



Wilhelm von Bezold

Über klimatologische Mittelwerthe für ganze Breitenkreise

In:

Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. – Berlin: Verlag der Königlich Akademie der Wissenschaften (in Commission bei Georg Reimer)

Jahrgang 1901 : Zweiter Halbband (Juli bis December)

S. 1330-1343

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-41348](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-41348)



Über klimatologische Mittelwerthe für ganze Breitenkreise.

VON WILHELM VON BEZOLD.

(Vorgetragen am 12. Juli 1900 [s. Jahrg. 1900 S. 743].)

In einer früher erschienenen Abhandlung¹ habe ich darauf hingewiesen, dass es nicht zweckmässig ist, bei der tabellarischen oder graphischen Zusammenstellung von Mittelwerthen für ganze Parallelkreise die geographische Breite selbst als Argument bez. als Abscisse zu wählen. Man erhält nämlich bei dieser bisher ausschliesslich benutzten Darstellungsweise ein Bild, in welchem die polaren Gegenden unverhältnissmässig bevorzugt sind.

Die Zonen, welche zwischen je zwei um den gleichen Winkelwerth von einander abstehenden Breitenkreisen liegen, entsprechen bekanntlich ganz verschiedenen Flächenstücken, je nachdem es sich um hohe oder niedrige Breiten handelt.

In einer nach gleichen Winkeldifferenzen fortschreitenden Tabelle nehmen die auf das Stück zwischen Aequator und dem 30. Breitenkreis bezüglichen Zahlen nur halb so viel Raum ein, wie die zu höheren Breiten gehörigen, während doch der zwischen dem 30. Grade und dem Pole gelegene Theil der Erdoberfläche nicht grösser ist, als die von dem Aequator bis zu jenem Parallelkreis reichende Zone.

Eine nach Stufen von 10° angeordnete Tabelle räumt der Zone von 0° bis 10° nur ebensoviel Platz ein, wie der Polarkappe von 80° bis 90°, während doch die erstere eine mehr als 11 Mal so grosse Oberfläche besitzt.

In entsprechender Weise liefert auch eine graphische Darstellung, bei welcher man die geographischen Breiten als Abscissen wählt, ein gänzlich verzerrtes Bild, aus dem man erst nach tieferer Überlegung richtige Vorstellungen gewinnen kann. Ganz anders gestaltet sich die Sache, wenn man den Sinus der geographischen Breite als Argument oder als Abscisse einführt.

¹ Diese Berichte für 1900 S. 356—372.

Thut man dies, dann entsprechen gleichen Stufen der Tabelle, d. h. gleichen Differenzen des Arguments oder gleichen Längen auf der Abscissenaxe, auch gleich grosse Zonen, und die einzelnen Werthe bez. die Ordinaten erscheinen alsdann, abgesehen von der ihnen sonst anhaftenden Unsicherheit, mit dem Gewicht, das ihnen naturgemäss zukommt.

»Alsdann kann man aber auch aus den Angaben der Tabelle bez. »aus den Ordinaten durch einfache mechanische Quadratur sofort richtige Mittelwerthe ableiten.«

Auf diese Eigenthümlichkeiten der bisher gebräuchlichen und der hier empfohlenen Darstellungsweise habe ich, abgesehen von dem zuletzt hervorgehobenen Punkt, schon a. a. O. hingewiesen.

Hier soll nun der Gedanke weiter verfolgt, auf verschiedene meteorologische Elemente angewendet und gezeigt werden, in wie einfacher Weise sich der Zusammenhang zwischen den betreffenden Mittelwerthen übersehen lässt, und welche eigenartigen Betrachtungen sich dabei nahezu von selbst aufdrängen.

Dies vorausgeschickt, lasse ich nun die Mittelwerthe von Sonnenstrahlung, Lufttemperatur, Luftdruck, Bewölkung und Niederschlag für das Jahr, zuerst in tabellarischer Form und dann in graphischer Darstellung, nach Sinussen der geographischen Breite geordnet, folgen.

Als Grundlagen benutze ich die in gewöhnlicher Weise angegebenen Mittelwerthe, und zwar für die Sonnenstrahlung die von MEECH¹ berechneten, für Lufttemperatur jene von SPITALER und BATCHELDER², für Luftdruck die Zahlen von W. FERREL, für die Niederschlagsmengen jene von JOHN MURRAY und endlich für Bewölkung die von SVANTE ARRHENIUS aus der Karte von TEISSERENC DE BORT abgeleiteten, die man sämmtlich in HANN's Klimatologie abgedruckt findet.³

Aus diesen Zahlen wurden alsdann durch eine sehr sorgfältige graphische Interpolation die Werthe abgeleitet, wie sie den Sinussen 0.05, 0.10 u. s. w. bis 0.95 entsprechen.

Man findet die so erhaltenen Werthe in Tabelle I zusammengestellt und in Fig. 1 durch Curven versinnlicht. Fig. 2 hingegen zeigt Curven, deren Ordinaten die arithmetischen Mittel der auf gleiche Nord- und Südbreite bezüglichen Werthe sind. Zur Vermeidung von Missverständnissen nenne ich die letzteren »holosphärische« Mittel, während ich die wahren nur zu einem bestimmten Parallelkreis gehörigen als »hemisphärische« bezeichnen will, ein Punkt, auf den ich später zurückkommen werde.

¹ HANN, Klimatologie 2. Aufl. Bd. I S. 103.

² Ebenda S. 200.

³ Ebenda S. 217.

