

Diskussion der Resultate.

Luftdruck.

Die aus den stündlichen Werten des Luftdrucks abgeleiteten Monatsmittel enthält folgende Tabelle:

	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	
1. Jahr	760,8	755,5	754,7	764,4	754,8	754,1	
2. Jahr	58,3	53,7	56,0	51,4	60,0	50,5*	
Mittel beider Jahre	59,6	54,6	55,4	57,9	57,4	52,3*	

	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Jahresmittel
1. Jahr	753,3	752,4*	761,5	769,1	760,4	764,4	758,8
2. Jahr	57,8	59,3	66,3	61,6	57,8	58,7	757,6
Mittel beider Jahre	55,6	55,8	63,9	65,4	59,1	61,6	758,2

Tabelle der Monatsmittel des Luftdrucks.

Der mittlere Luftdruck der beiden Beobachtungsjahre ist unkorrigiert 758,2 mm, bei Hinzufügung der Schwerekorrektur 760,0 mm.

Die Schwankungen der Monatsmittel um den Durchschnittswert beider Beobachtungsjahre sind sehr gross, so dass der jährliche Gang in den beiden Einzeljahren ganz verschieden erscheint. Man sieht daraus, dass man die Erfahrungen eines Jahres nur mit Vorsicht als massgebend für die mittleren Verhältnisse ansehen darf. Die dritte

Reihe der oben stehenden Tabelle gibt die Mittelwerte aus den Mitteln je zweier August-, Septembermonate u. s. f. an. Nach diesen Werten ist auch der jährliche Gang des Luftdrucks in Fig. 2 graphisch dargestellt. Man erkennt darin ein ausgeprägtes Maximum im Frühjahr und einen relativ niedrigen Druck im Winter. Diese beiden Phänomene sind beiden Jahren gemeinsam. Nur fällt das Maximum im ersten Jahre in den Mai, im zweiten in den April. Für 80° n. B. ist das Maximum im April, für 71° im Mai beobachtet. Danmark-Havn liegt unter 76° , nimmt also eine mittlere Stellung ein. Ausserdem kann man noch ein sekundäres Maximum im Dezember (1. Beobachtungsjahr) bzw. im November (2. Jahr) beobachten.

Dies sekundäre Maximum ist von besonderem Interesse. Es ist wiederholt in Polargebieten neben einem primären stärker ausgeprägten Maximum beobachtet worden, zuletzt auf der Gaußstation im Südpolargebiet im Monat Juni, der dem Dezember der nördlichen Halbkugel entspricht, ist also offenbar eine allgemeine beiden Polargebieten gemeinsame Erscheinung. Andererseits fehlt es wieder in den Beobachtungen z. B. der Germaniaexpedition unter Koldewey und einer schwedischen Gradmessungsexpedition nach Spitzbergen. A. Wegener kommt durch Vergleich der jeweiligen Eisverhältnisse — mit allem Vorbehalt wegen der Unzulänglichkeit des Materials — zu einem interessanten Schluss. Er meint, der Zeitpunkt des Eintretens dieses sekundären Maximums sei hauptsächlich eine Folge der Eisverhältnisse in der Umgebung der Station; er werde nämlich zeitlich um so mehr hinausgeschoben, bis zum gänzlichen Aufgehen im Hauptmaximum, je mehr eisfrei die Umgebung der Station sei. Wenn sich dies bestätigte, so würde es ja von grosser Bedeutung für die Polarschiffahrt werden können. Denn man würde z. B. bei einem frühzeitigen Eintreten des Maximums mit einer starken Eisbedeckung im kommenden

Sommer rechnen müssen, während eine Verspätung der Schifffahrt eine günstige Prognose stellen würde.

Die Differenz der mittleren Monatsextreme gibt die mittlere Monatsschwankung an. Sie ist am grössten im Januar, am kleinsten im Juli. Die mittlere Jahresschwankung als Mittel der Monatsschwankungen berechnet ist 30,8 mm. Vergleicht man die Luftdruckmaxima und die Minima mit dem Mittelwert, so sieht man, dass die Maxima sich nicht so hoch über denselben erheben wie die Minima unter ihm bleiben.

Das niedrigste beobachtete Maximum war $722,3 + 1,7 = 724,0$ mm am 16. Januar 1907. Das absolute Maximum von $783,3 + 1,7 = 785,0$ mm wurde am 10. März 1908 registriert. Die absolute Schwankung ergibt sich also zu 61,0 mm. Die grösste Tagesschwankung trat ein am 16. Januar 1907 mit 31,9 mm, wo der Luftdruck von 754,2 mm um Mitternacht bis 722,3 mm um 9^h abends fiel. Die kleinste Tagesschwankung von 0,3 mm war am 14. Juli 1907, wo der Luftdruck zwischen 766,1 mm und 766,4 mm schwankte.

