetzt werden.

Die Temperatur der „Oberfläche“ kann entweder in solchen Tiefen bestimmt werden, von denen ab die Temperatur konstant zunimmt, also in unserem Klima in etwa 3—5 m Tiefe. Dann wird direkt die Temperaturdifferenz Bohrlochende—Oberfläche durch die entsprechende Tiefendifferenz dividiert.

Praktisch ist aber eine Reduktion auf die Oberfläche in Tiefe von 0 m bzw. eine Vergleichung dieser reduzierten idealen Oberflächentemperatur des Bodens mit der Lufttemperatur aus folgenden Gründen, die grösstenteils schon von A. SCHMIDT¹ erörtert wurden, wünschenswert: Vielfach hat man nur Gelegenheit, am Grund des Bohrlochs eine Messung anzustellen und muss die Temperatur an der Oberfläche bzw. in 3 oder 5 m aus der Lufttemperatur berechnen. Das kann, wie im Abschnitt 6 gezeigt, mit durchaus genügender Genauigkeit ($\pm 0,5^0$) aus der Lufttemperatur geschehen, und letztere

¹ A. SCHMIDT, Jahresh. d. Vereins f. Naturk. Württemberg 53 (1897) S. 55.

ergibt sich wieder entweder aus der Temperatur benachbarter meteorologischer Stationen oder aus einer Jahresisothermenkarte des Landes.

Dasselbe gilt für die Vorausberechnung von Temperaturen in Tunnels, Bergwerken etc. Da ist es für die Rechnung stets am einfachsten, mit einer idealen Bodentemperatur in 0 m von der Oberfläche zu arbeiten, die sich einfach aus der normalen Bodentemperatur in 3, 5 oder 10 m Tiefe ergibt, indem man mit der annähernd bekannten Tiefenstufe der Gegend auf 0 m korrigiert. Das geschieht, indem man die Meterzahl durch die Tiefenstufe dividiert und diese Temperatur abzieht; die Korrektion wird also im Durchschnitt zwischen $-0,1^{\circ}$ und $-0,3^{\circ}$ liegen, was praktisch wenig ist. Eine derartige Temperatur ist für den Typus A von WOEIKOFF¹, den Sonnentypus, zwar nicht die wirkliche Temperatur in 0 m, aber wohl die für Berechnungen der Temperaturen in der Tiefe erforderliche Zahl. Die Temperatur in 0 m kann bekanntlich bei ausgesprochenem Sonnentypus (Mexico-Tacubaja, Tiflis, Tschaipur) 1° bis 2° höher sein als in 5 m Tiefe, aber das kommt nur für den Botaniker, nicht für den Geophysiker in Betracht. Es ist deshalb auch am einfachsten, diese ideale Bodentemperatur mit der Lufttemperatur zu vergleichen und den Unterschied zwischen beiden zu bestimmen. Dann kann man aus der Lufttemperatur gleich die zur Berechnung der geothermischen Tiefenstufe notwendige „ideale“ Bodentemperatur in 0 m Tiefe angeben. Für Typus B und C von WOEIKOFF wird die ideale Bodentemperatur in 0 m nicht wesentlich von der wirklichen verschieden sein.

3. Bodentemperaturen im Schwarzwald (Grossh. Baden).

Die Temperaturen wurden in Bohrlöchern von 2 bis 3 m Tiefe und etwa 10 cm Durchmesser gemessen. Das Grossh. Badische Ministerium der Justiz, des Kultus und Unterrichts hat uns hierfür gütigst eine Summe von 170 M. zur Verfügung gestellt; den grösseren Teil der Kosten haben wir selbst getragen.

Der Stadtrat von Freiburg i. Br., die Gemeinden von Fahl und Bärental haben uns den Platz zur Anlage der Bohrlöcher kostenlos überlassen. Wir möchten allen hiermit bestens danken.

Die Bohrlöcher mussten im lockeren Erdboden durch Eisenröhren vor dem Zusammenfallen geschützt werden; unten wurden

¹ A. WOEIKOFF, Zeitschr. f. Meteorol. 21 (1904) S. 50.

stets mindestens 20—30 cm freigelassen, so dass das Thermometer sich nicht in der Eisenröhre befand. Im übrigen kann eine dünne Eisenröhre nur die Amplituden etwas vergrößern und eine etwas grössere Wärmeleitfähigkeit des Bodens vortäuschen, nicht aber eine falsche mittlere Temperatur ergeben, wie man leicht berechnen kann. Um Luftströmungen zu vermeiden, war die Röhre stets, auch bei der Messung, abgeschlossen. Die Thermometer waren solche mit langsamer Einstellung, weil sie in eine dicke Eisenhülse mit etwas isolierendem Material verpackt waren. In den von Wasser ganz freien Bohrlöchern erforderte die Einstellung bis auf $0,1^{\circ}$ Ausgleich mit der Temperatur der Wandungen des Bohrlochs etwa 30—40 Min. Das Heraufziehen und Ablesen war in etwa 20—40 Sek. erledigt.

a) Immental bei Freiburg i. Br. und Wildtal bei Zähringen.

Das Bohrloch war im Wald in 310 m Höhe ü. M. bei einem Gehängewinkel von 30° in Nordexposition 3,2 m tief. Der Waldboden ist dort überall wasserführend und es stand meist Grundwasser von 0,3 bis 0,7 m Höhe im Bohrloch. Der Boden besteht aus Lehm und Schotter.

Wir haben monatlich die Bodentemperatur, ferner die Temperatur einer kleinen, im Sommer bisweilen versiegenden Quelle etwa 20 m weit vom Bohrloch, sowie die Temperatur des Waldbodens in 10 cm Tiefe gemessen. Die Resultate sind auf Tafel I eingetragen.

Die mittleren Temperaturen wurden mit Planimeter ermittelt. Es ergab sich:

Mittlere Bodentemperatur in 3,2 m Tiefe:

März 1906 bis März 1908: 9,08 (das Mittel aus den Maxima und Minima $9,00^{\circ}$)

Febr. 1907 bis Febr. 1908: 9,02

in 10 cm Tiefe: Febr. 1907 bis Febr. 1908: 8,95.

In 10 cm Tiefe wurden häufiger Messungen angestellt, die aber keineswegs zu genauen Mittelwerten verwendbar sind, sondern nur zu unserer Orientierung angestellt wurden.

Man sieht, dass die Übereinstimmung eine recht gute ist und dass, auf 0 m reduziert, die ideale Bodentemperatur $9,05^{\circ}$ dort ist.

Der Vergleich ist gerade für Freiburg nicht einfach. Wir danken die folgenden Daten der Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. Dr. SCHULTHEISS, Direktor des Grossh. Badischen Zentralbureaus für Meteorologie und Hydrographie in Karlsruhe. Die mittlere

Lufttemperatur, gemessen von Herrn S. WEISS im Physikalischen Institut, ist 1906: $10,6^{\circ}$; 1907: $10,5^{\circ}$; im Mittel der Jahre 1896 bis 1905: $10,3^{\circ}$. Die „lokale Färbung“ von

Freiburg ist nach SCHULTHEISS: $+0,7^{\circ}$. Nehmen wir an, dass diese durch die Lage und zum Teil durch die Heizung des Physikalischen Instituts bedingt ist und für das Immental nicht mehr gilt, und berücksichtigen wir die Höhendifferenz von 30 m (für 100 m bekanntlich im Mittel $-0,6^{\circ}$), so ergibt sich als mittlere

Lufttemperatur am Bohrloch: $9,6^{\circ}$. Diese Temperatur ist aber auch zu hoch, weil erstens die Temperatur im Wald nach den

Messungen von J. SCHUBERT¹ in Eberswalde um etwa $0,2^{\circ}$ niedriger ist als im Feld, und weil zweitens das Immental am Fuss des Rosskopfs (700 m) kälteren Fallwinden

¹ J. SCHUBERT, Jährl. Gang der Luft- und Bodentemperatur etc., Berlin 1900, S. 20.