I. Haupttabelle der Mittelwerthe für die einzelnen Breitenkreise.¹

Geogr. Breite		Sonnenstrahlung		Temperatur (C°)				Luftdruck		Niederschlag		Bewölkung	
sin ϕ	ϕ	D	ΔD	SPITALER		BATCHELDER		mm		cm		Procent	
				t	Δt	t	Δt	b	Δb	p	Δp	n	Δn
1.00	90° N	151.6		-20.0	8.7	-20.0	8.5	—	—	—	—	—	—
0.95	71 48'	169.2	17.6	-11.3	6.7	-11.5	6.6	758.7	-0.3	35	—	—	—
0.90	64 9	189.8	20.6	-4.6	5.0	-4.9	5.1	58.4	+0.4	40	+5	60	—
0.85	58 13	215.3	25.5	0.4	3.1	0.2	3.2	58.8	+1.1	50	+10	61	+1
0.80	53 8	237.0	21.7	3.5	3.1	3.4	3.2	59.9	+1.0	58	+8	60	-1
0.75	48 35	255.6	18.6	6.8	3.3	7.2	3.8	60.9	+1.0	58	0	57	-3
0.70	44 26	272.2	16.6	10.6	3.8	10.6	3.4	61.6	+0.7	55	-3	53	-4
0.65	40 38	286.7	14.5	13.7	3.1	13.5	2.9	62.0	+0.4	53	-2	50	-3
0.60	36 52	299.4	12.7	16.1	2.4	16.0	2.5	62.0	0.0	53	0	47	-3
0.55	33 22	311.0	11.6	18.3	2.2	18.2	2.2	61.9	-0.1	55	+2	44	-2
0.50	30 0	321.0	10.0	20.3	2.0	20.2	2.0	61.7	-0.2	60	+5	42	-2
0.45	26 45	330.1	9.1	22.2	1.9	21.9	1.7	61.1	-0.6	64	+4	39	-3
0.40	23 34	337.6	7.5	23.9	1.7	23.4	1.5	60.3	-0.8	69	+5	38	-1
0.35	20 30	344.3	6.7	25.4	1.5	24.7	1.3	59.3	-1.0	80	+11	39	+1
0.30	17 28	349.8	5.5	26.0	0.6	25.8	0.6	58.7	-0.6	109	+29	42	+3
0.25	14 29	354.8	5.0	26.2	0.2	26.5	0.7	58.1	-0.6	159	+50	45	+3
0.20	11 32	358.6	3.8	26.4	0.2	27.0	0.5	57.9	-0.2	185	+26	48	+3
0.15	8 38	361.9	3.3	26.4	0.0	27.0	0.1	57.9	0.0	195	+10	52	+4
0.10	5 44	363.6	1.7	26.3	-0.1	27.0	-0.1	57.9	0.0	196	+1	54	+2
0.05	2 52	364.8	1.2	26.1	-0.2	26.8	-0.2	58.0	+0.1	196	0	57	+3
0.00	0° 0'	365.24	0.44	25.9	-0.2	26.6	-0.2	58.0	0.0	195	-1	58	+1
-0.05	-2 52	364.8	-1.2	25.7	-0.2	26.4	-0.2	58.3	+0.3	191	-4	60	+2
-0.10	-5 44	363.6	-1.2	25.4	-0.3	26.2	-0.2	58.5	+0.2	186	-5	60	0
-0.15	-8 38	361.9	-1.7	25.2	-0.2	25.9	-0.3	58.8	+0.3	178	-8	58	-2
-0.20	-11 32	358.6	-3.3	24.8	-0.4	25.5	-0.4	59.5	+0.7	162	-16	56	-2
-0.25	-14 29	354.8	-3.8	24.2	-0.6	24.9	-0.6	60.2	+0.7	130	-32	53	-3
-0.30	-17 28	349.8	-5.0	23.4	-0.8	24.2	-0.7	60.2	+0.8	97	-33	53	-2
-0.35	-20 30	344.3	-5.5	22.7	-0.7	23.2	-1.0	61.0	+0.8	71	-26	51	-3
-0.40	-23 34	337.6	-6.7	22.7	-1.2	23.2	-1.4	61.8	+0.8	71	+6	48	-2
-0.45	-26 45	330.1	-7.5	21.5	-1.2	21.8	-1.6	62.6	+0.8	65	0	46	-1
-0.50	-30 0	321.0	-9.1	20.3	-1.8	20.2	-1.9	63.2	+0.6	65	+1	45	+1
-0.55	-33 22	311.0	-10.0	18.5	-2.3	18.3	-2.0	63.5	+0.3	66	+6	46	+3
-0.60	-36 52	299.4	-11.6	16.2	-2.3	16.3	-2.0	63.0	-0.5	72	+6	49	+3
-0.65	-40 38	286.7	-12.7	13.9	-2.3	14.2	-2.1	61.7	-1.3	83	+11	53	+4
-0.70	-44 26	272.2	-14.5	11.5	-2.4	11.8	-2.4	59.9	-1.8	97	+14	57	+4
-0.75	-48 35	255.6	-16.6	9.2	-2.3	9.2	-2.6	57.2	-2.7	110	+13	61	+4
-0.80	-53 8	237.0	-18.6	6.7	-2.5	6.3	-2.9	54.0	-3.2	116	+6	65	+4
-0.85	-58 13	215.3	-21.7	4.2	-2.5	3.2	-3.1	50.0	-4.0	113	-3	69	+4
-0.90	-64 9	189.8	-25.5	1.2	-3.0	-0.1	-3.3	44.5	-5.5	105	-8	74	+5
-0.95	-71 48	169.2	-20.6	—	—	—	—	40.3	-4.2	95	-10	—	—
-1.00	-90° S	151.6	-17.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Dabei wurden die auf die einzelnen Elemente bezüglichen Zahlen bez. Curven bei den beiden Arten der Darstellung so angeordnet, dass

