

Die Messungen der Erdwärme bei Stubičke Toplice in den Jahren 1909 und 1910.

Von Christian Freiherr von Steeb, k. u. k. Feldzeugmeister d. R.

Mit drei Tafeln (Nr. XXVII [I], XXVIII [II] und XXIX [III]).

Einleitung.

Vom Thermalbade Stubičke Toplice (Stubica-Töplitz) in Kroatien sind die geologischen und hydrographischen Verhältnisse, sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Quellen in dieser Zeitschrift bereits besprochen worden¹⁾. Es wurde dort auch erwähnt, daß die vielen, 40—64°C warmen Quellen meist 1—2 m unter der Erdoberfläche und — mit einer Ausnahme — in einer Ebene liegen, welche gegen Ostnordost unter 1:100 fällt. Um die horizontale Ausdehnung dieser Schichte heißen Wassers zu ermitteln, beantragte ich, an vielen Punkten in der Umgebung der Thermen, unter möglichst gleichen Verhältnissen, besonders aber in ein und derselben Tiefe, die Erdtemperatur zu messen.

Für den Vorgang bei dieser Untersuchung war kein Beispiel bekannt. Die Beobachtungen von Homén²⁾, dann von verschiedenen meteorologischen Anstalten über die Bodenwärme beziehen sich nur auf die Modifikationen, welche dieselbe an ein und demselben Punkte im Laufe der Zeit, oder bei veränderter Tiefe erfährt. Letzteren Zweck verfolgen auch die vielfachen Wärmemessungen in tiefen Bohrlöchern.

Mehr Analogie mit meiner Aufgabe zeigte eine Studie, welche über die Ausdehnung des Thermalgebietes von Baden bei Wien gemacht wurde³⁾. Professor J. Jellinek ermittelte im Juli 1872 die

¹⁾ Hofrat Dr. Gorjanović-Kramberger, Feldzeugmeister Baron Steeb, Mag. d. Ph. Melkus: Die geologischen und hydrographischen Verhältnisse der Therme Stubičke Toplice in Kroatien und deren chemisch-physikalische Eigenschaften. (Jahrb. d. k. k. geol. R.-A. 1910. Bd. LX, 1. Heft.)

²⁾ Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Leipzig 1897.

³⁾ Karrer Felix, Geologie der Franz Josefs-Hochquellenwasserleitung, Wien 1877, pag. 209—216 und Tafel XIII. (Abhandl. d. k. k. geol. R.-A. Bd. IX.)

Jahrbuch d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1910, 60. Band, 4. Heft. (Frh. v. Steeb.) 100*

Wassertemperatur von 484 Brunnen in Baden. Hierzu wurden zuerst etwa 50 Liter Wasser geschöpft und dann das Thermometer solange in das ausfließende Wasser gehalten, bis sich sein Stand nicht mehr änderte. Die Tiefe und der Wasserstand der Brunnen konnte meistens nicht erhoben werden. Auf Grund dieser Daten hat Professor Eduard Suess Isothermen auf einer Karte 1:5760 entworfen.

Für Stubičke Toplice war dieses Verfahren nicht benützlich. Einesteils fehlte dort die notwendige Anzahl von Brunnen und dann sollte die Erdwärme in ein und derselben Tiefe ermittelt werden. Es mußte also ein besonderes Meßverfahren zur Anwendung kommen. Dieses sowie die zugehörigen Instrumente sind im Nachfolgenden beschrieben. Die dabei in Betracht kommenden Beobachtungen der Erdtemperatur erfolgten Mitte Mai und Mitte September 1909, dann Mitte Oktober 1910. Von einem Teile der ersteren Messungen ist das Schlußresultat in der früheren Publikation insofern mitgeteilt worden, als in einem Plane 1:2000 die Isothermen 0,5 *m* unter der Erdoberfläche eingezeichnet sind. Wie diese Kurven erhalten wurden, dann andere bei diesen Messungen im Mai 1909 gewonnene Daten, sollen hier zur Besprechung gelangen. Dasselbe gilt von den Erhebungen im September 1909 und Oktober 1910. Bei denselben handelte es sich einesteils darum, die Veränderungen zu ermitteln, welche die Erdtemperaturen seit den früheren Messungen erfahren haben und andernteils festzustellen, in welcher Weise die Bodentemperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle — dem Thermalwasser — abnimmt.

Bei den Messungen im Mai 1909 und Oktober 1910, dann bei der Wahl und Prüfung der Instrumente hat Prof. Dr. Stefan Škreb, Assistent am Agramer meteorologischen Observatorium, mitgewirkt. Ich bin ihm dafür viel Dank schuldig.

Das Manuskript der vorliegenden Abhandlung war — soweit es die Messungen vom Jahre 1909 betrifft — bereits im Sommer 1910 vollendet, im darauffolgenden Herbst gesetzt und die Steine der Beilagen Nr. XXVII und XXVIII fertig gestellt.

Die Resultate der Untersuchungen im Oktober 1910 konnten daher nur so verwertet werden, daß in dem bestehenden Letternsatze, sowie in den vorhandenen Drucksteinen tunlichst wenig Änderungen eintreten. Dies möge einige Widersprüche im Texte und in den Tafeln entschuldigen.

Meßverfahren und Instrumente.

Die Wahl der Tiefe, in welcher die Bodentemperaturen zu beobachten, ist im vorliegenden Falle von besonderer Bedeutung. Es handelt sich darum, den Einfluß des Thermalwassers auf die Bodentemperatur zu ermitteln und letztere hängt auch von der stets wechselnden Energie der Sonne ab. Die Wärmeschwankungen, welche dieselbe hervorruft, werden mit der zunehmenden Tiefe geringer, bis endlich

etwa 2 m unter der Erdoberfläche die Bodentemperatur konstant bleibt. Bis zu dieser Tiefe kann bei Stubičke Toplice nicht gegangen werden, da das heiße Wasser stellenweise kaum 1.5 m unter der Erdoberfläche liegt und das Eindringen in diese Thermalschichte aus verschiedenen Gründen nicht ratsam erscheint.

Bei einer größeren Beobachtungstiefe werden die Arbeiten für das Einführen des Thermometers zeitraubender, die Messungen dauern länger, stärkere Veränderungen während derselben in der Witterung und daher auch in der Bodentemperatur erscheinen wahrscheinlicher.

Diese Erwägungen führten dazu, für die Messungen in der Mitte Mai 1909 in erster Linie die Beobachtungstiefe von 1.0 m und in zweiter Linie jene von 0.5 m in Aussicht zu nehmen.

Den Einfluß der Sonne auf diese Beobachtungen kann man nach den Bodentemperatur-Messungen beurteilen, welche das Agramer meteorologische Observatorium 1898 und 1899, im dortigen botanischen Garten, vorgenommen hat. Der Boden besteht an jener Stelle, ähnlich wie bei Stubičke Toplice, aus Lehm, mit Sand und Schotter gemengt. Die Ablesung der Thermometer geschah bei der Tiefe von 0.5 m dreimal im Tage, um 7 Uhr früh, dann um 2 und 9 Uhr nachmittag. Bei der Tiefe von 1.0 m wurde nur einmal, um 2 Uhr nachmittag, abgelesen.

Nachfolgende Tabelle gibt die für den vorliegenden Fall wichtigsten Resultate dieser Agramer Bodentemperatur-Messungen. Die Beobachtungen vom Jahre 1899 sind unvollständig.

Zeit	Beobachtungstiefe	B o d e n -		L u f t -		
		Temperatur in Agram, Grade C.				
		Größter Unterschied der Tagesmittel		Monatsmittel	Maximum	Minimum
im ganzen Monat	aufeinander folgender Tage					
1898	0.5 m	3.7	0.9	15.5	27.7	6.8
	1.0 m	3.5	0.3			
1899	0.5 m	4.3	0.5	14.5	27.6	1.6
	1.0 m	3.6	0.4			
1898	0.5 m	3.5	0.8	15.5	30.5	2.8
	1.0 m	2.4	0.8			
1899	0.5 m	3.2	0.6	15.4	31.0	5.9
	1.0 m	1.7	0.5 ?			

Nachdem die beabsichtigten Bodentemperatur-Messungen bei beständigem Wetter vorgenommen werden und höchstens drei bis vier Tage dauern, so dürfte der Einfluß der wechselnden Energie der Sonne bedeutend geringere Unterschiede der Erdwärme hervorrufen, als die obenstehenden Maximalwerte. Im Laufe eines Tages können diese Differenzen kaum einige Zehntel Grad erreichen.

Starke Witterungsänderungen am Ende der Arbeitszeit kommen nicht in Betracht. Nach Dr. Theodor Homén¹⁾ benötigen nämlich Temperaturmaxima, beziehungsweise Minima bis sie im Sandboden die Tiefe von 0·6 *m* erreichen im Mittel fast 20, beziehungsweise 17 Stunden.

Um beurteilen zu können, welcher Teil der Erdwärme dem Einflusse der Thermen zuzuschreiben sei, wurde an einem Punkte die Bodentemperatur gemessen, welcher voraussichtlich außer der Wirkungssphäre der heißen Wasserschichte liegt. Dieser „neutrale Punkt“ (Nr. 1) befindet sich zirka 250 *m* südsüdwestlich vom Badegebäude (Maximilianeum) und kaum einen Meter höher als dieses.

Bei allen Messungen wurde vor Beginn der Arbeit, bei den Messungen Mitte September 1909, dann am 12. Oktober 1910 außerdem am Schlusse der Beobachtungen die Bodentemperatur am neutralen Punkte ermittelt. In letzteren Fällen ergab sich dadurch direkt die Veränderung der Erdwärme durch den Einfluß der Sonne während der Arbeitszeit.

Die am neutralen Punkte beobachteten Temperaturen sind folgende:

1909		in 0·5 <i>m</i> Tiefe	in 1·0 <i>m</i> Tiefe
am 12. Mai	um 3 ^h 15' nm.	10·1 ⁰ C	10·2 ⁰ C
11. September	8 ^h 30' vm.	15·7 ⁰ C ²⁾	15·6 ⁰ C
17. „	9 ^h —' vm.	15·7 ⁰ C	
„ 21. Oktober	9 ^h —' vm.	13·8 ⁰ C	13·7 ⁰ C
1910			
am 12. Oktober	um 7 ^h 45' vm.	13·3 ⁰ C	13·6 ⁰ C
„ „	5 ^h 6' nm.	13·2 ⁰ C	—
„ 13. Oktober	9 ^h 15' vm.	13·4 ⁰ C	13·8 ⁰ C

Mitte September 1909 scheint die Bodentemperatur ganz konstant geblieben zu sein.

Zwischen dem 17. September und 21. Oktober 1909 war eine Kälte- und Regenperiode, welche die starke Abnahme der Erdwärme erklären dürfte.

¹⁾ Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Leipzig, 1897.

²⁾ 4·5 *km* östlich Stubičke Toplice und etwa 50 *m* höher als dieses, in der nächsten Nähe des Schlosses Golubovec, wurden am 6. und 7. September 1909 in 0·5 *m* Tiefe die Bodentemperaturen: 17·5, 17·4 und 16·0⁰ C gemessen.

Am 12. und 13. Oktober 1910 zeigen die Erdtemperaturen nur unbedeutende Schwankungen.

Die Temperaturen in 0·5 *m* und 1·0 *m* Tiefe, zur gleichen Zeit beobachtet, sind beinahe stets dieselben, es können daher auch die Wärmeschwankungen in diesen Tiefen nicht sehr verschieden sein. Bei beständigem Wetter bietet somit das Messen in 1·0 *m* Tiefe nicht wesentliche Vorteile, gegen die Beobachtungen in 0·5 *m* Tiefe.