Eine Untersuchung der unperiodischen Luftdruckwellen von mindestens 5 mm Druckunterschied ergibt eine mittlere Zeitdauer von 6,25 Tagen für eine Welle. Dies Resultat weicht von früher gefundenen (5,13) stark ab. Bei Berücksichtigung der Jahreszeiten kann man aber feststellen, dass nur der Sommer starke Abweichungen von diesem früher beobachteten Wert zeigt. Im Sommer ist die Stabilität des Luftdrucks besonders gross, namentlich im Juni. Man vergleiche in Fig. 7 die Druckregistrierung während einer Sommer- und einer Winterwoche.

Täglicher Gang des Luftdrucks. An früherer Stelle wurde bereits gezeigt, dass der Barograph Berson eine grosse Temperaturkorrektur aufwies. Aus diesem Grunde habe ich bei Berechnung des täglichen Ganges des Luftdrucks nur die

Aufzeichnungen des Barographen Fuess zugrunde gelegt, der 17 Monate von den 24 auf der Hauptstation verwandt wurde. Unter Zufügung der Schwerekorrektion ergibt sich folgende Tabelle:

Täglicher Gang des Luftdrucks.

Stunde	1	2	3	4	5	6
Vormittags	760,01	759,98	759,98	759,97*	760,04	760,11
Nachmittags	59,98	59,95	59,90	59,88*	59,90	59,96
Stunde	7	8	9	10	11	12
Vormittags	760,20	760,17	760,14	760,11	760,06	760,02
Nachmittags	59,98	60,06	60,01	59,96	59,95	59,97

Die Abweichungen vom Tagesmittel 760,02 mm betragen also in Hundertsteln des mm:

Stunde	1	2	3	4	5	6
Vormittags	-0,01	-0,04	-0,04	-0,05*	+0,02	+0,09
Nachmittags	-0,04	-0,07	-0,12	-0,14*	-0,12	-0,06
Stunde	7	8	9	10	11	12
Vormittags	+0,18	+0,15	+0,12	+0,09	+0,04	±0,00
Nachmittags	-0,04	+0,04	-0,01	-0,06	-0,07	-0,05

Siehe auch die graphische Darstellung Fig. 3.

Man sieht aus diesem Gang des Barometers die allgemeine Erfahrung bestätigt, dass die tägliche Periode eine doppelte ist. Die Minima liegen hier um 4^h früh und 4^h nachmittags, während die Wellenscheitel auf 7^h früh und 8^h abends fallen. Das Maximum um 7^h früh ist höher als das Abendmaximum um 4^h p., das Nachmittagsmaximum tiefer als das Minimum frühmorgens. Die Maxima, die in mittleren Breiten in der Regel zwischen 9^h und 10^h morgens und abends fallen, erscheinen also etwas verschoben und auseinander gerückt.

Ausserdem findet sich ein kleines 3. Maximum um 1^h früh. Nach dem Abendmaximum um 8^h sinkt der Luftdruck zunächst etwa bis 11^h, um dann wieder bis 1^h um $\frac{4}{100}$ mm zu steigen. Erst dann tritt weiteres

Sinken bis zum Morgenminimum ein. Vielleicht ist das dieselbe Erscheinung, wie sie auch z. B. nach Angaben von Hann in Tokio, Irkutsk und andern Orten beobachtet ist. Dies Luftdruckmaximum tritt dort nur im Winter auf. Auch hier zeigt sich, wenn man den täglichen Gang des Luftdrucks auch für die einzelnen Jahreszeiten verfolgt, im Winter ein Maximum des Ansteigens, aber auch im Sommer und im Herbst ist dies 3. Maximum vorhanden. Bei einer graphischen Darstellung des täglichen Ganges in den Jahreszeiten zeigen alle Kurven im grossen und ganzen denselben Verlauf. Stark ausgeprägt ist in allen Jahreszeiten das Frühjahrsmaximum um 7^h, das nur im Herbst etwas nach 8^h verschoben erscheint. Während der Anstieg zu diesem durchweg sehr steil ist, fällt nachher der Luftdruck langsam ab.