¹ Die hier unter D und t aufgeführten Zahlen weichen vielfach von den in der oben citirten älteren Abhandlung auf S. 370 mitgetheilten etwas ab. Der Grund liegt darin, dass diesmal die Interpolationen viel sorgfältiger vorgenommen wurden, als damals, wo es sich nur um ein angenähertes Bild handelte.

die Beziehungen im Gange derselben möglichst klar hervortreten. Um dies auch in der Tabelle leicht erkenntlich zu machen, sind die wichtigeren Extremwerthe durch den Druck hervorgehoben.

Auch sind in der Figur die ihrer Natur nach stets positiven Ordinaten bei den drei erstgenannten Elementen nach oben, bei den beiden zuletzt genannten nach unten aufgetragen. Endlich ist der

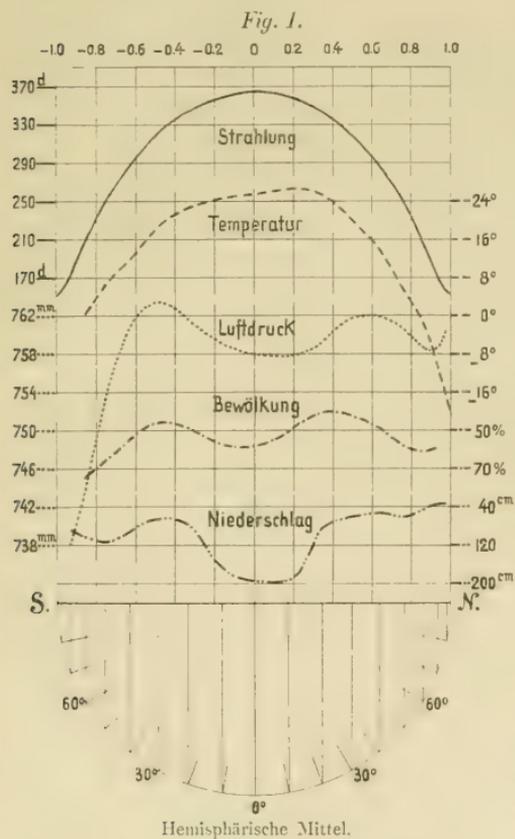
Maassstab der Ordinaten so gewählt, dass die Verwandtschaft zwischen den benachbarten Curven sofort in die Augen springt.

Eine weitere Erläuterung der Tabelle ist kaum nöthig; höchstens könnte bemerkt werden, dass D die Strahlensumme des mittleren Aequatorialtags, b den Barometerstand in Millimetern, t die Lufttemperatur, n die Bewölkung in Procenten und p die Niederschlagshöhe bezeichnet.

Als Abseissen sind, wie bereits in der Einleitung bemerkt wurde, die Sinusse der geographischen Breiten benutzt. Der unten aufgetragene Halbkreis kann als die Hälfte einer orthogonalen Projection der verkleinerten Erde betrachtet werden, deren Axe SN horizontal liegend gedacht ist, und auf welcher Parallelkreise von 10 zu 10 Grad gezogen sind.

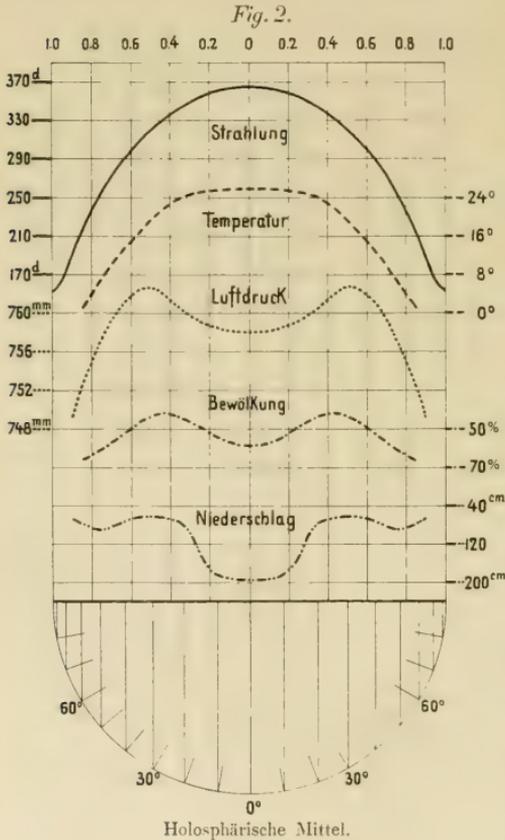
Es genügt deshalb, irgend eine Ordinate bis zu der Peripherie dieses Halbkreises zu verlängern, um sofort die zugehörige Breite aus der Figur zu ersehen. Zugleich erläutert diese Darstellung auch die Art und Weise, wie die Interpolation vorgenommen wurde.

Die seitlich beigefügten Zahlen geben die Ordinatenwerthe für die einzelnen Curven. Ihre Bedeutung ist durch die beigetzten



Buchstaben bez. durch das auf die Temperatur bezügliche Gradzeichen leicht zu verstehen, so dass der Zusammenhang zwischen diesen Zahlen und den dazu gehörigen Curven sofort in die Augen springt.