Wie konstant bei solcher Witterung die Bodentemperatur ist, ergab sich am 13. Oktober 1910. Ein Thermometer blieb an diesem Tage (bei Punkt Nr. 56) von 11^h 15' vm. bis 2^h 50' nm., mit dem Quecksilberreservoir in 50 *cm* Tiefe, in der Erde. An der herausstehenden Skala wurde beiläufig alle Halbestunden abgelesen und stets dasselbe Resultat: 17·4° C erhalten, nur einmal — zu mittag — ergab sich: 17·3° C (vergl. pag. 774).

Für die Temperaturmessungen in 1 *m* Tiefe stand anfangs nur ein „Stockthermometer“ zur Verfügung, welches die Gebrüder Bergmann in Mellenbach (Thüringen) geliefert hatten. Dasselbe steckt in einer 1·57 *m* langen, 19 *mm* weiten Messinghülse. Oben schließt ein etwa 10 *mm* weiteres Messingrohr an. Durch einen Schlitz desselben ist die Skala sichtbar. Dieselbe reicht von Null bis 60° C. Die Grade sind etwa 5 *mm* lang und nicht unterteilt.

Das untere Ende des Thermometers ist 1·62 *m* vom Nullpunkte der Skala entfernt. Die Hülse ist hier mehrfach durchlocht und endet mit einer 4 *cm* hohen, konischen Spiralfeder. Der obere Durchmesser derselben mißt 27 *mm*. Diese Verdickung (um 8 *mm*) bietet bei der beabsichtigten Verwendung des Instruments manche Schwierigkeiten.

Wird mit einem Vorschlagspflock in der Erde ein Loch erzeugt, so läßt sich das Thermometer wegen dieser Spiralfeder kaum einführen und kann mit der Erde nicht in innige Berührung treten.

Es wurde deshalb ein eisernes Gasrohr von 32 *mm* Durchmesser und 5 *mm* Wandstärke in den Boden getrieben und in dasselbe das Thermometer gesteckt. Dieses Gasrohr war unten geschlossen und mit einer Spitze versehen. Oben befand sich am Rohr eine Verstärkung und ein Ring, welcher das Herausziehen erleichterte. Bis zu dieser Verstärkung wurde das Rohr in die Erde geschlagen. Der Boden des Rohres befand sich dann 1·04 *m* und das Quecksilberreservoir des eingeführten Thermometers etwa 1·00 *m* unter der Erdoberfläche. Um die Wärmeleitung zwischen Thermometer und Eisenrohr, beziehungsweise Erdboden, zu befördern, wurde in das Rohr etwa 0·3 *l* Wasser gegossen.

Vor Beginn der Feldarbeit ermittelte Dr. Škreb die Zeit, welche erforderlich sein dürfte, damit das Thermometer die Temperatur des Bodens annehme, ferner die Richtigkeit der Temperaturangaben, besonders mit Rücksicht auf die Wärmeleitung des oberen Thermometer-teiles. Wurde das Thermometer in Wasser von 15 bis 100 *cm* Höhe und Temperaturen von 0—40° C getaucht, so kam die Quecksilbersäule in zwei bis fünf Minuten zum Stillstande. Stellte man das Eisenrohr mit eingeführtem Thermometer in Wasser von 30 *cm* Höhe und

einer von der Lufttemperatur sehr abweichenden Wärme, so erreichte die Quecksilbersäule in etwa 15 Minuten ihren endgültigen Stand. Es erschien somit ausreichend, wenn das Thermometer vor dem Ablesen 30 Minuten im Rohr war. Dies genügte um so mehr, als mit zwei Eisenrohren gearbeitet wurde, dieselben somit mindestens 30 Minuten im Boden steckten, bevor das Thermometer hineinkam. Das Eisenrohr und das Wasser in demselben hatten daher Zeit die Erdtemperatur anzunehmen.

Um den Einfluß des herausragenden Thermometerteiles zu prüfen, wurde bei 17° C Lufttemperatur das Thermometer 30 *cm* in ein Wasser getaucht, dessen Temperatur nach und nach von Null bis 50° C verändert worden ist. Das Thermometer zeigte bei 25° C die Wassertemperatur richtig, bei geringerer Wasserwärme war eine negative Korrektur erforderlich, welche gleichmäßig wachsend bei nullgradigem Wasser — 0·7° C erreichte. Bei Wassertemperaturen über 25° C erschienen ebenfalls eine gleichmäßig ansteigende, aber positive Korrektur notwendig. Bei 50° C Wasserwärme betrug dieselbe + 0·4° C.

In Wasser von 40° C Wärme 1 *m* tief eingetaucht, zeigte das Thermometer die Temperatur bis auf 0·1° C genau, obwohl die Luft einmal 18° C und das anderemal 8° C hatte.

Das Bergmannsche Stockthermometer dürfte daher, in Verbindung mit dem wassergefüllten Eisenrohr angewendet, immerhin geeignet sein, Erdtemperaturen auf etwa 0·5° C genau zu ermitteln.

Heinrich Kappeller in Wien V/1 lieferte kurz vor Beginn der Feldarbeit im April 1909 auch ein langes Thermometer.

Dieses Instrument steckt in einem Eisenrohr von 2·5 *cm* Durchmesser. Unten sitzt an demselben eine 4·5 *cm* lange Schraube mit drei Windungen. Die oberste derselben hat denselben Durchmesser wie die Thermometerhülse. Diese Schraube soll ermöglichen, das Thermometer in den Boden zu schrauben. Auf 1·39 *m* vom unteren Ende des Thermometers ragt aus dem Eisenrohr ein sechseckiges Prisma. Dieses kann man mit einem Schlüssel umfassen, wenn man das Instrument in den Boden bohren will. Der Gebrauch dieses Schlüssels erscheint nicht notwendig. Es ist am zweckmäßigsten, das Thermometer direkt mit den Händen nach abwärts zu drücken und zu drehen. Das Einschrauben gelingt übrigens nur bei günstiger Bodenbeschaffenheit auf 25—40 *cm* Tiefe.

Ober jenem sechseckigen Prisma ist das Eisenrohr geschlitzt, so daß man die Skala sieht. Der Nullpunkt derselben liegt 1·45 *m* vom unteren Thermometerende entfernt. Die Teilung reicht von 0—65° C. Die einzelnen Grade sind zirka 4 *mm* lang und in 0·2° geteilt. Das Kappeller'sche Thermometer ist etwas träger als das Bergmann'sche, weil es, statt in einer durchlöchernten Messinghülse, in einem geschlossenen Eisenrohr steckt. Trotzdem genügt aber für ersteres auch eine Expositionsdauer von 30 Minuten.

Es war ursprünglich beabsichtigt, das Kappeller-Thermometer, wie das Bergmann'sche, mit dem Eisenrohr anzuwenden. Gegen den Gebrauch des Eisenrohres ergaben sich jedoch manche Bedenken.

Die Erdwärme mußte zwei Metallschichten und eine Wasserschichte durchdringen um auf das Thermometer zu wirken. Wenn auch in der Praxis die Genauigkeit solcher Messungen nicht bedeutend beeinflusst schien, so wurde doch im Mai 1909 das Eisenrohr alsbald nur benützt, um für das Kappeller'sche Thermometer das Loch vorzuschlagen. Das Rohr wurde dann herausgezogen und in das etwa 4 *cm* weite Loch das Thermometer eingeführt und noch mehrere Zentimeter eingeschraubt. Der untere Teil des Thermometers stand also in inniger Berührung mit dem Erdreiche. Die Quecksilbersäule gelangte schon in 20 bis 25 Minuten zur Ruhe.

Solche Messungen, mit dem Kappeller ohne Rohr, scheinen bei Bodentemperaturen unter 15° C etwas zu große und bei Bodentemperaturen über 15° C etwas zu kleine Resultate zu ergeben.

Bei den Beobachtungen im September 1909 und Oktober 1910 gelangte das Bergmann'sche Thermometer nicht zur Anwendung, es wurde nur das Kappeller'sche Instrument, und zwar ohne Eisenrohr benützt. Zum Vorschlagen des Loches diente eine 1.75 *m* lange Eisenstange, deren Durchmesser nur unbedeutend größer war als jener des Thermometers (2.5 *cm*). Das Hineinschrauben wurde bis auf 40 *cm* angewendet. In dieser Weise sind mit dem Kappeller Temperaturen bis in 1.25 *m* Tiefe gemessen worden.

Dieses „lange“ Kappeller-Thermometer, welches bisher bei allen Erdtemperatur-Messungen nächst Stubičke Toplice verwendet wurde, ist Eigentum des Agrar meteorologischen Observatoriums.

Bei den Messungen am 13. Oktober 1910 kamen noch zwei andere von Heinrich Kappeller gelieferte Thermometer in Anwendung, welche Eigentum des Mineralogisch-petrographischen Instituts der Agrar Forstakademie sind.

Bei diesen Instrumenten ist die Hülse im oberen Teil aus Messing, im unteren Teil aus Eisen. Dieser letztere, ein Eisenrohr von 2 *cm* Durchmesser, endet mit einer Erdschraube.

Bei dem einen, dem „mittellangen“ Kappeller-Thermometer, war das Eisenrohr 107 *cm* lang, so daß bis 100 *cm* Tiefe gemessen werden konnte. Die Skala reichte von -10° bis +42° C und war in 0.1° geteilt.

Das andere, das „kleine“ Kappeller-Thermometer, hatte ein Eisenrohr von nur 41 *cm* Länge, so daß es noch knapp bis 50 *cm* Tiefe zu brauchen war. Die Skala reichte von -5° bis 31° C und war auch in 0.1° geteilt.

Diese „mittellangen“ und „kurzen“ Kappeller-Thermometer sind dadurch, daß die Hülsen aus zwei Teilen bestehen, zerbrechlich und nicht so widerstandsfähig wie das „lange“ Kappeller-Thermometer.

Bei den langen Thermometern ist es ein großer Vorteil, daß die Skala beständig beobachtet werden kann; dagegen erscheint die Wirkung des Thermometerteiles, welcher über die zu messende Erdschichte ragt, bedenklich. Derselbe leitet nämlich die Temperatur

der oberen Erdschichten sowie der Luft anders als die Erde zum Quecksilberreservoir des Thermometers. Dieser Nachteil läßt sich nur durch die Anwendung kurzer, „träger“ Thermometer vermeiden.

Um solche herzustellen, wurden die gewöhnlichen Erboden-Thermometer von R. Fuess in Steglitz bei Berlin benützt. Die Skala derselben reicht von -10° bis $+30^{\circ}$ C. Jeder Grad etwa 6 mm lang, ist in Zehntel geteilt. Durch Einschieben dieser Thermometer in unten geschlossene Messingrohre von 1 mm Wandstärke, 2 cm Durchmesser und 45 cm Länge, dann Umhüllen der Quecksilberkugel mit Korkmehl oder Parafin wurden die Instrumente „träge“. Brachte man sie aus einer Luft von $+2^{\circ}$ C in Wasser von $+31^{\circ}$ C, so vergingen 30 Minuten, bis die Quecksilbersäule zum Stillstand kam.

Ein Thermometer derselben Art rasch aus Wasser von 32° C in Luft von 1.4° C versetzt, änderte während der ersten $3\frac{3}{4}$ Minuten nicht seinen Stand.

Zur Anwendung dieser kurzen, trägen Thermometer wurde mittels eines eisernen Vorschlagpflockes ein Loch in der Erde erzeugt, welches einen nur wenig größeren Durchmesser als das Thermometer hatte. Dieses wurde in das Loch gesteckt, fest an die Sohle desselben gepreßt und sodann das Loch oben zusammengetreten. Nachdem das Thermometer mindestens 45 Minuten in der Erde war, wurde es mittels eines an der Hülse befestigten Drahtes herausgezogen und rasch abgelesen. Letzteres erfordert erfahrungsgemäs weniger als eine Minute.