Die beiden täglichen Luftdruckwellen sind also nicht ganz symmetrisch. Die Tagesschwankung beträgt 0,32 mm, die Schwankung während der Nacht 0,11 mm. Das Mittel aus diesen Amplituden kann man als das Mass der täglichen Schwankung ansehen. Die Amplitude der täglichen Barometerschwankung ist also 0,22 mm. Nimmt man als Mass der Schwankung das Mittel der Abweichungen der Stundenmittel vom Tagesmittel ohne Rücksicht auf die Vorzeichen, also die mittlere Ordinate der Tageskurve, so erhält man nur 0,06 mm. Jedenfalls geht aus den Messungen hervor, dass die Amplitude sehr gering ist. Es bestätigt sich also die Erfahrung, dass die Amplitude mit Zunahme der geographischen Breite abnimmt.

Da der tägliche Gang des Luftdrucks eine deutliche Periode aufweist, so wurde der Versuch gemacht, ihn auf einen mathematischen Ausdruck zu bringen. Der natürlichste mathematische Ausdruck für periodische Erscheinungen sind die trigonometrischen Reihen bzw. die Kugelfunktionen. Eine derartige Darstellung durch „harmonische Analyse“ ist nicht nur für die einfachsten periodischen

Erscheinungen möglich, sondern auch kompliziertere lassen sich nach Fourier durch eine Zusammensetzung von einfachen Pendelschwingungen, wie sie die Sinus- und Cosinusreihen bedeuten, mit verschiedenen Amplituden und Phasenzeiten darstellen. Der Vorteil besteht darin, dass sie für den Ablauf einer Naturerscheinung eine für wissenschaftliche Untersuchungen geeignete Form bringt, mit der man rechnen kann.

Sehr geeignet ist folgende Form der Reihen:

$$B = a_0 + a_1 \sin(A_1 + x) + a_2 \sin(A_2 + 2x) \\ + a_3 \sin(A_3 + 3x) + \dots$$

Dabei sind die numerisch zu berechnenden Koeffizienten $a_1, a_2 \dots$ die Amplituden der Partialperioden der einfachen Schwingungen, die Winkelgrößen $A_1, A_2 \dots$ die Phasenzeiten; a_0 ist der Mittelwert der Funktion.

Diese Reihe lässt sich weiter umformen in:

$$B = a_0 + a_1 \sin A_1 \cdot \cos x + a_1 \cos A_1 \cdot \sin x + \dots \\ = a_0 + p_1 \cos x + q_1 \sin x + p_2 \cos 2x + q_2 \sin 2x + \dots$$

$$\text{wo } \frac{p_1}{q_1} = \operatorname{tg} A_1; \frac{p_1}{\sin A_1} = \frac{q_1}{\cos A_1} = a_1 \text{ ist.}$$

Sind nun $u_0, u_1, u_2 \dots u_{n-1}$ die Beobachtungen, n ihre Zahl, so lassen sich nach der Methode der kleinsten Quadrate $p_0, p_1, p_2 \dots$ aus folgenden Gleichungen bestimmen:

$$p_0 = (u_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_{n-1}) : n$$

$$p_1 = (u_0 + u_1 \cos x + u_2 \cos 2x + \dots + u_{n-1} \cos(n-1)x) : \frac{n}{2}$$

$$q_1 = (u_1 \sin x + u_2 \sin 2x + \dots + u_{n-1} \sin(n-1)x) : \frac{n}{2}$$

$$p_2 = (u_0 + u_1 \cos 2x + u_2 \cos 4x + \dots + u_{n-1} \cos(n-1) \cdot 2x) : \frac{n}{2}$$

$$q_2 = (u_1 \sin 2x + u_2 \sin 4x + \dots + u_{n-1} \sin(n-1) \cdot 2x) : \frac{n}{2}$$

u. s. w.

Soll der tägliche Gang des Luftdrucks harmonisch analysiert werden, so ist $n = 24$, $x = 15^\circ$; ferner

$$\begin{array}{cccccccc} u_0 & u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 \\ -0,01 & -0,04 & -0,04 & -0,05 & +0,02 & +0,09 & +0,18 & +0,15 \\ u_8 & u_9 & u_{10} & u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} & u_{15} \\ +0,12 & +0,09 & +0,04 & -0,00 & -0,04 & -0,07 & -0,12 & -0,14 \\ u_{16} & u_{17} & u_{18} & u_{19} & u_{20} & u_{21} & u_{22} & u_{23} \\ -0,12 & -0,06 & -0,04 & +0,04 & -0,01 & -0,06 & -0,07 & -0,05 \end{array}$$

Daraus ergibt sich $\alpha_0 = -0,0079$.