Überdies sind auch die über das Coordinatennetz hinausragenden nach den Ziffern hinführenden Stücke des Netzes, wenn auch schwächer, so doch in der gleichen Weise gezeichnet wie die betreffenden Curven.



Betrachtet man nun diese Curven, so gewinnt man vor allem den sehr beruhigenden Eindruck, dass unsere Kenntniss von der Vertheilung der wichtigsten meteorologischen Elemente doch eine weit vollständigere ist, als man nach den gewöhnlichen Zusammenstellungen schlechtweg vermuthen möchte.

Der Theil der Polar-gegenden, für welchen man nur durch kühne Extrapolationen die Mittelwerthe für ganze Parallelkreise bilden könnte, beträgt bei Temperatur und Luftdruck kaum 0.1 der ganzen Erdoberfläche, und auch für Bewölkung und Niederschläge dürfte das Bild wenigstens nach den Hauptzügen nahezu in dem gleichen Umfang zutreffend sein.

Ferner aber ersieht man, und das ist die Hauptsache, sowohl aus der Tabelle als aus der graphischen Darstellung vorzüglich, wie die Vertheilung der wichtigsten meteorologischen Elemente, die selbstverständlich in erster Linie durch die Sonnenstrahlung bedingt ist, durch jene des Luftdrucks modificirt wird.

Die Curve der Mitteltemperaturen besitzt bei richtig gewähltem Maassstab für die Ordinaten die grösste Ähnlichkeit mit jener der theoretisch gewonnenen Strahlungssummen.

Aber während die letztere der Natur der Sache nach vom Aequator nach beiden Seiten hin genau symmetrisch verläuft, mit einem Maximum am Aequator, so ist das Maximum bei der Temperatureurve nach der nördlichen Hemisphäre verschoben. Zugleich ist auf der südlichen Halbkugel ein zweites symmetrisch gelegenes, freilich viel schwächeres Maximum durch die Änderung des Abfalles, d. h. in den Differentialquotienten, angedeutet.

Diese Eigenthümlichkeit im Verlaufe der Mitteltemperaturen für ganze Breitenkreise tritt noch viel auffällender hervor, wenn man den Einfluss der ungleichen Vertheilung von Wasser und Festland auf beiden Hemisphären dadurch annäherungsweise zu eliminiren sucht, dass man die beiden Werthe, wie sie gleicher nördlicher und südlicher Breite entsprechen, zu einem arithmetischen Mittel vereinigt.

Man erhält durch dieses Verfahren, von dem Hr. E. SELLA¹ auf meinen Rath schon einmal Gebrauch gemacht hat, Mittelwerthe, welche man, wie schon bemerkt, im Gegensatz zu den gewöhnlichen nur für die Breitenkreise einer Hemisphäre gültigen »hemisphärischen« als »holosphärische« bezeichnen kann.

Thut man dies, und wendet man das gleiche Verfahren auch auf die übrigen Elemente an, so bekommt man die in Fig. 2 dargestellten Curven. In dieser Figur zeigt es sich noch weit deutlicher, wie das eine Maximum der Strahlungscurve bei der Temperatur wenigstens andeutungsweise in zwei getrennte zerfällt. Diese Trennung würde noch schlagender hervortreten, wenn man die Temperatureurve durch Über-einanderlagerung zweier Systeme entstanden dächte, von denen das eine, in seinem Verlaufe einfachere, nur ein einziges Maximum am Aequator besässe. Das zweite darüber gelagerte System würde alsdann zwei deutlich getrennte Maxima zeigen.

Geht man dann in Fig. 1 zu der nächsten Curve, zu der des Luftdrucks, über, so sieht man die beiden bekannten Maxima, auf die zuerst W. FERREL hingewiesen hat. Der Unterschied zwischen dieser Art der Darstellung und der gewöhnlichen, wie man sie z. B. in dem Lehrbuch von SPRUNG findet, besteht nur darin, dass die Maxima weiter auseinander gerückt, und dass die Gebiete niedrigen Druckes auf engere Räume zusammengedrängt erscheinen als dort.

Übrigens hat gerade bei der Untersuchung der mittleren Luftdruckvertheilung auch die gewöhnliche Art der Anordnung der Tabellen sowie der graphischen Darstellung ihren eigenen, nicht zu unterschätzen den Werth, indem beim Luftdruck die Differenzen für gleichen Breitenzuwachs einfach den polwärts wirkenden Gradienten proportional sind.

¹ Meteor. Ztschft. 1896. S. 161—166.

In entsprechender Weise giebt auch die Neigung der Curven gegen die Abscissenaxe bei dieser Art der Darstellung ebenfalls unmittelbar ein Bild von der Grösse des Gradienten.

Bei dem Diagramm (Fig. 1) treten nun, wie bereits bemerkt, die beiden Maxima des Luftdrucks weiter auseinander, als bei der älteren Methode, d. h. man sieht, dass die Zone zwischen den beiden Kreisen höchsten Luftdruckes mehr als die Hälfte der ganzen Erdoberfläche bedeckt, während die in der Temperatureurve angedeuteten Maxima nur etwa drei Zehntel dieser Fläche einfassen.

Rückt man alsdann in der Betrachtung der Figur noch etwas weiter herab, so erblickt man die Curven der mittleren Bewölkung und der Niederschläge.