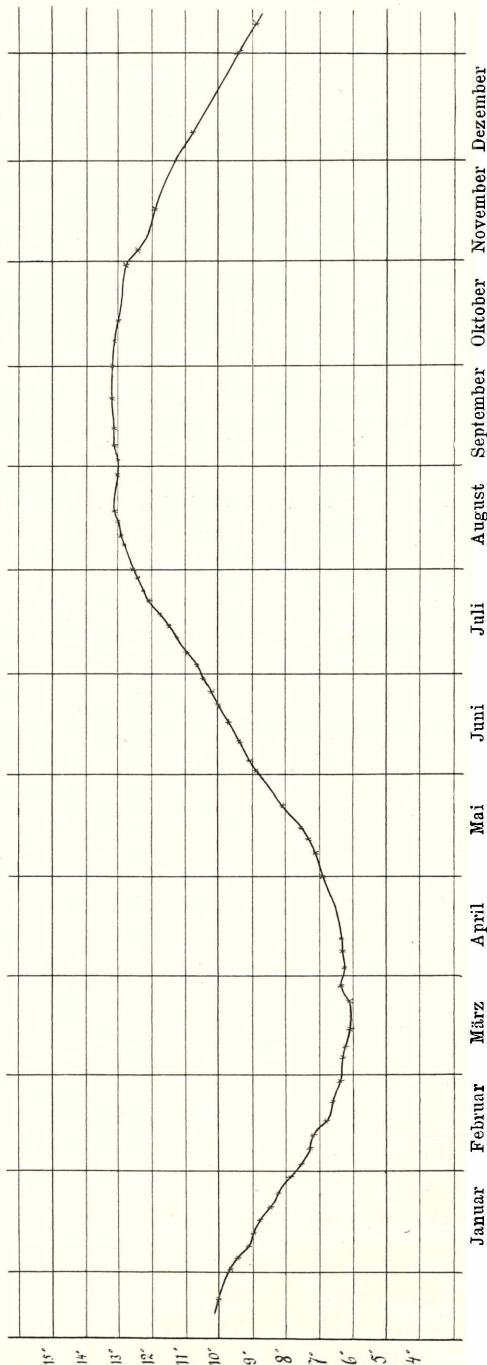


Fig. 1. Wildtal bei Zähringen, (F. LEIER beob.) 290 m. Nordexposition, Gehängewinkel ca. 20° . Bohrloch 2,6 m Lehm. Eisenröhre 2,3 m. × Temperatur im Bohrloch. Mittlere Bodentemperatur: $9,87^{\circ}$ (Januar 1907 bis Januar 1908).

ausgesetzt ist. Auf unsere Veranlassung hat Herr FR. HOLZMANN in seiner Wohnung am Eingang des Immentals in geeigneter Höhe und Lage am Haus korrespondierende Temperaturmessungen im Januar, Februar, März und Juni bis Dezember vorgenommen. Die Temperaturen im Immental waren im Mittel um $0,74^{\circ}$ niedriger als im Physikalischen Institut. Dieser Betrag muss also abgezogen werden, um die Temperatur im Feld am Eingang des Immentals zu erhalten. Im Wald ist dann die Lufttemperatur um $0,1^{\circ}$ niedriger. Die richtige mittlere Lufttemperatur am Bohrloch ist also um $0,9^{\circ}$ niedriger als die im Physikalischen Institut gemessene; im Mittel 1906 und 1907 also $9,4^{\circ}$. Damit stimmt die Bodentemperatur überein, die im Wald, wie die Messungen von SCHUBERT¹ in Eberswalde gezeigt haben, etwa gleich der Lufttemperatur ist, die aber bei Nordexposition unter einem Gehängewinkel von 30° auch im Wald einige Zehntel Grad niedriger sein muss.

Es ist von Interesse zu vergleichen, welcher grosser Unterschied der Bodentemperatur auf kleinem Abstand zwischen Fuss des Schwarzwaldes und des Kaiserstuhls besteht. Am Fuss der Hügel des Kaiserstuhls 14 km nordwestlich von Freiburg ist die mittlere Bodentemperatur nach meinen Schätzungen etwa 11° ², im Immental nach den obigen Messungen etwa 9° , also ein Unterschied, wie er sonst nur bei einer Höhendifferenz von 500 m vorhanden wäre.

Wir haben noch andere Daten für die Bodentemperatur von Freiburg, wobei der Einfluss der Nordexposition wegfällt. In dem Keller der seismographischen Station am Fuss des Schlossbergs, herrscht eine Maximaltemperatur von $10,2^{\circ}$ und eine Minimaltemperatur von $9,1^{\circ}$, also im Mittel $9,65^{\circ}$. Der Keller liegt im Mittel etwa 20 m unter dem Boden; auf die Oberfläche korrigiert, gäbe das $9,75^{\circ}$. Also auch hier in Ostexposition und in ziemlich freier Lage eine auffallend niedrige Bodentemperatur, die uns zeigt, dass die Lufttemperatur gar nicht weit vom Physikalischen Institut schon mindestens 1° niedriger ist als dort. Dass hier die Bodentemperatur nicht wie meist etwa 1° höher als die Lufttemperatur ist, hängt höchst wahrscheinlich mit der aussergewöhnlich grossen Feuchtigkeit des Kellers und dieses Teiles vom Schlossberg zu-

¹ Derselbe S. 22.

² Genauere Messungen wären sehr erwünscht; doch haben wir dafür keine Mittel zur Verfügung.

sammen, wodurch ähnliche Bedingungen wie bei Waldboden geschaffen werden.

Da an den beiden obengenannten Punkten etwas ungewöhnliche Bedingungen herrschen, war es um so wertvoller, dass der eine von uns, F. LEIER, sowie sein Vater, Herr Hauptlehrer LEIER in Wildtal, sehr genaue Messungen mit wöchentlicher Ablesung im Wildtal bei Zähringen (Freiburg i. Br.) angestellt hat. Der Ort hat etwa dieselbe Lage am Fuss der Schwarzwaldberge, ähnliche Höhe (295 m ü. M.) wie die beiden andern Punkte. Die Exposition ist schwach um etwa 20° nach Norden geneigt. Das Bohrloch wurde in freiem Grasboden 2,60 m tief in Lehm ausgeführt, wobei wieder Sorge getragen wurde, dass die Thermometer ganz von Erde umgeben waren. Oben wurde durch ein Eisenrohr das Zusammenfallen verhindert. Hier waren Sickerwasser und Grundwasser nur selten, nach starkem Regenfall, vorhanden. Die Beobachtungen sind auf Fig. 1 (S. 5) dargestellt. Die mittlere Bodentemperatur von Januar 1907 bis Januar 1908 war $9,87^{\circ}$. Das Mittel aus den beiden Maxima und Minima ist $9,7^{\circ}$. Die Lufttemperatur für den gleichen Ort berechnet sich aus der richtigen Lufttemperatur von Freiburg zu etwa $9,25^{\circ}$. Also ist hier, wie für schwache Nordexposition im freien Feld zu erwarten, die mittlere Bodentemperatur um $0,6^{\circ}$ höher als die der Luft.

b) Bärenental bei Titisee.

Das Bohrloch war (1055 m ü. M.) auf freiem Feld am Rand eines lichten Waldes in sehr schwach geneigter (10°) Nordostexposition angelegt. Es ging 2,4 m durch Schotter und 70 cm in Granit; der obere Teil war durch eine enge Eisenröhre gesichert. Die Thermometer befanden sich im Granit. Das Bohrloch war meist ganz trocken. Die Messungen sind auf Tafel II wiedergegeben; die mittlere Bodentemperatur (Mai 1906—1908) = $6,64^{\circ}$, (Januar 1907 bis 1908) = $6,58^{\circ}$. Das Mittel aus den beiden Maxima und Minima: $6,7^{\circ}$. Auf 0 m reduziert ist die ideale Bodentemperatur $6,5^{\circ}$. Etwa 15 m Vertikaldistanz tiefer entspringt eine perennierende Quelle, deren Temperatur wir ebenfalls gemessen haben, von Januar 1907—1908 im Mittel: $7,74^{\circ}$. Die mittlere Lufttemperatur lässt sich gut angeben, da an zwei in gleicher Höhenlage befindlichen, nicht weit davon entfernten Stationen, Todtnauberg (1020 m) und Höchenschwand (1012 m), dauernd beobachtet wird. Wir verdanken Herrn Adlerwirt MUTTERER in Bärenental korrespondierende Morgentemperaturablesungen im Januar und Februar 1908, einige andere Beobach-

tungen haben wir selbst angestellt. Die Temperaturextreme sind erheblich grösser als in den beiden andern Stationen, dagegen die Mittel nur ganz wenig niedriger. Es ergibt sich aus diesen für das Bohrloch eine mittlere Lufttemperatur von (1906—1908) $5,4^{\circ}$.

Die Temperatur der Bodenoberfläche in 10 cm Tiefe wurde auch jeweils zur selben Tageszeit bestimmt. Natürlich sind letzteres nur orientierende Messungen, die nicht weiter verwendbar sind.

Die Bodentemperatur ist demnach, wie der Lage nach (freies Feld und sehr schwach Nordostexposition) zu erwarten, um $1,1^{\circ}$ höher als die Lufttemperatur. Die Temperatur der etwa 2 Sekundensliter liefernden Quelle ist wie zu erwarten höher als die Bodentemperatur; denn jede an der Oberfläche austretende perennierende Quelle kommt aus etwas grösserer Tiefe, in der das Wasser sich gesammelt hat. Dort muss natürlich die Temperatur je nach der Höhe der überlagernden Bergmasse höher sein. Je rascher die Quelle fliesst, um so weniger kann vollkommener Ausgleich zwischen der Felstemperatur und dem Wasser an irgend einem Punkt stattfinden und um so grösser wird die Differenz zwischen der Quelltemperatur und der Bodentemperatur sein. Es ist das derselbe Fall, der umgekehrt bei den nach unten fliessenden Wassermengen, die in Tunnels als Quellen austreten, statt hat. Je rascher dort die Wassermasse fliesst, um so weniger wird sie die höhere Temperatur der Bergmasse annehmen können, und um so kälter wird sie also im Tunnel austreten. — Die aus Quelltemperaturen gewonnenen Bodentemperaturen werden daher im Urgebirge meist etwas zu hoch sein. Alle Fragen, die hiermit zusammenhängen, sind sehr genau von A. VON KERNER¹ und F. VON KERNER² für die Ostalpen und dann für die Südalpen erörtert. Diese Forscher haben namentlich den Zweck verfolgt, zu ermitteln, wie aus Temperaturmessungen der Quellen möglichst einfach mit praktisch genügender Genauigkeit die mittlere Bodentemperatur in ihrer Abhängigkeit von der Höhe und der Exposition festgestellt werden kann.

c) Feldberg (Seebuck) bei Titisee (Schwarzwald).