Ferner ist

$$\begin{aligned} \hat{p}_1 = & (u_0 + u_1 \cos 15 + u_2 \cos 30 + u_3 \cos 45 + u_4 \cos 60 \\ & + u_5 \cos 75 + u_6 \cos 90 + u_7 \cos 105 + \dots \\ & + u_{23} \cos 345) : 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 12 \hat{p}_1 = & u_0 + (u_1 + u_{23} - u_{11} - u_{13}) \cdot \cos 15 + (u_2 + u_{22} - u_{10} \\ & - u_{14}) \cos 30 + (u_3 + u_{21} - u_8 - u_{15}) \cdot \cos 45 + (u_4 + u_{20} \\ & - u_7 - u_{16}) \cos 60 + (u_5 + u_{19} - u_6 - u_{17}) \cos 75 - u_{12} \end{aligned}$$

$$\hat{p}_1 = -0,0072;$$

$$q_1 = (u_1 \sin 15 + u_2 \sin 30 + \dots + u_{23} \cdot \sin 345) : 12 = +0,0825.$$

$$\operatorname{tg} A_1 = \frac{\hat{p}_1}{q_1}; \quad A_1 = 175^\circ 1); \quad a_1 = \frac{\hat{p}_1}{\sin A_1} = -0,0826.$$

1) Bei der Berechnung des Winkels A_1 habe ich im Gegensatz zu dem sonst scheinbar üblichen Verfahren von den beiden möglichen Winkeln stets den kleineren genommen. Denn es macht hier sicherlich keinen Unterschied, ob man den 1. oder den 3., bezw. den 2. oder den 4. Quadranten wählt. Das folgt aus den beiden Formeln

$$\operatorname{tg} A = \frac{\hat{p}}{q}, \quad a = \frac{\hat{p}}{\sin A}. \quad \text{Ist etwa } p < 0, q > 0, \text{ dann kann } A \text{ im 2. oder}$$

4. Quadranten gewählt werden. Nehme ich den 2., so ist $a < 0$, im Fall des 4. aber > 0 . Der Ausdruck $a \cdot \sin(A+x)$ hat aber in beiden Fällen nicht nur denselben absoluten Wert, sondern auch dasselbe Vorzeichen, da $A+x$ im zweiten Falle um 180° grösser ist als im 1. Fall, also der $\sin(A+x)$ im 2. Fall auch sein Vorzeichen umkehrt. Da es bequemer ist, mit kleinen Winkeln zu rechnen, habe ich stets den kleineren gewählt.

$$p_2 = (u_0 + u_1 \cos 30 + u_2 \cos 60 + \dots + u_{23} (23 \cdot 30)) : 12$$

$$12 p_2 = (u_0 + u_{12} - u_6 - u_{18}) \\ + (u_1 + u_{11} - u_5 - u_7 + u_{13} + u_{23} - u_{14} - u_{19}) \cdot \cos 30 \\ + (u_2 + u_{10} - u_4 - u_8 + u_{14} + u_{22} - u_{16} - u_{20}) \cos 60$$

$$p_2 = -0,0516.$$

$$q_2 = (u_1 \sin 30 + u_2 \sin 60 + \dots) : 12$$

$$12 q_2 = (u_1 + u_5 - u_7 - u_{11} + u_{13} + u_{17} - u_{19} - u_{23}) \cdot \sin 30 \\ + (u_2 + u_4 - u_8 - u_{10} + u_{14} + u_{16} - u_{20} - u_{22}) \sin 60 \\ + (u_3 - u_9 + u_{15} - u_{21})$$

$$q_2 = -0,0520; A_2 = 45^\circ; a_2 = -0,0730.$$

In derselben Weise erhält man

$$p_3 = +0,0017; q_3 = +0,0010; A_3 = 60^\circ; a_3 = +0,0020.$$

$$p_4 = +0,0312; q_4 = +0,013; A_4 = 67^\circ; a_4 = +0,0338.$$

Der tägliche Gang des Luftdrucks kann demnach durch folgenden mathematischen Ausdruck dargestellt werden:

$$B = -0,0079 - 0,0826 \sin (175^\circ + x) - 0,0730 \sin (45^\circ + 2x) \\ + 0,0020 \sin (60^\circ + 3x) + 0,0338 \sin (67^\circ + 4x).$$