Da diese beiden Elemente mit steigendem Druck abnehmen, so sind, wie schon erwähnt, der Vergleichbarkeit wegen bei den betreffenden Curven die Ordinaten nach abwärts aufgetragen.

Diese Art der Zusammenstellung der verschiedenen Elemente enthüllt den zwischen ihnen bestehenden Zusammenhang in wahrhaft überraschender Weise, und beleuchtet so recht klar die hohe Bedeutung der FERREL'schen Luftdruckzonen.

Ja, ich möchte sogar soweit gehen, die hier angestellten Betrachtungen bei Vorträgen über Klimatologie geradezu als Ausgangspunkt zu empfehlen, und von dem sogenannten »solaren Klima« durch ein Schema, das die Mittelwerthe ganzer Breitenkreise ins Auge fasst, allmählich zu den wirklichen Verhältnissen überzugehen.

Indem man dabei, wie es hier geschah, immer den Sinus der Breite als Argument wählt, gelangt man zugleich zu richtigen Vorstellungen von dem Gewichte, das man den einzelnen Werthen für den Haushalt der Natur beizulegen hat, natürlich abgesehen von der Unsicherheit, die ihrer erfahrungsmässigen Bestimmung zur Zeit noch anhaftet, und die sich erst allmählich verringern wird.

Bevor ich nun weitergehe, und einige auf die Temperatureurve bezügliche Schlüsse ziehe, lasse ich am Schluss dieses Absatzes noch die Tabelle folgen, nach der Fig. 2 entworfen ist, wobei ich nur noch hinzufüge, dass durch S. und B. die nach SPITALER und nach BATCHELDER interpolirten Zahlen gekennzeichnet sind.

Überblickt man diese Zahlen, so ist man überrascht, dass sogar die auf ziemlich schwankender Grundlage ruhenden Mittel für Niederschlag und Bewölkung bei Zusammenfassung zu holosphärischen Mitteln einen auffallend regelmässigen Verlauf zeigen.

II. Holosphärische Mittelwerthe.

sin. ϕ	Strahlung	Luftdruck	Temperatur		Niederschlag	Bewölkung
			S.	B.		
0.9	189.8	749.3	—	—	67	—
0.85	215.5	52.6	0.8	0.1	77	67
0.8	237.0	54.9	3.8	3.3	85	63
0.75	255.6	57.4	6.7	6.7	87	61
0.7	272.2	759.4	9.9	9.9	82	57
0.65	286.7	60.9	12.6	12.6	75	53
0.6	299.4	61.8	15.0	15.1	68	50
0.55	311.0	62.4	17.2	17.7	63	46
0.5	321.0	62.6	19.4	19.5	65	44
0.45	330.1	62.1	21.4	21.0	64	42
0.4	337.6	61.4	22.7	22.6	67	42
0.35	344.3	60.5	24.0	23.9	75	44
0.3	349.8	59.8	24.7	25.0	98	46
0.25	354.8	59.2	25.2	25.8	144	49
0.2	358.6	58.9	25.6	26.2	173	52
0.15	361.9	58.4	25.7	26.5	186	55
0.1	363.6	58.2	25.9	26.6	191	57
0.05	364.8	58.1	25.9	26.6	193	58
0.0	365.2	58.0	25.9	26.6	195	58

Nach diesen allgemeinen Erörterungen, die sich nur auf die Darstellung im Allgemeinen, sowie auf Mittelwerthe für das ganze Jahr bezogen, sollen nun aus der gewonnenen Figur noch weitere Schlüsse gezogen werden.

Hier fällt nun, wie bereits betont, vor allem die grosse Ähnlichkeit auf, die bei dem hier gewählten Maassstabe zwischen den Curven der Strahlungssummen und der Temperatur besteht, und die sofort darauf hinweist, dass sich beiderlei Grössen wenigstens auf eine bestimmte Erstreckung hin durch eine empirische Formel verbinden lassen müssen.

Thatsächlich kann man aus der Zahl der einem bestimmten Breitenkreis entsprechenden Thermaltage D die Mitteltemperatur t des gleichen Kreises mit überraschender Annäherung berechnen, und zwar nach der Formel:

$$t = \frac{D}{5.2} - 42.5.$$

Wie weit diese Annäherung geht, lehrt die nachstehende Tabelle, welche neben den nach der Formel berechneten Werthen von t unter S. noch die von SPITALER und unter B. die von BATCHELDER herrührenden und zu holosphärischen Mitteln vereinigten Zahlen enthält. Die neben-

stehenden Columnen geben alsdann die Unterschiede zwischen t und den zuletzt genannten Grössen.

Dabei benutze ich zunächst die gewöhnliche Darstellungsweise, bei welcher man nach gleichen Breitendifferenzen weiterschreitet, um den Vergleich zwischen den nach der Formel berechneten und den von den genannten Forschern gefundenen Werthen zu erleichtern; später sollen alsdann die nämlichen Tabellen für den Sinus als Argument mitgetheilt werden.