Das Bohrloch war in 1355 m ü. M. in Südexposition bei einem Gehängewinkel von ca. 25° 2,3 m tief in Schotter verrohrt und

¹ A. VON KERNER, Zeitschr. d. österr. Ges. f. Meteorol. 6, 5 (1871) S. 65 und 66.

² F. VON KERNER, Sitzungsber. d. kgl. Ak. Wiss. Wien 112 II a (1903) S. 421. Meteorol. Zeitschr. 22 (1905) S. 159. Meteorol. Zeitschr. 23 (1906) S. 421.

40 cm unverrohrt in Granit angelegt. Der Boden ist schwach mit Gras bewachsen. Das Bohrloch war feucht, doch waren selten mehr als 5 cm Wasser darin. Die Messungsergebnisse sind auf Tafel III wiedergegeben. Die mittlere Bodentemperatur ist (Mai 1906—1908) $5,43^\circ$, die ideale auf 0 m reduzierte also $5,35^\circ$. Das Mittel aus den beiden Maxima und Minima $5,4^\circ$. Die Lufttemperatur lässt sich mit genügender Genauigkeit berechnen. In dem etwa 5 km entfernten Bärenthal (vgl. oben) ist sie in 977 m etwa $5,4^\circ$. Für je 100 m beträgt die Abnahme bekanntlich mit genügender Annäherung $0,56^\circ$, also ist $3,6^\circ (\pm 0,1^\circ)$ die Lufttemperatur am Bohrloch. Die Differenz Boden- und Lufttemperatur ist also der Höhe und der Südexposition entsprechend $1,75^\circ$.

Eine in der Nähe befindliche unregelmässig fließende Oberflächenquelle hatte (Mai 1906—1908) die mittlere Temperatur $5,48^\circ$.

4. Folgerungen allgemeiner Art.

Die Orte am Schwarzwald wie ein Teil der alpinen, an denen wir beobachtet haben, gehören zu dem Typus, deren Bodentemperatur infolge des lockeren wasserdurchlässigen Bodens bei reichlichen Niederschlägen und bei nicht sehr tiefer, aber auch nicht hoher Temperatur der Luft wesentlich durch die Schmelzwässer der Schneebedeckung und die Sickerwässer beeinflusst wird. Das tritt ganz besonders bei den höheren Stationen Bärenthal und Feldberg hervor. Rascher Abfall der Temperatur, sowie die Schneedecke liegt, und Ansteigen erst nach Schmelzen derselben, daher steile Maxima und flache Minima. Eine einwandfreie Berechnung der Wärmeleitkonstanten etc. kann daher unserer Ansicht nach daraus nicht erhalten werden. Man kann nur aus der Verzögerung der Maxima einen Schluss auf deren ungefähre Grösse ziehen. Die Maxima sind im Mittel um etwa 45 Tage gegen die der Lufttemperatur verschoben. Das ergibt in bekannter Weise gerechnet eine Wärmeleitkonstante $a^2 \left[\frac{cm^2}{sec.} \right] = 0,041$ für Immental, Bärenthal, Feldberg, für Wildtal $a^2 = 0,045$. Berechnet man aus der Abnahme der Amplituden dieselbe Grösse, so ist diese für die drei ersten Stationen im Mittel $a^2 \left[\frac{cm^2}{sec.} \right] = 0,028$ und für die letztere $0,031$, also der Grössenordnung nach übereinstimmend.

Etwas überraschend ist, dass diese Leitfähigkeiten etwa zwei bis dreimal grösser sind als die des Granits und etwa viermal grösser als

die von SCHUBERT¹ für lehmigen Sandboden gefundenen Konstanten. Aber das ist aus dem ganzen Charakter der Wärmefortpflanzung, die hier zum grossen Teil, wie oben hervorgehoben, durch Schmelz- und Sickerwässer erfolgt, zu erklären. Diese verbessern natürlich erheblich die Leitfähigkeit, neben der eigentlichen Wärmeleitung tritt Wärmekonvektion auf. Deshalb ist auch die jährliche Schwankung in 3 m Tiefe noch gross; sie beträgt durchschnittlich 5°, im Wildtal 7°, etwa von derselben Grösse, wie sie QUETELET in Brüssel und WILD in Petersburg beobachtet haben. Die von SCHUBERT diskutierten Beobachtungen im Elsass, in Ostpreussen, Schlesien, Brandenburg ergeben dagegen auf gleiche Tiefe umgerechnet durchweg geringere Schwankungen, nur eine Station am Harz scheint sich dem Verhalten unserer Beobachtungsorte zu nähern. Unsere tieferen Beobachtungsorte stehen zwischen Typus B und C von A. WOJIKOFF².

Unsere Messungen der Oberflächentemperatur in 10 cm Tiefe sind keineswegs genau, wir hatten weder die Zeit noch die Mittel, um dreimal täglich an den verschiedenen Orten Ablesungen zu machen; doch lässt sich aus dem Mittel der vereinzelt Ablesungen schliessen, dass die Temperatur an der Oberfläche nicht viel höher als in 3 m Tiefe ist. Das stimmt vollkommen mit dem, was A. WOJIKOFF für Orte mit viel Niederschlägen oder einer mehr als zwei Monate anhaltenden Schneedecke gefolgert hat. Freiburg und seine Umgebung gehört in Europa zu den Orten mit grössten Niederschlagsmengen und ist recht wohl mit der Insel Man westlich von England, für die genaue Bodentemperaturmessungen vorliegen, vergleichbar³; die Temperatur ist von 0 m bis etwa 1 m konstant und nimmt erst von da ab je nach der Grösse der geothermischen Tiefenstufe zu. Die Orte, an denen SCHUBERT die Bodentemperaturen mass, sind durchweg regenärmer, und daher ist dort von 0 m bis etwa 120 cm die Umkehr, nämlich Abnahme der Temperatur, der Sonnentypus von WOJIKOFF, vorherrschend und erst von 5 m ab nimmt die Temperatur regelmässig zu. Die höchste Station am Feldberg

¹ loc. cit. „Jährl. Gang etc.“ S. 35.

² A. WOJIKOFF, Meteorol. Zeitschr. 21 (1904) S. 50.

³ Die Tagestemperaturen von Freiburg haben dem subalpinen Charakter entsprechend grosse Extremwerte. Aus den bisher im Physikalischen Institut in geschützter Lage auf einem meist geheizten Gebäude angestellten Messungen geht das nicht so deutlich hervor, auch ist dort, wie bereits erörtert, die Jahrestemperatur infolge dieser lokalen Einflüsse um 1° zu hoch gefunden worden.

gehört wohl schon zum Typus B, dem Schneetypus, bei welchem die Bodentemperatur schon von 0 m ab nach unten hin in Übereinstimmung mit der geothermischen Tiefenstufe zunimmt.

Eine Erscheinung, die bei längerer Dauer der Schneedecke, z. B. an der Feldbergstation, am deutlichsten wird, ist der rasche Abfall der Temperatur, sowie die Schneedecke einige Tage liegt, und dann die ziemlich konstante Temperatur, bis der Schnee wieder verschwindet. Die Schmelzwässer bestimmen während dieser kurzen Zeit mehr noch als die Wärmeleitung und Kapazität des Bodens die Temperatur. Wenn der Schnee im Herbst reichlich fällt, ist der Boden noch warm; es schmilzt viel Schnee; das Wasser dringt nach unten und die Temperatur sinkt rasch. Wenn sich dann die Oberfläche auf 0° abgekühlt hat, so erfolgt der weitere Wärmeaustausch unter der Schneedecke hauptsächlich durch Wärmeleitung im gefrorenen Boden, der ein schlechter Wärmeleiter ist, und nur noch zum kleinen Teil weiter unterhalb durch spärliches Schmelzwasser. Die Temperatur bleibt dann ziemlich konstant, verhältnismässig hoch und macht die Schwankungen der Lufttemperatur nur sehr langsam mit, was auch BÜCHLER¹ in Buus (Baselland) beobachtet hat². Erst wenn die Schneedecke geschmolzen ist, erfolgt rasches Steigen und damit im Zusammenhang ein stärker gekrümmtes Maximum.

In Übereinstimmung mit allen Beobachtungen über Bodentemperaturen waren auch diese stets höher als die Lufttemperatur. Diese Frage soll im letzten Abschnitt eingehender besprochen werden.

Praktisch sehr wichtig ist, dass das Mittel aus Maximum und Minimum sogar bei Jahresschwankungen von über 5° auf $\pm 0,1^{\circ}$ genau gleich dem planimetrisch ausgemessenen Mittel der Monatstemperaturen ist.

5. Bodentemperaturen in Graubünden.

Im Auftrag der Regierung des Kanton Graubünden hat der Verfasser Messungen der Bodentemperaturen bis zu Seehöhen von 2500 m angestellt. Die gesamten Kosten für die Messungen und für die von der Firma Locher & Co. in Zürich ausgeführten Bohrungen von 11 m hat in dankenswerter Weise der Kanton Graubünden übernommen.

