

Untersuchungen über die Abnahme der Quellentemperatur mit der Höhe im Gebiete der mittleren Donau und im Gebiete des Inn

von

Dr. Fritz v. Kerner.

(Vorgelegt in der Sitzung am 2. April 1903.)

Ist auch die bedingungslose Identifizierung von Quellen- und Bodentemperaturen längst als unzulässig erkannt worden, so blieb doch dem Jahresmittel der Quellenwärme die Bedeutung eines der mittleren Bodenwärme am Quellenorte fast äquivalenten Temperaturwertes bewahrt.

Selbst Hallmann, welcher die Unterschiede zwischen dem Temperaturgange der Quellwässer und dem des von ihnen durchsickerten Erdreiches mit besonderer Gründlichkeit nachwies, war zu dem Schlusse gelangt, daß sich diese Unterschiede im Jahresmittel ausgleichen.

Für die Herstellung von Chthonisothermenkarten sowie für Untersuchungen über den Einfluß von Seehöhe und Exposition auf die Bodentemperatur, Fälle, in denen die Größe des Beobachtungsmaterials noch mehr als die Exaktheit der Einzelmessung ins Gewicht fällt, erscheint darum, da sich Temperaturbestimmungen des Quellwassers leichter als solche des Erdbodens ausführen lassen, das Jahresmittel der Quellenwärme mit Vorteil verwendbar.

In schwer zugänglichen Regionen, zumal im Hochgebirge, ist allerdings auch eine monatliche Messung der heterothermen Quellen sehr mühevoll und in Gebieten, die einen Teil des Jahres hindurch mit Schnee bedeckt sind, überhaupt nicht ausführbar. In solchen Fällen gilt es dann, an der Hand einer

größeren Zahl von schon vorliegenden monatlichen Quellenmessungen zu untersuchen, inwieweit sich das Jahresmittel der Quellenwärme durch einen aus möglichst wenigen Messungen ableitbaren Temperaturwert ersetzen läßt.

Von meinem seligen Vater wurde vor vielen Jahren eine derartige Untersuchung vorgenommen und auf Grund der Ergebnisse derselben eine große Zahl von Quellentemperaturmitteln im Gebiete der mittleren Donau bestimmt, um über die bei manchen pflanzenbiologischen Fragen in Betracht kommende Abnahme der Bodentemperatur mit der Seehöhe nähere Aufschlüsse zu gewinnen.

Über jene Untersuchung wurde in einem im Jahre 1871 erschienenen Aufsätze, welcher ein verwandtes Thema behandelte, eine Notiz gebracht.¹ Dieselbe bestand indessen nur in einer kurzen Erwähnung des Hauptergebnisses der Studie. Die zahlreichen, auf Grund dieses Ergebnisses bestimmten Quellentemperaturmittel blieben unpubliziert, desgleichen die vorläufigen Resultate einer in Angriff genommenen Bearbeitung derselben. Später setzte mein Vater seine Quellenstudien im Flußgebiete des Inn fort, doch blieben auch die zahlreichen, dort gemachten Temperaturmessungen unveröffentlicht und ohne systematische Bearbeitung. Nur auf einzelne der gewonnenen Resultate wurde von meinem Vater in pflanzengeographischen und pflanzenbiologischen Abhandlungen vorübergehend Bezug genommen.

Trotz der vielen Mühen, mit denen die Zustandebringung des vorliegenden Beobachtungsmaterials verknüpft gewesen sein mag, ist dasselbe zu einer erschöpfenden Behandlung der Quellentemperaturabnahme mit der Höhe im mittleren Inn- und Donautale doch unzureichend. Die relativ geringe Pflege, die unter den Teildisziplinen der Hydrographie gerade die Physik der Quellen in unseren Alpen bisher gefunden hat, bringt es jedoch mit sich, daß jede neue, dieses Thema betreffende Mitteilung, auch wenn sie fragmentarisch ist, willkommen sein

¹ A. Kerner, Über Wanderungen des Maximums der Bodentemperatur. Zeitschrift der österr. Gesellschaft für Meteorologie, VI. Bd., Nr. 5, S. 65 und 66.

muß. Dies bestimmte mich, mich einer Gesamtbearbeitung des genannten Beobachtungsmaterials zu unterziehen.

Die folgenden Zeilen enthalten zunächst eine Darlegung des aus den hinterlassenen Schriften ersichtlichen Ganges jener vorerwähnten Untersuchung, ein Verzeichnis der auf Grund der Ergebnisse derselben bestimmten Temperaturmittel und die aus diesen Mitteln von mir abgeleiteten Gesetze der Abnahme der Quellen-, beziehungsweise Bodenwärme mit der Höhe.

Angenäherte Bestimmung des Jahresmittels der Quellentemperatur.

Das Beobachtungsmaterial, auf welches sich die vorhin genannte Untersuchung stützte, bestand aus den in Hallmann's »Temperaturverhältnisse der Quellen« mitgeteilten jährlichen Temperaturgängen von 58 Quellen in verschiedenen Klimagebieten Europas und den in Hofmann's »Pflanzenklimatologie« angeführten Monatstemperaturen von neun Quellen in Norddeutschland; hiezu kamen die monatlichen Temperaturablesungen an drei Quellen im mittleren Donautale und an drei Quellen in Siebenbürgen. Die teils auf ein-, teils auf mehrjährigen Beobachtungen beruhenden Temperaturgänge dieser 73 Quellen verhielten sich sowohl betreffs der Amplitudengröße als auch in Bezug auf die Eintrittszeit der Extreme so verschieden, daß sie zu Deduktionen von allgemeiner Giltigkeit geeignet waren.

Das nächstliegende Verfahren, den Mittelwert einer Variablen von einfacher Periodizität angenähert zu erhalten, ist bekanntlich die Bestimmung des arithmetischen Mittels der Extreme. Um die Anwendbarkeit dieses Verfahrens auf die Quellentemperatur zu prüfen, wurden — mit Verzicht auf eine graphische Extrapolation der Kurvenscheitel — die Differenzen zwischen dem Durchschnittswerte der beiden extremen Monatstemperaturen und dem Jahresmittel gebildet.

Da anzunehmen war, daß die Unsicherheit der Mittelbestimmung mit der Größe der Jahresamplitude wachse, wurde die Rechnung nur für die Quellen mit geringer Wärmeschwankung ausgeführt und zwar für jene, welche weniger als

3·0° Amplitude zeigten,¹ eine Bedingung, welcher 46 von den 73 Quellen entsprachen.

Die kleinsten Jahresamplituden lagen zwischen 0·1° und 0·2°, blieben somit um mehr als das Zwanzigfache gegen den oberen Grenzwert derselben zurück. Die hieraus erwachsende Unzukömmlichkeit einer Mittelbildung aus sehr bedeutend differierenden Werten ließ sich leider auch durch eine Darstellung der Differenz zwischen Extreme- und Jahresmittel in Prozenten der Jahresschwankung nicht beseitigen, da es bei dieser Darstellungsweise leicht vorkommen konnte, daß gerade für Quellen mit sehr kleiner Jahresamplitude für diese Differenz große Zahlenwerte resultierten.²

Die Rechnung ergab als mittlere algebraische Differenz zwischen dem Extrememittel und dem Jahresmittel der Quellentemperatur +0·04° und als mittleren Fehler dieser Differenz $\pm 0\cdot08^\circ$, als größten Fehler $-0\cdot40^\circ$.

Zur Bestimmung der mittleren Eintrittszeit des Maximums und Minimums wurden — gleichfalls mit Verzicht auf eine graphische Extrapolation der Termine — die für die Monatsmitten geltenden Temperaturextreme benützt, in der Annahme, daß sich die hierbei auftretenden Fehler gegenseitig kompensieren werden.

¹ Es geschah dies unter Zugrundelegung der Forderung, daß der Fehler in extremen Fällen 0·5° nicht übersteige, auf Grund folgender Überlegung: Die extremen Monate waren in den abweichendsten Fällen die den beiden Monaten, auf welche zumeist die Extreme fielen, nächsten. Der größte Fehler des Extrememittels, welcher dann eintrat, wenn das eine Extrem auf seinen mittleren, das andere auf seinen äußersten Termin fiel, betrug demnach halb soviel, als sich die Temperatur in zwei Monaten ändert. Die Änderung konnte mit Vernachlässigung des flacheren Verlaufes der Kurve zu beiden Seiten ihrer Kulminationen dem dritten Teil der Jahresschwankung gleich gesetzt werden. Sollte ihre Hälfte 0·5° nicht übersteigen, war die Grenze der zulässigen Amplitudengröße mit 3·0° gegeben.

² Die mittlere Abweichung, ausgedrückt in Prozenten des Mittelwertes, eine Verhältniszahl, welche einen Maßstab für die mittlere Größenverschiedenheit der zu einem Durchschnittswerte vereinigten Einzelwerte abgibt, betrug bei der in Graden ausgedrückten numerischen Differenz zwischen Extreme- und Jahresmittel 85%, bei der in Prozenten der Amplitude ausgedrückten selben Differenz 74%.

Das Minimum der Quellentemperatur fiel:

bei 13 Quellen auf den Jänner,
 » 25 » » » Februar,
 » 25 » » » März,
 » 10 » » » April.

Das Maximum der Quellentemperatur fiel:

bei 7 Quellen auf den Juli,
 » 24 » » » August,
 » 33 » » » September,
 » 9 » » » Oktober.

Als mittlere Termine ergaben sich hieraus:

für das Minimum der 28. Februar,
 für das Maximum der 3. September;

als mittlere Fehler dieser Termine:

für das Minimum 24·4 Tage,
 für das Maximum 21·7 Tage.

Da aus äußeren Gründen ein größerer zeitlicher Spielraum zur Vornahme der Frühlings- und Herbstmessung der Quellentemperatur erwünscht war, wurden die vier Combinationen aus den die mittleren Extremtermine beiderseits in ziemlich gleichen Zeitabständen einschließenden Monatsmitten hinsichtlich des Verhältnisses ihres Temperaturmittels zum Jahresmittel geprüft.

Es ergaben sich für die 46 Quellen mit weniger als $3\cdot0^\circ$ Amplitude als mittlere algebraische Differenzen gegen das Jahresmittel:

für das Mittel aus Februar und August $-0\cdot03^\circ$,
 » » » » März und August $-0\cdot03^\circ$,
 » » » » Februar und September $+0\cdot06^\circ$,
 » » » » März und September $+0\cdot07^\circ$.

Die mittleren und größten Fehler dieser Differenzen waren:

Februar-August	$\pm 0 \cdot 09^\circ$	und	$-0 \cdot 37^\circ$
März-August	$\pm 0 \cdot 12^\circ$	»	$-0 \cdot 27^\circ$
Februar-September	$\pm 0 \cdot 12^\circ$	»	$-0 \cdot 51^\circ$
März-September	$\pm 0 \cdot 08^\circ$	»	$+0 \cdot 28^\circ$

Um festzustellen, inwieweit die Frühlings- und Herbstmessung der Quellentemperatur erkennen lassen, ob die Jahresamplitude jenen Betrag, bis zu welchem die vorhin abgeleiteten Differenzwerte gültig sind, nicht übersteige, wurden die Differenzen zwischen dem Temperaturunterschiede der vorhin aufgezählten Monatspaare und der Jahresamplitude bestimmt. Bei jenen Quellen, bei welchen eines dieser vier Monatspaare den extremen Monaten entsprach, reduzierte sich die betreffende Differenz auf 0. Bei den Quellen mit sehr verfrühten und sehr verspäteten Extremen konnte sie in den äußersten Fällen zwei Drittel der Jahresamplitude erreichen.¹

Als mittlere Differenzen gegen die Jahresamplitude ergaben sich bei den 46 Quellen mit weniger als $3 \cdot 0^\circ$ Schwankung:

bei der Differenz zwischen Februar und August	$-0 \cdot 41^\circ$
» » » » März und August	$-0 \cdot 43^\circ$
» » » » Februar und September	$-0 \cdot 22^\circ$
» » » » März und September	$-0 \cdot 24^\circ$

Die mittleren und größten Fehler dieser Differenzen waren:

Februar-August	$\pm 0 \cdot 35^\circ$	$-0 \cdot 93^\circ$
März-August	$\pm 0 \cdot 29^\circ$	$-0 \cdot 97^\circ$
Februar-September	$\pm 0 \cdot 16^\circ$	$-0 \cdot 52^\circ$
März-September	$\pm 0 \cdot 19^\circ$	$-1 \cdot 01^\circ$

Sollten die Differenzen zwischen dem aus einer Frühlings- und Herbstmessung gebildeten Mittel und dem Jahresmittel die

¹ Diese Möglichkeit, daß man durch zwei zu den mittleren Eintrittszeiten der Extreme angestellte Messungen eine um das Dreifache zu kleine Jahresamplitude erhielt, konnte bei auf Jänner und Juli verfrühten Extremen bei der Kombination März-September, bei auf April und Oktober verspäteten Extremen bei der Kombination Februar-August eintreten. Die Möglichkeit, daß die gemessene Differenz nur die Hälfte der Jahresamplitude erreichte, war in acht verschiedenen Fällen von abweichender zeitlicher Extremeverteilung vorhanden.

vorhin angeführten Grenzwerte nicht übersteigen, so war demnach eine Beschränkung auf Quellen geboten, bei denen der Unterschied zwischen jenen beiden Messungen unter $2\cdot25^\circ$ blieb. Da jedoch diese Differenzen so klein waren, daß sie — ohne Überschreitung jener Genauigkeitsgrenzen, deren Ziehung dem Charakter der geplanten hydrologischen Untersuchung entsprach — noch bei einer mäßigen Vergrößerung vernachlässigt werden konnten, durfte auch der zulässige Maximalwert der Jahresamplituden und somit auch der obere Grenzwert des zulässigen Temperaturunterschiedes zwischen der Februar-März- und der August-Septemberrmessung etwas hinaufgerückt werden und es ließ sich für die Bestimmung von Quellentemperaturmitteln folgende Regel aufstellen:

Mißt man die Temperatur einer Quelle in der Zeit zwischen Mitte Februar und Mitte März und in der Zeit zwischen Mitte August und Mitte September, so kann man, wenn der Temperaturunterschied dieser beiden Messungen $3\cdot0^\circ$ nicht übersteigt, das arithmetische Mittel dieser beiden Messungen als Äquivalent des Jahresmittels der Quellenwärme betrachten. Nach dieser Regel konnten auch die Quellen mit $2\cdot25$ bis $3\cdot0^\circ$ Unterschied zwischen der Frühlings- und Herbstmessung zur Mittelbildung verwendet und die Zahl der gewinnbaren Temperaturmittel noch vergrößert werden.

Das in zweiter Linie in Betracht kommende Verfahren, den Mittelwert einer eine einfache jährliche Periode zeigenden geophysikalischen Größe angenähert zu erhalten, ist die Messung derselben in der Mitte der Zeit ihres Anstieges und Abfalles.

Sollte das Jahresmittel der Quellenwärme wiederum nur aus zwei Temperaturmessungen abgeleitet werden, konnten diese halbwegs zwischen den Extremterminen anzustellenden Messungen jedoch nicht als Konstituenten eines arithmetischen Mittels verwendet werden. Es wäre dasselbe dann aus zwei Messungen gebildet gewesen, welche über die Größe der Jahresamplitude gar keinen Aufschluß gegeben hätten. Die Kenntnis derselben war aber wiederum notwendig, weil von ihr die Genauigkeit der Mittelbestimmung abhing.

Aus diesem Grunde mußte die Bestimmung des Jahresmittels auf eine Messung während des Temperaturanstieges allein gestützt werden und die Größe der Jahresschwankung aus der Differenz dieser Messung gegen eine zweite um die Zeit des Temperaturmaximums anzustellende Messung erschlossen werden. Der Zeitpunkt, zu welchem die Quelltemperatur während ihres Abfalles das Jahresmittel passiert, kam als Zeitpunkt für die der Bestimmung dieses Mittels dienende Messung kaum in Betracht, da er zumeist schon in die Periode der winterlichen Schneebedeckung fiel. Er wurde jedoch gleichfalls in den Bereich der Untersuchung gezogen, da es aus äußeren Gründen vorteilhaft sein konnte, für die Bestimmung von Quelltemperaturmitteln in den Niederungen neben den Kombinationen Frühling-Spätsommer und Frühsommer-Herbst noch eine dritte Kombination: Spätsommer-Vorwinter als passende Messungstermine zu besitzen.

Während des Temperaturanstieges stand dem Jahresmittel am nächsten:

bei 3 Quellen die Temperatur des April,				
» 32	»	»	»	» Mai,
» 26	»	»	»	» Juni,
» 10	»	»	»	» Juli,
» 2	»	»	»	» August.

Während des Temperaturabfalles stand dem Jahresmittel am nächsten:

bei 4 Quellen die Temperatur des Oktober,				
» 29	»	»	»	» November,
» 25	»	»	»	» Dezember,
» 12	»	»	»	» Jänner,
» 3	»	»	»	» Februar.

Unter der Voraussetzung, daß die Jahresmittel gleich oft vor und nach den Monatsmitten passiert wurden, ergaben sich hieraus als mittlere Termine für den Eintritt des Jahresmittels während des Temperaturanstieges der 5. Juni, für den Eintritt des Jahresmittels während des Temperaturabfalles der 7. Dezember, als mittlere Fehler dieser Termine:

für den 5. Juni 21 · 8 Tage,
für den 7. Dezember 24 · 1 Tage.

Es wurden nun die vier Monate, in denen die Temperatur zumeist dem Jahresmittel am nächsten stand, betreffs ihres Temperaturunterschiedes gegen dieses Mittel geprüft.