III. Vergleichung der aus den Beobachtungen holosphärisch abgeleiteten und der nach der Formel berechneten Werthe.

ϕ	t	S.	$t-S.$	B.	$t-B.$	S.-B.
0°	27.7	25.9	1.8	26.6	1.1	-0.7
10°	26.8	25.7	1.1	26.4	0.4	-0.7
20°	23.9	24.1	-0.2	24.1	-0.2	0.0
30°	19.2	19.4	-0.2	19.2	0.0	+0.2
40°	13.0	12.9	0.1	13.0	0.0	-0.1
50°	5.5	5.7	-0.2	5.5	0.0	+0.2
60°	-2.5	-0.3	-2.2	-1.1	-1.4	+0.8

Diese Tabelle zeigt vom 20. bis zum 50. Breitengrade, d. h. für 0.6 der ganzen Erdoberfläche, eine geradezu überraschende Übereinstimmung zwischen den nach der Formel berechneten und den von SPITALER und BATCHELDER auf Grund der Beobachtungen abgeleiteten und hier für beide Hemisphären zu Gesamtmitteln, d. h. zu holosphärischen Mitteln vereinigten Werthen. Der Fehler beträgt innerhalb der angegebenen Grenzen nirgends mehr als 0°2 C.

Nur in der Aequatorialzone und in höheren Breiten werden die Differenzen grösser, und zwar aus nachweisbaren Gründen, so dass gerade dadurch die empirische Formel erhöhtes Interesse gewinnt.

In der Aequatorialzone sind die berechneten Temperaturen höher als die beobachteten. Dies ist unzweifelhaft die Folge der hohen Bewölkung, die ja in niedrigen Breiten die Temperaturen herabdrückt, sowie des früher angedeuteten Einflusses¹ der zusammengesetzten Convection, wodurch Wärme aus dieser Zone auf die beiden sie einschliessenden Gürtel übertragen wird, so dass die Temperaturen in der eigentlichen Aequatorialzone tiefer, in den beiden benachbarten Zonen aber höher sein müssen, als man nach den Strahlungsverhältnissen vermuthen sollte.

Da die Bewölkung in höheren Breiten die Ausstrahlung hindert, so wird man es diesem Umstande zuschreiben haben, wenn die Temperaturen jenseits des 50. Grades höher sind, als man es nach der Formel erwarten sollte.

¹ Diese Berichte 1900 S. 371.

Übrigens zeigt die letzte Columne, welche die Unterschiede enthält zwischen den von SPITALER und von BATCHELDER für die gleichen Breiten gefundenen Werthen, dass diese Differenzen ungefähr von gleicher Grösse sind, wie die Abweichungen zwischen den nach der Formel berechneten und den von diesen Gelehrten aus den Beobachtungen abgeleiteten Zahlen, natürlich abgesehen von den oben beleuchteten systematischen Verschiedenheiten in der Aequatorialzone.

Die Formel giebt mithin die wirklich stattfindenden Verhältnisse mit geradezu überraschender Genauigkeit wieder.

Das Ergebniss lässt sich demnach zusammenfassen, wie folgt:

»Einer Änderung von 5.2 Thermaltagen beim Übergang von einem Parallelkreis zu einem anderen entspricht eine Änderung der Mitteltemperatur um 1° C.«

Vergleicht man die Ergebnisse der Formel nicht, wie es oben geschah, mit den Werthen von $t = \frac{1}{2}(t_{+\phi} + t_{-\phi})$, sondern unmittelbar mit den für die einzelnen Breitenkreise von SPITALER und von BATCHELDER angegebenen, so werden die Abweichungen zwischen Rechnung und Erfahrung natürlich etwas grösser, doch halten auch sie sich immer noch innerhalb mässiger Grenzen.

Dies ersieht man aus der nachstehenden Tabelle, die zugleich einen interessanten Überblick gestattet über das verschiedene Verhalten der beiden Hemisphären.

IV. Vergleichung der aus den Beobachtungen abgeleiteten mit den berechneten Werthen.

(Hemisphärisch.)

ϕ	t	S	$t-S$	B	$t-B$	S-B
90° N	-13.4	-20.0	6.6	-20.0	6.6	0.0
80	-12.4	-16.5	4.1	-16.9	4.5	+0.4
70	-9.2	-9.9	0.7	-10.2	1.0	+0.3
60	-2.5	-0.8	-1.7	-1.2	-1.3	+0.4
50	5.5	5.6	-0.1	5.8	-0.3	-0.2
40	13.0	14.0	-1.0	13.9	-0.9	+0.1
30	19.2	20.3	-1.1	20.2	-1.0	+0.1
20	23.9	25.6	-1.7	24.9	-1.0	+0.7
10	26.8	26.4	0.4	27.1	-0.3	-0.7
0	27.7	25.9	1.8	26.6	1.1	-0.7
-10	26.8	25.0	1.8	25.7	1.1	-0.7
-20	23.9	22.7	1.2	23.3	0.6	-0.6
-30	19.2	18.5	0.7	18.3	0.9	+0.2
-40	13.0	11.8	1.2	12.2	0.8	-0.4
-50	5.5	5.9	-0.4	5.3	0.2	+0.6
-60° S	-2.5	0.2	-2.7	-1.1	-1.4	+1.3

Führt man nun den Sinus als Argument ein, so erhält man die nachstehenden Tabellen:

V. Vergleichung der aus den Beobachtungen abgeleiteten mit den berechneten Werthen.

(Holosphärisch.)