¹ M. BÜCHLER, Meteorol. Zeitschr. **19** (1902) S. 205.

² Vgl. auch das Referat von J. HANN über die Beobachtungen von J. OKADA in Sapporo in Meteorol. Zeitschr. **22** (1905) S. 330.

Die Ergebnisse der Beobachtungen sind in mancher Beziehung überraschend und zeigen, dass in den Westalpen der Einfluss des eindringenden Wassers, Schmelzwasser und Sickerwasser, im lockeren Boden weit mehr als die Wärmeleitung die Bodentemperatur der Oberfläche und deren Gang bestimmt. Wo dagegen fester Fels ansteht und kein tiefer Humus oder Schutt darüber lagert, hat das Wasser fast gar keinen Einfluss und nur die Wärmeleitung in Fels und Schnee bestimmt die Bodentemperatur, die dann durchaus normales Verhalten zeigt.

a) Bohrloch bei Andeer (1025 m ü. M.).

Das Bohrloch war 10 m 80 cm tief in Schutt gebohrt. Das Gehänge hat schwach geneigte ca. 20° Nordostexposition; das Bohrloch befindet sich in 1025 m ü. M. an der ersten Kehre der Splügenstrasse ob dem Talboden von Andeer am Saum eines lichten Hochwaldes und ist vollkommen trocken. Da starker Gehängedruck unterhalb der 10 m tiefen Verrohrung gleich nach dem Bohren und dann später noch einmal das Loch zudrückte und ein Thermometer einklemmte, wurde nur 20 cm unterhalb der Röhre gemessen. Da der Verfasser in Freiburg im Breisgau wohnt und geschulte Beobachter in Andeer nicht waren, sind nur wenige Messungen gemacht worden, die in diesem Jahr durch Ablesungen an dauernd im Bohrloch bleibenden Maximum-Minimumthermometern ergänzt werden sollen. 15. Sept. 1907: 7,0°. 9. Nov. 1907: 7,1°. 20. Mai 1908: 9,2°. 5. Sept. 1908: 7,05°.

Das Bohrloch ist vollkommen trocken, die Wärmeleitung des Bodens also schlecht. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass das Sommermaximum erst im Mai des folgenden Jahres, das Winterminimum im Oktober oder September desselben Jahres in 11 m ankommt. Die mittlere Temperatur ist nach diesen vorläufigen Messungen etwa 8,1°.

Da die Splügendegend nicht sehr viel Niederschläge, wohl aber starke Einstrahlung aufweist, dürfte von der Oberfläche bis etwa 2 m die Temperaturumkehr (Typus A von E. WOJKOFF) bestehen. Die Korrektion auf 0 m für die Berechnung ist der Tiefenstufe von 30 m p. 1° entsprechend $30 \text{ m} : 10 \text{ m} \times 1^\circ = 0,3^\circ$. Die Temperatur von 7,8° ist also die fiktive für die Temperaturgradientenrechnung erforderliche Temperatur an der Oberfläche in 0 m.

Die mittlere Lufttemperatur ist nach freundlicher Mitteilung der Meteorologischen Zentralanstalt Zürich für Thusis (706 m) = 7,8° und demnach für Andeer auf etwa 6,9° anzusetzen.

b) Bohrloch bei Inner-Ferrera (1510 m).

Das Bohrloch ist 10 m 80 cm tief, wovon 2,60 m auf Schutt, 2,80 m auf verwittertes Gestein, der Rest auf ziemlich frischen Rofnaporphyr entfallen. Das Gehänge hat um etwa 40° geneigte Nordostexposition. Unmittelbar daneben Hochwald. Die Verrohrung reicht bis 10 m. Im Bohrloch sammelte sich häufig Wasser, das bisweilen 2 m hoch stand, vermutlich Grundwasser, das vom Emettal kommend über das Gehänge langsam abfließt. Die Temperaturen waren: Nov. 1907: 6,2°; Mai 1908: 4,8°; Juni 1908: 4,75°; Sept. 1908: 5,7°. Die Schneeschmelze hat etwa im April stattgefunden. Das Sommermaximum dürfte hier im November, das Winterminimum im April unten ankommen; die scheinbar sehr rasche Fortpflanzung beruht auf dem Wärmetransport des Wassers. Die mittlere Jahrestemperatur 5,4° ist auf 0 m reduziert als ideale Bodentemperatur 5,1°. Die mittlere Lufttemperatur ist für Splügen (1470 m) 3,1°. Inner-Ferrera liegt geschützter und dürfte wohl 3,3° haben.

c) Alp Emet (2080 m).

Das Bohrloch ist 10 m 80 cm tief in grobem Gneisschotter gebohrt und bis 10 m verrohrt. Das Gehänge hat an der Stelle eine um 10° geneigte Ostexposition und ist schwach mit Gras bestanden. Die Messungen ergaben: Nov. 1907: 3,9°; Juni 1908: 1,3°; Sept. 1908: 5,4°. Bisweilen ist Wasser bis zu 2 m im Bohrloch. Es scheint, dass das Sommermaximum im September, das Winterminimum im Juni, in dem die Schneeschmelze eintritt, statthat. Die Temperaturen sind fast nur durch Schmelz- und Sickerwässer bestimmt; daher die für 10 m erstaunlich grossen Extremwerte und die ganz unsymmetrische Lage der Maxima zu den Minima. Maximum-Minimumthermometer sollen weitere Aufschlüsse geben. Die mittlere auf 0 m reduzierte ideale Bodentemperatur dürfte etwa 2,9° betragen; die Lufttemperatur des Bernhardin (2073 m) beträgt 0,6°; das Bohrloch, etwa 30 m über dem Talboden von Emet, liegt nicht geschützter und dürfte die gleiche Temperatur haben.

d) Passo di Lago nero (2490 m).

Das Bohrloch ist 10 m 20 cm in kompakten frischen Glimmerschiefer gebohrt, die Röhre geht nur durch die 60 cm Schutt oberhalb und ein kleines Stück in den Fels. Der Platz hat ein mittleres Gehänge von etwa 30° gegen Nordost, keine Vegetation. Da die Schneehöhe von November ab bis Ende Juni mehr als 2 m be-

trägt, und auch demgemäss der Zugang zu dem Ort sehr erschwert ist, konnten nur wenige Messungen vorgenommen werden. Die Messungen ergaben: Nov. 1907: $1,4^{\circ}$; Juni 1908: $0,9^{\circ}$; Sept. 1908: $0,8^{\circ}$. Die jährliche Schwankung ist demnach klein; ihr genauer Betrag wird noch festgestellt werden. Das Winterminimum des Januar dürfte im September, das Sommermaximum des August im März unten ankommen. Durch den kompakten schräg stehenden Fels dürften Schmelz- und Sickerwässer nur ganz langsam in die Tiefe dringen. Die mittlere ideale Bodentemperatur in 0 m dürfte $0,9^{\circ}$ betragen, die Lufttemperatur ist auf $-2,0^{\circ}$ zu veranschlagen.

e) Campo dolcino (1050 m).

Das Bohrloch ist 10 m 80 cm tief in Schutt angelegt und bis 10 m verrohrt, das ganze Jahr trocken. Das Gehänge ist schwach nach Südwesten geneigt und mit gutem Gras bestanden. Professor A. STELLA von Turin hat am 8. Oktober 1907 $8,0^{\circ}$ gemessen; ich mass am 12. November $8,4^{\circ}$. Diese wenigen Zahlen reichen nicht hin, um über die Grösse der Jahresschwankung und die mittlere Bodentemperatur ein sicheres Urteil zu gewinnen. Ich schätze letztere auf etwa $8,5^{\circ}$ und nehme für die Lufttemperatur etwa $7,3^{\circ}$ an.

6. Die Änderung der Bodentemperatur und der Differenz Bodentemperatur mit der Höhe in den Westalpen.

Für die Bodentemperatur ist neben der geographischen Breite und Meereshöhe, welche im wesentlichen die Lufttemperatur bestimmen, auch noch die Gestalt des Bodens, ob eben oder geneigt, massgebend.

Wie die Untersuchungen von A. und F. VON KERNER¹ gezeigt haben, ist die Bodentemperatur bei stärkerer Neigung des Gehänges sehr wesentlich von der Exposition gegen die Sonne abhängig, so dass z. B. im Gschnitztal in den Tiroler Zentralalpen in 1340 m Höhe die Differenz zwischen der kältesten Nordexposition und der wärmsten Südwestexposition (bei etwa 40° Neigung) $3,2^{\circ}$ im Jahresmittel beträgt. Selbstverständlich ist hierbei der Gehängewinkel von ausschlaggebender Bedeutung. Ähnlich ist am St. Gotthard, Pusmeda (2600 m), der Boden auf der sehr schwach geneigten Nordseite in 80 cm Tiefe auch im Spätsommer gefroren, auf der stark geneigten Südseite etwa 300 m entfernt in gleicher Höhenlage da-

¹ A. VON KERNER, Zeitschr. d. österr. Ges. f. Meteorol. März 1871. F. VON KERNER, Sitzungsber. d. kgl. Ak. Wiss. Wien 100, IIa, Mai 1891.

gegen nicht, sondern erst etwa 150 m höher; dasselbe gilt für die Südost- und Nordwestseite des schattigen Wichels (Kt. Uri). Wird das vernachlässigt, was vielleicht bei den Bodentemperaturmessungen am Simplon geschehen ist, so kann man an sich ganz richtige, aber doch durchaus unbrauchbare Werte der Bodentemperatur erhalten. Will man die Bodentemperatur eines nicht in der Ebene liegenden Ortes kennen, so muss man die Exposition wählen, die der mittleren Gehängelage seines Bodens entspricht. Für Bodentemperaturen, die zu Tunnelprognosen verwandt werden, muss eine Exposition gewählt werden, die der mittleren Lage des ganzen Gehänges gleichkommt.