Bei den Messungen Mitte Mai 1909 wurden die trägen Fuess-Thermometer nur in der Tiefe von 0.5 m gebraucht. Im September 1909 und Oktober 1910 kamen diese Instrumente bis 1 m Tiefe zur Verwendung. Zum Hineinschieben diente eine Holzstange mit demselben Durchmesser wie das Thermometer. Marken an ersterer ließen erkennen, wann das Instrument die richtige Tiefe erreicht hatte.

Um die Temperatur der Erdoberfläche zu messen, wurde ein Stück der Rasendecke aufgehoben und das träge Thermometer darunter gelegt. Die Messung erfolgte also eigentlich in der Tiefe von 5 bis 8 cm.

Fuess-Luft-Thermometer, welche nicht träge gemacht waren, wurden im Oktober 1910 auch verwendet, um in obiger Art die Temperatur der Erdoberfläche zu messen. Dieselben Instrumente kamen einigemal ebenfalls in Verwendung, um die Bodenwärme in 25 cm Tiefe zu ermitteln. In diesem Falle wurde die Ablesung am herausstehenden Teile der Skala gemacht.

Die in der eben angegebenen Weise ermittelten Bodentemperaturen überraschten oft durch ihre gesetzmäßigen Veränderungen bei Beobachtungen auf verschiedenen Punkten, oder durch ihre Übereinstimmung bei wiederholten Messungen auf ein und derselben Stelle. Nach diesen Erfahrungen könnte man meinen, diese Erdtemperaturen seien bis auf einige Zehntelgrade genau. Und doch entspricht der

Stand des Thermometers nicht der Erdwärme an der beabsichtigten Stelle, sondern ist die Resultierende des gesamten Einflusses der Boden- und der Lufttemperatur auf dieses Instrument.

Diese Wärmeleitung von Stellen, wo man nicht beobachten will, läßt sich nicht hindern. Wären in die Metallhülsen auch Isolierschichten eingeschaltet, so würden doch die Luft, der Quecksilberfaden und das Glasrohr jene störenden Einflüsse vermitteln. Dieselben kommen aber um so weniger zur Geltung, je kürzer das Thermometer und je größer das Quecksilber-Reservoir desselben. Dies spricht für die Anwendung der „trägen“ Thermometer. Machen die Bodenbeschaffenheit oder die Beobachtungstiefe dies unmöglich, so greife man zum „langen“ Kappeller-Thermometer.

Zwischen Thermometer und Erdboden soll eine innige Berührung stattfinden. Die Löcher dürfen daher nicht zu tief geschlagen werden. Um das Thermometer in die richtige Lage zu bringen, soll jedenfalls noch ein starkes Hineindrücken, beziehungsweise Hineinbohren erforderlich sein. Nach unten verjüngte, konische Thermometer sind unzweckmäßig, da sie die Bohrlochwand nicht genügend berühren.

Abweichungen von der beabsichtigten Tiefenstellung des Instruments machen sich bald fühlbar. Am 12. Oktober 1910 ergab die Messung auf Punkt III in 20 cm Tiefe 22·2° C, in 25 cm Tiefe 22·5° C.

Auch im horizontalen Sinne soll man vom Beobachtungspunkte sich nicht über 0·5 m entfernen. Am 13. Oktober 1910 wurde in 50 cm Tiefe, beim Punkte A, 28·7° C und 0·5 m davon entfernt 28·9° C gemessen.

Für das Einführen des Thermometers sind nur neu erzeugte Löcher zu verwenden. Bei solchen, die bereits einige Zeit bestehen, macht sich die vermehrte Wärmeausstrahlung fühlbar.

Die Isothermen in ihrem horizontalen Verlaufe.

In der Mitte Mai 1909.

(Hierzu Tafel Nr. XXVII [1].)

Die meteorologischen Verhältnisse in Stubičke Toplice während der Messungen — das ist vom Mittag des 12. bis Mittag des 15. Mai 1909 — zeigt die auf pag. 760 befindliche Tabelle. Die Lufttemperaturen wurden mit einem Aßmann'schen Aspirationsthermometer ermittelt. Der am Agramer Observatorium registrierte Barometerstand dürfte auch für Stubičke Toplice Geltung besitzen.

Wenn sich auch die Lufttemperaturen zwischen 20·8 und 10·0° C bewegen, so sind dieselben doch im allgemeinen recht gleichmäßig. Der kältere Vormittag des 15. Mai dürfte erst am nächsten Tag die Bodentemperatur beeinflußt haben. Tatsächlich ergab die Messung bei ein und demselben Punkte (Nr. 23) in 0·5 m Tiefe, am Morgen

Zu pag. 759.

Beobachtungszeit		Lufttemperatur Grade C	Luftdruck, Tagesmittel in Agram mm	Bewölkung, Niederschlag	
12.	Nachmittag	2h 25'	19.5	753.1	Ganz heiter
		3h 30'	19.0		
		4h 15'	18.3		
		5h 10'	17.2		
13.	Vormittag	6h 40'	14.8	746.8	Heiter
		7h 15'	11.1		
		8h 47'	16.4		
		9h 50'	17.6		
14.	Nachmittag	11h 10'	20.1	744.2	Bewölk. 5h 48' fernes Gewitter, 7h einige Regentropfen
		3h 0'	18.2		
		4h 15'	15.5		
		7h 30'	15.7		
15.	Vormittag	10h 25'	16.9	748.4	Bis 11h ganz bewölkt, später zeitweise Sonne
		11h 40'	18.8		
		2h 15'	20.8		
		3h 45'	20.2		
15.	Vormittag	7h 40'	10.0	748.4	Bewölk. zeitweise Sonne, mittags kalter NE-Wind
		8h 40'	10.3		
		10h 10'	13.6		
		12h 10'	15.6		

Der tägliche Gang der Temperatur scheint jenem in Agram ähnlich zu sein, nur sind die Temperaturen in Stubitzke Toplice um 5 bis 8 Grade geringer.

des 13. Mai bei 16·4° C Lufttemperatur 13·4° C und am Morgen des 15. Mai bei 10·0° C Lufttemperatur 13·8° C.

Die Arbeitsleistung bestand in den Bodentemperatur-Messungen auf 110 Punkten in 26 Arbeitsstunden. Darunter waren in 0·5 m Tiefe mit dem kurzen Fuess-Thermometer 112 Messungen, in 1·0 m Tiefe mit dem Bergmann-Thermometer im Eisenrohr 17 Messungen, mit dem Kappeller-Thermometer im Eisenrohr 9 und ohne Eisenrohr 21 Messungen.

Trotzdem die Fuess-Thermometer 45 Minuten und die langen Thermometer nur 30 Minuten in der Erde blieben, ging die Arbeit mit ersteren viel rascher vor sich, da vier Exemplare dieser Instrumente vorhanden waren und die Herstellung des Loches in der Erde weit leichter war, als das Eintreiben des 1 m langen Eisenrohres. Es wurde daher schon bald während der Arbeit hauptsächlich nur in 0·5 m Tiefe die Bodentemperatur gemessen.

Bei der Arbeit selbst ergab sich naturgemäß folgende Teilung: geodätische Festlegung des Punktes, auf dem beobachtet werden sollte und Einführen sowie Ablesen der Thermometer. Letzteres besorgte Dr. Škreb.

Die Resultate der Messungen enthält die nachfolgende Tabelle (pag. 764—766) und die Tafel Nr. XXVII (I). Die erste Messung (Punkt Nr. 1) geschah am „neutralen Punkte“ und ergab die wahrscheinlich ungestörte Bodentemperatur, in 0·5 m Tiefe, mit 10·1° C.

In ganz auffälliger Weise beeinflussen die Gebäude die Bodentemperatur. An der Außenseite der Umfassungsmauern des Maximilianeums (Punkt Nr. 10), also nur 2—3 m vom Bassin, welches etwa 50° C warmes Wasser enthält, ergab sich in 0·6 m Tiefe eine Bodentemperatur von bloß 19·6° C.

Auf 12 m von der Hauptquelle, deren Wasser 59° C hat, betrug die Bodenwärme in 0·5 m Tiefe (Punkt Nr. 89, 90 und 91): 23·3, 25·2 und 26·4° C. Es scheint, als ob die erschlossenen Quellen, wie Ventilatoren wirkend, die Wärmeausstrahlung fördern würden.

Die höchsten Temperaturen in 0·5 m (oder richtiger 0·7 m) Tiefe fanden sich nordöstlich vom Schlammbad (Punkt Nr. 27) mit 38·4° C, dann 10 m östlich der etwa 40° C warmen Wiesenquelle (Punkt Nr. 87) mit 34·4° C. Diese Temperaturen wurden mit dem Kappeller-Thermometer bestimmt. Die Fuess-Thermometer, deren Skala bloß bis 30° C reicht, waren dafür nicht verwendbar.

Bei der heißesten Quelle vom Jahre 1820 (*H* in Tafel Nr. XXVII [I]), welche 1875 noch als großes, schlammiges, sehr warmes Loch bestand, ergaben sich jetzt (Punkt Nr. 32) fast normale Bodentemperaturen, nämlich in 0·5 m Tiefe 13·9° C und in 1·0 m Tiefe 13·7° C.

Ein Punkt (Nr. 47), welcher von den Bewohnern als warm bezeichnet wurde, weil dort der Schnee nicht liegen bleibt, hatte in 1·0 m Tiefe bloß 15·4° C.

Eine abnorm kalte Stelle befindet sich im Mündungswinkel der beiden Bäche (Punkt 46), da dort in 1·0 m Tiefe nur 7·4° C konstatiert wurden. Und auch an dieser Stelle soll der Schnee sofort schmelzen!

Als Relation zwischen der Bodentemperatur in 0·5 *m* und jener in 1·0 *m* Tiefe scheint nach Dr. Škreb die lineare Gleichung:

$$y = 1·83 x - 12·35$$

zu bestehen. In derselben bedeutet *y* die Bodentemperatur in 1·0 *m* und *x* jene in 0·5 *m* Tiefe. Dieses Gesetz gilt nur, wenn *x* größer als 15° C, das heißt also für Stellen, wo ein Einfluß des Thermalwassers vorhanden. Dr. Škreb berücksichtigte für 1·0 *m* Tiefe nur die Messungen mit dem Kappeller-Thermometer, ohne Eisenrohr. Die diesbezüglichen Daten enthält die folgende Tabelle:

Punkt Nr.	Bodentemperatur in der Tiefe von			Differenz zwischen Beob- achtung und Rechnung
	0·5 <i>m</i>	1·0 <i>m</i>		
	beobachtet	berechnet		
	° C	° C	° C	° C
40	16·2	17·4 ¹⁾	17·3	+ 0·1
101	16·3 ²⁾	18·0	18·3	- 0·3
50	17·4	18·5	18·5	0
84	18·5	21·1	21·5	- 0·4
3	20·3	22·6	24·8	- 2·2
66	20·6	25·8	25·4	+ 0·4
49	21·3	25·2	26·6	- 1·4
78	23·2	29·9	30·1	- 0·2
64	24·0	28·5	31·2	- 2·7
68	26·5	36·2	36·2	0
48	28·8	31·5	40·5	- 6·0

Das Resultat der Rechnung weicht also nur in 3 von 11 Fällen wesentlich von der Beobachtung ab.

Wie spätere Messungen zeigten, gilt aber die angeführte Relation, zwischen den Bodentemperaturen in 0·5 *m* und 1·0 *m* Tiefe, eben nur für die hier vorliegenden Beobachtungen.