$\sin \phi$	t	S.	$t-S.$	B.	$t-B.$	S.-B.
0.0	27.7	25.9	1.8	26.6	1.1	-0.7
0.1	27.4	25.85	1.55	26.6	0.8	-0.7
0.2	26.5	25.6	0.9	26.2	0.3	-0.6
0.3	24.8	24.7	0.1	25.0	-0.2	-0.3
0.4	22.4	22.7	-0.3	22.6	-0.2	0.1
0.5	19.2	19.4	-0.2	19.5	-0.3	-0.1
0.6	15.1	15.0	0.1	15.1	0.0	-0.1
0.7	9.8	9.9	-0.1	9.9	-0.1	0.0
0.8	3.1	3.8	-0.7	3.3	-0.2	0.5
0.9	-6.0	—	—	—	—	—
1.0	-13.4	—	—	—	—	—

Vergleicht man die Zahlen dieser Tabelle mit den oben gegebenen, so bieten die Abweichungen zwischen den aus den Beobachtungen abgeleiteten und den nach der Formel berechneten Werthen das ähnliche Bild. Nur treten die positiven Differenzen in den niedrigen Breiten stärker hervor, wie es der Oberfläche entspricht, welche die äquatorialen Gegenden einnehmen, die eben nur bei dieser Art der Zusammenstellung mit ihrem wahren Gewichte zur Geltung kommen.

Ähnlich verhält es sich mit der nachstehenden Tabelle, die nun auch die Verschiedenheiten der Temperaturen beider Hemisphären in einer dem wahren Gewichte der einzelnen Zonen entsprechenden Weise erkennen lässt.

VI. Vergleichung der aus den Beobachtungen abgeleiteten mit den berechneten Werthen.

(Hemisphärisch.)

$\sin \phi$	t	S.	$t-S.$	B.	$t-B.$	S.-B.
1.0	-13.4	-20.0	6.6	-20.0	6.6	0.0
0.9	-6.0	-4.6	-1.4	-4.9	-1.1	-0.3
0.8	3.1	3.5	-0.4	3.4	-0.3	0.1
0.7	9.8	10.6	-0.8	10.6	-0.8	0.0
0.6	15.1	16.1	-1.0	16.0	-0.9	0.1
0.5	19.2	20.3	-1.1	20.2	-1.0	0.1
0.4	22.4	23.9	-0.9	23.4	-1.0	0.5
0.3	24.8	26.0	-1.2	25.8	-1.0	0.2
0.2	26.5	26.4	0.1	27.0	-0.5	-0.6
0.1	27.4	26.3	1.1	27.0	0.4	-0.7
0.0	27.7	25.9	1.8	26.6	1.1	-0.7
-0.1	27.4	25.4	2.0	26.2	1.2	-0.8
-0.2	26.5	24.8	1.7	25.5	1.0	-0.7
-0.3	24.8	23.4	1.4	24.2	0.6	-0.8
-0.4	22.4	21.5	0.9	21.8	0.6	-0.3
-0.5	19.2	18.7	0.5	18.3	0.9	0.2
-0.6	15.1	13.9	1.2	14.2	0.9	-0.3
-0.7	9.8	9.2	0.6	9.2	0.6	0.0
-0.8	3.1	4.2	-1.1	3.2	-0.1	-1.0

Die beiden letzten Tabellen zeigen in ganz vorzüglicher Weise die systematischen Abweichungen von der Formel, wie sie durch die ungleichartige Vertheilung von Wasser und Festland auf den beiden Halbkugeln bedingt sind.

Auch die letzten Columnen sind bemerkenswerth, da sie erkennen lassen, dass auch zwischen den von SPITALER und von BATCHELDER ermittelten Werthen Unterschiede bestehen, die sich in der Grössenordnung vollkommen an jene anschliessen, die bei den holosphärischen Mitteln zwischen Rechnung und Beobachtung bestehen. Man ersieht daraus, in wie hohem Grade die Formel zur Darstellung der mittleren Temperaturvertheilung geeignet ist.

Ferner lehren diese Schlusscolumnen, dass die Abweichungen zwischen den von den beiden Forschern gefundenen Zahlen ebenfalls ziemlich regelmässig verlaufen. Die von BATCHELDER herrührenden Zahlen sind auf der nördlichen Hemisphäre etwa vom 53. bis zum 17. Grad beinahe durchgehends kleiner, in der eigentlichen Aequatorialzone aber und auf der Südhalbkugel fast alle grösser, als die von SPITALER gegebenen.

Ganz besonders deutlich erkennt man den Werth der hier angewendeten Darstellungsweise, wenn man sie nicht nur auf die Jahresdurchschnitte, sondern auf bestimmte enger begrenzte Zeiträume anwendet.

So gewähren z. B. die von WIENER¹ herrührenden, später in die Lehrbücher übergegangenen Curven² über die Vertheilung der Sonnenstrahlung am 20. März, 12. April, 5. Mai und 21. Juni nach der entsprechenden Umzeichnung ein wesentlich anderes Bild, wie Fig. 3 zeigt.

Der Maassstab der Ordinaten ist hierbei ebenso wie bei HANN so gewählt, dass die Strahlensumme, die ein Punkt des Aequators am 20. März erhält, d. h. der sogenannte Thermaltag, als Einheit gilt.