Im folgenden ist eine Auswahl der besten bisher vorliegenden Zahlen für die Nordseite der Westalpen in schwach geneigter Nordexposition für praktisch gleiche geographische Längen und Breiten angegeben. Viele Zahlen, die F. M. STAPFF angibt, wurden aus rasch fließenden Quellen genommen, geben daher eine zu hohe Bodentemperatur. Die Temperaturen, die längs der Simplontrace gemessen wurden, zeigen, wenn man der von BIADEGHO gegebenen Tabelle folgt, eine bisher noch nie beobachtete Erscheinung, nämlich, dass die Bodentemperaturen um 1° bis 3° niedriger sind als die entsprechenden Lufttemperaturen. Zum Teil ist das den bei BIADEGHO falsch berechneten Lufttemperaturen zuzuschreiben, zum Teil aber dürften die Bodentemperaturen unrichtig sein, oder in aussergewöhnlichen Expositionen gemessen sein; denn einzelne, wie die bei Berisal, bei Rafz, beobachteten unterscheiden sich so erheblich (um 3°) von den sonst in gleicher Höhe beobachteten, dass sie nicht verwertbar sind. Die Zahlen für den Schwarzwald sind vorläufig mit hineingenommen, obgleich die Temperaturabnahme mit der Höhe im nördlichen Alpenvorland (Jura, Schwarzwald, Vogesen, Nordtiroler Alpen, letztere nach F. VON KERNER) etwas rascher ist als im zentralen Teil der Alpen.

Man kann aus diesen Zahlen ziemlich sichere Schlüsse über die Bodentemperatur auf dem nicht bewaldeten unter etwa 20° geneigten, bei 2800 m endigenden Nordhang¹ der West- und Zentralalpen ziehen. Die Differenz gegen die Lufttemperatur wächst von etwa $+0,8^{\circ}$ bei 300 m Höhe, auf $+1,1^{\circ}$ bei 1000 m, auf etwa $+1,8^{\circ}$ bei 1500 m, auf etwa $+2,3^{\circ}$ bei 2000 m und dürfte bei 2500 m $+3,0^{\circ}$ betragen. Die aus den Quellen von F. KERNER

¹ Für den Südhang und den südlichen Teil der Alpen liegen Daten vor, die F. KERNER VON MARILAUN aus Beobachtungen an Quellen abgeleitet hat.

Ort	Hagenau	Immental	Neumath	Neumath	Melkerei
Literatur	Schubert ¹	Königsberger und Thoma	Schubert	Schubert	Schubert ¹
Boden	10,3°	9,1°(Wald)	9,2°(Feld)	8,2°(Wald)	7,1°(Feld)
Luft ²	9,2°	9,4°	8,3°	8,3°	5,8°
Differenz	+ 0,1°	- 0,3°	+ 0,9°	+ 0,1°	+ 1,3°
Seehöhe m	915	1025	1050	1000	1316
Ort	Brigerberg	Andeer	Bärenthal	Zentral- Tirol-Alpen	Bugaglia
Literatur	{ Schardt ³ , Schmidt ³ , Biadegho ³ }	Königsberger	Königsberger und Thoma	F. v. Kerner ⁴	{ Schardt, Schmidt, Biadegho }
Boden	8,4°	7,8°(Wald- rand,	6,5°(Feld)	7,71°	6,1°
Luft	?	+ 6,9°(Feld)	5,4°	5,56°	—
Differenz	?	+ 0,9°	+ 1,1°	+ 2,15°	—
Seehöhe m	1340	1350	1431	1500	1510
Ort	Valeggio Airolo	Feldberg	Andermatt Wiese	Zentral- Tirol-Alpen	Inner-Ferrera
Literatur	Stapff	Königsberger und Thoma	Stapff	F. v. Kerner	Königsberger
Boden	6,54°(Feld)	5,3°(Feld)	4,82°(Feld)	5,51°	5,1°(lichter Wald)
Luft	4,68°	3,6°	3,28°	2,7°	3,2°
Differenz	+ 1,86°	+ 1,7°	+ 1,54°	+ 1,8°	+ 1,9°
Seehöhe m	1770	1850	2008	2030	2080
Ort	Sasso Rosso	Rosswald	Simplon- Hospiz	Hohenegg	A. Emet
Literatur	Stapff	{ Schardt, Schmidt, Biadegho }	Biadegho	Schardt und Schmidt	Königsberger
Boden	4,42°(Feld)	3,8°	3,16°(Feld)	3,5°(Feld)	2,9°(Feld)
Luft	1,72°	—	2,52°	—	+ 0,6°
Differenz	+ 2,70°	—	+ 0,6°	—	+ 2,3°
Seehöhe m	2100	2490	2500	—	—
Ort	Zentral- Tirol-Alpen	Passodi Lago nero	Zentral- Tirol-Alpen	—	—
Literatur	F. v. Kerner	Königsberger	F. von Kerner	—	—
Boden	2,87°	+ 0,9°(Feld)	+ 1,1°	—	—
Luft	- 0,5°	- 2,0°	- 2,4°	—	—
Differenz	+ 3,4°	+ 2,9°	+ 3,5°	—	—

¹ J. SCHUBERT, Jährlicher Gang von Luft- und Bodentemperatur. Berlin, Springer, 1900.

² Die Lufttemperatur ist, um die Vergleichung mit den alpinen meteorologischen Stationen zu ermöglichen, stets für „Feld“ angegeben.

³ H. SCHARDT, Bullet. tech. de la Suisse rom., 1905. — C. SCHMIDT, Rektoratsprogramm loc. cit. — G. B. BIADEGHO, I grandi trafori alpini. Milano, Hoepli, 1906.

⁴ F. KERNER VON MARILAUN, Meteorol. Zeitschr., April 1905.

Die Bodentemperaturen sind aus Quellentemperaturen berechnet, die Lufttemperaturen sind teils inter-, teils extrapoliert.

VON MARILAUEN bestimmte Temperatur am Nordhang der Ostalpen ist um einige Zehntel höher als die entsprechende in den Westalpen. Zum kleineren Teil mag das auf die geographische Länge, hauptsächlich aber auf die stets etwas höhere Wärme der Quellen zurückzuführen sein; dieselbe Erscheinung finden wir bei den von STAPFF aus den Quelltemperaturen berechneten Bodentemperaturen. Für die Berechnungen der geothermischen Tiefenstufe können folgende Mittelwerte für Nord- und Südseite der zentralen Käme mit entsprechend wechselnder Exposition zugrunde gelegt werden: 500 m (Nordseite) = 3,9°; 1000 m (Nordseite) = 7,2°, (Südseite) = 8,8°; 1500 m (Nordseite) = 5,1°, (Südseite) = 6,1°; 2000 m (Nordseite) = 3,0°, (Südseite) = 3,7°; 2500 m (Nordseite) = 0,8°, (Südseite) = 1,0°; 2670 m = 0°.

Die Tatsache, dass auf freiem Feld in Meereshöhe die Bodentemperatur um etwa 1° bis 2° höher als die Lufttemperatur ist, wurde in allen Teilen der Erde (in Europa, Japan, Mexiko, Tibet, Südpolarländern etc.) beobachtet. Da der Schnee ein schlechter Wärmeleiter ist, wird naturgemäss mit zunehmender Schneebedeckung diese Differenz wachsen. Die Bodentemperaturmessungen der schwedischen Südpolarexposition¹ auf Grahamsland können in dieser Hinsicht leider keinen Aufschluss geben, da der Schnee von der Beobachtungsstelle entfernt wurde. Die Lufttemperatur war dort - 11,8°, die Bodentemperatur im Mittel bei 0 m ca. - 10,3°. Vielleicht ist die erheblich höhere Bodentemperatur auf der benachbarten Insel Paulet durch Schneebedeckung zu erklären. Vorläufig lässt sich daher nicht angeben, ob die Zunahme der Differenz Bodentemperatur weniger Lufttemperatur bei zunehmender Höhe ü. M. durch die länger dauernde Schneebedeckung oder die geringere Dichte der Luft bedingt ist.

7. Bodentemperaturen in Egypten.

In Egypten sind von Menschenhand zahlreiche sehr massive, z. T. unterirdisch gelegene Bauten geschaffen worden, die Gelegenheit bieten, die Bodentemperatur in solchen Tiefen zu messen, dass die jährliche Schwankung nur 0,1°—0,3° beträgt. Es schien mir wünschenswert, gerade für trockenen Sandboden mit schlechter Wärmeleitfähigkeit festzustellen, ob auch hier der Unterschied zwischen Luft- und Bodentemperatur in 0—100 m ü. M. nicht mehr als 1,1° beträgt. — Die sehr interessante Frage der Temperatur-

¹ Gösta BODMANN, Peterm. Geogr. Mitt. 1904, Heft 5.

umkehr in den oberen Bodenschichten, die sich hier, wo der Sonnentypus von A. WOEIKOFF¹ vorliegt, stark bis 7 oder 10 m Tiefe geltend machen müsste, konnte ich leider nicht studieren.