Es ergaben sich für die 46 Quellen mit weniger als 3 · 0° Amplitude folgende mittlere algebraische Differenzen:

für den Mai — 0 · 20°
» » Juni + 0 · 06°
» » November + 0 · 13°
» » Dezember — 0 · 14°

Die mittleren und größten Fehler dieser Differenzen waren:

Mai ± 0 · 22° und — 0 · 87°
Juni ± 0 · 20° » + 0 · 79°
November ± 0 · 17° » + 1 · 03°
Dezember ± 0 · 27° » — 1 · 03°

Unter der Voraussetzung, daß die betreffs des Größenverhältnisses der Differenz zwischen Vorfrühling- und Spätsommernessung zur Jahresamplitude früher abgeleiteten Mittel- und Grenzwerte auch für das Verhältnis der Differenz zwischen Fröhsommer- und Spätsommernessung zur halben Jahresamplitude Geltung haben, ließ sich für die angenäherte Bestimmung von Quellentemperaturmitteln folgende zweite Regel aufstellen:

Mißt man die Temperatur einer Quelle in der ersten Hälfte des Juni und in der Zeit zwischen Mitte August und Mitte September, so kann man, wenn der Temperaturunterschied dieser beiden Messungen 1 · 5° nicht übersteigt, die erstere dieser beiden Messungen als Äquivalent des Jahresmittels der Quellenwärme betrachten.

Die Beschränkung des der Fröhsommernessung eingeräumten zeitlichen Spielraumes (2 Wochen) auf die Hälfte des der Vorfrühling- und Spätsommernessung gewährten war darin begründet, daß die erstere in eine Zeit der raschesten,

letztere beide in die Zeiten der langsamsten Temperaturänderung fielen. In Bezug auf Verlässlichkeit stand das aus einer Messung abgeleitete Temperaturmittel dem aus zwei Messungen gewonnenen Mittel ungefähr um das Doppelte nach (mittlerer Fehler des ersteren $0 \cdot 10^\circ$, des letzteren $0 \cdot 22^\circ$).

I. Teil.

Quellenmessungen in Niederösterreich.

Mit Hilfe der im vorigen mitgeteilten Regeln wurden von meinem Vater in den Jahren 1853 bis 1857 die Temperaturmittel zahlreicher Quellen im niederösterreichischen Donautale und dessen südlichen Seitentälern bestimmt. Er verfolgte hiebei das Ziel, die Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe in ihrer Abhängigkeit von den verschiedenen, die Quellenwärme beeinflussenden Momenten festzustellen, und es wurden deshalb von ihm auch die Exposition und die orographische Lage (Tal, Gehänge, Plateau) sowie das geognostische Substrat und die Vegetationsbeschaffenheit der Quellenumgebung in allen Fällen notiert.

Die Verwertung des so zustande gebrachten Beobachtungsmaterials sollte — hinterlassenen Aufzeichnungen zufolge — in der Weise stattfinden, daß die gemessenen Quellen für sukzessive Höhenzonen von 500 Fuß Breite nach den Expositionen und die nach derselben Richtung exponierten nach der orographischen Lage und nach der Beschaffenheit der Quellenumgebung gruppiert wurden. Es wären so bei einer Beschränkung auf die Unterscheidung von Tal- und Gehängelage und von Wald- und Freilage (Wiese, Feld, Weingarten) für jede Höhenzone $8 \times 2 \times 2$ Kategorien von Quellen erhalten worden und es hätte diese Gruppierung ermöglichen sollen, die Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe für verschiedene Expositionen und Lageverhältnisse und die (von der Exposition abhängige) örtliche Änderung der Quellenwärme für verschiedene Höhenzonen und Lagebeziehungen festzustellen.

Eine von mir für Höhenzonen von 200 *m* Breite vorgenommene Neugruppierung der gemessenen Quellen nach den eben erwähnten Gesichtspunkten ließ mich jedoch erkennen,

daß durch dieselbe das angestrebte Ziel nur sehr unzulänglich zu erreichen war. Es zeigte sich, daß, während einzelne Kategorien durch mehrere Quellen vertreten waren, andere Kategorien ganz ohne Vertretung blieben, und daß die zur selben Kategorie gehörigen Quellen viel größere Temperaturunterschiede aufwiesen, als in ihrer Niveaudifferenz innerhalb derselben Höhenzone begründet gewesen wäre. Es zeigte sich ferner, daß die Differenzen zwischen den einander korrespondierenden Kategorien der verschiedenen Höhenzonen und Expositionen sehr variierten, in einigen Fällen selbst bezüglich des Vorzeichens nicht übereinstimmten, und daß für die Temperaturabnahme mit der Höhe und für die örtliche Temperaturänderung — soweit beide durch mehrere Höhenzonen, beziehungsweise durch mehrere Oktanten der Windrose verfolgbar waren — ein sehr unregelmäßiger, in ein paar Fällen sogar ein widersinniger Gang resultierte (Temperaturzunahme nach oben und in der Richtung gegen N).

Der Grund all dieser Ungereimtheiten lag darin, daß die Reihe der die Quellenwärme beeinflussenden Umstände mit den in Rechnung gezogenen noch nicht erschöpft war. Ein sehr wichtiges, nicht berücksichtigtes Moment ist der von der geologischen Struktur abhängige Typus der Quelle. Eine Schichtquelle wird unter sonst gleichen Umständen eine niedrigere Mitteltemperatur aufweisen können als eine Spalt- oder Überfallquelle. Des weiteren kommt in Betracht, daß die in der Umgebung einer Quelle herrschenden Verhältnisse nicht stets für das Sammelgebiet derselben bezeichnend sein müssen. So kann eine in Wiesengrund aufbrechende Quelle durch in Waldgrund sich sammelnde Wässer gespeist werden und eine an einem Nordgehänge entspringende Quelle bei entsprechender Gebirgsstruktur das unter einem nach W oder E exponierten Gehänge abfließende Wasser zutage bringen.

Es war demzufolge nicht möglich, die Quellentemperatur als Funktion aller der in Betracht gezogenen Lageverhältnisse darzustellen, sie konnte nur in ihrer Abhängigkeit von je einer, höchstens von je zweien dieser Lagebeziehungen mit Ausschluß des Einflusses der übrigen untersucht werden. Es ergaben sich diesbezüglich folgende Resultate:

I. Abhängigkeit der Quellentemperatur von der Seehöhe im Mittel aller Expositionen und im Mittel aus Tal- und Gehänge-, Wald- und Freilage.

Mittlere Quellentemperatur in den sukzessiven Höhenzonen:

Höhenzone zwischen	200 und	400 <i>m</i>	.....	9·61
»	»	400 »	600 <i>m</i>	.....8·31
»	»	600 »	800 <i>m</i>	.....7·37
»	»	800 »	1000 <i>m</i>	.....6·86
»	»	1000 »	1200 <i>m</i>	.....6·08
»	»	1200 »	1400 <i>m</i>	.....5·57
»	»	1400 »	1600 <i>m</i>	.....4·80

II. Abhängigkeit der Quellentemperatur von der Exposition im Mittel aller Höhenzonen und im Mittel aus Tal- und Gehänge-, Wald- und Freilage.

Abweichungen von der örtlichen Mitteltemperatur:

N	NE	E	SE
-0·57	-0·32	-0·09	-0·01
S	SW	W	NW
+0·19	+0·57	+0·55	-0·04

III. Abhängigkeit der Quellentemperatur von der orographischen Lage im Mittel aller Höhenzonen und Expositionen.

Temperaturüberschuß der Quellen in Tälern gegen die Quellen an Gehängen:

bei freier Lage	.....	+0·30
bei Lage in Waldgrund	.....	-0·17
im allgemeinen	.....	+0·04

IV. Abhängigkeit der Quellentemperatur von der Vegetationsbeschaffenheit der Quellenumgebung.

Temperaturüberschuß der Quellen in freier Lage (Weingarten, Feld, Wiese) gegen die Quellen in Waldgrund:

bei Tallage	+0·34
bei Gehängelage	+0·13
im allgemeinen	+0·27

Es schien mir, daß die eben mitgeteilten Zahlenwerte keine befriedigende Vorstellung von den örtlichen Temperaturverhältnissen der Quellen des niederösterreichischen Donaugebietes zu geben vermöchten, und ich versuchte es darum, auf anderer Grundlage zu einer besseren Charakterisierung der örtlichen Temperaturbewegungen dieser Quellen zu gelangen. Zunächst schien es passend, zur Erreichung dieses Zieles den Weg der Rechnung zu betreten und für die Abnahme der Quellentemperatur mit der Höhe in der üblichen Weise mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate Formeln abzuleiten.

Der Einfluß der Exposition fand in der Weise eine Berücksichtigung, daß die Temperaturabnahme für die Quellen der nördlichen und südlichen Abhänge getrennt berechnet wurde. Um hiebei einen möglichst großen Teil der gemessenen Quellen verwerten zu können, wurden die den extremen Expositionen benachbarten Hauptexpositionen in die Rechnung einbezogen und einerseits die Quellen der NW-, N- und NE-Seite, andererseits jene der SE-, S- und SW-Seite vereinigt. Die örtliche Temperaturamplitude kam auf diese Weise allerdings zu klein heraus. Eine sichere Gewähr, diese Größe genau zu erhalten, wäre jedoch auch bei einer Beschränkung der Rechnung auf die Quellen der N- und S-Exposition nicht gegeben gewesen, da das örtliche Maximum der Quellentemperatur — wie die vorhin mitgeteilten Abweichungen vom Expositionsmittel erkennen lassen — nicht genau auf die Südseite fällt.

Was die orographische Lage betrifft, so hätte eine Berücksichtigung des Einflusses derselben durch eine getrennte Berechnung der Temperaturabnahme für die Tal- und Gehängequellen naturgemäß fast nur vikarierend (die der ersteren nur für die unteren, die der letzteren nur für die oberen Höhenzonen) erfolgen können, und es wäre dann der Zweck einer solchen getrennten Berechnung, die Vergleichbarkeit, gar nicht erreicht worden. Es erschien darum zulässig, die Tal- und Gehängequellen zu kombinieren und den hieraus auf die

Gestalt der Temperaturkurve erwachsenden Einfluß nicht — wie man dies bei der Lufttemperatur, wo die Dinge anders liegen, zu tun pflegt — als eine zu eliminierende Störung, sondern im Gegenteil als ein charakteristisches Merkmal derselben zu betrachten. Die Abnahme der Quelltemperatur tritt dann in deutliche Beziehung zur Massenabnahme des Gebirges und es wird dann wünschenswert, ihren Gang für Gebiete von verschiedener Konfiguration getrennt zu berechnen. Aus diesem Grunde war es zunächst angezeigt, die Quellen des Donautales von jenen seiner südlichen Seitentäler zu trennen, da die Abhänge des ersteren (zumal in dem »Wachau« genannten Abschnitte) als Plateauränder ein anderes Profil zeigen als jene der Alpentäler. Betreffs der Quellen in diesen letzteren schien es empfehlenswert, zwischen Quellen der Voralpenzone und Quellen der eigentlichen Nordalpen zu unterscheiden.

Durch diese Scheidung der gemessenen Quellen nach den drei Gebieten: Südrand des böhmischen Massivs, niederösterreichische Voralpen und niederösterreichische (inklusive obersteirische) Alpen konnte — da dieselbe zugleich eine Scheidung nach drei geognostisch differenten Gebieten: Granit-Gneisregion, Sandsteinregion und Kalkregion (inklusive Triasschiefer) repräsentierte, auch der Einfluß des Untergrundes auf die Quelltemperatur wenigstens teilweise zum Ausdrucke kommen (etwa durch eine Depression der mittleren Quellenwärme im zerklüfteten Kalkgebiete gegenüber der Sandsteinzone).

Der Einfluß der Vegetationsbeschaffenheit der Quellenumgebung wurde dagegen von mir nicht in Rechnung gezogen. Die Grenzen, innerhalb welcher derselbe sich geltend machen kann, erschienen mir durch die vorhin mitgeteilten Durchschnittswerte des Temperaturüberschusses der Quellen in freier Lage gegen die Quellen im Waldgrund genügend markiert.

Behufs der Ableitung von Formeln für die Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe wurden die gemessenen Quellen mit den Temperaturen als Ordinaten und den Seehöhen als Abszissen in ein Netz eingetragen. Es bot dies die Möglichkeit, zu erkennen, was für eine Form die zu berechnenden Gleichungen zu bekommen hatten und es ließ sich zugleich

ersehen, ob und welche Quellen wegen abnormer Temperatur bei der Rechnung auszuschließen waren. Die Nichtberücksichtigung stark abweichender Einzelbeobachtungen bei der Mittelbildung ist zwar bei homogenen Beobachtungsreihen (z. B. meteorologischen Stationsterminbeobachtungen) ganz unstatthaft, da hier die großen Abweichungen denselben Ursachen wie die kleinen entspringen; bei der Mittelbildung aus Beobachtungen, deren Homogenität nicht gewährleistet ist, ist sie aber insoferne berechtigt, als hier eine starke Abweichung einen Fingerzeig dafür abgibt, daß die betreffende Beobachtung eine heterogene ist und daher nicht in den Rahmen der anderen paßt. Selbstverständlich darf von dem Rechte der Ausschließung abnormer Einzelwerte nur in sehr beschränktem Maße Gebrauch gemacht werden, und eine Formel, deren gute Übereinstimmung mit den ihr zugrunde gelegten Werten nur durch Ignorierung eines nicht unbedeutenden Bruchteiles der vorliegenden Beobachtungen erzwungen werden könnte, müßte naturgemäß von sehr zweifelhaftem Werte sein. Liegen dagegen nur einige wenige, auffallend stark abweichende Beobachtungen vor, so hieße es umgekehrt, der Natur einen Zwang antun, wollte man diese offenbar heterogenen Werte bei der Rechnung einbeziehen.

Es zeigte sich, daß in allen Fällen in der Tat nur sehr wenige Quellentemperaturen wegen abnormer Höhe oder Tiefe auszuschließen waren.

Die im folgenden gegebenen Quellenlisten sind ein sehr gekürzter Auszug aus dem von meinem Vater hinterlassenen ausführlichen Verzeichnisse. Die Lokalitätsbezeichnung der Quellen ist möglichst knapp gehalten. Betreffs der Temperatur erschien es mir genügend, die Mittelwerte in die Listen aufzunehmen. Die Angaben betreffs der Beschaffenheit der Quellenumgebung sowie die Daten bezüglich des Untergrundes schienen entbehrlich.

Die angegebene Exposition bezieht sich bei den Talquellen, sofern der Talgrund nicht selbst eine merkliche Neigung aufweist, auf das Gehänge, an dessen Fuße die betreffende Quelle entspringt.

Die aus Wiener Fuß in Meter umgewandelten Höhen sind leider zum Teile ungenau. Es hatte — wie oben erwähnt wurde — bei der Zustandebringung des Beobachtungsmaterials ursprünglich die Absicht bestanden, die Quellen nach Höhenzonen von 500 Fuß Breite zu gruppieren, und es war deshalb bei manchen Quellen überhaupt nur die Höhenzone, in welcher sie lagen, festgestellt worden. Bei einigen dieser Quellen gelang es nachträglich, mit Hilfe der Spezialkarte die Höhe näher zu fixieren, bei anderen mußte die Mitte der betreffenden Höhenzone als Niveau angenommen werden.

Quellentemperaturen am Südrande des böhmischen Massivs.

Längs des Südrandes der böhmischen Masse wurden die Mitteltemperaturen von 46 Quellen bestimmt, welche sich auf das Nord- und Westufer des Tullner Beckens, auf die beiden Talseiten der in das krystalline Schiefergebiet eingeschnittenen Wachau und auf die Gegend nördlich vom Durchbruche der Donau durch das Granitgebiet verteilen.

Das Basisniveau ist durch das westliche Tullnerfeld 180 *m*, das obere Grenzniveau durch die Kuppe des Jauerling 960 *m* gegeben. Die vertikale Verteilung der gemessenen Quellen ist sehr ungleichmäßig; es zeigt sich eine Häufung derselben im unteren Teile des Höhenintervalles.

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
1	Quelle bei Stetteldorf am Wagram	9·8	210	S
2	> bei Kirchberg am Wagram	10·4	220	E
3	> in Gobelsburg	10·2	220	N
4	> in Langenlois	9·9	220	NE
5	> in Zöbing	9·4	240	NW
6	> bei Rohrendorf	10·8	195	S
7	> in Hollenburg	10·8	205	NE
8	> in Nußdorf bei Traismauer	10·2	250	E
9	> in Wagram bei Hollenburg	10·3	210	E
10	> in der Donauleiten	8·5	410	N

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
11	Quelle beim Fürthof bei Stein	11·1	195	S
12	» beim Scheibenhof bei Dürnstein	8·6	400	E
13	» bei Egelsee bei Krems	9·4	350	NE
14	» im Alauntale	9·6	240	N
15	» im Schloßhof zu Mautern	9·6	195	N
16	» im Schloßgarten zu Mautern	9·4	195	N
17	» im Wassergraben bei Unter-Bergern	9·4	280	N
18	» im Tal bei Unter-Bergern	9·5	280	N
19	» beim Frankenhäusl in Unter-Bergern	9·8	300	N
20	» bei der Grabmühle bei Unter-Bergern	9·6	300	N
21	» zwischen Mauternbach und Unter-Bergern	9·5	280	N
22	Quelle in der Höll bei Ober-Bergern	8·2	450	NE
23	» ober Ober-Bergern	9·4	480	S
24	» in Rossatz	9·8	230	N
25	» im Gurhofer Graben	9·9	350	SW
26	» im Bergwerk zu Obritzberg	10·0	370	W
27	» im Spitzer Graben	10·7	250	SW
28	» am Weg von Gutamsteg nach Benzing	9·5	400	NE
29	Quelle in der Wegscheid bei Mühldorf	10·6	250	S
30	» bei Laach am Burgstock	6·9	730	SW
31	» ober der vorigen	7·7	750	SW
32	» nächst Oberndorf am Jauerling	7·7	900	E
33	» in einem Graben am Osthang des Jauerling	7·2	900	E
34	Quelle unweit der vorigen	7·2	900	E
35	» unweit der vorigen	7·7	900	SE
36	Tränkbründl am Jauerling	8·2	880	S
37	Quelle gegenüber vom Tränkbründl	7·8	880	E
38	» bei Melk	9·5	210	N
39	» im Ispertal	8·6	400	N
40	» bei Waldhausen	7·6	500	N
41	Herzogsquelle bei Kreutzen	7·7	500	NE
42	Amalienquelle bei Kreutzen	7·6	500	N

Nr.	Bezeichnung der Quelle	t	h	e
43	Habkornquelle bei Kreutzen	7·4	500	NW
44	Viktoriaquelle bei Kreutzen	7·7	500	N
45	Albertquelle bei Kreutzen	8·0	500	W
46	Alexandrinquelle bei Kreutzen	9·2	500	SW

Zur Darstellung der Abnahme der Quelltemperatur an den südlichen Gehängen wurde aus den Quellen der Südwest-, Süd- und Südostexposition mit Ausschluß der abnorm kalten Quellen Nr. 1, 30 und 31 eine Gleichung mit einem von der Seehöhe und einem vom Quadrate derselben abhängigen Gliede gerechnet. Es ergab sich:

$$t_s = 12\cdot30 - 0\cdot74 h + 0\cdot03 h^2.$$

Für die Abnahme der Quelltemperatur an den nördlichen Gehängen ließ sich keine Formel aufstellen, da aus der oberen Hälfte des in Betracht kommenden Höhenintervalles (Donautal 190 *m*, Jauerling 960 *m*) keine Temperaturmittel von gegen NW, N und NE exponierten Quellen vorliegen.