Die Isothermen für die Tiefe von 0·5 *m* unter der Erdoberfläche (Tafel Nr. XXVII [I]), welche nach den ermittelten Bodentemperaturen entworfen wurden ³⁾, gelten selbstredend nur für die Zeit der Messungen. Die Isotherme von 15° C bezeichnet schon einen ausgesprochenen Einfluß des Thermalwassers, da die korrespondierende Temperatur des „neutralen Punktes“ (Nr. 1) nur 10·1° C beträgt. Beim Entwurfe dieser

¹⁾ Diese Messung erfolgte im Eisenrohr.

²⁾ Die Originalangabe lautete: „17·3“, es dürfte jedoch ein Lesefehler vorliegen und „16·3“ richtig sein.

³⁾ Die Punkte, auf denen die Bodentemperatur bestimmt worden ist, wurden in einem Plane im Maße 1:1000 eingetragen. Auf diesem erfolgte auch der Entwurf der Isothermen. Tafel Nr. XXVII (I) ist eine Verkleinerung jener Originalzeichnung.

15° C Isotherme konnten 44 Punkte, auf denen Temperaturen beobachtet worden sind, direkt benützt werden. Da diese Isotherme etwa 1080 *m* lang ist, so entfällt durchschnittlich auf je 24 *m* derselben einer der bestimmten Punkte. Der Zug dieser Linie erscheint somit ausreichend genau fixiert.

Nicht dasselbe läßt sich von der 30° C Isotherme sagen. Hier treten die Vertiefungen der Toplica und ihrer Zuflüsse, ferner die verschiedenen Baulichkeiten sehr störend auf. Die Ermittlung der Toplica-Wassertemperatur wurde versucht, führte aber zu keinem brauchbaren Resultate. Wo Thermalwasser in den Bach, tritt finden sich sehr hohe Temperaturen und unmittelbar daneben ist das Wasser bedeutend kühler. Wird das Thermometer nur etwas in horizontaler oder vertikaler Richtung bewegt, so ändert sich gewöhnlich sein Stand. Es blieb daher nichts übrig, als die Isothermen schematisch über die Furche der Toplica zu ziehen.

Sonst beeinflußt die Bodengestaltung sehr wenig die Gestalt der Isothermen, da der größte Teil des in Betracht kommenden Raumes eine fast vollkommen ebene, sehr schwach geneigte Fläche ist. Die absoluten Höhen derselben liegen innerhalb 163 und 160 *m*.

Mehrere Messungen, welche im Herbste 1909 zwischen Schlammbad und Wiesenquelle vorgenommen worden sind, dienten dazu, die Form der 30° C Isotherme daselbst genauer zu bestimmen. Diese Messungen wurden im vorliegenden Material nicht ersichtlich gemacht, da sie mit den übrigen Daten nicht homogen sind und nur unter gewissen Bedingungen verwendet werden konnten.

Den Flächeninhalt der Isothermen-Flächen hat Dr. Škreb mit einem Amsler'schen Polarplanimeter, auf dem Plane 1:1500, ermittelt.

In abgerundeten Zahlen ergab sich

für die 15° C Isotherme	51300 <i>m</i> ² ,
„ 20° C	32400 <i>m</i> ² ,
25° C	16100 <i>m</i> ² ,
30° C	7300 <i>m</i> ² .

Nach der früher angeführten Relation zwischen der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen (pag. 762) würden den Isothermen 0·5 *m* unter der Erdoberfläche von 15, 20, 25 und 30° C, in 1·0 *m* Tiefe solche von 15, 24·3, 33·4 und 42·5° C entsprechen. Der Flächeninhalt der warmen Flächen (über 15° C) wird bei zunehmender Tiefe größer, da die Ausstrahlung abnimmt.

Verzeichnis

der Punkte bei Stabička Toplice, auf denen vom 12. bis 15. Mai 1909 Bodentemperaturen gemessen wurden. Die Thermometer von Fuess blieben mindestens 45 Minuten, die anderen Thermometer mindestens 80 Minuten in der Erde.

Die Skala der Fuess-Thermometer reichte nur bis 80° C.

Beobachtungszeit	Punkt Nr.	Thermometer von				Anmerkung			
		Fuess	Bergmann	Kappeller					
			mit	ohne					
		Eisenrohr							
		in der Tiefe von							
		0·5 m	1·0 m						
		zeigte Größe Celsius							
12.	Nachmittag 2h 28' bis 7h 05'	1	10·1*	10·2	—	—	* Neutraler Punkt.		
		2	13·3	—	13·8	—			
		3	18·1	20·3	—	22·6			
		4	16·6	—	—	—			
		5	15·5	—	—	—			
		6	18·9	21·4	—	—			
		7	14·3	—	14·7	—			
		8	12·8	13·0	—	—			
		9	15·3	—	—	—			
		10	19·6*	—	—	—		* Thermometer war zirka 60 cm tief.	
		11	14·1	—	15·7	—			
		12	13·5	14·3	—	—			
				13	11·9	—		—	* Thermometer zirka 1·25 m tief.
				14	14·4	—		15·7*	
				15	14·4	15·8		—	
13.	Mai 1909 Vormittag 7h 05' bis 11h 51'	16	25·7	—	30·1	—	* Thermometer zirka 1·15 m tief, in Schotter.		
		17	30·2	32·5	—	40·6*			
		18	26·9	—	—	—	* Boden sehr locker.		
		19	19·6	—	22·4	—			
		20	31·5	38·3	—	—	* Am 15. Mai wiederholt, ergab 13·8° C.		
		21	30·8*	39·8	—	—			
		22	31·3	39·5	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.		
		23	13·4*	—	—	—			
		24	15·8	—	16·2	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.		
		25	30·3	—	—	—			
		26	29·8	36·5	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.		
		27	38·4*	—	37·4	40·2			
		28	26·7	—	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.		
		29	28·2	—	—	—			
		30	28·3	—	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.		
		31	11·3	—	—	—			
		32	13·9	13·7	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.		
33	27·0	32·1	—	—					
34	11·2	—	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, zirka 0·7 m tief gemessen. Bis 1 m locker, dann Schotter.				
35	24·3	—	—	—					

Beobachtungs- zeit	Punkt Nr.	Thermometer von				Anmerkung
		Fuess	Berg- mann	Kappeller		
			mit	ohne		
		Eisenrohr				
		in der Tiefe von				
0·5 m	1·0 m					
zeigte Grade Celsius						
13.	Nachmittag 2h 25' bis 5h 56'	36	21·1	25·2	—	—
		37	24·4	—	—	—
		38	19·7	22·0	—	—
		39	21·9	—	—	—
		40	16·2	—	17·4	—
		41	28·4	—	—	—
		42	18·6	—	—	—
		43	13·5	—	—	—
		44	13·6	—	—	—
		45	20·5	—	—	—
		46	12·5	—	—	7·4
		47	—	—	—	15·4
		48	28·8	—	—	34·5
		49	21·3	—	—	25·2
		50	17·4	—	—	18·5
		51	33*	—	—	—
		52	13·9	—	—	14·2
53	14·9	—	—	—		
54	12·5	—	—	—		
55	14·3	—	—	12·1*		
* Über 33° C.						
* Am 14. Mai früh gemessen.						
14.	Mai 1909 Vormittag 6h 54' bis 12h 17'	56	13·7	—	—	—
		57	14·4	—	—	—
		58	26·5	—	—	—
		59	12·7	—	—	11·8
		60	14·3	—	—	—
		61	13·6	—	—	—
		62	12·8	—	—	—
		63	14·8	—	—	13·6*
		64	24·0	—	—	28·5
		65	17·4	—	—	—
		66	20·6	—	—	25·8
		67	21·8	24·3	—	—
		68	26·5	—	—	36·2
		69	24·6	29·3	—	—
70	27·5	—	—	—		
71	18·8	—	—	—		
72	14·8	—	—	—		
73	12·3	—	—	—		
74	14·2	—	—	—		
75	13·3	—	—	—		
76	22·2	—	—	—		
77	20·6	—	—	—		
Weicher Boden.						
* Tiefe 1·15 m. Unten Schotter.						

Beobachtungs- zeit	Punkt Nr.	Thermometer von			Anmerkung	
		Fuess	Berg- mann	Kappeller		
			mit	ohne		
		Eisenrohr				
		in der Tiefe von				
		0·5 m	1·0 m			
zeigte Grade Celsius						
14.	Nachmittag 2h 15' bis 4h 16'	78	23·2	—	29·9	* Auf 1 m Wasser.
		79	14·5	—	—	
		80	13·0	—	—	
		81	14·4	—	13·5*	
		82	13·8	—	—	
		83	14·8	—	—	
		84	18·5	—	21·1*	
		85	13·8	—	—	
15.	Mai 1909 Vormittag 7h 20' bis 12h 56'	86	19·8	—	—	* Mit Kappeller, ohne Rohr, gemessen.
		87	34·4*	—	—	
		88	34·5*	—	—	
		89	23·3	—	—	
		90	25·2	—	—	
		91	26·4	—	—	
		92	21·6	—	—	
		93	21·6	—	—	
		94	18·5	—	—	
		95	18·8	—	—	
		96	21·4	—	—	
		97	20·6	—	—	
		98	15·0	—	—	
		99	13·6	—	—	
		100	14·1	—	—	
		101	17·3*	—	18·0	
		102	14·0	—	13·5	
		103	12·2	—	—	
		104	13·5	—	—	
		105	22·8	—	—	
		106	16·2	—	—	
		107	16·2	—	—	
108	13·8	—	—			
109	18·8	—	—			
110	18·4	—	—			
					* Wahrscheinlich Lese- fehler, richtig 16·3° C.	

Die Isothermen im Profile durch die Wiesenquelle gegen Südsüdost.

a) In der Mitte September 1909.

(Hierzu Tafel Nr. XXVII [I] und XXVIII [II].)

Arbeitszeit waren die Vormittage — etwa von 7^h 45' an — des 14., 15., 16. und 17. September. Am 11. September wurden außerdem einige vorbereitende Messungen gemacht und am 17. September die Arbeit schon um 6^h 15' früh begonnen.

Die meteorologischen Verhältnisse waren der schönen Herbstzeit entsprechend recht gleichmäßig. Die Lufttemperatur nahm sehr langsam im Laufe der Arbeit ab. Durchschnittlich betrug die Lufttemperatur, mit einem Fuess-Thermometer gemessen, um 8, 10 und 12 Uhr vormittags 18, 20 und 21° C. Die Abweichungen von diesen Werten werden kaum 1° C übersteigen. Der Morgen des 17. September war sehr kühl, um 7 Uhr nur 10° C und um 8 Uhr 13° C.

Die Tagesmittel der Barometerstände waren in Agram vom 14. bis 17. September 747·6, 748·0, 749·9 und 751·0 *mm*, der Luftdruck ist also mit zunehmender Geschwindigkeit gestiegen.

Am „neutralen Punkte“ (Nr. 1) erfolgte am 11. September, vor allen anderen Beobachtungen, die Messung. Dieselbe ergab in 0·5 *m* Tiefe 15·7° C, in 1·0 *m* Tiefe 15·6° C. Am 17. September, nach Abschluß der Arbeit, wurde am neutralen Punkte, in 0·5 *m* Tiefe, die Messung wiederholt. Sie ergab genau dasselbe Resultat wie vor sechs Tagen.

Um den Gang der Bodentemperatur in vertikaler Richtung zu ermitteln wurden in einer Geraden, welche von der Mitte der Wiesenquelle¹⁾ gegen Südsüdost streicht (in der Tafel XXVII [I] gegen XIII), auf 13 Punkten Messungen vorgenommen. Der erste Beobachtungspunkt ist 5 *m* von der Mitte der Wiesenquelle entfernt, die übrigen Punkte folgen im gleichen Abstände von 5 *m*, so daß der 13. Punkt 65 *m* von der Quelle liegt.