In Sakkarah, der Gräberstadt des alten Memphis, bei Heluan (Hilwân), hat die unterste Kammer des mit eiserner Tür luftdicht abgeschlossenen Serapeums (etwa 20 m unter der Oberfläche) am Boden eine Temperatur von 24,8°. Reduziert man das auf die Oberfläche und nimmt gemäss den Messungen bei der Anlage artesischer Brunnen in der Sahara 25 m als geothermische Tiefenstufe an, so wäre die ideale Bodentemperatur an der Oberfläche etwa 24,0°. Sehr nahe, etwa 15 km entfernt, in gleicher Höhe, liegt das Meteorological Observatory of Helwan, die Zentralstation für Egypten. Ich verdanke Herrn P. A. CURRY die Mitteilung der dortigen Lufttemperaturen sowie der von Kairo und Assuan. Im Jahr 1907, das ja für die Bodentemperatur in 15 m Tiefe im März 1908 ausschlaggebend war, war die Jahrestemperatur 20,7°. Wäre das Terrain gleichmässig, so hätten wir also den Wert von Hilwan auch als Lufttemperatur in Sakkarah anzunehmen. Das wäre aber meines Erachtens nicht richtig. Sakkarah liegt schon völlig in der Wüste, dagegen Hilwan und sein Observatorium am Fuss des Gebel Turra, der das Niltal begrenzt. Das Niltal hat aber eine andere und zwar niedrigere Temperatur als die Wüste. Im Winter herrschen bei Kairo und Hilwan, am stärksten nachmittags, die südlichen Winde, die vom oberen Niltal die warme Luft herunter-, im Sommer, jetzt schon von April ab, am stärksten nachmittags, Nordwinde, die kalte Luft das Niltal herauftransportieren. Diese bewirken mehr einen Ausgleich der täglichen Schwankung als eine Abkühlung. Die Abkühlung kommt aber durch die Verdunstung zustande. Diese ist sehr stark; denn die mittlere Feuchtigkeit im Niltal ist erheblich grösser als in der unmittelbar anliegenden Wüste. Wie man leicht berechnen kann, sind es gewaltige Wasser- und somit Wärmemengen, die da ins Spiel kommen. Deshalb ist, wie ich glaube, die Jahrestemperatur der Wüste etwa 2°—3° höher als die jetzige Jahrestemperatur nahe dabei im Niltal. Es ist noch eine Streitfrage, ob im Niltal auch das neuerliche Eingreifen des Menschen als klimatischer Faktor gewirkt hat. J. HANN gibt im Handbuch der Klimatologie III S. 73 und Met. Zt. 1895 als Mittel für Kairo 1870—1890 21,3°. Seitdem wurde der Staudamm von Assuan

¹ A. WOEIKOFF, Zeitschr. f. Meteorol. 21 (1904) S. 50

errichtet, der Wasserreichtum gleichmässiger auch auf Juni und Juli verteilt und damit die Verdunstung erheblich begünstigt. Dies hatte zur Folge, dass die Jahrestemperatur 1906 in Kairo nach Mitteilung von P. A. CURRY $20,4^{\circ}$ betrug. In der Zwischenzeit hat die grosse Wassermenge dazu gedient, noch grössere Areale zu bewässern und also auch die Verdunstung auf grössere Flächen im Niltal auszuweiten, daher 1907 eine Jahrestemperatur von $18,5^{\circ}$.

In einer mir soeben von Herrn B. F. E. KEELING, Superintendent of the Metereological Observatory of Helwan freundlichst übersandten sehr interessanten Schrift: *Climate Changes in Egypt. Alexandria 1909* sind die mittleren Jahrestemperaturen des Observatorium von Abbassieh bei Kairo 1870—1908 zusammengestellt. Die Station liegt schon ausserhalb des Niltals am Rand der Wüste und ist deshalb, wie mir scheint, zur Entscheidung der Frage nicht sehr geeignet; denn der Einfluss einer stärkeren gleichmässigeren Bewässerung kann sich natürlich nur lokal, soweit diese reicht, geltend machen. Nimmt man indessen das Mittel aus den Jahren vor Errichtung des Staudamms von Assuan etwa bis 1900, so erhält man $21,21^{\circ}$ und von 1900—1908: $20,80^{\circ}$. Für den Regenfall ergeben sich 1887—1900 im Mittel jährlich 30 mm; 1900—1908 44 mm. Herr KEELING hält beides für zufällige Erscheinungen und glaubt, dass die Nilregulierung keinen Einfluss hat; ich glaube das Gegenteil; die Beobachtungen in den nächsten Jahrzehnten werden darüber Aufschluss geben. Dass Flusstäler auf grosse Entfernung hin einen Einfluss haben, ist eine den Aeronauten bekannte Tatsache. Die Flussläufe haben ihr vergrössertes Spiegelbild in den Wolken (vgl. z. B. Baron v. Bassus' Photographien in den Aeronaut. Mitteilungen 1905, 1906 und 1908). Wünschenswert wären Beobachtungen der Temperatur und der Feuchtigkeit an einer Station, die nicht am Rand der Wüste, sondern näher am Nil liegt.

Demnach scheint es mir wohl begründet, wenn wir die mittlere Temperatur von Sakkarah um etwa 2° höher als 1907 die Temperatur von Hilwan: also zu $22,7^{\circ}$ annehmen.

Dies stimmt auch sehr gut mit der Karte der Jahresisothermen der Erde, die JUL. HANN gezeichnet hat, und die als mittlere Temperatur für diese Breite in Nordostafrika etwa $22,5^{\circ}$ geben würde.

Die Differenz Bodentemperatur-Luft ist also für Sakkarah $+1,5^{\circ}$, etwas grösser (um $1,1^{\circ}$) als gewöhnlich; dies dürfte mit der geringeren Konsistenz des Bodens zusammenhängen.

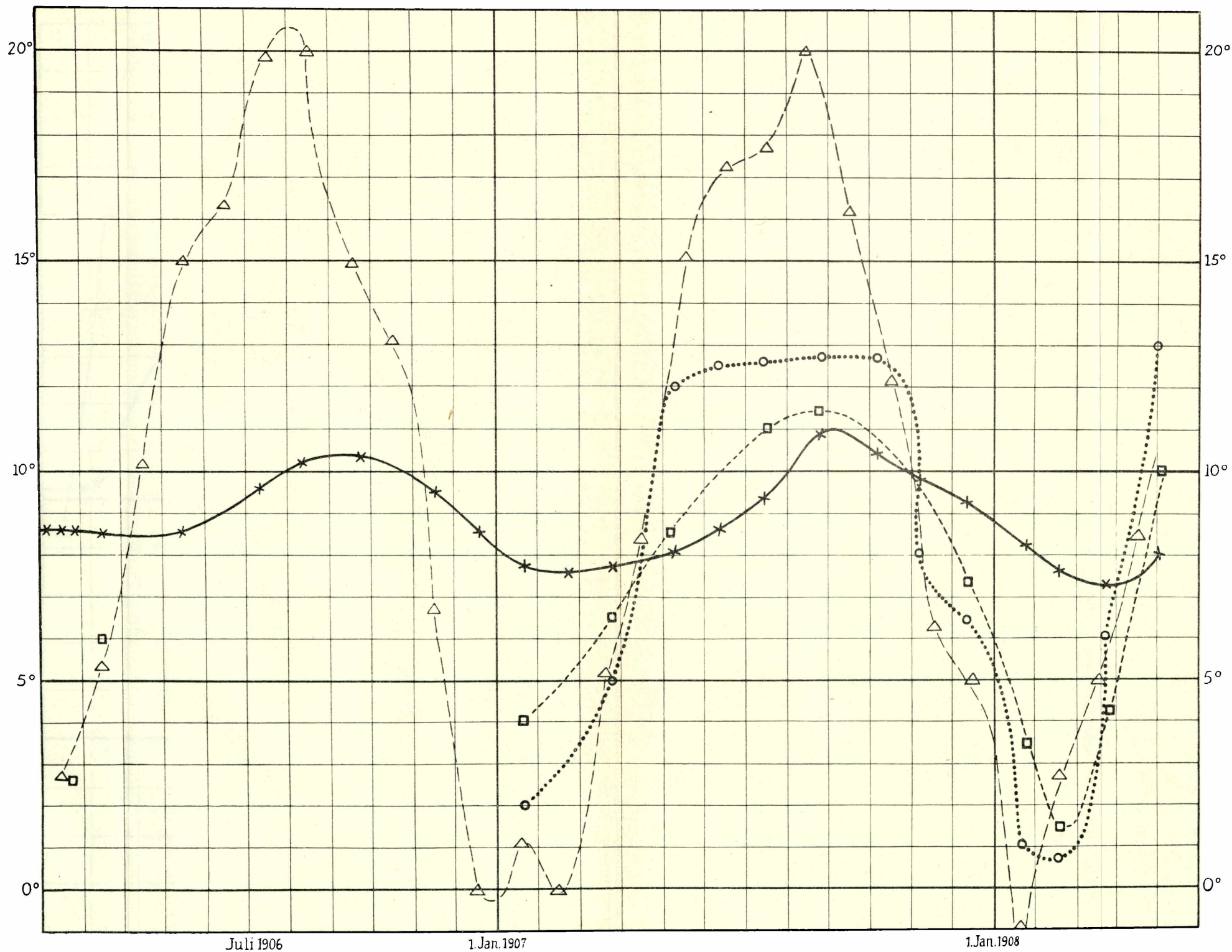
Bei Kairo liess sich die mittlere Bodentemperatur aus einer Messung in der Grabkammer der kleinsten dritten Pyramide von Gizeh ermitteln; dort fand ich $22,8^{\circ}$, der Abstand von der Oberfläche der Pyramide beträgt in kürzester Linie 50 m. Diese bestehen aus festgefügt, aber nicht zementierten Steinen, für den die Tiefenstufe etwa 30 m ist. Es sind also etwa $2,0^{\circ}$ abzuziehen. Dies gibt $20,8^{\circ}$; die mittlere Lufttemperatur in Kairo 1907 war $18,5^{\circ}$; die Differenz ideale Bodentemperatur-Lufttemperatur würde also $2,3^{\circ}$ mehr betragen als in Sakkarah, weil vermutlich auch die Lufttemperatur in Gizeh in Wirklichkeit etwas höher ist als in Kairo, aus denselben Gründen wie oben angegeben.