Zur Bestimmung der örtlichen Mitteltemperatur in den verschiedenen Höhenlagen wurde aus den Quellen der West- und Ostexposition und der vier Hauptzwischenexpositionen eine Gleichung der Temperaturabnahme gerechnet. Ausgeschlossen blieben hiebei die Quellen Nr. 5, 30 und 43 wegen zu niedriger, die Quellen Nr. 25, 26 und 27 wegen zu hoher Temperatur. Die Rechnung ergab:

$$t_m = 11\cdot75 - 0\cdot85 h + 0\cdot04 h^2.$$

Unter der Voraussetzung, daß die Temperatur an der Nordseite $t_n = 2t_m - t_s$ ist, läßt sich aus den beiden vorigen Gleichungen eine Formel für die Temperaturabnahme an den nördlichen Gehängen indirekt ableiten. Man erhält:

$$t_n = 11\cdot20 - 0\cdot96 h + 0\cdot05 h^2.$$

Durch Auflösung dieser Gleichungen für $h=2$ bis $h=9$ erhält man für die einzelnen Höhen folgende Temperaturen und Temperaturabnahmen pro 100 *m*:

h	t_s	Δ	t_n	Δ	$t_s - t_n$
2	10·94	—	9·48	—	1·46
3	10·35	0·59	8·77	0·71	1·58
4	9·82	0·53	8·16	0·61	1·66
5	9·35	0·47	7·65	0·51	1·70
6	8·94	0·41	7·24	0·41	1·70
7	8·59	0·35	6·93	0·31	1·66
8	8·30	0·29	6·72	0·21	1·58
9	8·07	0·23	6·61	0·11	1·46

h	t_m	Δ
2	10·21	—
3	9·56	0·65
4	8·99	0·57
5	8·50	0·49
6	8·09	0·41
7	7·76	0·33
8	7·51	0·25
9	7·34	0·17

Durch Auflösung derselben Gleichungen für $t = 11$ bis $t = 7$ erhält man für die chthonisothermen Flächen folgende Höhenlagen (in Hektometern). Die Werte für h in der Gleichung von t_m entsprechen der Höhe der Chthonisothermen an der West- und Ostexposition (h_{W-E}). Es sind im folgenden nur jene Werte mitgeteilt, denen eine reale Bedeutung zukommt:

t	h_s	h_{w-e}	h_n
11	1·91	—	—
10	3·65	2·31	—
9	5·85	3·98	2·66
8	9·38	6·25	4·29
7	—	—	6·74

Bei den Quellen Nr. 17, 18 und 19 des vorigen Verzeichnisses waren vom Winter 1853 bis Winter 1854 monatliche Messungen der Temperatur vorgenommen worden, deren Resultate hier Platz finden mögen:

	Nr. 17	Nr. 18	Nr. 19
Dezember.....	9·0	9·4	9·5
Jänner.....	8·4	8·3	9·0
Februar.....	7·9	7·7	8·1
März.....	8·0	7·2	8·9
April.....	8·5	7·5	9·3
Mai.....	9·2	8·6	9·8
Juni.....	9·7	9·6	10·2
Juli.....	10·4	10·7	10·5
August.....	10·8	11·5	10·8
September.....	10·6	11·8	10·6
Oktober.....	10·2	11·2	10·3
November.....	9·8	10·6	10·0

Eine graphische Extrapolation der Extreme ergibt:

	Nr. 17	Nr. 18	Nr. 19
Minimum.....	7·8	7·1	8·1
Eintrittstag.....	25. Februar	25. März	15. Februar
Maximum.....	10·8	11·9	10·8
Eintrittstag.....	20. August	5. September	15. August.

In diesen Zahlen spricht sich der für Quellen des Hügellandes in mittleren Breiten bezeichnende Temperaturgang aus.

Quellentemperaturen in den niederösterreichischen Voralpen.

Aus der Region der Voralpen liegen die Temperaturmittel von 47 Quellen vor, welche teils dem Ostrande des Wienerwaldes, Leopoldsberg—Anninger, teils dem von der Erlaf durchflossenen Abschnitte der Sandsteinzone angehören. Das Basisniveau ist ungefähr dasselbe wie bei der vorigen Quellenreihe.

Die oberste gemessene Quelle der Südseite liegt 800 *m*, die oberste der Nordseite 600 *m* hoch. Die vertikale Verteilung der Quellen ist von der Art, daß ihre Zahl vom unteren zum mittleren Drittel des Höhenintervalles viel weniger als vom letzteren zum oberen Drittel abnimmt.

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
1	Quelle bei Klosterneuburg	9·5	180	NE
2	Türkenbründl am Leopoldsberg	8·5	380	NE
3	Bründl beim Kahlenbergdörfel	9·4	200	N
4	Quelle nächst Heiligenstadt	10·2	230	S
5	Kohlenbrennerbründl am Hermannskogl ...	8·2	450	S
6	Agnesbründl am Hermannskogl	7·5	400	NW
7	Quelle bei Weidlingbach	8·5	400	S
8	» bei Salmansdorf	10·1	320	S
9	» bei Pötzleinsdorf	9·8	230	S
10	» bei der Rohrerhütte	9·2	250	E
11	» am Heuberg bei Dornbach	9·7	300	E
12	» ober der vorigen	8·7	400	N
13	Galizinbründl bei Dornbach	9·3	300	NW
14	Quelle im Haltertale	9·7	250	S
15	Felberbründl in Kaltenleutgeben	9·8	350	S
16	Quelle bei der Kaltwasserheilstalt in Kaltenleutgeben	9·1	340	N
17	Bockbrunn bei Kaltenleutgeben	8·5	350	NE
18	Quelle in Kaltenleutgeben	9·0	350	NE
19	» im Wienergraben bei Kaltenleutgeben	10·4	370	S
20	» unweit der vorigen	10·5	370	S
21	» in der Hinterbrühl	9·9	260	S
22	» bei Gaaden	9·2	310	S
23	Andere Quelle bei Gaaden	9·1	310	S
24	Quelle zwischen Mödling und Gumpoldskir- chen	9·8	240	SE
25	Quelle bei Gumpoldskirchen	9·7	250	SE
26	Harlenerbrunn ober Gumpoldskirchen	9·0	270	E
27	Buchenbrunn am Anninger	7·4	600	NW

Nr.	Bezeichnung der Quelle	t	h	e
28	Eschenbrunn am Anninger	7·2	570	NW
29	Quelle am Westhang des Anninger	8·4	400	W
30	» bei der Spiegelfabrik in Scheibbs ...	9·9	330	E
31	» nahe bei der vorigen	10·1	330	NE
32	» beim Töpfer'schen Eisenwerk	10·2	330	SW
33	Heiligenbründl bei St. Anton.....	8·9	340	SW
34	Seebachquelle bei Scheibbs.....	9·4	340	SE
35	Brunnstube in Gresten	8·7	510	S
36	Brunnbachquelle bei Gresten.....	7·5	510	N
37	Quelle beim Reitbauer bei Gresten	7·8	575	E
38	Lindenbründl bei Gresten.....	9·1	440	SE
39	Quelle in Ibbsbach bei Gresten.....	9·1	445	SE
40	Dorfnerquelle in Ybbsbach	9·1	450	SE
41	Deimbachquelle in Ybbsbach	9·1	445	SE
42	Bredlerquelle zwischen Gresten und Gaming	9·0	475	S
43	Mayrhofbründl zwischen Ybbsitz und Waidhofen.....	8·4	450	N
44	Tenabründl zwischen Gresten und Ybbsitz .	6·9	550	N
45	Heilbründl am Kerschenberg	7·9	675	W
46	Quelle am Schwarzenberg bei Gresten.....	6·7	740	E
47	Hochalpenquelle bei Gresten	7·4	805	SE

Die Abnahme der Quelltemperatur an den südlichen Abhängen (Mittel aus SW, S und SE) konnte durch die Gleichung einer Geraden ausgedrückt werden und die zur Ausgleichung nötige rechnerische Vorarbeit dementsprechend auf die Bildung der Werte von $[t]$, $[h]$, $[th]$ und $[hh]$ beschränkt bleiben. Die mit Ausschluß der zu warmen Quellen Nr. 19, 20 und 32 durchgeführte Rechnung ergab:

$$t_s = 10·88 - 0·44 h.$$

Zur Darstellung der Temperaturabnahme an den nördlichen Gehängen (Mittel aus NW, N und NE) war wieder die Hinzufügung eines vom Quadrate der Seehöhe abhängigen

Gliedes nötig und zwar mit negativem Vorzeichen. Von der Rechnung ausgeschlossen blieben die Quellen Nr. 30 und 31 wegen zu hoher, Nr. 6 wegen zu niedriger Temperatur. Es ergab sich folgende Gleichung:

$$t_n = 9.54 + 0.13 h - 0.09 h^2.$$

Für die Abnahme der örtlichen Mitteltemperatur wurde — um die im vorigen Falle angewandte Berechnungsmethode beizubehalten — eine Formel mit Ausschluß der Quellen der Nord- und Südexposition gerechnet. Es ergab sich:

$$t_m = 10.00 - 0.12 h - 0.04 h^2.$$

Für $(t_s + t_n) : 2$ erhält man die Formel:

$$t_{m'} = 10.21 - 0.155 h - 0.045 h^2.$$

Durch Einsetzung der Werte von $h = 2$ bis $h = 7$ in diese Gleichungen erhält man folgende Temperaturen und Temperaturabnahmen pro 100 m :

h	t_s	t_n	Δ	$t_s - t_n$
2	10.00	9.44	—	0.56
3	9.56	9.12	0.32	0.44
4	9.12	8.62	0.50	0.50
5	8.68	7.94	0.68	0.74
6	8.24	7.08	0.86	1.16
7	7.82	6.04	1.04	1.78

h	t_m	Δ	$t_{m'}$	Δ
2	9.60	—	9.72	—
3	9.28	0.32	9.34	0.38
4	8.88	0.40	8.87	0.47
5	8.40	0.48	8.31	0.56
6	7.84	0.56	7.66	0.65
7	7.20	0.64	6.92	0.74

Durch Auflösung derselben Gleichungen für $t = 10$ bis $t = 7$ ergeben sich folgende Werte für die Höhenlage der Chthonisothermen an den Hauptexpositionen:

t	h_s	h_{w-e}	h_n
10	2·00	—	—
9	4·27	3·94	3·28
8	6·54	5·79	4·92
7	—	7·24	6·08

Quellentemperaturen in den niederösterreichischen und obersteirischen Kalkalpen.

Im Bereiche der östlichsten Nordalpen wurden von meinem Vater 80 Quellen gemessen, welche sich auf die Flußgebiete der Schwarza, Traisen, Erlaf, Ybbs, Salza und Mürz verteilen. Das Höhenintervall, für welches die Abnahme der Quelltemperatur hier ermittelt werden konnte, ist naturgemäß bedeutend größer als in den Voralpen und am Südrande des böhmischen Massivs. Die untersten gemessenen Talquellen liegen zirka 400 *m*, die obersten Gehängequellen 1650 *m* hoch. Die vertikale Verteilung der gemessenen Quellen ist leider auch hier sehr ungleichmäßig, indem die Zahl der Quellen im oberen Drittel des Höhenintervalles kaum den dritten Teil der auf das untere Drittel entfallenden Zahl beträgt.

Nr.	Bezeichnung der Quelle	t	h	e
1	Hirschbründl bei Puchberg	7·4	570	E
2	Quelle bei Hirschwang	8·6	565	N
3	» im Dorfe Prein	7·3	670	NE
4	» unweit der vorigen	7·1	670	NE
5	» unweit der vorigen	7·0	710	NE
6	» beim Klopfbauern in Prein	6·1	820	NE
7	» am Preiner Gscheid	6·5	985	E

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
8	Siebenbrunn auf der Rax	5·2	1270	S
9	» zweite Quelle	5·0	1270	S
10	» dritte Quelle	4·9	1270	S
11	Unteres Bründl im Gflötz	5·0	1295	SE
12	Oberes Bründl im Gflötz	5·9	1380	S
13	Quelle am Wetterkogel	3·4	1590	E
14	» hinter der Singerin	7·7	625	S
15	Unterbrunn bei Schwarzau	7·9	625	W
16	Quelle in Schwarzau	8·2	625	E
17	Ursprung des Klosterbaches	7·2	710	SW
18	Quelle im Preintale	7·8	630	SW
19	Siebenbrunn bei der Preinmühle	7·1	710	S
20	Quelle gegenüber der vorigen	6·9	710	W
21	» bei der Preinmühle	8·3	660	SW
22	» beim Huebmer'schen Durchschlag..	5·4	1180	W
23	Andere Quelle beim Huebmer'schen Durchschlag	5·7	1180	W
24	Quelle nahe der vorigen	5·2	1160	N
25	» » » »	5·0	1160	N
26	Kaltwasser am Hengst (Schneeberg).....	6·6	1175	S
27	Quelle am Schneeberg	7·3	885	S
28	» bei Stixenstein	8·2	415	S
29	» beim Reintalerbauer, Klein-Zell	7·4	440	N
30	» beim Salzbauer, Klein-Zell	8·4	460	N
31	» beim Teiche im Salzbach	7·9	500	N
32	» im Salzbach	7·1	500	N
33	» unweit der vorigen	8·2	500	N
34	Kalter Brunn bei Klein-Zell	8·1	500	E
35	Quelle bei Lilienfeld	9·0	400	NE
36	Andere Quelle bei Lilienfeld	8·5	400	NE
37	Quelle unweit der vorigen	9·1	400	W
38	» beim Schalbüchler	8·1	450	SW
39	» im Hohenbergertale	8·7	450	S
40	» beim Kandlhof	7·7	450	S

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
41	Quelle zwischen Hohenberg und St. Ägid ..	7·2	530	SE
42	» beim Sattelbauern hinter St. Ägid ...	8·9	585	SE
43	» an den Achner Mauern.....	6·4	960	E
44	» ober der vorigen	6·3	970	E
45	Siebenbrunn im Türnitztale	7·8	630	S
46	Ursprung des Türnitzbaches	6·9	720	N
47	Quelle beim Dorfe Annaberg	6·2	925	N
48	» nahe der vorigen.....	6·6	925	N
49	» in der Aue bei Annaberg	6·5	850	N
50	» nahe der vorigen.....	6·4	850	N
51	» in Annarott	6·9	840	SW
52	Fischkalter in Annaberg.....	6·4	850	N
53	Quelle am Josefsberg	6·6	925	W
54	» auf der Stadelmühlwiese bei Gaming	8·1	430	SE
55	» am Kruegberg bei Gaming.....	7·5	650	E
56	Andere Quelle am Kruegberg	7·8	650	E
57	Quelle zwischen Lackenhof und dem Krueg- berg.....	6·5	750	S
58	Quelle unweit der vorigen	6·5	750	N
59	» am Eibkogel ober Lackenhof.....	6·9	815	NW
60	» auf der Mausrodl	7·6	700	E
61	» nahe der vorigen.....	7·6	700	E
62	» am Lunzer-See	6·5	620	N
63	» zwischen Lunz und Göstling	10·4	560	S
64	» in Göstling	8·5	530	SE
65	» bei der Brunnmühle in Göstling.....	8·5	530	SE
66	Andere Quelle in Göstling	9·0	530	SE
67	Quelle im Tegel auf dem Hochkaar.....	5·3	1525	NW
68	Andere Quelle im Tegel am Hochkaar	5·6	1525	NW
69	Quelle am Fuße des Seisensteins bei Wild- alpen	7·3	620	N
70	Andere Quelle am Fuße des Seisensteins ...	7·3	630	N
71	Quelle bei den oberen Tullwitzten	3·5	1650	N
72	» unweit der vorigen	3·6	1650	N

Nr.	Bezeichnung der Quelle	t	h	e
73	Goldbründl ober den Tullwitzen	6·5	1670	SW
74	Siebenbrunn in der Fölz bei Aflenz	7·5	760	N
75	Quelle unter der Fölzer Schwaig	5·0	1455	S
76	> unter der Aflenzler Staritzen	6·4	1215	NE
77	> am Seeburg ober Seewiesen	6·0	980	NW
78	> unweit der vorigen	7·2	980	S
79	> ober den beiden vorigen	7·0	1010	S
80	> zwischen Seewiesen und Aflenz	7·3	860	SW