Die Temperatur-Messungen auf diesen 13 Punkten (Nr. I, II, III usw.) erfolgten auf der Erdoberfläche, dann in den Tiefen von 0·25, 0·50, 0·75 und 1·00 *m*. Beim ersten, dritten, fünften Punkte usw. wurde auch in der Tiefe 1·25 *m* beobachtet. Die Messungen auf der Erdoberfläche beziehen sich eigentlich auf die Schichte unter der Rasendecke, also auf eine Tiefe von 5 bis 8 *cm* (pag. 758).

Der Versuchsplatz war eine geringe Unebenheiten aufweisende, gut bestockte Wiese. Dieselbe war kurz vor den Messungen gemäht worden.

Der größte Teil der Messungen geschah am 15., 16. und 17. September. Speziell die Ermittlung der Oberflächentemperaturen erfolgte für 8 Punkte (I—VIII) am 15. und für 3 Punkte (IX—XI) am 16. Sep-

¹⁾ Das Wasser der Wiesenquelle hat eine Wärme von etwa 37—44° C.

tember, am ersteren Tage zwischen 9 und 10 Uhr 30 Minuten, am zweiten Tage um 10 Uhr 30 Minuten, also unter tunlichst gleichartigen Verhältnissen. Gegen das Ende der Beobachtungslinie, etwa vom Punkte X an, war aber die Erdoberfläche durch die Bäume am Toplica-Ufer gegen die Sonnenstrahlen gedeckt.

Der letzte Beobachtungspunkt (XIII) ist in ostnordöstlicher Richtung nur 3·5 *m* vom oberen Rande des Toplica-Ufers entfernt. Zur Zeit der Messungen hatte zunächst dieses Beobachtungspunktes (XIII) der Wasserspiegel der Toplica die absolute Höhe 159·65 *m*, die Oberfläche der Wiesenquelle die absolute Höhe 159·69 *m*. Die Sohle der letzteren liegt in der absoluten Höhe 159·16 *m*.

Die Resultate der Messungen enthält die folgende Tabelle. Auf Tafel Nr. XXVIII [II] sind dieselben graphisch dargestellt.

Des Punktes		Beobachtungstiefe in <i>cm</i>						Anmerkung
Nr.	absolute Höhe <i>m</i>	0	25	50	75	100	125	
		Grade Celsius						
I	160·84	24·7	28·5	34·0	37·3	40·2	42·7	Die Ermittlungen mit dem Kappeler-Thermometer sind halbfest gedruckt.
II	160·85	24·8	27·7	32·6	35·4	38·0	—	
III	160·86	24·5	27·7	31·2	33·6	36·6	38·6	
IV	160·90	23·8	26·2	29·6	33·2	34·6	—	
V	160·95	24·8	25·5	29·6	31·2	35·8	36·8	
VI	160·95	24·7	25·5	28·7	30·7	34·3	—	
VII	161·08	23·9	23·8	26·6	28·1	31·1	32·6	
VIII	161·15	21·6	20·6	21·2	21·1	21·8	—	
IX	161·21	16·3	18·1	19·0	19·9	19·4	19·2	
X	161·32	18·0	18·9	19·4	18·8	18·8	—	
XI	161·35	17·0	18·3	18·4	18·0	17·7	17·6	
XII	161·48	16·2	17·9	18·2	17·7	17·7	—	
XIII	161·53	15·3	16·4	17·3	17·1	18·0	16·8	

Bei Punkt IV und VII ist in etwa 0·7 *m* Tiefe Schotter. Das Fuess-Thermometer konnte bei letzterem Punkte statt 0·75 *m* nur 0·68 *m* tief eingeführt werden.

Bei Punkt IV ergeben andere Messungen für 50 *cm* Tiefu 26·0 und 27·7° C.

Die Temperaturen auf den einzelnen Punkten, in den verschiedenen Tiefen, zeigen eine entsprechende Gesetzmäßigkeit und eine solche ist auch in der horizontalen Aufeinanderfolge der Temperaturen größtenteils zu erkennen. Zwischen den Punkten III und V findet sich aber, besonders in der Tiefe von beiläufig 1·0 *m*, eine abnorm geringe Wärme.

Ein Plan des Bades Stubičke Toplice vom Jahre 1820¹⁾, im Maße von zirka 1 : 3000, läßt entnehmen, daß damals in der Gegend des Punktes IV die Toplica geflossen sei (Tafel Nr. XXVII [I]). So-

¹⁾ Baumbach Friedrich, Physisch-chemische Untersuchung der Mineralquelle von Sztubitzta in Kroatien. Agram 1820.

weit dieses alte Bachbett mit Schotter angeschwemmt, scheinen die Abweichungen von den normalen Bodentemperaturen am größten zu sein; gegen oben, wo sich Sand, Lehm und Humus findet, werden diese Differenzen geringer.

Mit Vernachlässigung dieser Temperaturen, welche der allgemeinen Gesetzmäßigkeit widersprechen, wurden in Tafel XXVIII (II) die Isothermen für 20, 25, 30, 35 und 40° C in dicken Linien entworfen. Wo dieselben mit den tatsächlich vorhandenen Temperaturen nicht übereinstimmen, sind die Isothermen gestrichelt gezeichnet. Der den gemessenen Bodenwärmern entsprechende Verlauf der Isothermen ist an diesen Stellen in dünnen Linien angedeutet.

Die theoretische Isotherme für 35° C weicht am meisten von den gemessenen Temperaturen ab, da sie durch die Schotterschicht streicht.

Vom Punkte IX an ist der Einfluß der Wärme des Thermalwassers nur mehr gering und beträgt die Temperaturerhöhung etwa 1—2° C. Beim neutralen Punkte war nämlich die Temperatur in 0·5 m Tiefe 15·7° C und in 1 m Tiefe 15·6° C. Beim Punkte XIII sind die korrespondierenden Temperaturen 17·3° und 18° C. Zunächst dieses Punktes XIII hatte das Toplica-Wasser, am 17. September, die Temperatur von 17·1° C.

b) Am 12. Oktober 1910.

Am 12. Oktober 1910 wurden im Profile durch die Wiesenquelle mehrere Bodentemperatur-Bestimmungen vom vorhergegangenen Herbste wiederholt.

Die Witterung war vor diesem Tage durch längere Zeit kühl und regnerisch, erst am 10. Oktober besserte sich das Wetter. Am Morgen des 12. Oktobers herrschte dichter Nebel, nach 9 Uhr vormittags heiterte es sich aus. Die Temperatur der Luft, sowie jene der Erdoberfläche enthält nachfolgende Tabelle. Letztere Daten wurde an ein- und demselben Punkte (V) ermittelt. Es lag daselbst beständig ein gewöhnliches Thermometer von Fuess (in 0·2° geteilt) unmittelbar unter der Rasendecke.

Zeit	Temperatur der		Zeit	Temperatur der		
	Luft	Erdoberfläche		Luft	Erdoberfläche	
	Grade Celsius			Grade Celsius		
12. Oktober 1910 Vormittag	7h 45'	9·6	12. Oktober 1910 Nachmittag	12h 5'	21·2	21·2
	8h 30'	11·6		12h 30'	20·2	21·8
	9h 10'	13·5		1h 30'	21·6	21·8
	9h 30'	13·6		2h 15'	21·6	22·2
	10h 00'	15·0		3h 00'	19·7	22·1
	10h 35'	18·9		3h 30'	19·6	21·8
	10h 42'	—		4h 00'	19·5	21·6
	11h 00'	19·4		5h 00'	17·5	—
	11h 25'	19·7		—	—	—

Die Lufttemperaturen sind, nachdem der Nebel gefallen war, recht gleichmäßig. Die Temperatur der Erdoberfläche änderte sich in $3\frac{1}{2}$ Stunden um fast zwei Grade. Diese Date läßt sich daher nicht recht mit den gleichzeitig gemessenen, konstanteren Bodenwärmern vereinen.

Am neutralen Punkte (Nr. 1) war am 12. Oktober 1910, vor Beginn der übrigen Messungen, um 7^h 45' früh die Bodentemperatur in 50 *cm* Tiefe 13·3° C, in 100 *cm* Tiefe 13·6° C. Nach Schluß der Arbeit, um 5^h 6' abends, ist die Bodentemperatur in 50 *cm* Tiefe 13·2° C, sie kann also als ungeändert angenommen werden.

Die Messungen geschahen auf denselben fünf Punkten I, III, V, VII und XI wie im September 1909. Außerdem wurde noch auf zwei neuen Punkten I' und III' die Erdtemperatur beobachtet. Diese letzteren Punkte liegen in der Verlängerung der Geraden: Wiesenquelle — XIII gegen Nordnordwest, 5 *m* und 15 *m* von der Mitte dieser Quelle entfernt, also analog wie I und III.

Die Resultate der Messungen enthält die folgende Tabelle. Die Oberflächentemperaturen sind durchaus mit einem, unter der Rasendecke liegenden, „nicht trägen“ Fuess-Thermometer ermittelt. Der Wert dieser Bestimmungen wurde bereits angedeutet.

Bei den Punkten V, VII und III' wurde dieses Instrument auch für die Messungen in 25 *cm* Tiefe verwendet.

Sämtliche Beobachtungen geschahen in der Zeit von 8^h früh bis 5^h nachmittag. Die Thermometer wurden mindestens 45 Minuten exponiert.

Des Punktes		Beobachtungstiefe in <i>cm</i>					
Nr.	absolute Höhe <i>m</i>	0	25	50	75	100	125
Bodentemperatur in Graden Celsius							
I'	160·89	—	23·0	28·3	32·9	35·9	39·2
III'	160·95	—	24·3	27·5	—	37·1	—
I	160·84	18·1	22·5	27·5	30·7	34·2	36·8
III	160·86	18·7	22·5	26·5	29·8	33·7	36·1
V	160·95	20·4	22·1	25·7	28·7	32·5	35·5
VII	161·08	—	19·9	23·7	25·4	27·9	30·3
XI	161·35	—	—	15·3	15·8	16·4	—

Anmerkungen.

Die Ermittlungen mit dem langen Kappeller-Thermometer sind halbfett gedruckt.

Bei Punkt I' wurde am 13. Oktober 1910, mit dem „langen“ Kappeller, die Temperatur in 125 *cm* Tiefe nochmals gemessen, es ergab sich 38·9° C.

Bei Punkt III' geschah die Messung in 100 *cm* Tiefe am 13. Oktober 1910, mit dem „mittellangen“ Kappeller-Thermometer.

Bei Punkt I ergab die gleichzeitige Messung der Oberflächentemperatur mit dem „trägen“ Fuess-Thermometer 18·1° C, mit dem „nicht trägen“ Fuess-Thermometer 18·4° C.

Bei Punkt III wurde mit einem „nicht trägen“ Fuess-Thermometer die Bodentemperatur in 20 *cm* Tiefe mit 22·2° C ermittelt.

Bei Punkt V sind die Erdoberflächen-Temperaturen von 10^h 42' vm. bis 4^h 0 nm. gemessen worden. Die betreffenden Resultate sind bereits (pag. 769) angeführt worden.

Die Messungen auf diesem Punkte in 25 cm und 50 cm Tiefe wurden zweimal vorgenommen. Es ergab sich 22·1° und 22·2° C, beziehungsweise 25·7° und 25·6° C.

Bei Punkt VII ist die Bodentemperatur in 50 cm Tiefe wiederholt bestimmt worden. In der chronologischen Reihenfolge ergab sich: 20·9, 22·1 und 23·7° C.

Bei demselben Punkte wurde in 25 cm Tiefe 19·9 und 19·6° C beobachtet.

Auf dem „neutralen Punkte“ war die Erdtemperatur am 12. Oktober 1910 in 50 cm Tiefe um 2·4° C, in 100 cm Tiefe um 2·0° C geringer als in der Mitte September 1909. Auch auf den Punkten des Profils hat die Bodenwärme in dieser Zeit abgenommen.