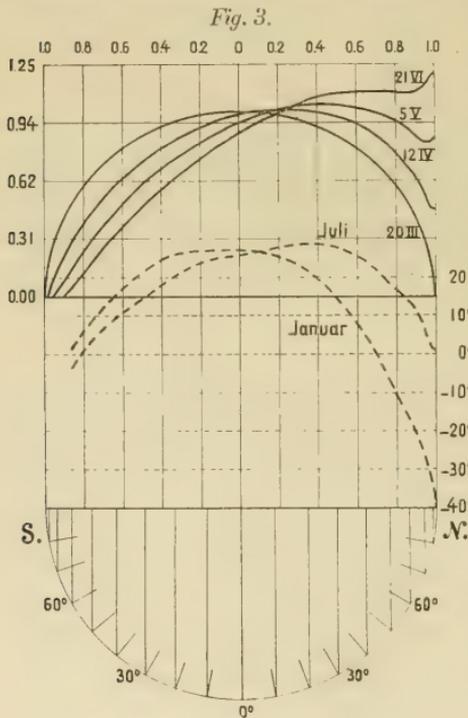
Betrachtet man nun diese Figur, in welche des Vergleiches halber unterhalb auch noch die Temperaturen für Januar und Juli nach SPITALER aufgenommen sind, so sieht man, dass die ungewöhnlich hohen Strahlungssummen, wie sie den Polargegenden während des Sommersolstitiums zukommen, lange keinen so breiten Raum einnehmen wie bei der älteren Darstellungsweise, d. h. dass die so unverhältnissmässig bestrahlten Theile der Circumpolargegend doch nur einen kleinen Theil der Erdoberfläche ausmachen.

¹ Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie 1879, Taf. I, Fig. 3.

² Siehe z. B. HANN, Klimatologie 2. Aufl., Bd. I. S. 97.

Ein grosser Vorzug dieser Art der Darstellung liegt übrigens, wie leicht verständlich, auch darin, dass die Gesamtstrahlung, welche einer beliebig ausgewählten Zone an dem betreffenden Tage zukommt, jederzeit durch die Fläche dargestellt wird, welche von dem zugehörigen Stücke der Curve, der Anfangs- und Endordinate und dem dazwischen liegenden Stücke der Abscissenaxe begrenzt wird.

Dementsprechend sind auch die ganzen Flächen, welche unterhalb der verschiedenen Curven liegen, den Strahlensummen proportional,



welche die ganze Erde an den betreffenden Tagen erhält, also umgekehrt den Quadraten der Entfernung der Erde von der Sonne.

Verwandelt man nun diese Flächen, sei es mit Hilfe eines Planimeters oder an der Hand der nach Sinusargumenten fortschreitenden Tabellen, durch mechanische Quadratur in Rechtecke, so geben die Verticalseiten dieser Rechtecke die mittleren Strahlungssummen für die ganze Erde, und ähnlich verhält es sich natürlich mit allen Elementen, die sich in entsprechender Weise darstellen lassen.

Durch Anwendung dieses Verfahrens auf die unter *D* stehenden Zahlen der Tabelle I erhält man als mittlere

Strahlungssumme im Jahre den Werth 299.3 oder rund 300 Thermaltage.

Denkt man sich mithin die im Laufe eines Jahres der gesammten Erdoberfläche von der Sonne gelieferte Energie gleichförmig über diese Fläche vertheilt, so trifft auf jedes Flächenelement so viel, wie auf ein gleich grosses Flächenelement am Aequator in 300 mittleren Aequatorialtagen.

Man kann mithin auch ungemein leicht jene Breiten angeben, welche im Jahre gerade jene mittleren Strahlungssummen erhalten. Man hat nämlich nur in den Tabellen jene Stellen aufzusuchen, an denen

$D = 300$ ist. Diesen Werth findet man bei $\sin \phi = 0.6$, oder wenn man interpolirt, noch genauer bei $\sin \phi = 0.604$, d. h. bei $\phi = \pm 37^{\circ} 9'$.

Die zwischen den Parallelkreisen $37^{\circ} 9'$ Nord und Süd gelegenen Punkte der Erdoberfläche bez. der oberen Grenze der Atmosphäre erhalten demnach mehr als die mittlere Strahlensumme, die polwärts von ihnen gelegenen weniger.

Aus diesem Grunde kann man die beiden Parallelen passend als die »Strahlungs-Normalen« oder auch als »Mittellinien der Sonnenstrahlung« bezeichnen.

Da nun überdies die Sinusse den Oberflächen der zugehörigen Zonen proportional sind, so folgt unmittelbar, dass 0.604 d. h. rund $\frac{6}{10}$ oder $\frac{3}{5}$ der Erdoberfläche »mehr« und $\frac{2}{5}$ »weniger« als die mittlere Strahlensumme im Jahre von der Sonne erhalten.

In ähnlicher Weise kann man aus der nämlichen Tabelle die »Temperatur-Normalen« oder die »Mittellinien der Temperaturen« entnehmen, indem man jene Breitenkreise aufsucht, die gerade die Mitteltemperatur der ganzen Erde, nämlich 15° , aufweisen.

Man findet diese auf der nördlichen Halbkugel bei $\sin \phi = 0.62$, d. h. bei $\phi = 38^{\circ} 18'$ und auf der südlichen bei $\sin \phi = 0.57$, d. h. bei $\phi = 35^{\circ} 0'$, so dass also auch wieder innerhalb eines Ringes, der 0.6 der ganzen Erdoberfläche bedeckt, Temperaturen herrschen, die über dem Durchschnitt liegen, während sie ausserhalb desselben, also auf den zusammen 0.4 der Gesamtoberfläche einnehmenden polaren Segmenten unterhalb des Mittelwerthes bleiben.

Das hier Gesagte mag genügen, um ein Bild zu gewinnen von den grossen Vortheilen, welche die hier benutzte Darstellungsweise gewährt.

Die wichtigen Schlüsse, die man auf dieser Grundlage hinsichtlich des Wärmehaushaltes an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre ziehen kann, sollen einer späteren Abhandlung vorbehalten bleiben.