Die Quellentemperatur läßt sowohl an den südlichen als auch an den nördlichen Gehängen eine Abnahme in arithmetischer Progression erkennen. Bei Ausschluß der abnorm warmen Quellen Nr. 63, 67, 68 und 76 ergab die Rechnung:

$$t_s = 10\cdot00 - 0\cdot35 h$$

$$t_n = 9\cdot85 - 0\cdot39 h.$$

$t_{m'} = (t_s + t_n) : 2$ bestimmt sich hieraus zu

$$t_{m'} = 9\cdot925 - 0\cdot370 h.$$

Die direkte Berechnung des Ganges der örtlichen Mitteltemperatur ergab bei Weglassung der Quellen der Nord- und Südexposition eine etwas größere Tangente (0·44), welche im Vereine mit einer höheren Anfangstemperatur (10·64) für die untersten Niveaus um 0·3° höhere, für die obersten um 0·5° tiefere Temperaturen liefert. In der aus allen (76) Quellen gerechneten Gleichung erscheint dagegen der zufällig die Neigung der Temperaturlinie gegen die Abszissenachse steigernde Einfluß der Quellen der West- und Ostexposition fast ganz verwischt. Man erhält:

$$t_m = 10\cdot02 - 0\cdot38 h.$$

Durch Auflösung dieser Gleichungen für $h = 4$ bis $h = 17$ ergeben sich für die einzelnen Höhen folgende Temperaturen und Temperaturamplituden:

h	t_s	t_n	$t_s - t_n$	t_m	t_m'
4	8·60	8·29	0·31	8·50	8·45
5	8·25	7·90	0·35	8·12	8·08
6	7·90	7·51	0·39	7·74	7·71
7	7·55	7·12	0·43	7·36	7·34
8	7·20	6·73	0·47	6·98	6·97
9	6·85	6·34	0·51	6·60	6·60
10	6·50	5·95	0·55	6·22	6·23
11	6·15	5·56	0·59	5·84	5·86
12	5·80	5·17	0·63	5·46	5·49
13	5·45	4·78	0·67	5·08	5·12
14	5·10	4·39	0·71	4·70	4·75
15	4·75	4·00	0·75	4·32	4·38
16	4·40	3·61	0·79	3·94	4·01
17	4·05	3·22	0·83	3·56	3·64

Durch Auflösung derselben Gleichungen für $t = 8$ bis $t = 3$ ergeben sich für die Höhe der Chthonisothermen folgende Werte:

t	h_s	h_{w-e}	h_n
8	5·71	5·22	4·74
7	8·57	7·92	7·30
6	11·43	10·62	9·87
5	14·29	13·32	12·43
4	17·14	16·03	14·99
3	20·00	18·73	17·56

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Konstanten der im vorigen mitgeteilten Gleichungen:

		Böhmisches Massiv	Voralpen	Kalkalpen
Temperatur an der Südseite	t_0	12·30	10·88	10·00
	a	—0·74	—0·44	—0·35
	b	+0·03	—	—
Temperatur an der Nordseite	t_0	11·20	9·54	9·85
	a	—0·96	+0·13	—0·39
	b	+0·05	—0·09	—
Örtliche Mittel- temperatur	t_0	11·75	10·21	9·93
	a	—0·85	—0·15	—0·37
	b	+0·04	—0·04	—

Vergleich der Quellentemperaturen in den drei Teilgebieten des Stromgebietes der mittleren Donau.

Ein Vergleich der Quellentemperaturen in den drei unterschiedenen Teilgebieten läßt sich direkt nur in der Höhenzone zwischen 400 und 700 *m* anstellen. Eine Extrapolation der nur bis zirka 700 *m* hinauf realen Quellentemperaturen der Voralpen nach oben hin wäre ganz unstatthaft; eher könnte man wegen ihrer gleichmäßigen Höhenänderung die Quellentemperaturen der Kalkalpen nach unten zu extrapolieren, doch würde den so ergänzten Werten auch keine reelle Bedeutung zukommen.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der mittleren Quellentemperaturen in den Niveaus zwischen 200 und 700 *m* und der mittleren Temperaturen der Höhenzonen, welche durch diese Niveaus begrenzt werden. Diese letzteren Werte entsprechen in den Kalkalpen den Quellentemperaturen in den Mittelhöhen der betreffenden Zonen, in den anderen zwei Gebieten entsprechen diese Zonentemperaturen (T) dem Ausdrucke:

$$T_{(n-1)-n} = t_0 - \int_{h_{n-1}}^{h_n} (ah \pm bh^2) dh.$$

Niveau	Böhmisches Massiv	Voralpen	Kalkalpen
200.....	10·21	9·60	(9·26)
300.....	9·56	9·28	(8·88)
400.....	8·99	8·88	8·50
500.....	8·50	8·40	8·12
600.....	8·09	7·84	7·74
700.....	7·76	7·20	7·36

Höhenzone	Böhmisches Massiv	Voralpen	Kalkalpen
200 bis 300.....	9·88	9·58	9·07
300 bis 400.....	9·27	9·19	8·69
400 bis 500.....	8·74	8·72	8·31
500 bis 600.....	8·29	8·17	7·93
600 bis 700.....	7·91	7·55	7·55

Für die mittlere Temperatur der Zone zwischen 400 und 700 *m* erhält man hieraus die folgenden Werte:

Böhmisches Massiv	Voralpen	Kalkalpen
8·31	8·15	7·93

Für die Zone zwischen 200 und 700 *m* ergibt sich:

Böhmisches Massiv	Voralpen	Kalkalpen
8·82	8·64	(8·31)

Die Verlangsamung der Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe, welche sich für den Südrand des böhmischen Massivs ergibt, entspricht der an Plateauabfällen vorkommenden Verringerung der Gehängeneigung nach oben zu. Ebenso erscheint die Vergrößerung des Abstandes der Chthonisothermen, welche für die Voralpen resultiert, als eine Folge der in den unteren Zonen von Gebirgsländern vorkommenden Zunahme der mittleren Terrainneigung nach oben hin infolge

des sukzessive steileren Anstieges der Täler. Die gleichmäßige Abnahme der Quelltemperatur, welche man (in der Höhenzone der Voralpen) für die Kalkalpen erhält, muß, da auch hier ein Bodenrelief vorhanden ist, welches ein Auseinanderücken der Chthonisothermen gegen oben hin bedingen sollte, auf Einflüssen beruhen, welche eine Abflachung der Temperaturkurve bewirken. Diese Einflüsse müssen in den tieferen Zonen im Sinne einer Erniedrigung der Quelltemperatur nach unten hin wirksam sein, da dieselbe im Niveau von 700 *m* der Quelltemperatur der Voralpen fast gleich ist, gegen unten hin aber sukzessive mehr deprimiert erscheint. Als nächstliegende Ursache dieser Depression dürfte sich die Zerklüftung des Kalkgebirges ergeben, welche es ermöglicht, daß die kühleren Gewässer der höheren Lagen rasch und in großer Menge nach abwärts gelangen und an der Basis des Gebirges zutage treten können, ehe sie die dortselbst herrschende Bodentemperatur erlangt haben. Für die höheren Zonen der Kalkalpen wäre wegen der im Auftreten kleiner Gebirgsplateaus begründeten Verringerung der mittleren Terrainneigung eine Verlangsamung der Abnahme der Quelltemperatur zu erwarten.

Die Zahl der aus jenen Zonen vorliegenden Quellenmessungen ist jedoch zu gering, um eine nähere Beurteilung des Ganges der Temperaturabnahme zu gestatten. Auch die für die tieferen Zonen abgeleiteten Formeln der Abnahme der Quelltemperatur dürften noch mancher Korrektur und Verbesserung bedürfen und von zufälligen Störungen nicht unbeeinflusst sein. So erscheint besonders die Temperaturabnahme in arithmetischer Progression an den Südabhängen der Voralpen von den eben entwickelten Gesichtspunkten aus nicht verständlich. Vermutlich sind die Lageverhältnisse der an der Südexposition gemessenen Quellen zufällig von der Art, daß hier der Umstand zur Geltung kommt, daß ein Teil des orographisch noch den Voralpen zuzurechnenden Hügellandes geologisch schon den Kalkalpen angehört.

Immerhin wird man zugeben müssen, daß die hier diskutierten Beobachtungen, obwohl sie schon in der Zeit des Beginnes der wissenschaftlichen Alpenforschung gemacht worden sind, wegen der geringen Pflege, die (abgesehen von

der Limnologie) gerade der alpinen Hydrophysik zuteil wurde, noch heute einen großen Wert besitzen.

II. Teil.

Quellenmessungen in Tirol.

Nach seiner Berufung an die Universität Innsbruck setzte mein Vater die Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse der Quellen in den Jahren 1864 bis 1876 in Nordtirol fort. Es bot sich dort zum Studium der Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe ein noch größeres Höhenintervall dar als in den niederösterreichischen Alpen. Es mußte aber fraglich erscheinen, ob die Regeln zur Bestimmung des Jahresmittels der Quellenwärme, welche aus den Ergebnissen von Quellenmessungen in verschiedenen Mittelgebirgen Europas abgeleitet waren, und für den Südrand des böhmischen Massivs und für die Randzone der Alpen wohl Anwendung finden durften, auch für die inneralpinen Täler und für die Hochgebirgsregion selbst giltig seien. Es wurde deshalb mit Überwindung der durch die Winterschneedecke bedingten Schwierigkeiten zunächst der jährliche Temperaturgang einer Anzahl von Quellen in Nordtirol bestimmt, um die Termine festzustellen, welche zur Ableitung des Jahresmittels der Quellenwärme aus nur zwei Messungen in diesem Gebiete am günstigsten erschienen. Es waren dies die folgenden, zu beiden Seiten des mittleren Inntales in verschiedenen Höhen gelegenen Quellen (nach der Seehöhe geordnet):

- I. Bettlerbründl am Wege nach Kematen.
- II. Untere Quelle ober der Gallwiese.
- III. Quelle ober dem Schoenetum im Weitentale bei Mühlau.
- IV. Obere Quelle ober der Gallwiese.
- V. Südöstlich exponierte Quelle im Weitentale.
- VI. Südwestlich exponierte Quelle im Weitentale.
- VII. Quelle hinter dem Lanser-See.
- VIII. » zwischen Igls und der Taxburg.
- IX. Arzler Almbrunn.

- X. Quelle beim Heilig Wasser, bei der Kirche.
 XI. » » » » » » Aussicht.
 XII. » bei der Patscher Ochsenalmhütte.
 XIII. Kreuzbrunn am Patscherkofl.

Seehöhe und Exposition, die Zahl der über das Beobachtungsjahr zwar nicht ganz, aber ziemlich gleichmäßig verteilten Messungen (n) und die Kalenderjahre (j), in welche das Beobachtungsjahr fiel, sind aus folgender Zusammenstellung zu ersehen:

Nr.	h	e	n	j
I	590	N	10	1864 bis 1865
II	740	N	10	1864 » 1865
III	770	S	7	1864 » 1865
IV	775	N	10	1864 » 1865
V	805	SE	9	1864 » 1865
VI	815	SW	7	1864 » 1865
VII	880	N	12	1867 » 1868
VIII	960	N	7	1864 » 1865
IX	1100	SE	10	1864 » 1865
X	1255	N	10	1864 » 1865
XI	1260	N	10	1864 » 1865
XII	1635	W	12	1868 » 1869
XIII	1920	W	12	1868 » 1869

Die folgende Tabelle enthält die durch graphische Interpolation für die Monatsmitten sich ergebenden Temperaturen:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Dezember . . .	9·75	8·40	9·15	8·75	9·35	9·30	8·80	7·70	7·05	5·60	5·55	7·05	4·10
Jänner	9·35	8·20	9·00	8·70	9·30	9·25	8·10	7·00	6·90	5·55	5·45	6·80	3·90
Februar	8·75	8·10	8·95	8·65	9·25	9·20	7·65	6·50	6·80	5·35	5·35	6·55	3·55
März	8·20	8·00	8·90	8·65	9·25	9·15	7·60	6·00	6·70	5·15	5·25	6·40	3·35
April	7·75	8·15	8·85	8·75	9·30	9·15	7·55	5·90	6·75	5·10	5·30	6·20	3·10
Mai	7·85	8·50	8·90	9·00	9·35	9·20	7·65	6·90	6·90	5·45	5·55	6·05	3·00
Juni	8·30	9·05	9·05	9·05	9·40	9·25	8·35	7·50	7·05	5·55	5·70	6·05	3·40
Juli	8·80	9·35	9·25	9·10	9·45	9·30	8·85	8·00	7·35	5·60	5·75	6·20	3·80
August	9·30	9·55	9·40	9·15	9·50	9·35	9·60	8·35	7·50	5·65	5·80	6·45	4·20
September	9·75	9·65	9·50	9·15	9·55	9·40	9·75	8·05	7·55	5·75	5·85	6·70	4·45
Oktober	10·05	9·55	9·50	9·05	9·55	9·45	9·60	8·05	7·55	5·85	5·90	6·90	4·55
November	9·95	9·15	9·35	8·95	9·50	9·40	9·40	8·20	7·40	5·80	5·80	7·05	4·55

In der folgenden Tabelle sind die für die Extreme und das Jahresmittel sich ergebenden Temperaturwerte und Termine sowie die Jahresamplituden und die Dauer des Temperaturanstieges und -Abfalles angegeben:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Minimum	7·70	8·00	8·85	8·65	9·25	9·15	7·55	5·75	6·70	5·05	5·25	6·00	3·00
Eintrittstag	25. April	20. März	15. April	15. März	15. März	30. März	15. April	5. April	30. März	5. April	5. April	30. Mai	15. Mai
Maximum	10·05	9·65	9·55	9·15	9·55	9·45	9·75	8·75	7·55	5·90	5·90	7·10	4·60
Eintrittstag	20. Oct.	20. Sept.	30. Sept.	15. Sept.	15. Oct.	30. Oct.	15. Sept.	30. Sept.	15. Oct.	30. Oct.	30. Oct.	30. Nov.	5. Nov.
Jahresmittel	9·00	8·80	9·15	8·90	9·40	9·30	8·60	7·45	7·10	5·55	5·60	6·50	3·80
Eintrittstag im Temperaturanstieg	25. Juli	30. Mai	30. Juni	25. April	15. Juni	15. Juli	30. Juni	15. Juni	20. Juni	15. Juni	25. Mai	20. Aug.	15. Juli
Eintrittstag im Temperaturabfall	30. Jan.	30. Nov.	15. Dez.	25. Nov.	5. Dez.	15. Dez.	25. Dez.	25. Dez.	10. Dez.	15. Jan.	5. Dez.	25. Febr.	25. Jan.
Amplitude	2·35	1·65	0·70	0·50	0·30	0·30	2·20	3·00	0·85	0·85	0·95	1·10	1·60
Dauer des Temperaturanstieges	178	184	168	183	213	213	153	178	198	208	208	183	172
Dauer des Temperaturabfalles	187	181	197	182	152	152	212	187	167	157	157	182	193

Da diese Tabelle eine Verspätung aller vier den Temperaturgang charakterisierenden Termine mit zunehmender Seehöhe erkennen läßt, wurden die Mittelwerte derselben für ein unteres und oberes Durchschnittsniveau getrennt bestimmt und zwar für das Niveau von 3000 Wiener Fuß, beziehungsweise für die Höhenzone zwischen 2000 und 4000 Wiener Fuß aus den Quellen Nr. I bis XI und für das Niveau von 5000 Wiener Fuß, beziehungsweise für die Höhenzone zwischen 4000 und 6000 Wiener Fuß aus den vier Quellen Nr. X bis XIII.

Die Bestimmung der mittleren Abweichungen der durchschnittlichen Eintrittszeiten der Extreme und des Jahresmittels konnte nur bei der unteren Höhenzone, wo es sich um Mittelwerte aus wenigstens elf Einzelbeobachtungen handelte, ein Interesse bieten. Es ergab sich:

	Untere Zone	Obere Zone
Mittlerer Termin des Minimums . .	3. April	29. April
Mittlere Abweichung	10 Tage	—
Mittlerer Termin des Maximums . .	9. Oktober	9. November
Mittlere Abweichung	15 Tage	—
Mittlerer Termin des Jahresmittels im Temperaturanstiege	17. Juni	14. Juli
Mittlere Abweichung	17 Tage	—
Mittlerer Termin des Jahresmittels im Temperaturabfalle	18. Dezember	17. Jänner
Mittlere Abweichung	15 Tage	—

Zur Beurteilung der Verlässlichkeit der auf Grund dieser Daten aufzustellenden Regeln für die Bestimmung des Jahresmittels der Quellenwärme wurden für die untere Höhenzone folgende Werte gerechnet:

I. Differenz des arithmetischen Mittels aus den Temperaturen um Anfang April und um die Mitte der ersten Oktoberhälfte gegen das Jahresmittel:

Mittelwert	—0·02
Mittlere Abweichung	±0·04
Größte Abweichung	—0·15

II. Differenz der Temperatur um Mitte Juni gegen das Jahresmittel. Bezüglich dieser und der folgenden Differenz verhielt sich Quelle Nr. I so sehr abweichend, daß es geboten erschien, die Rechnung auch mit Ausschluß dieser Quelle vorzunehmen.

	Inklusive Nr. I	Exklusive Nr. I
Mittelwert	—0·05	+0·01
Mittlere Abweichung . . .	±0·15	±0·10
Größte Abweichung	—0·70	±0·25

III. Differenz der Temperatur um Mitte Dezember gegen das Jahresmittel:

	Inklusive Nr. I	Exklusive Nr. I
Mittelwert	+0·05	—0·02
Mittlere Abweichung . . .	±0·18	±0·12
Größte Abweichung	+0·75	—0·40

Die Bestimmung dieser drei Werte hatte nur wegen des Vergleiches mit den vorigen dreien ein Interesse. Die Benützung der Zeit, zu welcher im Temperaturabfalle das Jahresmittel passiert wird — zur Feststellung dieses Mittels — schloß sich wegen der um diese Zeit in den inneralpinen Gebieten vorhandenen Schneedecke aus.

IV. Differenz des Unterschiedes zwischen den Temperaturen zu Anfang April und um die Mitte der ersten Oktoberhälfte gegen die Jahresamplitude:

Mittelwert	—0·12
Mittlere Abweichung	±0·08
Größte Abweichung	—0·18

Für die obere Höhenzone hätte die Rechnung der eben angeführten Differenzwerte — weil auf nur vier Beobachtungen sich stützen müßend — eine zu beschränkte Bedeutung gehabt. Es war der Schluß gestattet, daß diese Werte in dieser Zone, selbst wenn sie merklich größer als in der unteren Zone wären — da sie sich in jener als fast verschwindend klein ergeben hatten — auch noch vernachlässigbar seien.