Punkt	Abnahme der Bodentemperatur von Mitte September 1909 bis 12. Oktober 1910 in der Tiefe von cm					
	0	25	50	75	100	125
I	6·6	6·0	6·5	6·6	6·0	5·9
III	5·8	5·2	4·7	3·8	2·9	2·5
V	4·4	3·4	3·9	2·5	3·3	1·3
VII	—	3·9	2·9	2·7	3·2	2·3
XI	—	—	3·1	2·2	1·3	—

Diese Veränderungen in der Erdtemperatur nehmen mit der Entfernung von der Oberfläche und dem Abstände von der Wiesenquelle ab. Ersteres wahrscheinlich, weil nahe der Oberfläche der wechselnde Einfluß der Sonnenwärme am stärksten. Letzteres könnte sein, weil näher der Quelle die Bodentemperaturen höher und die Ausstrahlung daher rascher ist.

Die Abnormitäten der Bodenwärme auf dem Punkte V wird bekanntlich durch die Schotterablagerung im ehemaligen Toplicabette hervorgerufen (siehe pag. 768).

Die Isothermen, welche aus den Messungen vom 12. Oktober 1910 resultieren, entsprechen annähernd jenen Isothermen vom September 1909, denen eine um 5° C höhere Temperatur zukommt.

Die 20° und 25° Isotherme stimmen fast genau zusammen.

Die 25° und 30° Isotherme fallen bis zum Punkte IV überein, dann entspricht der 25° Isotherme vom Jahre 1910 besser die 28° Isotherme vom Jahre 1909.

Bei der 30° und 35° Isotherme ist beim Punkte I die Temperatur vom Jahre 1909 um etwa 1° zu groß, bei Punkt IV fallen beide Isothermen zusammen und dann ist die Temperatur vom Jahre 1909 um beiläufig 1° zu klein.

Die 35° Isotherme vom Jahre 1910 korrespondiert so ziemlich mit der 41° Isotherme vom Jahre 1909.

Aus den Temperaturen auf den Punkten I' und III' ergibt sich — bei Berücksichtigung der absoluten Höhen dieser Punkte — daß nicht die Wiesenquelle die wärmste Stelle im Profile sei. Dieselbe liegt weiter nordnordwestlich, etwa in der Mitte zwischen I' und III'. Dies würde auf einen Abfluß der bei Kote 162·04, zirka 10 m südlich des Schlambades, unter der Straße liegenden heißen Quelle deuten

Um die Veränderungen in der Bodentemperatur, welche sich im Laufe der Zeit ergeben haben, zu ermitteln, wurden auf den in nachfolgender Tabelle verzeichneten Punkten die Temperatur-Beobachtungen, in 0·5 *m* Tiefe, von Mitte Mai und Mitte September 1909 am 12. Oktober 1910 wiederholt. Die Aufeinanderfolge der Punkte entspricht der Höhe der Temperaturen. Die mit dem Kappeller-Thermometer gewonnenen Resultate sind halbfett gedruckt.

Punkt Nr.	Messungen im		Zunahme der Tem- peratur v. Mai 1909 bis Sep- tember 1909	Messungen am 12. Oktober 1910	Zunahme oder Ab- nahme (—) der Tem- peratur vom	
	Mai	September			Mai 1909	September 1909
	1909				bis 12. Oktober 1910	
	° C	° C	° C	° C	° C	° C
1	10·1	15·7	5·6	13·3	3·2	— 2·4
XI	—	19·4	—	15·3	—	— 3·1
2	13·3	20·2	6·9	16·7	3·4	— 3·5
3	18·1	24·6	6·5	20·3	2·2	— 4·3
6	18·9	25·6	6·7	21·4	2·5	— 4·2
19	19·6	26·6	7·0	23·4	3·8	— 3·2
VII	—	26·6	—	23·7	—	— 2·9
86	19·8	27·2	7·4	24·5	4·7	— 2·7
III	—	31·2	—	26·5	—	— 4·7
16	25·7	32·8	7·1	26·9	1·2	— 5·9
18	26·9	32·2	5·3	26·0	— 0·9	— 6·2
28	26·7	32·7	6·0	27·3	0·6	— 5·4
I	—	34·0	—	27·5	—	— 6·5
17	30·2	34·6	4·4	27·8	— 2·4	— 6·8
21	30·8	35·9	5·1	27·6	— 3·2	— 8·3
20	31·5	35·6	4·1	30·4	— 1·1	— 5·2

Die Temperatur des „neutralen Punktes“ (Nr. 1) ist Mitte September 1909 höher als Mitte Mai desselben Jahres und auch höher als am 12. Oktober 1910. Im selben Sinne verändert sich auch die Bodenwärme auf den anderen Punkten.

Das arithmetische Mittel der Erdtemperatur-Zunahme auf sämtlichen Punkten (ohne Nr. 1) vom Mai 1909 bis September 1909 beträgt 6·0° C, das ist beinahe soviel wie die Veränderung am „neutralen Punkte“ (5·6° C).

Das arithmetische Mittel aller Temperatur-Abnahmen vom September 1909 bis Oktober 1910 ist 4·8° C, also doppelt soviel wie die Wärmeabnahme beim „neutralen Punkte“ (2·4° C). Der Wärmeverlust im Thermalgebiete war daher größer als beim „neutralen Punkte“. Diese Abnahme der Temperatur ist aber nicht an allen Stellen dieselbe. Man kann diesbezüglich aus den Punkten zwei Gruppen bilden. Die drei Punkte Nr. 2, 3 und 6 befinden sich westlich des Hauptgebäudes, auf beiläufig 150 *m* von der Wiesenquelle, während die neun Punkte Nr. 16, 17, 18, 19, 20, 21, 86, dann I und III in der nächsten Nähe der Wiesenquelle liegen.

Das arithmetische Mittel der Temperaturabnahme beträgt bei ersteren drei Punkten 4.0° C, bei den letzteren neun Punkten aber 5.9° C. In der Umgebung der Wiesenquelle ist also die Temperaturabnahme bedeutender.

Die Ursache dafür liegt im Sinken des Toplicabaches. Das obere Wehr in demselben (zirka 55 *m* nordöstlich der Wiesenquelle) wurde am 8. Dezember 1909 unterwaschen. Infolgedessen senkte sich die Toplica sofort um 0.54 *m*. Mit der weiteren Zerstörung des Wehres und mit der vollständigen Beseitigung desselben im Frühjahr 1910 nahm der Bachwasserstand noch ab. Am 19. Oktober 1910, also bald nach der Wärmemessung, hatte der Toplicawasserspiegel beim Pegel¹⁾ die absolute Höhe 158.51 *m* und in der Nähe des Punktes XIII von 158.87 *m*, dies bedeutet ein Sinken des Baches um etwa 0.8—1.0 *m* gegen den Wasserstand Mitte September 1910.

Infolgedessen ist die mit der Toplica — durch den Schotter — in Verbindung stehende Wiesenquelle ebenfalls gefallen. Am 12. Oktober 1910 betrug ihre absolute Höhe 159.28 *m*, gegen 159.69 *m* in der Mitte September 1909.

Dieser Senkung des Thermalwassers ist die Abkühlung des Bodens in der Umgebung der Wiesenquelle zuzuschreiben. Die letztere hatte übrigens am 12. Oktober 1910 eine Temperatur von nur 31.5 — 31.8° C, während Melkus im Jahre 1909 ihre Wärme mit 44.2° C bestimmte.

Diese Wärmeabnahme bei der Wiesenquelle äußert sich auch darin, daß die Isothermen im Profile durch jene Quelle einen um 5° C geringeren Wert bekommen (pag. 771). Entsprechend der Temperaturabnahme bei den drei Punkten jenseits des Hauptgebäudes sollten die Isothermen nur 4° C von ihrem Wärmegrad verlieren. Die Senkung des Thermalwassers um 0.41 *m*, müßte die weitere Temperaturverminderung um einen Grad hervorgerufen haben.

Die Veränderung der Wasserhöhe der Toplica übt naturgemäß die größte Wirkung längs des ehemaligen Bachbettes (vergl. pag. 768). Knapp an demselben liegen die Punkte Nr. 20 und 21, dadurch erklärt sich die abnorme geringe Bodentemperatur derselben im Oktober 1910. Dies kommt in den Temperaturdifferenzen zwischen Mai 1909 und Oktober 1910 zum Ausdruck, nachdem die meisten Punkte in dieser Zeit eine Wärmezunahme aufweisen, während Nr. 20 und 21 eine Wärmeabnahme erleiden. Dasselbe ausnahmsweise Verhalten zeigen die Punkte Nr. 17 und 18. Vielleicht liegen dieselben auch in einer Schotterschichte.

Die Punkte 17, 18 und 21 hatten im Mai 1909 Temperaturen über 30° C, welche mit Fuess-Thermometer ermittelt wurden. Solche Messungen sind aber nicht verläßlich, da die Skala dieser Thermometer nur bis 30° C reicht.

¹⁾ Der Pegel lag 18.7 *m* stromauf vom ehemaligen Wehr. Das Gefälle der Toplica beträgt jetzt etwa 4 *mm* auf den Meter.

Dieser Pegel wurde Mitte November 1910 von einem Hochwasser weggerissen.

Die Isothermen im Profile von West gegen den Kamenjak.

Am 13. Oktober 1910.

(Hierzu Tafel Nr. XXVII [I] und XXIX [III].)

Als Arbeitsplatz wurde ein Raum von tunlichst gleichmäßiger Beschaffenheit gewählt, welcher nicht solche Störungen in den Erdtemperaturen zeigt wie die Umgebung der Wiesenquelle. Diesen Bedingungen schien die Ebene östlich der Toplica und nördlich der Allee, die vom Stege zum Kamenjak führt, zu entsprechen. Die Profilerade wurde durch die Punkte Nr. 48 und 56 gezogen. Auf diesen Punkten ist bereits Mitte Mai 1909 die Erdwärme beobachtet worden. Das Profil liegt also parallel und 20 *m* nördlich (vom Südrande) der oben erwähnten Allee. Die absolute Höhe des Erdbodens in der Profillinie bewegt sich zwischen 160·44 *m* und 160·22 *m*, weicht also nur unbedeutend von der Horizontalen ab. Die ganze Fläche bedeckt eine Wiese. Dieselbe war zur Zeit der Messung kurz abgemäht.

Die Arbeitszeit war am 13. Oktober 1910 der Vormittag von 9^h 40' an und der Nachmittag bis 5^h 12'.

Die Witterung war für die Messungen günstig. Auf den schönen 12. Oktober folgte ein etwas dunstiger, gleichmäßig warmer Tag. Die beobachteten Temperaturen der Luft und der Erde enthält die folgende Tabelle. Letztere Daten wurden an ein und demselben Punkte (Nr. 56) erhoben, wo ein „nicht träges“ Fuess-Thermometer unter der Rasendecke und das „kurze Kappeler“-Thermometer auf 50 *cm* Tiefe beständig eingesetzt blieben.

Zeit		Temperatur der			
		Luft	Erde auf		
			der Oberfläche	50 <i>cm</i> Tiefe	
Grade Celsius					
13. Oktober 1910	Vormittag	9 ^h 15'	16·4	—	—
		10 ^h 15'	17·0	—	—
		11 ^h 00'	18·6	15·5	—
		11 ^h 45'	19·8	15·6	17·4
		11 ^h 55'	(20·4)	—	—
		12 ^h 00'	(20·4)	15·8	17·3
	Nachm.	12 ^h 36'	(21·8)	16·7	17·4
		1 ^h 45'	(23·4)	18·1	17·4
		2 ^h 50'	(23·2)	—	17·4

Die Temperatur-Beobachtungen der Luft konnten über 11^h 45' nicht fortgesetzt werden, da das Thermometer gebrochen ist. Ein Vergleich mit den in Agram gemessenen Lufttemperaturen zeigt,

daß in Stubičke Toplice die Luft beinahe konstant um 3.2° C wärmer war. Hienach wurden die in obiger Tabelle in Klammern stehenden Lufttemperaturen ermittelt.