Bei Luxor-Theben lassen sich in den Grabkammern von Biban el Muluk Bodentemperaturen in genügender Tiefe, also mit verschwindender jährlicher Schwankung, feststellen. In vielen bewirkt die Luftzirkulation durch Öffnen der Türen beim Zeigen der Gräber im Winter eine zu niedrige Temperatur. In No. 8 Merenptah $23,4^{\circ}$; in No. 9 Ramses VI. 23° ; in No. 17 Sethos I. 25° in etwa 30 m vertikal unter der Oberfläche. Geeigneter noch sind einige selten besuchte Gräber der Königinnen in Biban el Harim, von denen No. 44 Khamweset mit eiserner, sehr gut schliessender Tür versehen ist; dort fand ich 27° ; in Nefret ere Mien Mut 28° ; im Mittel also $27,5^{\circ}$ in etwa 30 m, die mittlere Lufttemperatur dort ist nach den Jahresisothermen von J. HANN etwa $24,5^{\circ}$. Die geothermische Tiefenstufe etwa 20 p. 1° ; also die ideale Bodentemperatur 26° ; die Differenz also etwa $1,5^{\circ}$.

Gegenüber Assuan im Niltal liegen im nubischen Sandstein Gräber, die aber nicht tief in den Fels hineingehen. Ich fand 26° . Die mittlere Jahrestemperatur war nach freundlicher Mitteilung von Herrn P. A. CURRY 1907 $24,2^{\circ}$, was auffallend niedrig ist, aber vielleicht nach S. 19 oben zu erklären. Die Differenz wäre also $1,8^{\circ}$.

Als Resultat ergibt sich aus dem vorhergehenden, dass bei trockenem sandigem Boden die Bodentemperatur an der Oberfläche etwa $1,5^{\circ}$ bis $2,0^{\circ}$ höher als die Lufttemperatur ist, während dieser Unterschied in regenreicherem Klima bei ebenfalls nicht bewaldetem Boden nur 1° beträgt. Das stimmt mit den kleinen Tiefenstufen, die beim Bohren artesischer Brunnen in der Sahara gefunden wurden.

Anmerkung. Eine Messung in Alexandrien in etwa 20 m Tiefe zeigte den Einfluss des benachbarten Meeres und des dicht an dem Ort vorbeilaufenden Mahmoudieh-Kanals; es wurde $15,5^{\circ}$ gefunden, während die mittlere Lufttemperatur $20,6^{\circ}$ (nach J. HANN) ist.



Tafelerklärung.

Immental bei Freiburg. 310 m.
Wald. Nordexposition.

Gehängewinkel 30°. Bohrloch
3,2 m tief. Schotter und Lehm.
Eisenrohr 2,9 m tief.

× Temperatur im Bohrloch (Bo-
dentemperatur).

□ Kleine intermittierende Quelle.
○ Temperatur an der Oberfläche
10 cm im Boden.

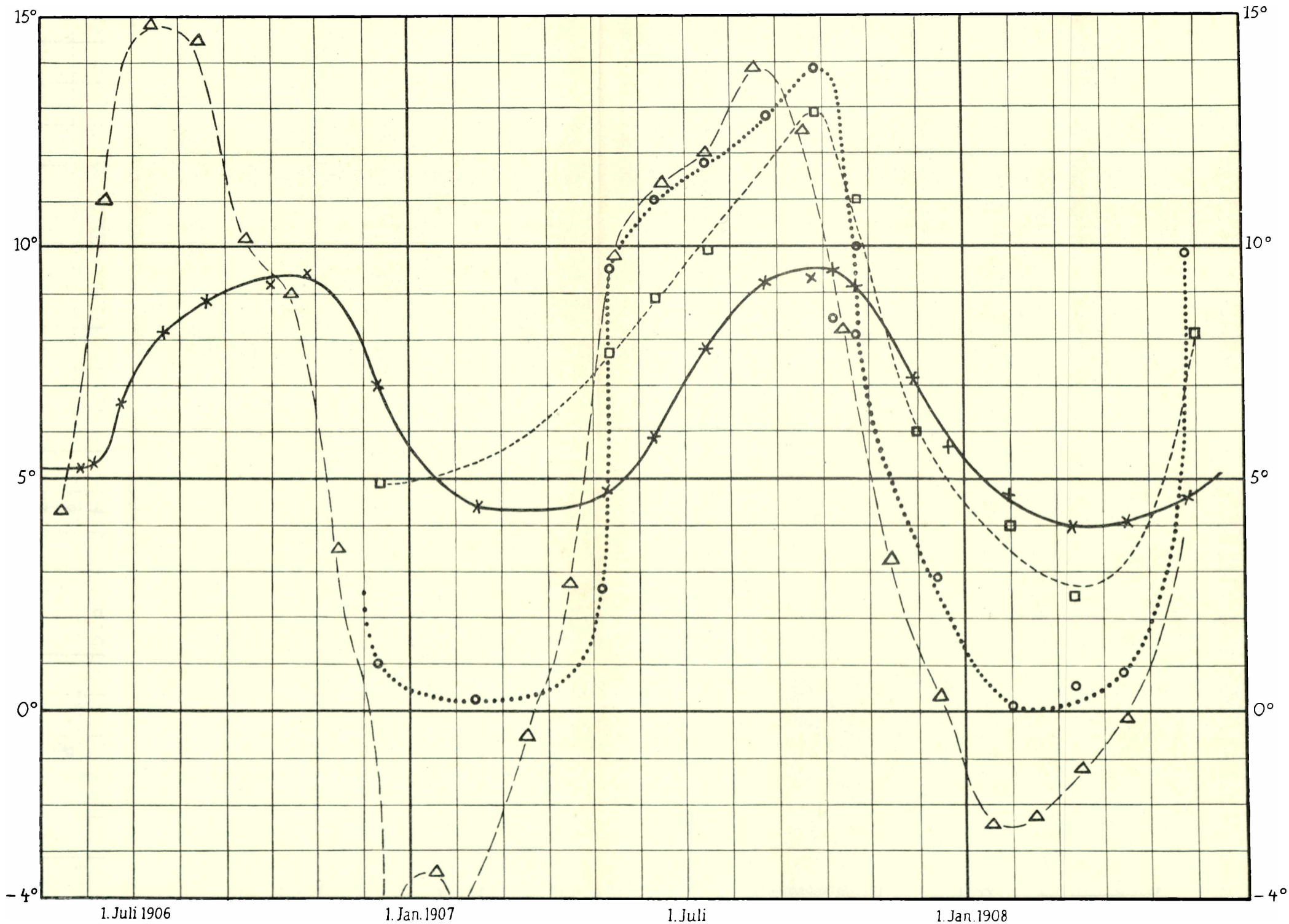
△ Monatsmittel der Lufttempera-
turen von Freiburg.

Mittel der Bodentemperatur (März
1906 bis März 1908): 9,08.

Mittel der Bodentemperatur (Febr.
1907 bis Febr. 1908): 9,02.

Mittel der Quelltemperatur (Febr.
1907 bis Febr. 1908): 8,56.

Mittel der Oberflächentemperatur
(Febr. 1907 bis Febr. 1908):
8,95.