Es ließen sich alsdann für die Bestimmung der mittleren Jahrestemperatur der Quellen in den Tiroler Alpen folgende Regeln aufstellen:

I. Das Jahresmittel ist nahezu gleich dem arithmetischen Mittel aus einer Frühlings- und Herbstmessung, sofern die Differenz dieser Messungen 3° nicht übersteigt und sofern diese Messungen angestellt werden:

- a) In der Zone zwischen 2000 und 4000 Wiener Fuß: zwischen Mitte März und Mitte April und von Ende September bis gegen Ende Oktober;
- b) in der Zone zwischen 4000 und 6000 Wiener Fuß: zwischen Mitte April und Mitte Mai und von Ende Oktober bis gegen Ende November.

II. Das Jahresmittel ist nahezu gleich einer Frühsummermessung, sofern die Differenz zwischen dieser und einer Herbstmessung 1.5° nicht übersteigt und sofern die Messungen angestellt werden:

- a) In der Zone zwischen 2000 und 4000 Wiener Fuß: im Juni und im Oktober;
- b) in der Zone zwischen 4000 und 6000 Wiener Fuß: von Mitte Juni bis Mitte Juli und im November.

Bei einer derartig weiten Ziehung der Grenzen für die den Messungen zu gewährenden zeitlichen Spielräume kommt der Umstand weniger zur Geltung, daß die Regeln aus dem Temperaturgange der Quellen in einem einzelnen Jahre abgeleitet waren.

Die Ableitung der Regeln aus auf eine Normalperiode reduzierten Werten hätte übrigens die aus der Ungleichzeitigkeit der Beobachtungen entspringenden Fehler ohnedies noch nicht eliminiert, da ja die mit Hilfe dieser Regeln zu bestimmenden Jahresmittel doch auch wieder nicht auf jene Normalperiode reduziert werden konnten. Die mangelhafte Vergleichbarkeit der Quellentemperaturen wegen der Verschiedenheit der Beobachtungszeiten, beziehungsweise das Fehlen der Hilfsmittel zu

einer Reduktion auf dieselbe Zeit mußte auch bei den Quellenstudien in den Tiroler Alpen als ein nicht zu beseitigender Übelstand in Kauf genommen werden.

Bei den über 6000 Wiener Fuß gelegenen Quellen, an der Nordseite auch schon bei denen unterhalb dieses Niveaus, war die Möglichkeit einer Spätherbstmessung durch die Schneebedeckung in Frage gestellt.

Aus den von meinem Vater durchgeführten systematischen Beobachtungen der Schneegrenze im mittleren Inntale fand ich¹ als durchschnittliche Termine des Eintretens der Winterschneebedecke im Niveau von 1300 *m* (= 4113 Wiener Fuß):

Für die Südexposition den 2. Dezember,
» » Nordexposition den 14. November.

Im Niveau von 1900 *m* (= 6011 Wiener Fuß):

Für die Südexposition den 10. November,
» » Nordexposition den 20. Oktober.

Es konnte demnach in den oberen Regionen die erste Methode der Mittelbestimmung überhaupt nicht angewendet werden und es mußte die bei der zweiten Methode zur Feststellung der Jahresamplitude dienende zweite Messung verfrüht, am besten auf die Mitte des Zeitraumes zwischen dem Eintritte des Jahresmittels und dem Eintritte des Maximums, d. i. auf den September verlegt werden und es war dann als zulässige Grenze des Temperaturunterschiedes zwischen der Juli- und Septemberrmessung 0·8 festzusetzen.

Das spätere Eintreten des Minimums der Quelltemperatur in den höheren Regionen ist durch die Verspätung der Winterschneesmelze mit zunehmender Seehöhe bedingt. Die Eintrittszeit des Minimums hängt hiebei zunächst nicht von der Seehöhe der Quelle, sondern von der Mittelhöhe ihres Sammelgebietes ab. Die Differenz zwischen diesen beiden Größen kann gegen unten hin zunehmen und in zerklüftetem Kalkgebirge einen bedeutenden Wert erreichen. Es kann dann

¹ F. v. Kerner, Untersuchungen über die Schneegrenze im Gebiete des mittleren Inntales. Denkschriften der Wiener Akad., LIV. Bd.

eine am Fuße eines Berges aufbrechende Quelle den tiefsten Stand ihrer Temperatur später erreichen als eine höher oben am Gehänge befindliche, wenn erstere auf dem Wege eines Kluftsystems durch Niederschläge, die in der Kammregion fallen, gespeist wird, die letztere dagegen jenen Niederschlag zutage fördert, der in die zunächst über ihr gelegenen Gehänge eindringt. Im Mittel vieler Quellen wird dann der Anstieg des Temperaturminimums später beginnen und rascher erfolgen als der der Winterschneegrenze und zwar so, daß sich die Kurven beider Größen in der Gipfelhöhe des Gebirges schneiden.

Kälterückfälle mit Neuschnee im Frühlinge mögen wohl nur dann die Quellentemperatur auf ihren Tiefstand zur Zeit des Schwindens der Winterschneedecke zurückbringen, wenn sie stark sind und bald nach der Winterschneesmelze eintreten. Im Mittel vieler Jahre dürfte sich darum, besonders an der Südexposition, der Einfluß solcher Rückfälle nur in sehr geringem Maße bemerkbar machen.

Die Abhängigkeit des Minimums der Quellentemperatur vom Eindringen der Schmelzwässer des Winterschnees bedingt es, daß das Minimum bei den gegen Nord exponierten Quellen später eintritt als bei den gegen Süd exponierten, da die Schneeschmelze an den Nordabhängen wegen der geringeren Insolation und größeren Schneehöhe später beginnt und sich langsamer vollzieht als an den Südabhängen. Da es die geologische Struktur bedingen kann, daß nordexponierte Quellen ihr Sammelgebiet an günstiger insolirten Gehängen und südexponierte ihr Sammelgebiet an minder günstig insolirten Abhängen haben, ist aber auch der Fall möglich, daß eine gegen Nord exponierte Quelle ihr Temperaturminimum früher erreicht als eine gegen Süd exponierte von gleicher Höhenlage.

Die Jahrgänge, in welchen die monatlichen Quellmessungen im Gebiete des mittleren Inntales angestellt wurden, fallen in die sechzehnjährige Periode, während welcher durch meinen Vater im selben Gebiete die Bewegungen der Schneegrenze eine genaue Beobachtung erfuhren. Es bietet dies Gelegenheit, den Gang der Quellentemperatur mit dem der Schneegrenze in den betreffenden Jahrgängen zu vergleichen. Es ergibt sich:

Quellen der südlichen Expositionen.

Nr.	Höhe	Temperatur- minimum	Winterschnee- schmelze ¹
III	770	15. April	5. April
V	805	15. März	5. April
VI	815	30. März	5. April
IX	1100	30. März	8. April

Quellen der nördlichen Expositionen.

Nr.	Höhe	Temperatur- minimum	Winterschnee- schmelze
I	590	25. April	7. April
II	740	20. März	10. April
IV	775	15. März	11. April
VIII	960	5. April	13. April
X	1255	5. April	15. April
XI	1260	5. April	15. April
XII	1635	30. Mai	Anfang Mai
XIII	1920	15. Mai	Anfang Mai

Zur Erklärung des befremdlichen Resultates, daß in der Mehrzahl der Fälle das Temperaturminimum der Quelle früher eintrat als die Schneeschmelze in der Umgebung der Quelle, sind zwei Umstände heranzuziehen. Die Auswertung der Extreme erfolgte in der üblichen Form der graphischen Extrapolation durch Abrundung der Kurvenscheitel. Zuzufolge der Entstehungsbedingungen des Minimums der Quellentemperatur dürfte demselben aber eher der Schnittpunkt der geradlinigen Verlängerungen des sanft abfallenden Winter- und steil ansteigenden Frühlingsastes der Temperaturkurve entsprechen. Aus diesem Grunde mögen die angenommenen Termine der Temperaturminima der Quellen etwas zu frühzeitige sein. Umgekehrt dürften die angeführten Termine der Schneeschmelze insofern als zu späte anzusehen sein, als das Eindringen kalter Schmelzwässer an einer Gehängestelle schon

¹ Zugleich letzte Schneeschmelze im Frühlige des Beobachtungsjahres (1865).

früher beginnen wird, als die betreffende Stelle, vom Tale aus gesehen, als eine eben schneefrei gewordene erscheinen wird. Der notierbare momentane Stand der temporären Schneegrenze an einem Gehänge ist zudem ein idealer Durchschnittswert, von welchem sich die tatsächliche Höhenlage des Randes der Schneedecke lokal mehr oder weniger weit entfernen wird.

Der spätere Eintritt des Maximums der Quellentemperatur in den höheren Regionen erscheint durch das Zusammenwirken mehrerer Umstände bedingt. Zunächst kommt in Betracht, daß das Temperaturmaximum der obersten Bodenschichten in der alpinen Region (nordwärts des Zentralkammes) erst im Herbste eintritt.

Die Zunahme der Besonnung infolge der Verminderung der trüben Tage vom Sommer zum Herbste (nordwärts vom südalpinen Gebiete der Herbstregen) muß auf den Bergen stärker sein als in den Tälern, da erstere bei ungünstiger Witterung noch mehr als letztere des Sonnenscheins entbehren. Dazu kommt eine Vermehrung der Insolation bei schönem Wetter, insofern sich im Sommer auch bei solchem die Bergkämme nachmittags oft in Wolken hüllen, im Herbste aber — entsprechend der geringeren Feuchtigkeit der aufsteigenden Luft — den ganzen Tag frei bleiben.

Die nächtliche Erkaltung des Bodens wird sich dagegen bei der Abnahme der Zahl der trüben Tage im Herbste an den mittleren Gehängen etwas weniger steigern als in der Tiefe, da sich über ersteren während der klaren Herbstnächte jene positive Anomalie der Luftwärme einstellt, welche von meinem Vater speziell für die Gehänge des mittleren Inntales durch eine eigene hochinteressante Experimentaluntersuchung¹ nachgewiesen wurde. Der herbstlichen Zunahme der Insolation an den höheren Gehängen infolge des Fehlens der nachmittägigen Wolkenhülle steht gleichfalls keine Zunahme der nächtlichen Ausstrahlung gegenüber, da letztere bei schönem Wetter ja schon im Sommer ungehindert ist.

¹ A. Kerner, Die Entstehung relativ hoher Lufttemperaturen in der Mittelhöhe der Talbecken der Alpen im Spätherbste und Winter. Diese Sitzber., Bd. LXXI, Abt. I, Jännerheft.

Die Besonnung nimmt aber vom Sommer zum Herbst in der alpinen Region nicht nur mehr zu als in den Tälern, es steigert sich dort auch gegen den Herbst zu ihr erwärmender Einfluß auf die Bodenoberfläche, während derselbe in den subalpinen Zonen kaum eine Vergrößerung erfährt. Im Sommer trifft man in der unteren alpinen Region der nördlichen und mittleren Tiroler Alpen an vielen Orten eine saftstrotzende Vegetation von Wiesenkräutern an, im Herbst aber, nach der Bergheumahd, an denselben Orten einen kurzgeschorenen, ausgedorrten Alpenrasen. Unter diesem kann sich der Boden viel mehr erwärmen als unter den tautriefenden Wiesen der Sommerzeit. Aber auch auf jenen Bergen, die mit alpiner Haidevegetation bedeckt sind, ist der Boden im Herbst viel trockener und darum erwärmungsfähiger als im Sommer, wogegen in der vorwiegend mit Wald bedeckten subalpinen Zone im Herbst nur eine geringe Abnahme der Feuchtigkeit der Bodenoberfläche eintritt und dementsprechend auch die Steigerung der Wärmewirkung der Insolation nur klein sein kann.

Der Überschuß der Bodentemperatur in den höheren Teilen des Gebirges gegenüber den unteren Gehängen tritt nun zu einer Zeit ein, zu welcher derselbe die Quellentemperatur auch stärker beeinflussen kann, zur Zeit einer Verminderung des Wasserreichtums der Quellen, die selbst auch wieder eine Folge der Abnahme der Niederschläge gegen den Herbst zu ist.

Die Verspätung des Eintrittes des Maximums der Boden- und Quellentemperatur ist an den Südabhängen größer als an den Nordhängen, da an ersteren — sofern ihre Neigung größer ist als die Zenithdistanz der Sonne zur Zeit der Sommer Sonnenwende — die Einfallswinkel der Sonnenstrahlen nach Ende Juni noch an Größe zunehmen und zwar umso länger in den Herbst hinein, je steiler die Gehänge sind. Dies kann für südlich exponierte Quellen der alpinen Region — da auch zur Weiterleitung der Wärme von der Oberfläche in die tieferen Bodenschichten noch längere Zeit verstreicht — sehr späte Eintrittszeiten des Wärmemaximums bedingen. Bei alpinen Quellen der Südseite, welche tief in den Boden eingedrungenes

Wasser zutage bringen, wird sich dann der höchste Stand der Temperatur über den Beginn der Winterschneedecke hinaus verzögern können, wenn demselben nicht leichte Herbstschneefälle, nach denen der Schnee noch schmilzt, vorausgehen. Es erscheint indessen fraglich, ob auch die Verspätung des Maximums gleich der des Minimums mit der Höhe stetig zunimmt, ob auch das Maximum in der zunächst unter der Grenze des ewigen Schnees gelegenen Hochgebirgsregion noch später eintritt als in der Region der Alpenmatten, welcher die zwei höchsten der im Innental monatlich gemessenen Quellen angehören.

Immerhin kann — nach dem Temperaturgange der Quelle Nr. XII zu schließen — der Eintrittstag des Temperaturmaximums gelegentlich schon in die Nähe des Wintersolstitiums zu liegen kommen, so wie sich umgekehrt der Eintritt des Minimums der Quelltemperatur in den obersten Regionen bis auf die Zeit der Sommersonnenwende hinausschiebt. Die Hochgebirgsquellen in Klimaten mit relativ trockenem Herbst bieten demnach ein Beispiel des Falles dar, daß durch Summierung verzögernder Einflüsse die Phasenzeiten einer periodischen Erscheinung denen der sie veranlassenden Erscheinung gerade entgegengesetzte werden.

In manchen Jahren wird einer Verschiebung des Maximums der Bodentemperatur bis tief in den Herbst hinein durch frühe Schneefälle ein vorzeitiges Ziel gesetzt. Das Schmelzwasser eines ersten leichten Spätsommerschneefalles wird nur eine vorübergehende Depression der Temperatur der oberen Bodenschichten bewirken. Nach einem zweiten und einem stärkeren dritten Schneefalle wird aber, wenn dieser Schnee noch abschmilzt, auch die oberflächliche Bodentemperatur kaum mehr einer weiteren Steigerung fähig sein. Im Mittel vieler Jahre wird der die Bodenwärme erniedrigende Einfluß der Sommer- und Herbstschneefälle in einer Rückwärtsverschiebung des Termins des Temperaturmaximums seinen Ausdruck finden.

Im Beobachtungsjahre des Ganges der Quelltemperatur (1865) fiel in der Höhenlage der Quellen Nr. X und XI der erste Herbstschnee fünf Tage vor dem Eintritte des Temperatur-

maximums; in den tieferen Zonen ereignete sich der erste Herbstschneefall erst nach dem Eintritte des Wärmemaximums der in diesen Zonen gemessenen Quellen. Die Temperaturmaxima der im Jahre 1869 monatlich gemessenen Quellen Nr. XII und XIII wurden dagegen — den vorliegenden Aufzeichnungen über die Schneegrenze zufolge — erst 41 (!), beziehungsweise 17 Tage nach dem Eintritte der dauernden Winterschneedecke erreicht.

Kurz vor dem Abschlusse der Quellenstudien wurden noch fünf Quellen im äußeren Gschnitztale (Stubaiiergruppe) neunmal im Laufe von zwölf Monaten (September 1877 bis August 1878) gemessen und ihr jährlicher Temperaturgang durch graphische Ergänzung festgestellt. Es bot dies Gelegenheit, die Regeln, nach welchen in Tirol die angenäherte Bestimmung der Mitteltemperaturen der Quellen vorgenommen worden war, noch nachträglich auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Diese fünf Quellen waren:

- I. Quelle unter dem »Gschwendt« bei Steinach 1045 *m*.
- II. » nahe der vorigen 1055 *m*.
- III. » beim »Färber« unterhalb Trins 1195 *m*.
- IV. » bei Rafeis zwischen Trins und Gschnitz . . 1205 *m*.
- V. » im »Tal« ober Trins 1400 *m*.

Nr. I und II sind nördlich, die anderen südlich exponiert.

Die folgende Tabelle enthält die auf graphischem Wege für die Monatsmitten erhaltenen Temperaturen:

	I	II	III	IV	V
Dezember	8·00	7·40	7·40	6·15	5·75
Jänner	7·35	7·30	7·15	6·00	5·70
Februar	7·05	7·00	7·10	5·90	5·70
März	6·70	6·75	7·00	5·80	5·60
April	6·50	6·70	6·80	5·65	5·60
Mai	6·80	6·55	7·40	5·60	5·70
Juni	7·50	6·60	7·55	5·70	5·75
Juli	8·05	7·00	7·70	6·05	5·80
August	8·65	7·30	7·80	6·40	5·90
September	9·20	7·50	7·90	6·75	5·95
Oktober	8·95	7·80	8·00	6·70	6·00
November	8·50	7·55	7·60	6·35	5·80

In der folgenden Tabelle sind die Werte und Termine der Extreme und des Mediums, die Amplitude und die Dauer des Temperaturanstieges und -Abfalles angegeben:

	I	II	III	IV	V
Minimum	6·45	6·55	6·80	5·60	5·60
Eintrittstag	20. April	20. Mai	15. April	15. Mai	15. April
Maximum	9·25	7·80	8·00	6·80	6·00
Eintrittstag	20. Sept.	15. Okt.	15. Okt.	30. Sept.	10. Okt.
Jahresmittel	7·75	7·10	7·45	6·10	5·75
Eintrittstag im Temperaturanstieg	30. Juni	15. Juli	25. Mai	20. Juli	15. Juni
Eintrittstag im Temperaturabfall	25. Dez.	5. Feb.	5. Dez.	25. Dez.	15. Dez.
Amplitude	2·80	1·25	1·20	1·20	0·40
Dauer des Temperaturanstieges	153	148	183	138	178
Dauer des Temperaturabfalles	212	217	182	227	187

Als mittlere Termine erhält man hieraus:

Mittlerer Termin des Minimums 29. April.
 » » » Maximums 6. Oktober.
 » » » Jahresmittels im Temperaturanstiege 28. Juni.
 Mittlerer Termin des Jahresmittels im Temperaturabfalle 27. Dezember.