Am neutralen Punkte wurde vor Beginn der übrigen Arbeit, um $9^h 15'$ vm., die Erdtemperatur in 50 cm Tiefe mit 13.4° C und in 100 cm Tiefe mit 13.8° C bestimmt.

Die Messungen geschahen mit vier trägen Fuess- und dem „langen“ Kappeller-Thermometer, außerdem wurden noch das „kleine“ und das „mittlere“ Kappeller-Thermometer verwendet (siehe pag. 757).

Die Resultate der Messungen enthält die folgende Tabelle. Die mit dem „langen“ Kappeller beobachteten Temperaturen sind mit halbfetten, die mit den „kürzeren“ Kappeller-Instrumenten erzielten Resultate mit Kursivziffern gedruckt.

Die einzelnen Punkte der Profillinie (*A, B, 48, C . . G*) sind je 10 m voneinander entfernt. Punkt *G* liegt etwa 1 m östlich des Weges und schon am Hange des Kamenjak.

Des Punktes		Beobachtungstiefe in <i>cm</i>				
Bezeichnung	absolute Höhe in <i>m</i>	25	50	75	100	1.5
		Bodentemperatur in Graden Celsius				
<i>A</i>	160.41	24.8	28.7	33.8	36.8	40.2
<i>B</i>	160.39	24.8	29.6	33.1	36.7	40.0
48	160.32	24.7	30.3	34.3	37.6	40.1
<i>C</i>	160.31	22.4	27.0	30.7	33.7	—
56	160.31	16.4	17.3	17.9	18.4	19.1
<i>D</i>	160.30	16.1	16.5	16.9	17.1	—
<i>E</i>	160.22	15.8	16.5	16.9	17.2	17.7
<i>F</i>	160.26	15.9	16.3	16.7	17.2	—
<i>G</i>	160.44	16.2	16.2	16.5	17.1	—

Anmerkungen.

Bei Punkt *A* ist auf 75 cm Schotter, auf 100 cm Schotter und Wasser.

Bei Punkt *B* findet sich auf 100 cm fester Schotter und Wasser.

Bei Punkt *E* ist auf 100 cm kaltes Wasser.

Die Isothermen, welche diesen Messungen entsprechen, sind auf der Tafel XXIX (III) entworfen. Sie zeigen deutlich, daß zwischen den Punkten *C* und 56 die heiße Zone endet. Weiter gegen Ost schließt eine Übergangszone an, welche etwa 3° C wärmer ist als der „neutrale Punkt“ und sich bis unter den Kamenjak erstreckt.

Zum Vergleiche der Messungen von Mitte Mai 1909 mit den vorstehenden vom 13. Oktober 1910 dienen nicht nur die in das Profil einbezogenen Punkte Nr. 48 und 56, sondern auch mehrere andere Punkte, auf denen eigens für diesen Zweck am 13. Oktober 1910 eine abermalige Beobachtung stattfand.

Punkt Nr.	Messungen im		Zunahme oder Abnahme (—) der Boden- temperatur von Mitte Mai 1909 bis 13. Oktober 1910
	Mai 1909	Oktober 1910	
	in der Tiefe von 50 <i>cm</i> , Grade Celsius		
1	10·1	13·4	3·3
56	13·7	17·3	3·6
60	14·3	15·5	1·2
106	16·2	20·6	4·4
105	22·8	23·0	0·2
78	23·2	22·8	— 0·4
58	26·5	24·8	— 1·7
48	28·8	30·3	1·5

Die Bodentemperaturen in 50 *cm* Tiefe haben von der Mitte Mai 1909 bis 13. Oktober 1910 zugenommen, nur Punkt 58 und 78 machen diesbezüglich eine Ausnahme. Werden diese Punkte sowie der „neutrale“ Punkt (Nr. 1) nicht berücksichtigt, so ergibt sich als durchschnittliche Wärmezunahme 2·2° C. Dies ist fast ebensoviel als bei den Punkten Nr. 2, 3 und 6, westlich des Hauptgebäudes (2·7° C), aber weniger als beim „neutralen Punkte“ (3·3° C).

Für das abnorme Verhalten der zwei Punkte Nr. 58 und 78 ist die Ursache nicht erkennbar. Vielleicht deutet die Vertiefung bei Kote 160·10, nördlich Punkt 58, einen ehemaligen Toplica-Arm an, dessen Schotterfüllung die Temperatur jener Punkte besonders beeinflusst.

In 100 *cm* Tiefe wurde die Temperaturzunahme für die Zeit von Mitte Mai 1909 bis 13. Oktober 1910 auf Punkt Nr. 48 mit 3·3° C und auf Punkt Nr. 49 mit 5·3° C ermittelt¹⁾. Für den „neutralen Punkt“ beträgt sie 3·6° C.

Über das Grundwasser, beziehungsweise Thermalwasser, am rechten Ufer der Toplica war nichts Genaueres bekannt, da dort weder Brunnen noch Quellen bestehen. Es wurden daher diesbezüglich Sondierungen vorgenommen, indem am 19. Oktober 1910 an verschiedenen Punkten Rammbrunnen (auch amerikanische Röhren- oder Abessinier-Brunnen genannt) von etwa 4 *cm* Rohrdurchmesser so tief eingeschlagen wurden, bis das Wasser in denselben mindestens 15 *cm* hoch stand. Die Messungen im Rohr und außerhalb desselben, sowie ein Nivellement ergaben folgendes Resultat:

Punkt Nr.	Absolute Höhe in <i>m</i>	
	der Erdoberfläche	des Grundwasserspiegels
51	160·16	159·18
48	160·32	159·14
56	160·31	159·10
106	160·39	159·11
60	160·38	159·08

¹⁾ Am 13. Oktober 1910 war die Bodentemperatur, in 100 *cm* Tiefe, auf Punkt Nr. 49 30·5° C.

Anmerkung:

Die Punkte Nr. 48, 56, 106 und 60 bilden die Ecken eines Quadrats von 20·0 *m* Seitenlänge.

Punkt Nr. 51 ist von Nr. 48 auf 23·2 *m*, von Nr. 106 aber 27·2 *m* entfernt.

Die Grundwasserspiegel auf diesen fünf Punkten liegen mit sehr geringen Abweichungen in einer Ebene. Der kürzeste Fall derselben geht gegen Südost (genauer 8° von Südost gegen Ost) und ist unter 1:410, oder weniger als 10 Minuten, gegen den Kamenjak-Berg nach abwärts geneigt¹⁾.

Am höchsten steht das Thermalwasser bei dem Punkte Nr. 51 (159·18 *m*), es liegt hier bedeutend über der kaum 25 *m* entfernten Sohle des Toplicabaches, welche beim Stege die absolute Höhe 158·20 *m* besitzt. Das Thermalwasser bei Punkt Nr. 51 befindet sich aber auch 0·59 *m* über dem Austritte des heißen Wassers am linken Toplica-Ufer, bei der Stegquelle. Für die Linie dieses Wasseraustrittes wurde nämlich am 19. Oktober 1910 die Kote 158·59 *m* ermittelt.

Das Thermalwasser bei Punkt Nr. 51 muß daher zunächst denselben direkt von unten aufsteigen und dann nicht gegen den Bach, sondern gegen den Kamenjak abfließen.

Ebenso wie hier, bei Punkt Nr. 51, das Thermalwasser nicht mit jenem beim Levinbrunnen, also links der Toplica, zusammenhängt, ebenso besteht auch zwischen dem letzteren und dem heißen Wasser aus der Gegend der Hauptquelle keine Verbindung. Die Sohle des Abflußgrabens südlich des Levinbrunnens hat nämlich im höchsten Teile (nächst der Levinquelle) die absolute Höhe von etwa 158·40 *m*, während der Austritt des Thermalwassers zunächst der Stegquelle fast 20 *cm* höher liegt (158·59 *m*). Es sollte daher auf Tafel Nr. XXVII (I) die 30° Isotherme beim Stege weder über die Toplica, noch über den Abflußgraben beim Levinbrunnen gezogen sein, sondern zwei getrennte heiße Gebiete, beiderseits der Toplica, zum Ausdruck bringen.

Ebenso ist es eigentlich nicht zulässig, durch die Haupt-, Wiesen- und Steg-Quelle eine Ebene zu legen, um die Oberfläche des Thermalwassers zu bestimmen (Seite 751). Das Thermalgebiet enthält eben eine Reihe von untereinander unabhängigen Stellen, an denen das heiße Wasser aufsteigt und sich dann im durchlässigen Schotter ausbreitet.

¹⁾ Auf den Punkten *A*, *B*, *E* und 49 wurde gelegentlich der Wärmemessungen in einer Tiefe von einem Meter „Wasser“ konstatiert. Obige Ebene des Grundwassers liegt bei *A* und *B* 1·23 *m*, bei *E* 1·16 *m*, endlich bei Nr. 49 um 1·33 *m* unter der Erdoberfläche. Diese Differenzen erklären sich durch die Kapillarität. Die Hebung durch letztere beträgt in grobem Sande wenige Zentimeter, in mittelkörnigem Sande 25 *cm* und in feinkörnigem Sande 50 *cm*. (Keilhack, Grundwasserstudien III, Zeitschrift für praktische Geologie, 1910, April).

Schlußwort.

Die im Vorstehenden besprochenen Bodenwärmemessungen dürften geeignet sein, den unterirdischen Verlauf von Thermen zu ermitteln. Vielleicht wären selbst Schlüsse auf die Bodenbeschaffenheit manchmal möglich.

Diese Untersuchungen haben auch einen praktischen Wert. Besteht die Notwendigkeit, eine neue Thermalquelle zu erschließen, so läßt sich die dafür geeignete Stelle auf Grund der Isothermen mit großer Wahrscheinlichkeit bestimmen. So ist es in Stubičke Toplice im Herbst 1910 vollständig gelungen, an der Nordostseite des Schweizerhauses heißes Wasser durch einen Rammbrunnen zu beschaffen.

Die Gestalt der Erdoberfläche übt einen bedeutenden Einfluß auf das Resultat der Bodentemperatur-Messungen. Nicht immer werden diesbezüglich die Verhältnisse so günstig sein, wie bei Stubičke Toplice. Es ist unerlässlich, mit den Erdwärmebestimmungen ein genaues Nivellement zu verbinden.

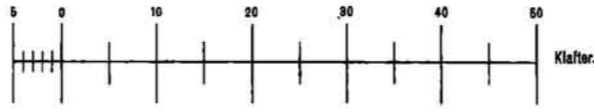
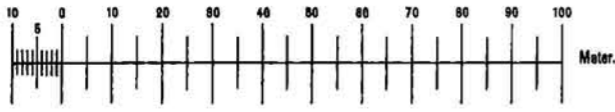
Auch die Festlegung der horizontalen Lage der gemessenen Punkte muß mit großer Sorgfalt geschehen. Die fünf Wärmegrade voneinander entfernten Isothermen, haben meist einen horizontalen Abstand von wenigen Metern. Die Zeichnung muß daher auf mindestens einen Meter genau sein. Dies erfordert ein Verjüngungsverhältnis von 1:1000, höchstens 1:2000. Die Militäraufnahms-Sektionen 1:25.000 sind dafür nicht geeignet. Bei der sorgfältigsten Arbeit ist die Zeichnung derselben auf höchstens 0.25 mm genau und bleiben Fehler von 0.5 mm nicht ausgeschlossen, das sind Ungenauigkeiten von mehr als 6—12 m. In der Praxis und besonders bei den älteren Aufnahmen muß mit größeren Fehlern gerechnet werden. Sehr störend wirken die Verzerrungen, welche selbst im Maße 1:10.000 kaum zu vermeiden sind.