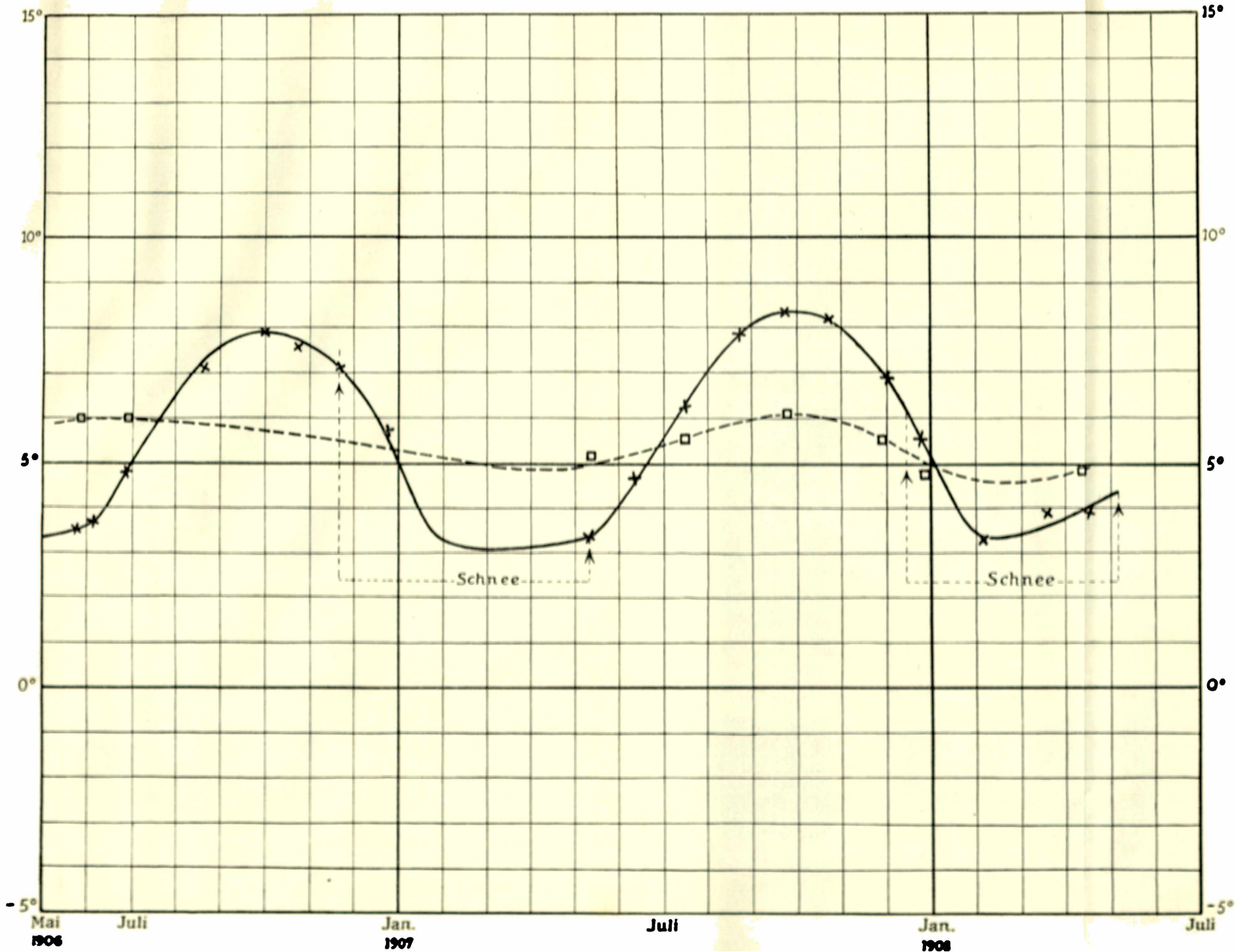


Tafelerklärung.

Bärental bei Titisee. 1055 m.
Nordostexposition.

Gehängewinkel ca. 10°. Bohrloch
2,4 m Schotter und 70 cm
Granit. Eisenröhre 2,5 m.

- × Temperatur im Bohrloch.
 - Quelle etwa 20 m unterhalb.
 - Bodentemperatur in 10 cm Tiefe.
 - △ Mittel der Lufttemperaturen von Todtnauberg (1020 m) und Höchenschwand (1012 m) p. Mountsmite.
- Mittel der Bodentemperatur (Mai 1906 bis Mai 1908): 6,64.
Mittel der Bodentemperatur (Jan. 1907 bis Jan. 1908): 6,58.
Mittel der Quelltemperatur (Jan. 1907 bis Jan. 1908): 7,74.



Tafelerklärung.

Feldberg. 1355 m. Südexposition.

Gehängewinkel ca. 25°. Bohrloch

2,8 m Schotter und 40 cm

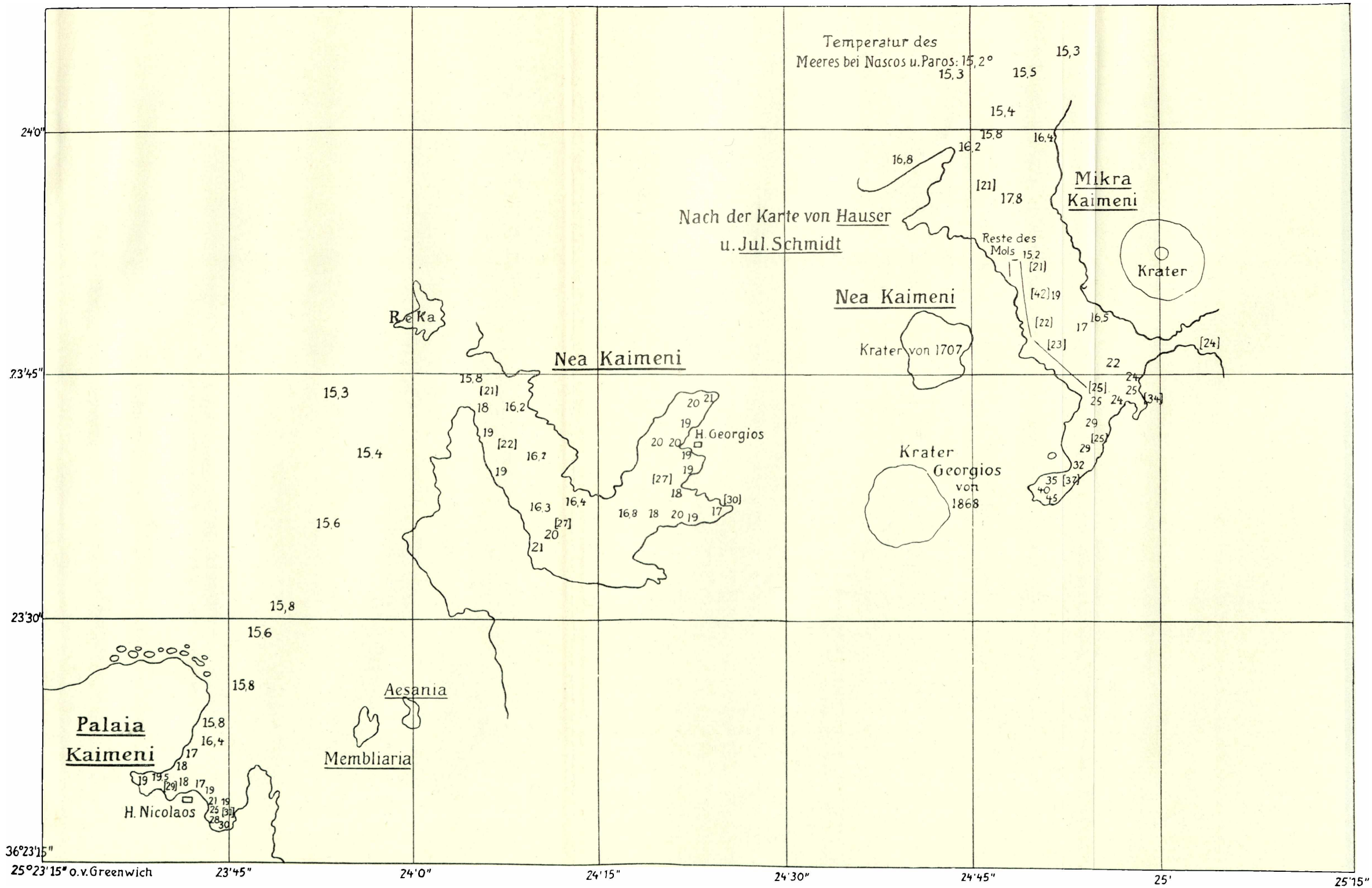
Granit. Eisenröhre 2,4 m.

× Temperatur im Bohrloch.

□ Temperatur der Quelle am Seebuck in Cementröhre in gleicher Meereshöhe.

Mittel der Bodentemperatur (Mai 1906 bis Mai 1908): 5,43.

Mittel der Quelltemperatur (Mai 1906 bis Mai 1908): 5,48.



Nach der Karte von Hauser u. Jul. Schmidt

Tafelerklärung.

Temperaturen des Meeres in der Nähe der Kaimeniinseln im Krater von Thera (Santorin).

[] sind die 1870 von Leutnant z. S. HAUSER beobachteten Temperaturen in Celsius, die andern hat d. Verf. April 1908 gemessen.

Die Karte ist nach der Skizze von HAUSER, die JUL. SCHMIDT, Direktor der Sternwarte zu Athen, ausgearbeitet hat, vergrößert.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: [18](#)

Autor(en)/Author(s): Koenigsberger Johann G., Thoma , Leier F.

Artikel/Article: [Über Bodentemperaturen im Schwarzwald, in Graubünden und in Egypten 23-42](#)