Die Gschnitztaler Quellen liegen so ziemlich an der Grenze der beiden Höhenzonen, für welche die durchschnittlichen Termine der Extreme und des Mediums getrennt berechnet worden waren, und sie sollten demnach in Bezug auf diese Termine einen Mittelzustand zwischen der oberen und unteren Zone darbieten. Was die Extreme betrifft, so werden diese fünf Quellen der eben genannten Forderung eigentümlicherweise in der Art gerecht, daß sie sich hinsichtlich des mittleren Termines des Minimums wie Quellen der oberen Zone (29. April),

hinsichtlich des mittleren Termines des Maximums wie Quellen der unteren Zone (9. Oktober) verhalten. Die Durchschnittswerte der Termine, zu welchen das Jahresmittel im Temperaturanstiege und -Abfalle passiert wird, kommen bei den fünf in Rede stehenden Quellen mehr in die Mitte zwischen die entsprechenden Termine der oberen und unteren Zone zu liegen, doch so, daß sich betreffs des Zeitpunktes, zu welchem das Jahresmittel im Sommer überschritten wird, eine Hinneigung zu der oberen Zone (4. Juli) bemerkbar macht, betreffs der Zeit hingegen, zu welcher die Temperatur im Winter unter das Jahresmittel sinkt, ein Inklinieren zur unteren Zone (18. Dezember) erkennbar ist.

Die für die Beurteilung der Verlässlichkeit der vorerwähnten Regeln maßgebenden Differenzwerte sind im Durchschnitte aus den fünf Gschnitztaler Quellen:

Differenz des arithmetischen Mittels aus den Temperaturen um Ende April und um die Mitte der ersten Oktoberhälfte gegen das Jahresmittel	+0·08°
Differenz der Temperatur um Ende Juni gegen das Jahresmittel	—0·05°
Differenz der Temperatur um Ende Dezember gegen das Jahresmittel	—0·01°
Differenz des Unterschiedes zwischen den Temperaturen um Ende April und um die Mitte der ersten Oktoberhälfte gegen die Jahresamplitude	—0·21°

Um den Einfluß der Exposition auf die Quellentemperatur in Rechnung ziehen zu können, wurde von meinem Vater eine besondere Untersuchung angestellt, deren Ergebnisse ein so hohes spezielles Interesse boten, daß darüber eine eigene Publikation erschien,¹ in der dann auch Gelegenheit ergriffen wurde, über die Quellenstudien selbst jene allerdings ganz kurze, vorläufige Notiz zu bringen, von welcher in der Einleitung zu dieser Arbeit schon die Rede war. Diese Untersuchung bestand in der durch drei Jahre fortgesetzten monat-

¹ A. Kerner, Über Wanderungen des Maximums der Bodentemperatur. Zeitschr. der österr. Ges. für Meteorologie, VI. Bd., Nr. 5.

lichen Messung der Bodentemperatur (nach der Bischoff'schen Methode) in 80 *cm* Tiefe an den acht Hauptexpositionen eines isolierten Hügels bei Innsbruck. Das sehr interessante Resultat, zu welchem diese Untersuchung geführt hatte, war die Feststellung einer jährlichen Oszillation des örtlichen Temperaturmaximums zwischen der Südwest- und Südostexposition.

Bezüglich der Temperaturabweichung der einzelnen Expositionen von der örtlichen Mitteltemperatur (im Jahresmittel) hatten sich folgende Werte ergeben:

N	NE	E	SE
−2·0	−0·9	−0·2	+1·1
S	SW	W	NW
+1·1	+1·2	+0·7	−1·3

In Prozenten der örtlichen Amplitude:

N	NE	E	SE
−62·5	−28·1	−6·3	+34·4
S	SW	W	NW
+34·4	+37·5	+21·9	−40·6

Die Benützung dieser Werte war wohl so gedacht, daß, nachdem für jede Höhenzone (soweit nötig, durch graphische Ergänzung) die örtliche Amplitude der Quelltemperatur ermittelt war, bei jeder Quelle die ihrer Exposition entsprechende algebraische Abweichung von der örtlichen Mitteltemperatur zur gemessenen Temperatur zu addieren war.

Bei der von mir gewählten Art, die Quellenexposition in Rechnung zu ziehen, konnte von den vorhin angeführten Werten nur in der Weise Gebrauch gemacht werden, daß die Mittel aus den Koeffizienten der für die Süd- und Nordseite aufgestellten Gleichungen um jenen Betrag verändert wurden, welcher der Differenz zwischen dem mit Ausschluß der Ost- und Westseite und dem aus allen acht Expositionen abgeleiteten Expositionsmitel entspricht. Diese Korrektur erwies sich naturgemäß als so klein, daß sie vernachlässigt werden konnte. Es war dann aber eine Korrektur noch insofern in Betracht zu ziehen, als bei den Gleichungen, die ich aus den

Quellen der Nordwest-, Nord- und Nordostseite und aus jenen der Südost-, Süd- und Südwestseite ableitete, diese je drei Expositionen nicht durch eine gleiche Anzahl von Quellen vertreten waren. Dieser Umstand hätte sich dadurch kompensieren lassen, daß man die Quellen der in geringerer Zahl vertretenen Expositionen mit entsprechend größerem Gewichte in Rechnung gestellt hätte. Da jedoch die zufälligen Temperaturunterschiede zwischen gleich exponierten Quellen derselben Höhenzonen schon größer waren als die Temperaturdifferenzen zwischen benachbarten Expositionen, lag zu einer diesbezüglichen Korrektur kein Anlaß vor.

Für die Quellen der Zentralalpen standen zum Zwecke einer die Exposition betreffenden Korrektur die Ergebnisse einer zweiten Untersuchung zur Verfügung, welche, konform jener ersten im Innental, zwei Dezennien später im Gschnitztal vorgenommen wurde.¹

Die Temperaturabweichungen der einzelnen Expositionen von der örtlichen Mitteltemperatur (im Jahresmittel) waren hier:

N	NE	E	SE
-1·6	-1·2	-0·8	+0·8
S	SW	W	NW
+1·1	+1·1	+0·7	-0·2

In Prozenten der örtlichen Amplitude:

N	NE	E	SE
-59·3	-44·4	-29·6	+29·6
S	SW	W	NW
+40·7	+40·7	+25·9	-7·4

Das mit Ausschluß der Ost- und Westseite erhaltene Expositionsmittel stimmt hier mit dem aus allen Windrichtungen abgeleiteten ganz überein.

Des Vergleiches wegen wurden von mir auch aus den Quellenmessungen die Temperaturabweichungen der einzelnen Expositionen von der örtlichen Mitteltemperatur bestimmt. Eine

¹ F. v. Kerner, Die Änderung der Bodentemperatur mit der Exposition. Diese Sitzber., Bd. C, Abt. IIa.

Gruppierung der Quellen nach Höhenzonen von 250 *m* Breite ergab, daß nordwärts vom Inn in den vier Zonen von 500 bis 1500 *m* und südwärts von ihm in den vier Zonen von 1000 bis 2000 *m* die gemessenen Quellen fast über den ganzen Umkreis der Windrose verteilt waren, so daß sich mit Hilfe einiger Interpolationen die örtliche Temperaturkurve feststellen ließ.

Für die Region nordwärts des Inn ergaben sich im Mittel aus den vier Zonen zwischen 500 und 1500 *m* nachstehende Abweichungen von der örtlichen Mitteltemperatur:

N	NE	E	SE
-0·53	-0·48	-0·11	+1·02
S	SW	W	NW
+0·52	+0·14	-0·01	-0·58

Für die Region südwärts des Inn erhielt ich im Mittel aus den vier Zonen zwischen 1000 und 2000 *m* folgende Abweichungen:

N	NE	E	SE
-0·39	-0·44	-0·16	+0·86
S	SW	W	NW
+0·66	+0·14	-0·31	-0·36

Die Unregelmäßigkeiten im Verlaufe des örtlichen Temperaturganges, welche in diesen beiden Reihen zutage treten, sind wohl durch die große Ungleichheit der Zahl der auf die verschiedenen Expositionen entfallenden Quellen bedingt, welche es mit sich bringt, daß die zufälligen größeren Temperaturanomalien einzelner Quellen die Expositionstemperaturen in sehr verschiedenem Maße beeinflussen. So erscheint die in beiden Reihen vorhandene, unnatürlich tiefe Temperatur der Südwestseite dadurch veranlaßt, daß hier beide Mittel aus relativ wenigen Quellen abgeleitet sind, unter denen sich mehrere von abnorm tiefer Temperatur befinden.

Bezüglich der klimatischen Ursachen der von der Exposition abhängigen Verschiedenheiten der Quellentemperatur kann hier auf die in den zitierten zwei Aufsätzen enthaltenen

Erörterungen verwiesen werden, da dieselben, obwohl die Bodentemperatur betreffend, auch für die Quellentemperatur gelten.

Obschon die Erforschung der Temperaturverhältnisse der Quellen schon Selbstzweck sein kann, wurden doch — wie schon erwähnt — die hier diskutierten Quellenmessungen in der Absicht angestellt, über die Abnahme der Bodentemperatur mit der Höhe nähere Aufschlüsse zu gewinnen. Da die Hallmann'schen Untersuchungen, welche eine Äquivalenz der mittleren Boden- und Quellentemperatur ergaben, sich auf außeralpine Gebiete bezogen hatten, wurde von meinem Vater anlässlich der Tiroler Quellenmessungen auch die Vorfrage einer Revision unterzogen, ob auch in den Alpen das Jahresmittel der Quellenwärme mit der mittleren Bodenwärme in der Gegend der Quelle übereinstimmend sei.

Es wurden zu diesem Zwecke bei mehreren Quellen in der Umgebung von Innsbruck, deren Temperatur durch ein Jahr hindurch monatlich gemessen wurde, zu Beginn des betreffenden Jahres auch Maximum- und Minimumthermometer versenkt, und es wurde dann das aus den monatlichen Quellenmessungen erhaltene Jahresmittel mit dem arithmetischen Mittel der Extreme der Bodentemperatur verglichen. Diese Kontrollversuche fanden bei den vorhin mit Nr. I, VIII, XI, XII und XIII bezeichneten Quellen statt¹ und ergaben folgendes Resultat:

Nr.	Jahresmittel der Quellentemperatur	Mittel der Jahres-extreme der Bodentemperatur	Differenz zwischen Quellen- und Bodentemperatur
I	9·0	8·9	+0·1
VIII	7·5	7·7	—0·2
XI	5·6	5·9	—0·3
XII	6·5	5·5	+1·0
XIII	3·8	3·5	+0·3

¹ Auf einem hinterlassenen Notizblatte erscheinen auch die Quellen Nr. II und IX für solche Kontrollversuche normiert, doch konnte ich keine darauf bezüglichen Messungsergebnisse finden.

Falls bei der großen Differenz bei Nr. XII ein Beobachtungsfehler im Spiele ist (wie dies auf dem die Messungen enthaltenden Notizblatte in einer Randbemerkung vermutet wird) und sich diese Differenz etwa auf ein Viertel ihres Wertes reduzieren sollte, würde im Mittel aus den fünf Kontrollversuchen eine gute Übereinstimmung zwischen mittlerer Quellen- und Bodentemperatur resultieren, allerdings bei einer mittleren Abweichung von zirka 0.25° . Vielleicht würde das Ergebnis noch günstiger sein, wenn die zum Vergleiche herangezogenen Bodentemperaturen nicht Extrememittel, sondern auch aus monatlichen Messungen gewonnene Jahresmittel wären.

Die Quellen, deren mittlere Jahrestemperaturen mit Hilfe der eben angegebenen Regeln von meinem Vater bestimmt wurden, gehören zum größten Teile dem Flußgebiete des Inn an. Es schien passend, die Temperaturabnahme mit der Höhe für das Gebiet der nördlichen und südlichen Seitenbäche dieses Flusses getrennt zu berechnen, da sich die Nord- und Zentralalpen in Bezug auf mehrere orometrische und klimatische Werte, welche die mittlere Boden-, beziehungsweise Quellenwärme beeinflussen, verschieden verhalten. Einer Scheidung in zwei geognostisch differente Gebiete — Kalk- und Schieferzone — entspricht die eben genannte Trennung jedoch nur teilweise, da im mittleren Tirol auch südwärts vom Inntale triadische Kalkmassen auftreten.

Bezüglich der im folgenden gegebenen Quellenlisten gilt dasselbe, was in Betreff der niederösterreichischen Listen bemerkt wurde. Sie enthalten von Temperaturangaben nur die Jahresmittel. Die Exposition bezieht sich bei den Talquellen auf den Abhang, an dessen Fuß die betreffende Quelle liegt. Die Höhen sind, soweit sich dazu Gelegenheit ergab, nach der neuen Spezialkarte berichtigt.

Quellentemperaturen in den Nordtiroler Kalkalpen.

Im Bereiche der Nordtiroler Kalkalpen wurden 52 Quellen gemessen, welche sich auf die Solsteinkette, die nähere und weitere Umgebung des Achensees und auf die Gegend von

Kufstein verteilen. Das Basisniveau ist durch die Sohle des Unterinntales gegeben, die höchsten gemessenen Quellen lagen in 2250 *m* Höhe. Die Güte der Gelegenheit, die Temperaturabnahme für ein großes Höhenintervall ermitteln zu können, erscheint leider dadurch herabgemindert, daß auch in Nordtirol die höheren Regionen mit Quellenmessungen sehr spärlich bedacht sind. Die Zahl der Messungen nimmt hier in der Mitte des Höhenintervalls rasch ab, so daß in die obere Hälfte desselben kaum der vierte Teil der gemessenen Quellen zu liegen kommt.

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
1	Meilbrunnen bei Zirl	8·0	605	S
2	Quelle auf den Zirler Mähdern	5·1	1660	N
3	» am Lehner ober Grammart	6·3	1100	S
4	» beim Höttinger Bild	9·4	650	S
5	» ober der vorigen	9·4	700	S
6	» ober der Höttinger Alm	5·8	1485	SE
7	» ober der Weiherburg	9·5	660	S
8	» ober der vorigen	9·4	680	S
9	» unter der Hungerburg	9·4	745	S
10	» am Brandlschrofen	6·9	1000	S
11	Ditschenbrunnen	6·9	1140	S
12	Rauschbründl	7·5	1145	SE
13	Quelle bei der Kettenbrücke in Mühlau	10·5	575	SE
14	» beim Badhause in Mühlau	10·4	585	S
15	» ober dem Schoenetum im Weitental	9·1	770	S
16	» ober der vorigen	9·4	805	SE
17	» gegenüber der vorigen	9·3	815	SW
18	Arzler Almbrunn	7·1	1100	SE
19	Oberste Quelle des Wurmbaches	5·9	1180	S
20	Quelle in der Mühlauer Klamm	5·7	1050	E
21	» unweit der vorigen	5·6	1050	E
22	Oberste Quelle des Mühlbaches	4·5	1400	S
23	Quelle unter dem Gipfel des Hafelekar	0·6	2245	N

Nr.	Bezeichnung der Quelle	t	h	e
24	Quelle nahe der vorigen	0·5	2245	N
25	» ober St. Martin im Gnadenwald	7·7	900	SE
26	» am Kasberg bei Jenbach	6·9	870	SW
27	» unweit der vorigen	6·4	870	SW
28	» bei der Pertisau im Achental	6·3	925	SE
29	» am Plumserjoch	4·0	1490	NE
30	» bei der Haglerhütte in Hinterriß	5·5	1070	NE
31	» am Zundernspitz im Oberautal	4·1	1705	N
32	» unter dem Juifen	4·8	1745	SE
33	» bei der Scholastika im Achental	7·6	930	SW
34	» in Achenkirchen	8·4	935	W
35	» am Weg von Achenkirchen nach Steinberg	7·3	995	W
36	Quelle unweit der vorigen	6·9	965	NW
37	» am Weg nach Steinberg, beim Brückl	7·0	990	N
38	» am Weg nach Steinberg, in einer Waldlichtung	6·5	1000	N
39	Quelle am Weg nach Steinberg, in einem Holzschlag	5·0	1020	NE
40	Quelle bei der Kapelle bei Steinberg	5·5	1020	E
41	» nahe der vorigen	5·8	1020	E
42	» am Sattel zwischen Achenkirchen und Steinberg	6·6	1035	SE
43	Quelle an der Steinberger Ache	5·9	1020	W
44	» zwischen Steinberg und Brandenburg	5·0	1100	NW
45	» am Seemahd im Achental	4·9	1380	E
46	» am Sonnwendjoch	2·4	1820	SW
47	» am Schröckenspitz	3·8	1485	NW
48	Andere Quelle am Schröckenspitz	2·5	1455	NE
49	Quelle am Pfrillensee bei Kufstein	8·8	505	NE
50	» am Tiersee	8·6	660	NW
51	» am Fuß des Pendling	8·9	640	N
52	» westlich von Kufstein	8·1	650	E

Zur Darstellung der Abnahme der Quelltemperatur an der Südseite des Gebirges kamen die Quellen der Südost-, Süd-

und Südwestexposition in Rechnung. Eine Ausschließung wegen abnorm tiefer Temperatur betraf hierbei die vier Quellen Nr. 1, 26, 27 und 28. Unter den übrigen 23 konnte noch eine Auswahl getroffen werden, da die Koordinaten in mehreren Fällen bei zwei Quellen fast übereinstimmten, so bei Nr. 4 und 7, Nr. 13 und 14, Nr. 16 und 17. Als für die Kurvenberechnung entbehrlich kamen hienach die Quellen Nr. 3, 4, 5, 8, 13, 16, 25 und 42 in Wegfall. Dagegen wurde Nr. 34, obwohl der Westexposition angehörig, einbezogen.