Es ist zweckmäßig, die Punkte, auf denen die Erdtemperatur gemessen wird, so anzuordnen, daß sie auch nach längerer Zeit leicht wieder zu finden sind.

Das Wichtigste bei Beobachtungen der Erdwärme für die vorliegenden Zwecke bleibt aber eine rasche Arbeit. Je kürzer die Zeit dafür, desto geringer die Einflüsse, welche die Einheitlichkeit der gewonnenen Resultate bedrohen. Diese Homogenität ist aber die Hauptsache, denn es handelt sich nicht so sehr um absolute, als um relative Werte.

Stubičke Toplice.

Maßstab 1:1500.



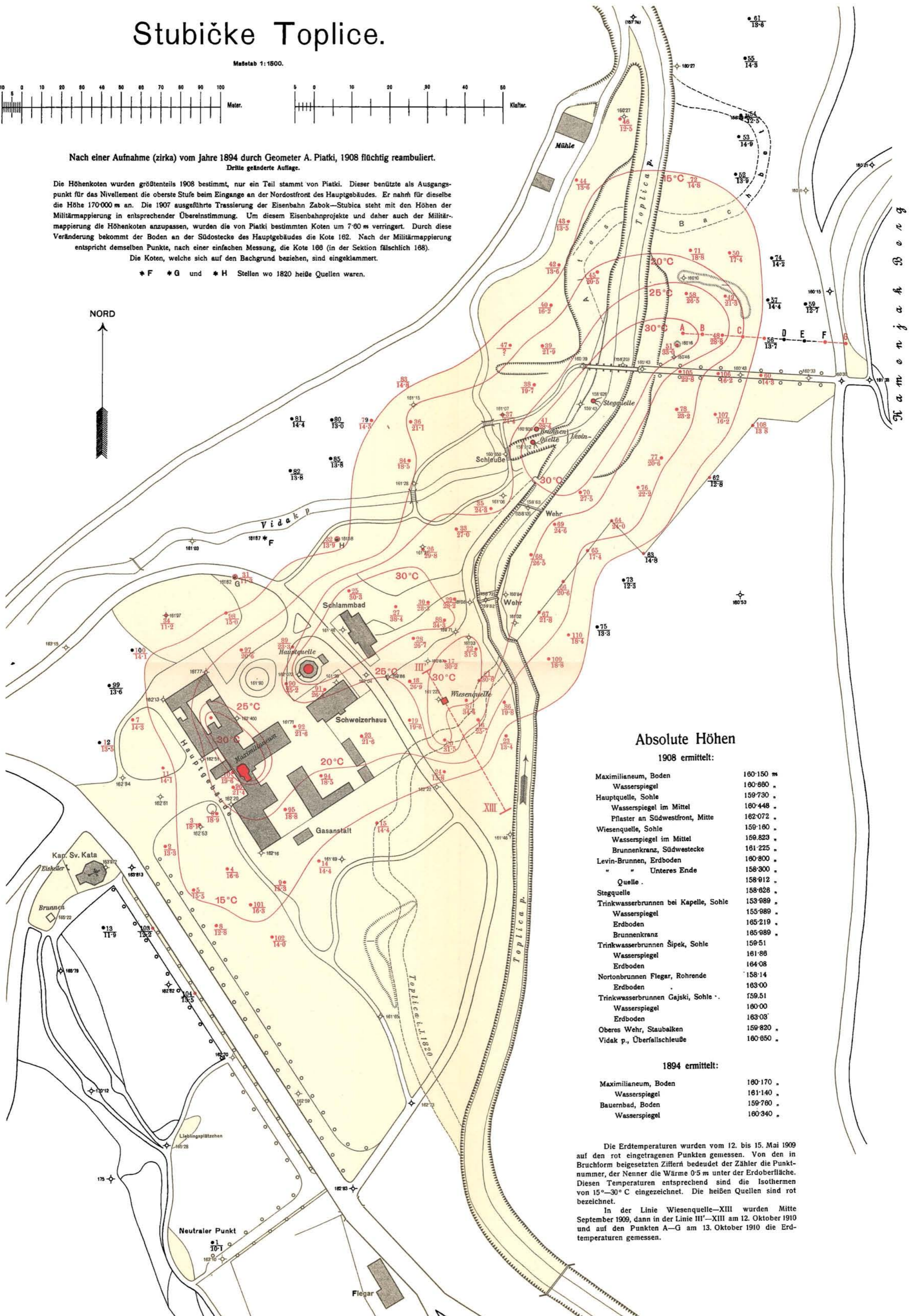
Nach einer Aufnahme (zirka) vom Jahre 1894 durch Geometer A. Piatki, 1908 flüchtig reambuliert.
Dritte geänderte Auflage.

Die Höhenkoten wurden größtenteils 1908 bestimmt, nur ein Teil stammt von Piatki. Dieser benützte als Ausgangspunkt für das Nivellement die oberste Stufe beim Eingange an der Nordostfront des Hauptgebäudes. Er nahm für dieselbe die Höhe 170 000 m an. Die 1907 ausgeführte Trassierung der Eisenbahn Zabok—Stubica steht mit den Höhen der Militärmappe in entsprechender Übereinstimmung. Um diesem Eisenbahnprojekte und daher auch der Militärmappe die Höhenkoten anzupassen, wurden die von Piatki bestimmten Koten um 7 80 m verringert. Durch diese Veränderung bekommt der Boden an der Südostecke des Hauptgebäudes die Kote 182. Nach der Militärmappe entspricht demselben Punkte, nach einer einfachen Messung, die Kote 188 (in der Sektion fälschlich 188).

Die Koten, welche sich auf den Bachgrund beziehen, sind eingeklammert.

* F * G und * H Stellen wo 1820 heiße Quellen waren.

NORD



Absolute Höhen

1908 ermittelt:

Maximilianeum, Boden	160 150 m
Wasserspiegel	160 860 "
Hauptquelle, Sohle	159 730 "
Wasserspiegel im Mittel	160 448 "
Pflaster an Südwestfront, Mitte	162 072 "
Wiesenquelle, Sohle	159 160 "
Wasserspiegel im Mittel	159 823 "
Brunnenkranz, Südwestecke	161 225 "
Levin-Brunnen, Erdboden	160 800 "
" " Unteres Ende	158 300 "
Quelle	158 012 "
Stegquelle	158 028 "
Trinkwasserbrunnen bei Kapelle, Sohle	153 989 "
Wasserspiegel	155 989 "
Erdboden	165 219 "
Brunnenkranz	165 989 "
Trinkwasserbrunnen Šipek, Sohle	159 51 "
Wasserspiegel	161 86 "
Erdboden	164 08 "
Nortonbrunnen Flegar, Rohrende	158 14 "
Erdboden	163 00 "
Trinkwasserbrunnen Gajski, Sohle	159 51 "
Wasserspiegel	160 00 "
Erdboden	163 03 "
Oberes Wehr, Staubalken	159 820 "
Vidak p., Überfallschleuße	160 650 "

1894 ermittelt:

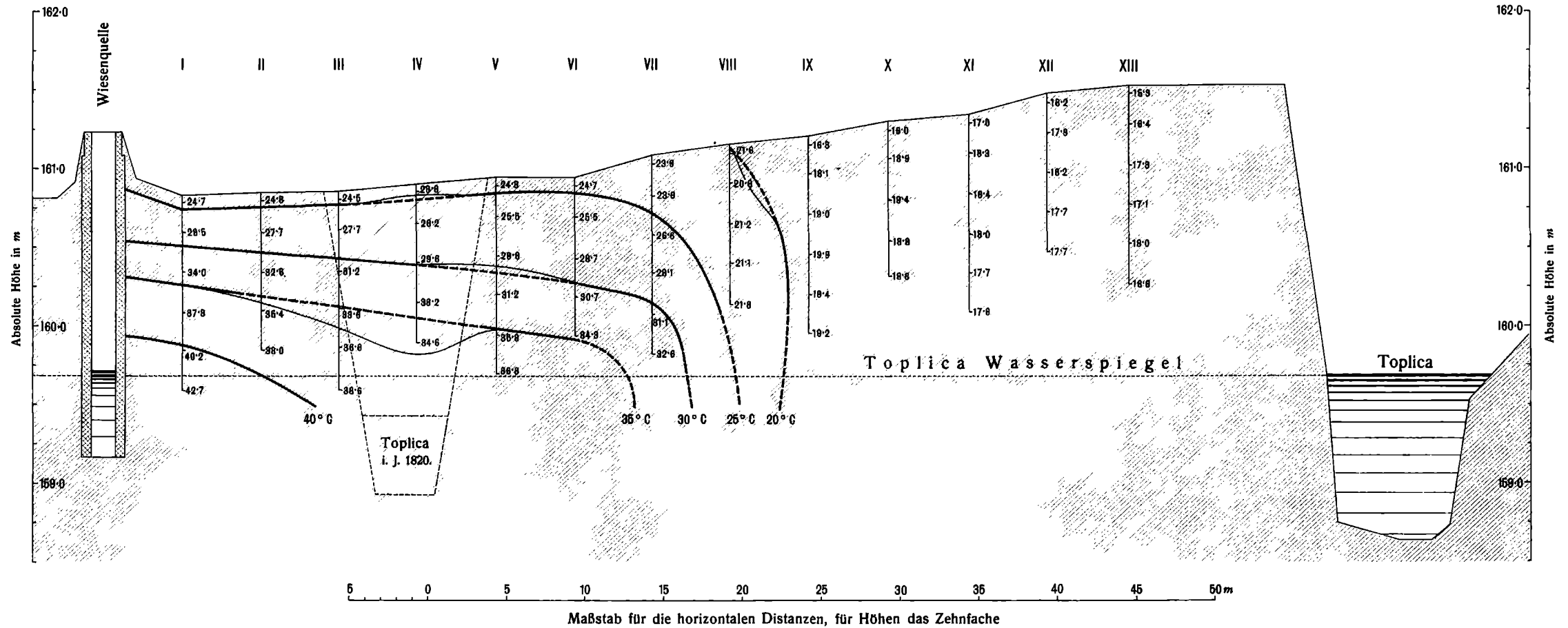
Maximilianeum, Boden	160 170 "
Wasserspiegel	161 140 "
Bauernbad, Boden	159 760 "
Wasserspiegel	160 340 "

Die Erdtemperaturen wurden vom 12. bis 15. Mai 1909 auf den rot eingetragenen Punkten gemessen. Von den in Bruchform beigetzten Ziffern bedeutet der Zähler die Punkt-nummer, der Nenner die Wärme 0 5 m unter der Erdoberfläche. Diesen Temperaturen entsprechend sind die Isothermen von 15°—30° C eingezeichnet. Die heißen Quellen sind rot bezeichnet.

In der Linie Wiesenquelle—XIII wurden Mitte September 1909, dann in der Linie III'—XIII am 12. Oktober 1910 und auf den Punkten A—G am 13. Oktober 1910 die Erdtemperaturen gemessen.

Profil

von der Wiesenquelle gegen Südsüdost mit den Isothermen für die Zeit vom 15. bis 17. September 1909.



Maßstab für die horizontalen Distanzen, für Höhen das Zehnfache

Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, Band LX, 1910.
Verlag der k. k. Geologischen Reichsanstalt, Wien, III., Rasumoffskygasse 23.

Profil

von West gegen Ost, zwischen Toplica und Kamenjak, 20m nördlich der Allee,
mit den Isothermen für den 13. Oktober 1910.