Die Lage der mit den Temperaturen als Ordinaten und den Seehöhen als Abszissen in ein Netz eingetragenen Quellen ließ eine schwache Verlangsamung der Temperaturabnahme gegen oben hin erkennen und es wurde daher auch ein vom Quadrate der Seehöhe abhängiges Glied mit positivem Vorzeichen eingeführt.

Die Rechnung ergab:

$$t_s = 14.71 - 0.81h + 0.01h^2.$$

Zur Darstellung des Temperaturganges an der Nordseite des Gebirges wurde mit Hilfe der Quellen der Nordwest-, Nord- und Nordostexposition eine Gleichung von derselben Form wie die vorige ermittelt. Ausgeschlossen blieben hierbei Nr. 49 wegen zu tiefer, Nr. 2 und 31 wegen zu hoher Temperatur. Eine Einbeziehung erfuhr dagegen Nr. 52, obwohl der Ostexposition angehörend. Die Rechnung ergab:

$$t_n = 13.11 - 0.79h + 0.01h^2.$$

Man erhält somit für die Nord- und Südseite zwei in einer Entfernung von 1.6° übereinstimmend verlaufende Kurven. Dieses Resultat ist insofern nicht befriedigend, als man aus theoretischen Gründen eine Vergrößerung der Temperaturdifferenz zwischen N und S mit zunehmender Seehöhe erwarten sollte. Wegen der geringen Zahl der Messungen, welche aus den oberen Höhenzonen zur Verfügung stehen, können zufällige größere Temperaturabweichungen einzelner Quellen von den Normaltemperaturen ihres Niveaus weniger gut erkannt werden und — da die betreffenden Quellen bei der Rechnung einbezogen bleiben — den Kurvenverlauf in jenen Zonen schon störend beeinflussen.

Ob das Konstantbleiben der Temperaturdifferenz zwischen N und S durch eine zu flache Biegung der Kurve der Südseite oder durch eine zu starke Krümmung der Kurve der Nordseite bedingt ist oder ob beide Umstände im Spiele sind, läßt sich nicht beurteilen. Als Kurve der örtlichen Mitteltemperatur wird man darum die Halbierungslinie des Abstandes der vorigen Kurven akzeptieren, deren Gleichung dann ist:

$$t'_m = 13.91 - 0.80h + 0.01h^2.$$

Von der Berechnung einer eigenen Gleichung für das Expositionsmittel durch Weglassung der nord- und südexponierten und Herbeziehung der ost- und westexponierten Quellen — wie dies bei den niederösterreichischen Quellen von mir geschah — wurde darum abgesehen, weil wegen des vorwiegend westöstlichen Streichens der Gebirgsketten nur wenige Quellen der West- und Ostexposition vorliegen und mehrere derselben sich wegen ihrer zu niedrigen Temperatur ohnedies nicht zur Benützung eigneten (Nr. 20, 21, 40, 41).

Die Bestimmung der Quellen-, beziehungsweise Bodentemperatur in den verschiedenen Höhen und der Höhenlage der Chthonisothermen wurde im vorliegenden Falle nur für das Expositionsmittel vorgenommen.

Durch Einsetzung der Werte 5 bis 20 für h in der vorigen Gleichung erhält man folgende Temperaturen:

h	t_m	Δ	h	t_m	Δ
5	10.16	—	13	5.20	0.55
6	9.47	0.69	14	4.67	0.53
7	8.80	0.67	15	4.16	0.51
8	8.15	0.65	16	3.67	0.49
9	7.52	0.63	17	3.20	0.47
10	6.91	0.61	18	2.75	0.45
11	6.32	0.59	19	2.32	0.43
12	5.75	0.57	20	1.91	0.41

Durch Einsetzung der Werte 10·0 bis 2·0 für t in der vorigen Gleichung erhält man für die Chthonisothermen an der West- und Ostexposition folgende Höhenlagen (in Hektometern):

t	h_{w-e}	t	h_{w-e}
10	5·23	5	13·37
9	6·70	4	15·32
8	8·24	3	17·44
7	9·85	2	19·77
6	11·56		

Die Kurve, welche sich für die Abnahme der mittleren Quellentemperatur in den Nordtiroler Gebirgsketten ergibt, dürfte das Resultat des Zusammenwirkens mehrerer Umstände sein. Sofern diese Ketten aus Kalk bestehen, wäre eine gleichmäßige und im Vergleiche zur normalen etwas verlangsamte Temperaturzunahme nach unten hin zu erwarten. Denn die im Kalkgebirge vorhandene Möglichkeit, daß Wasser in Spalten und Klüften rasch in die Tiefe gelangt, muß eine nach unten zu nehmende Depression der Quellentemperatur bedingen. Allerdings werden die am Fuße einer Kette entspringenden Quellen vorzugsweise auch durch Wasser, das an den unteren Gehängen eindringt, gespeist werden, es ist aber doch die Möglichkeit gegeben, daß ihnen auch Wasser aus der Kammregion zuströmt, und es wird dies eine umso größere Temperaturerniedrigung bewirken, je größer die relative Höhe und je stärker die Zerklüftung des Gebirges ist.

Insoferne in den Nordtiroler Alpen ein System von schroffen Ketten mit nach oben hin steiler werdenden Gehängen vorliegt, wäre zugleich eine schwache Beschleunigung der Temperaturabnahme nach oben hin zu erwarten. Infolge einer solchen würde dann die Differenz gegen die Normaltemperatur in einem Gebirge aus nicht zerklüftetem Gestein und mit gleichmäßig geneigten Hängen nach oben hin langsamer abnehmen, und es würde die Bodentemperatur in der Kammregion noch

tiefer sein als in gleicher Höhe in einem Gebirge mit den letztgenannten Eigenschaften.

Nun ist dem Nordgehänge des Inntales eine mächtige Diluvialterrasse angelagert, in welcher — da sie sich aus Lehm, Sand und Schotter aufbaut — ein inniger Kontakt des Wassers mit den Bodenschichten stattfindet, der zu einem Temperaturausgleich zwischen beiden führt. Es werden demnach die Gewässer, welche, in Klüften rasch zur Tiefe eilend, für ihr Niveau abnorm kalt am Fuße des Gebirges anlangen, beim Durchtritt durch die Glazialterrasse noch nachträglich erwärmt werden und beim Austritt aus dem Boden eine ungefähr normale Temperatur aufweisen. In der Tat ergibt sich im Niveau des Inntales für die nordalpinen und die zentralalpinen Ketten fast dieselbe mittlere Quellentemperatur. Zufolge des Vorhandenseins der Diluvialterrasse sollte am Südabhang der Solsteinkette zunächst vom Inntal aufwärts eine gleichmäßige Temperaturabnahme von normaler Raschheit herrschen und dann — entsprechend dem Niveau der oberen Grenze des Diluviums — ein kurzer, aber plötzlicher Abfall der Quellentemperatur eintreten.

Die so zustande kommende doppelte Knickung der Temperaturkurve muß aber im Mittel aller Beobachtungen durch eine schwach S-förmige Krümmung ausgeglichen sein. Denn infolge teils ursprünglicher, teils nachträglich durch Ablation entstandener Unterschiede in der Mächtigkeit der diluvialen Hülle wird der die Grundwasserwärme steigernde Einfluß derselben lokal verschieden sein. Es werden insbesondere im Grunde tiefer Gräben, in denen die glazialen Schichten durch Erosion fast ganz entfernt sind, noch nahe dem Fuße des Gebirges abnorm kalte Quellen aufbrechen können. Dies muß zu einer starken Abflachung des gegen die Abszissenachse konkaven Stückes der vorhin erwähnten S-förmigen Krümmung in der Temperaturkurve führen. Bedenkt man noch, daß aus den oberen Zonen nur einige wenige Quellenmessungen vorliegen, so scheint es auch verständlich, daß die für diese Zonen vorhin supponierte schwache, gleichfalls gegen die Abszissenachse konkave Krümmung der Temperaturkurve in den Beobachtungen nicht erkennbar ist. Es bleibt dann als Charak-

teristik der Kurve nur in der Mittelzone des Gebirges ein Maximum der negativen Abweichung gegen eine gleichmäßige Temperaturabnahme bestehen, wie dies in der berechneten Gleichung zum Ausdruck kommt.

Eine Andeutung, daß die negative Temperaturabweichung zu beiden Seiten dieses ihres Maximums nicht sukzessive rascher, sondern sukzessive langsamer abnimmt, beziehungsweise daß beide Äste der gegen die Abszissenachse konvexen Kurve eine Tendenz haben, zwei gegen diese Achse schwach konkave sekundäre Bögen zu beschreiben, ist aus den Beobachtungen allerdings herauszulesen. Faßt man die an der Südseite des Gebirges gemessenen Quellen hinsichtlich ihrer Höhenlage näher ins Auge, so lassen sie sich in fünf Gruppen bringen. Die unterste wird durch die beiden Quellen Nr. 13 und 14 repräsentiert, welche am Südfuße der Solsteinkette entspringen. Die zweite Gruppe erscheint durch die Quellen Nr. 4, 5, 7, 8, 9, 15, 16 und 17 gebildet, welche in ziemlich gleicher Höhe am Abfalle der Diluvialterrasse austreten. Die dritte Gruppe setzt sich aus den auf ein großes Höhenintervall verteilten Quellen Nr. 3, 10, 11, 12, 18, 19, 25, 33 und 42 zusammen, die größtenteils den Abhängen der Solsteinkette oberhalb der Glazialterrasse angehören. Eine vierte Gruppe bilden die Quellen Nr. 6 und 22, welche höher oben an der Südabdachung dieser Kette liegen. Zu einer fünften und höchsten Gruppe vereinigen sich endlich Nr. 32 und 46, die jedoch nicht der Solsteinkette angehören.

Berechnet man nun aus je zwei folgenden dieser Quellengruppen eine lineare Gleichung der Temperaturabnahme, so erhält man für die vier zwischen den Mittelhöhen dieser Gruppen gelegenen Höhenzonen von unten nach oben folgende Temperaturabnahmen pro 100 *m*:

$$0\cdot57, \quad 0\cdot64, \quad 0\cdot42, \quad 0\cdot47.$$

Es ergibt sich also für jene Höhenzone, in welche das Niveau der Diluvialterrasse fällt, die schnellste Abnahme der Quellenwärme und für die oberste Gehängezone eine raschere Abnahme als für die nächst untere. Eine besondere Bedeutung darf man jedoch diesem Ergebnisse nicht beimessen, denn

erstens wird man auch im Falle, daß es sicher ist, daß innerhalb eines großen Höhenintervalles eine einfache Temperaturabnahme in geometrischer oder arithmetischer Progression erfolgt, meist abwechselnd größere und kleinere Werte für die Abnahme erhalten, wenn man aus beliebig zusammengestellten, einander folgenden Gruppen von Messungen lineare Gleichungen ableitet, und zweitens ist die Zahl der aus den Nordtiroler Alpen vorliegenden Messungen viel zu gering, als daß man auch Details des Temperaturganges erkennen könnte. So wird man die Beschleunigung der Temperaturabnahme in der obersten Gehängezone, da sie aus dem Verhalten von nur zwei, zudem räumlich weit getrennten Quellenpaaren resultiert, wohl als ein nur zufällig der Erwartung entsprechendes Ergebnis anzusehen haben.

Die geringe Zahl der Messungen ist auch der Grund, warum es sich nicht der Mühe lohnen würde, mit Hilfe umfangreicher Rechnungen eine kompliziertere Formel abzuleiten, welche die zweimalige Beschleunigung der Temperaturabnahme in den unteren und oberen Gehängezonen der Südseite zum Ausdruck brächte.

In rohester Annäherung könnte eine solche Formel lauten:

$$t_s = T - ah + bh^2 + c \sin x_h$$

wobei $360^\circ =$ einem Höhenintervall von 800 m ($45^\circ = 100 \text{ m}$) entsprechen und die Gradzählung bei 600 m beginnen würde. Man bekäme dann bei 800 m den unteren, bei 1600 m den oberen sekundären Kurvenscheitel (entsprechend $\sin 90^\circ$ und $\sin (360^\circ + 90^\circ) = +1$) und bei 1200 m (gemäß $\sin 270^\circ = -1$) konform der Gleichung ohne Sinusglied ein Maximum der negativen Abweichung gegen eine gleichmäßige Temperaturabnahme.

Quellentemperaturen in den Tiroler Zentralalpen.

Aus den Tiroler Zentralalpen liegen die Temperaturmittel von 66 Quellen vor. Dieselben gehören zum größeren Teile dem westlich von der Brennersenke gelegenen Stubaijerstocke (Sellrain, Stubai, Gschnitz), zum kleineren Teile der östlich von jener Depression gelegenen Tuxergruppe (Vikar, Volders,

Zillertal) an. Dazu kommen noch einige Quellen aus benachbarten Gebieten, unter denen zwei schon in den Bereich der Südalpen fallen. Das Basisniveau ist — wie bei den Nordtiroler Quellen — durch die Sohle des mittleren Inntales gegeben. Die obersten Quellen, deren Temperaturmittel noch bestimmt wurden, liegen sowohl an der Nord- als auch an der Südseite zwischen 2300 und 2400 *m*. Es kommen jedoch im Stubai-er Gebirgsstocke in noch höheren Niveaus Quellen vor. Eine in der sehr bedeutenden Höhe von 2917 *m* am Plerchnerkamme im Alpeinertale vorgefundene Quelle wurde von meinem Vater einst als eine der höchstgelegenen Quellen des ganzen Alpengebietes bekannt gemacht.¹ Von einer mittleren Jahrestemperatur kann man bei nur periodisch fließenden Quellen, deren ganzes Sammelgebiet einen Teil des Jahres hindurch oberhalb der Chthonisotherme von 0° liegt, nicht mehr sprechen.

Die vertikale Verteilung der gemessenen Quellen ist in Zentraltirol eine andere als in den bisher betrachteten Gebieten. Das Maximum der Häufigkeit liegt hier nicht an oder nahe der Basis, sondern oberhalb der Mitte des Höhenintervalles. Die relativ größte Zahl (fast die Hälfte) der gemessenen Quellen fällt auf das mittlere Drittel des Höhenintervalles und auf das obere Drittel entfallen noch etwas mehr als auf das untere. Es ist demnach erfreulicherweise gerade in dem Gebiete, in welchem das der Beobachtung zugängliche Höhenintervall das größte ist, auch die Ausnützung desselben die günstigste.

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>e</i>
1	Bettlerbründl bei Kematen	9·0	590	N
2	Quelle ober der Gallwiese	8·8	740	N
3	» ober der vorigen	8·9	775	N
4	» bei Rotenbrunn	5·6	1560	E
5	» bei der Krimpenbachalm	3·5	1730	NE

¹ A. Kerner, Die höchst gelegenen Quellen unserer Alpen. Österr. Wochenschr., Bd. V., 193.

Nr.	Bezeichnung der Quelle	t	h	e
6	Quelle ober der vorigen	2·8	1787	NE
7	» unter dem Roßkogel	1·0	2015	E
8	Magdalenenbründl unter Praxmar	4·3	1525	N
9	Quelle unter Praxmar	3·5	1545	N
10	» bei Praxmar	6·8	1667	SE
11	» bei Lisens	4·8	1625	E
12	» im Längental	2·3	1985	N
13	» zwischen Zwieselstein und Heilig Kreuz	4·9	1525	S
14	Quelle zwischen Gerberbach und Stefans- brücke	8·6	705	NE
15	Quelle zwischen Bachleiten und Zirkenhof ..	10·4	1075	NW
16	» zwischen Mieders und Waldrast	6·6	1160	N
17	Mutterwasser unter der Waldrast	4·6	1455	NE
18	Quelle unterhalb der Waldrast	4·3	1525	NE
19	» oberhalb der Waldrast	4·1	1715	E
20	Hasenbründl beim Bärenbad	4·9	1450	N
21	Quelle bei der Alpe Oberriß	4·2	1675	N
22	» im Horntal	5·4	1785	S
23	» unter'm Gschwend bei Steinach	7·8	1045	N
24	Andere Quelle unter'm Gschwend	7·1	1055	N
25	Quelle beim Färber in Trins	7·5	1195	S
26	» bei Rafeis	6·1	1205	SE
27	» in Vernail bei Trins	6·2	1230	S
28	» nahe der vorigen	6·2	1230	S
29	» im Pfarrhof in Trins	6·8	1270	S
30	» im Tal ober Trins	5·7	1400	S
31	» in der Zwiesel am Blaser	5·0	1850	S
32	» am Plazet ober Trins	5·1	1900	S
33	» im Schlumes am Blaser	3·5	2070	E
34	» ober der Schafhütte im Padaster, ...	2·6	2195	E
35	» bei der Bockgrube im Nenis	2·5	2385	S
36	» beim Lehmannhof bei Wilten	7·5	650	N
37	» ober der vorigen	9·6	655	N
38	» bei Egerdach	9·6	650	N

Nr.	Bezeichnung der Quelle	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>c</i>
39	Fürstenbründl bei Amras	7·8	675	NW
40	Quelle zwischen Igls und Lans	7·6	880	NW
41	» beim Lansersee	8·6	880	N
42	» zwischen Igls und Taxburg	7·4	955	N
43	» beim Heilig Wasser bei der Kirche . .	5·5	1255	N
44	» beim Heilig Wasser bei der Aussicht.	5·6	1260	N
45	» zwischen Patsch und St. Peter	7·8	1235	SW
46	» bei der Patscher Ochsenhütte	6·5	1635	W
47	» am Weg von der Ochsenhütte zum Patscherkofl	5·8	1720	W
48	Quelle am Gehäng des Patscherkofl	4·5	1775	NW
49	Andere Quelle am Patscherkofl	3·1	1910	SW
50	Kreuzbrunn	3·8	1920	W
51	Quelle im Vikartal	5·0	1590	NW
52	» im Voldertal	5·4	1200	NW
53	» beim Volderbad	7·2	840	NE
54	» zwischen Hall und Volders	8·5	560	N
55	» unter dem Kellerjoch	5·3	1535	NW
56	» am Kellerjoch	1·0	2145	N
57	» zwischen Finkenberg und Lanersbach	5·1	1140	E
58	» beim Breitlahner im Zemmgrund . . .	5·4	1245	NW
59	» beim Flöitenkees	2·6	1435	W
60	» bei der Fletscheralm	4·8	1995	SE
61	» am Tuxerjoch	2·8	2320	N
62	» ober dem Zragerboden	2·6	2170	W
63	» auf der Burgumer Alm	3·1	2300	N
64	» beim Mittersee am Reschen Scheideck	7·0	1455	NE
65	» auf den Tartscher Rieden	4·7	1760	SE
66	Drei Brunnen ober Trafoi	3·5	1605	NW

Die zentralalpinen Quellen der südlichen Abhänge zeigen ein sehr ungleiches Verhalten. Bei der Eintragung in ein Koordinatennetz (mit den Temperaturen als Ordinaten und der Seehöhen als Abszissen) scheinen sie zwei getrennte und

divergente Reihen zu bilden, eine Anordnung, welche die Zulässigkeit der Aufstellung einer Gleichung in Frage stellen könnte. Bei näherer Betrachtung gewinnt man allerdings den Eindruck, daß hier doch eine Ausgleichung in eine und zwar in eine gerade Linie statthaft ist. Dieselbe erhält bei Ausschluß der zu kalten Quellen Nr. 26, 27 und 28 die Form:

$$t_s = 12 \cdot 26 - 0 \cdot 40h.$$

Die Anordnung, welche die Quellen der nördlichen Abhänge im Koordinatennetze zeigen, weist gleichfalls auf eine Temperaturabnahme in arithmetischer Progression hin. Die mit Ausschluß der zu kalten Quelle Nr. 36 und der abnorm warmen Nr. 15 und 63 durchgeführte Rechnung ergab:

$$t_n = 11 \cdot 96 - 0 \cdot 48h.$$

Durch Kombination der nach Ausschluß der gegen N und S exponierten Quellen übrig bleibenden Quellen erhielt ich die Formel:

$$t_m = 11 \cdot 74 - 0 \cdot 42h.$$

Die Ungereimtheit, daß hier für die Anfangstemperatur ein etwas niedrigerer Wert herauskommt als für die Nordseite, macht sich bei der Benützung der Gleichung insofern nicht störend bemerkbar, als für den unteren Grenzwert der Abszissen, für welche die Gleichung reale Werte liefert, schon eine etwas größere Ordinate als für die Nordseite resultiert.

Für $t'_m = (t_s + t_n) : 2$ ergibt sich:

$$t'_m = 12 \cdot 11 - 0 \cdot 44h.$$

Durch Einsetzung der Werte 5 bis 25 für h in diese Gleichungen ergeben sich nachstehende Temperaturen:

h	t_s	t_n	$t_s - t_n$	t'_m
5	10·26	9·56	0·70	9·91
6	9·86	9·08	0·78	9·47
7	9·46	8·60	0·86	9·03
8	9·06	8·12	0·94	8·59
9	8·66	7·64	1·02	8·15
10	8·26	7·16	1·10	7·71
11	7·86	6·68	1·18	7·27
12	7·46	6·20	1·26	6·83
13	7·06	5·72	1·34	6·39
14	6·66	5·24	1·42	5·95
15	6·26	4·76	1·50	5·51
16	5·86	4·28	1·58	5·07
17	5·46	3·80	1·66	4·63
18	5·06	3·32	1·74	4·19
19	4·66	2·84	1·82	3·75
20	4·26	2·36	1·90	3·31
21	3·86	1·88	1·98	2·87
22	3·46	1·40	2·06	2·43
23	3·06	0·92	2·14	1·99
24	2·66	0·44	2·22	1·55
25	2·26	-0·04	2·30	1·11

Durch Einsetzen der Werte 10·0 bis 0·0 für t in den vorigen Gleichungen erhält man für die Chthonisothermen folgende Höhenlagen:

t	h_s	h_{w-e}	h_n
10	5·65	—	—
9	8·15	7·07	6·17
8	10·65	9·34	8·25
7	13·15	11·61	10·33
6	15·65	13·88	12·42
5	18·15	16·16	14·50
4	20·65	18·43	16·58
3	23·15	20·70	18·67
2	25·65	22·98	20·75
1	28·15	25·25	22·83
0	30·65	27·52	24·92

Die Abnahme der Quellentemperatur in arithmetischer Progression, welche sich für die Tiroler Zentralalpen ergibt, entspricht einem Ausgleiche in den Wirkungen jener Umstände, die auch hier Unregelmäßigkeiten in der Temperaturabnahme bedingen könnten. So wird der Übergang von steilen subalpinen Waldgehängen in sanft geneigte Alpenmatten, wie er in den Schieferbergen zu beiden Seiten der Brennersenke vorkommt, eine Verlangsamung der Abnahme der Bodentemperatur bedingen. Da aber in den zentralen Stöcken eine regionale Abnahme der mittleren Gehängeneigung in derselben Höhenzone fehlt und in den schroffen Kalkketten zu beiden Seiten des Stubaitales streckenweise die Gehänge gegen oben steiler werden und in jenen Ketten auch die Temperaturzunahme gegen unten verlangsamt sein muß, wird die ersterwähnte Erscheinung im Gesamtmittel nicht zum Ausdruck kommen. Zieht man nur die Quellen in Betracht, welche in den Schieferbergen südöstlich von Innsbruck gemessen wurden, so ergibt sich in der Tat eine auffällige Verlangsamung der Temperaturabnahme gegen die alpine Region hin. Bringt man die Quellen jener Gegend nach ihrer Höhenlage in vier Gruppen:

- I. Quellen am Fuße des Gebirges: Nr. 38, 39 und 54,
 - II. Quellen des Mittelgebirges: Nr. 40 und 42, ferner 53,
 - III. Quellen der subalpinen Zone: Nr. 43, 44 und 52,
 - IV. Quellen der alpinen Region: Nr. 46, 47, 48, 49, 50 und 51,
- so erhält man als lineare Temperaturabnahme pro 100 *m*

aus Gruppe I und II 0·42°,

aus Gruppe II und III 0·51°,

aus Gruppe III und IV 0·22°.

Es zeigt demnach bei dieser stückweisen Berechnungsart die Verlaufslinie der Temperaturabnahme in der subalpinen Zone eine starke Knickung, als Ausdruck einer gegen die Abszissenachse konvexen Bogenlinie.

Vergleich der Quellentemperaturen in den Nordtiroler Kalkalpen und in den Tiroler Zentralalpen.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der mittleren Quellentemperaturen in den Tiroler Nord- und Zentralalpen in den Niveaus zwischen 500 und 2000 *m*.

Niveau	Nordalpen	Zentralalpen	Differenz
500	10·16	9·91	—0·25
600	9·47	9·47	0
700	8·80	9·03	0·23
800	8·15	8·59	0·44
900	7·52	8·15	0·63
1000	6·91	7·71	0·80
1100	6·32	7·27	0·95
1200	5·75	6·83	1·08
1300	5·20	6·39	1·19
1400	4·67	5·95	1·28
1500	4·16	5·51	1·35
1600	3·67	5·07	1·40
1700	3·20	4·63	1·43
1800	2·75	4·19	1·44
1900	2·32	3·75	1·43
2000	1·91	3·31	1·40

Die mittlere Quellentemperatur ist am Fuße der beiden nord- und südwärts des Inn gelegenen Alpenketten fast gleich, nimmt dann in der subalpinen Zone in den Nordalpen rascher ab als in den Zentralalpen und stellt sich in der unteren alpinen Region in den nördlichen Ketten um zirka 1·4° niedriger als in den zentralen. Bei der Entwicklung dieses Ganges der Temperaturdifferenz wirken mehrere Umstände zusammen.

In erster Linie erscheint dieselbe durch die Verschiedenheit der Drainage im Kalk- und Schiefergebirge bedingt; diese sollte eine gleichmäßige Vergrößerung der Temperaturdifferenz nach unten hin bedingen, da die Zerklüftung des Kalkgebirges — wie früher erörtert wurde — eine nach unten hin zunehmende Depression der mittleren Quellentemperatur zur Folge haben muß.

Durch die Verschiedenheit der Reliefverhältnisse der Kalk- und Schieferberge muß aber die Annäherung der Quellentemperatur der Nordalpen an die der Zentralalpen in den

höheren Regionen verlangsamt werden. Oberhalb 1700 *m* sind in den Ketten nordwärts des Inn (Solsteinkette, Gleirschekette und Karwändelkette) zum großen Teile schroffe Felsabstürze und steile Schutthalden vorhanden, wogegen man in den Gebirgen zu beiden Seiten des Wipptales vielerorts noch sanfte, mit Alpenwiesen bedeckte Gehänge antrifft. Die Temperaturabnahme muß sich deshalb in der unteren alpinen Zone der Nordalpen rascher vollziehen, als sie bei einem den Zentralalpen analogen Relief stattfinden würde. In zweiter Linie muß die geringere Höhe der Nordalpen eine Verzögerung der Annäherung ihrer Bodentemperatur an die der Zentralalpen bewirken. Über das Niveau von 2000 *m* erheben sich in der Solsteinkette und im Gebirge beiderseits des Achensees nur mehr die Gipfelkämme, wogegen in den Stubai- und Tuxeralpen über dieses Niveau noch größere Gebirgsteile aufragen. Es wird demnach oberhalb dieses Niveaus die Bodentemperatur in den Nordalpen niedriger sein als sie es bei gleicher Höhe beider Alpentteile dort wäre. Diese Umstände müssen es bedingen, daß die Bodentemperaturdifferenz zwischen den Tiroler Nord- und Zentralalpen nur bis gegen die untere alpine Zone abnimmt, dann annähernd gleich bleibt und eventuell in den obersten Regionen eine neuerliche Vergrößerung erfährt. Nun bringt es aber die dem Südfuße der Solsteinkette vorgelagerte Diluvialterrasse mit sich, daß dort die Depression der Quelltemperatur in der untersten Gehängezone zum großen Teile kompensiert wird und daß sich (bei dem Überwiegen von Quellenmessungen im Gebiete der Solsteinkette) für den Gebirgsfuß im Expositionsmittel¹ für die Nordalpen fast dieselbe Temperatur wie für die Zentralalpen ergibt. Dies bedingt dann abereine allmähliche Zunahme der Temperaturdifferenz zwischen den nord- und zentralalpinen Quellen vom Fuße des Gebirges bis gegen die untere alpine Region hinan.

Durch die in der vorstehenden Tabelle enthaltenen Differenzwerte können die von der Seehöhe abhängigen Veränderungen

¹ Die Quelltemperatur am Fuß des nördlichen Talgehanges des Inntales ist natürlich höher als die am Fuß des südlichen Gehanges wegen der entgegengesetzten Exposition.

der Quellentemperaturdifferenz zwischen den Nord- und Zentralalpen natürlich nur unvollkommen zur Darstellung gelangen, da ja — wie früher erörtert wurde — die Temperaturkurve der Kalkalpen selbst nicht als ein getreuer Ausdruck für die tatsächlichen Verhältnisse betrachtet werden darf.

Als mittlere Geschwindigkeit der Abnahme der Quellentemperatur ergibt sich für die Nordalpen 0.55 pro $100\ m$ gegen 0.44° in den Zentralalpen, somit ein Unterschied von zirka 0.1° .

Nachstehende Tabelle bietet einen Vergleich der mittleren Höhenlagen der Chthonisothermen von 9 bis 2° in den Alpenketten nord- und südwärts des mittleren Inn:

Isotherme	Nordalpen	Zentralalpen	Differenz
9	670	707	37
8	824	934	110
7	985	1161	176
6	1156	1388	232
5	1337	1616	279
4	1532	1843	311
3	1744	2070	326
2	1977	2298	321

Dem eben erörterten Verhalten der Temperaturdifferenz zwischen den Nord- und Zentralalpen entsprechend, wächst der Höhenunterschied der Chthonisothermen in der subalpinen Zone allmählich bis auf $300\ m$ an und verharret dann in der alpinen Region ungefähr bei diesem Werte.

Als mittlere Zonentemperaturen erhält man:

Höhenzone	Nordalpen	Zentralalpen	Differenz
500 bis 1000	8.49	8.81	0.32
1000 » 1500	5.49	6.61	1.12
1500 » 2000	2.99	4.41	1.42

und als mittlere Temperatur in dem ganzen Höhenintervall zwischen 500 und 2000 *m*:

Nordalpen	Zentralalpen	Differenz
5·66	6·61	0·95

In der Gesamttemperatur des Gebirges kommt demnach die geringere Höhe, größere Steilheit und starke Zerklüftung der Kalkalpen durch eine Depression um 1° gegenüber den benachbarten Zentralalpen zum Ausdruck. In dem geographischen Breitenunterschiede beider Gebirgsteile kann bei dem geringen Betrage desselben die Temperaturdifferenz nur zum allerkleinsten Teile begründet sein.

Zum Schlusse sollen noch die für die Bodentemperatur berechneten Mittelwerte mit den Jahresmitteln der Luftwärme verglichen werden. Da den für die Zentralalpen erhaltenen Temperaturen wegen der viel günstigeren vertikalen Verteilung der gemessenen Quellen größeres Gewicht beizumessen ist als den für die Nordalpen gewonnenen, empfiehlt es sich, den Vergleich bei den ersteren anzustellen. Zur Bestimmung der Luftwärme stand zunächst die wertvolle Tabelle X in Hann's Abhandlung über die Temperaturverhältnisse der österreichischen Alpenländer, III. Teil,¹ zu Gebote, in welcher für Nordtirol die ideelle mittlere Jahrestemperatur im Meeresniveau zu 10·86° und die Temperaturabnahme pro 100 *m* im Jahresmittel zu 0·527° angegeben ist. Außerdem kam Tabelle VIII des dritten Teiles der erwähnten Abhandlung in Betracht, in welcher die Temperaturabnahme mit der Höhe aus einer Reihe von ostalpinen Stationspaaren abgeleitet ist und jene zwischen Innsbruck und Brenner zu 0·593 notiert erscheint.

Der Vergleich auf Grund des ersteren Abnahmewertes war insoferne vorzuziehen, als sich dieser auf eine Anzahl von Stationen stützt, von denen einige schon in der alpinen Region liegen (Haller Salzberg, Wendelstein, Vent, Schneeberg). Der Vergleich auf Grund der Temperaturabnahme auf der Linie Innsbruck—Brenner schien insoferne verlockend, als die große Mehrzahl der Quellen, aus welchen die Abnahme der Boden-

¹ Diese Sitzber., Bd. XCII, Abt. II.

temperatur in den Zentralalpen abgeleitet wurde, sich in unmittelbarer Nähe jener Linie befindet. Die Luftwärmeabnahme längs dieser Linie ergibt sich jedoch als zu rasch, da die Temperatur von Innsbruck (8·0 im dreißigjährigen, 7·9 im fünfzigjährigen Mittel) teils als Stadttemperatur, teils als die der Basisstation einer Hauptzugstraße des Föhns zu hoch ist. Der Faktor 0·593 eignet sich daher weniger als der Wert 0·527 zur Bestimmung der Jahresmittel der Luftwärme in den verschiedenen Höhenzonen. In der folgenden Tabelle bedeutet t die nach der Formel

$$t = 10\cdot86 - 0\cdot53h,$$

t' die nach der Formel

$$t' = 7\cdot90 - 0\cdot59(h-6)$$

bestimmte Lufttemperatur (Seehöhe der Station Innsbruck = 600 *m*) und t_b die Quellen-, beziehungsweise Bodenwärme. Die Werte von t' wurden nur bis zu 2000 *m* gerechnet, da die zweite Gleichung als Extrapolationsformel für noch größere Höhen kaum zulässig ist.

Seehöhe	t_b	t	$t_b - t$	t'	$t_b - t'$
500	9·91	8·21	1·70	8·49	1·42
600	9·47	7·68	1·79	7·90	1·57
700	9·03	7·15	1·88	7·31	1·72
800	8·59	6·62	1·97	6·72	1·87
900	8·15	6·09	2·06	6·13	2·02
1000	7·71	5·56	2·15	5·54	2·17
1100	7·27	5·03	2·24	4·95	2·32
1200	6·83	4·50	2·33	4·36	2·47
1300	6·39	3·97	2·42	3·77	2·62
1400	5·95	3·44	2·51	3·18	2·77
1500	5·51	2·91	2·60	2·59	2·92
1600	5·07	2·38	2·69	2·00	3·07
1700	4·63	1·85	2·78	1·41	3·22
1800	4·19	1·32	2·87	0·82	3·37
1900	3·75	0·79	2·96	0·23	3·52
2000	3·31	0·26	3·05	-0·36	3·67
2100	2·87	-0·27	3·14	—	—
2200	2·43	-0·80	3·23	—	—
2300	1·99	-1·33	3·32	—	—
2400	1·55	-1·86	3·41	—	—
2500	1·11	-2·39	3·50	—	—

Die auf Grund vorläufiger Berechnungen von meinem Vater für die Tiroler Zentralalpen ermittelten Werte der Differenz zwischen Boden- und Lufttemperatur waren:¹

1000 m	1300 m	1600 m	1900 m	2200 m
1·5	1·7	2·4	3·0	3·6

Auf Grund der mit Berücksichtigung des gesamten Beobachtungsmateriales ausgeführten Rechnung ergibt sich somit der bergaufwärts zunehmende Überschuß der Boden- über die Lufttemperatur als noch etwas größer als nach der provisorischen Bestimmung.

¹ A. v. Kerner, Pflanzenleben, I. Bd., Kap. 23.