Setzt man in dieser Formel $x = 0, 15^\circ, 30^\circ \dots$, so erhält man den Wert um $1^h, 2^h, 3^h \dots$. Ein Vergleich der so berechneten Werte mit den gemessenen Werten zeigt in den meisten Fällen gute Uebereinstimmung; grössere Abweichungen treten nur auf bei u_0 : beob. $-0,01$, ber. $-0,03$, und u_{19} : beob. $+0,04$, bzw. $+0,01$; vergl. dagegen u_5 : beob. $+0,09$, ber. $+0,09$; u_{11} : beob. $0,0$, ber. $+0,005$; u_{13} : beob. $-0,07$, ber. $-0,07$; u_{15} : beob. $-0,14$, ber. $-0,14$ u. s. f. Die oben gewonnene Formel von B lässt sich auf graphischem Wege veranschaulichen, wenn man das 2. und die folgenden Glieder als Sinuslinien zeichnet. Man erhält dann B unter Zufügung von $-0,0079$ durch Superposition der einzelnen Wellen. Man erkennt bei der Gelegenheit aber auch eine Schwäche der harmonischen Analyse, die darin besteht, dass sie die Extreme verflacht.

Lufttemperatur.

Jährlicher Gang der Lufttemperatur. Die aus den stündlichen Werten der Temperatur abgeleiteten Monatsmittel zeigen natürlich kleine Differenzen gegen diejenigen, die aus den dreimal täglich erfolgten Ablesungen am Quecksilberthermometer berechnet sind. Die Tagesmittel wurden im letzten Fall aus den 3 Terminablesungen um 8^a, 2^p und 9^p nach der Formel berechnet:

$$t_m = \frac{2 \times 8^a + 2 \times 2^p + 5 \times 9^h}{9}.$$

Folgende Tabelle gibt die Monatsmittel nach beiden Berechnungen an:

Monatsmittel.

	1. Jahr			2. Jahr		
	Registr.	Terminb.	Diff.	Registr.	Terminb.	Diff.
August	+ 1,8 ^o	+ 2,1 ^o	- 0,3 ^o	+ 2,3 ^o	+ 2,3 ^o	0,0 ^o
September	- 3,7	- 3,7	0,0	- 4,4	- 4,4	+ 0,1
Oktober	- 14,2	- 14,5	+ 0,3	- 14,3	- 14,6	+ 0,3
November	- 21,1	- 21,0	- 0,1	- 19,9	- 19,7	- 0,2
Dezember	- 25,2	- 24,6	- 0,6	- 17,1	- 17,2	+ 0,1
Januar	- 23,0	- 23,0	0,0	- 21,6	- 20,8	- 0,8
Februar	- 25,7	- 26,0	+ 0,3	- 29,5	- 28,9	- 0,6
März	- 23,8	- 23,7	- 0,1	- 21,2	- 21,1	- 0,1
April	- 19,7	- 19,4	- 0,3	- 19,7	- 19,6	- 0,1
Mai	- 8,8	- 8,2	- 0,6	- 6,7	- 6,4	- 0,3
Juni	+ 0,9	+ 1,1	- 0,2	+ 0,7	+ 1,1	- 0,4
Juli	+ 3,4	+ 3,3	+ 0,1	+ 5,1	+ 5,4	- 0,3
Mittel	- 13,3	- 13,1	- 0,2 ^o	- 12,2	- 12,0	- 0,2 ^o
Mittel beider Jahre				- 12,8	- 12,6	- 0,2 ^o

Bei einer Differenz von nur - 0,2^o im Jahresmittel kann man wohl von einer guten Uebereinstimmung sprechen, die beweist, dass die obige Formel für die Mittelbildung aus drei täglichen Beobachtungen sehr brauchbar ist. Einige grössere Abweichungen in den Mitteln der Monate Dezember 1906, Februar 1908 und Januar 1908 finden

eine Erklärung dadurch, dass in diesen Monaten die Registrierung während mehrerer Tage, im Januar bis zu 5 Tagen, versagte. Dagegen bedürfen die Abweichungen im Mai und im Herbst einer anderen Erklärung. Die Differenz ist im Mai negativ, im September positiv. Dies ist wahrscheinlich kein Zufall. Denn durch die starke Betonung des 9^h-Termins in der Formel für t_m muss in dem Monat, in welchem die Temperatur sehr stark steigt, ein zu hoher Wert, und in dem Monat, wo sie stark fällt, ein zu tiefer herauskommen.

Die Monatsmittel der Temperatur schwanken in den beiden Beobachtungsjahren, wie man aus der Tabelle ersieht. Am höchsten sind die Schwankungen im Winter. Fasst man die beiden Beobachtungsjahre wieder zu einem „Idealjahre“ zusammen, so erhält man folgenden jährlichen Gang der Temperatur, der auch in Fig. 4 graphisch dargestellt ist.

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
− 22,3°	− 27,6°*	− 22,6°	− 19,7°	− 7,7°	+ 0,8°	
Juli	August	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.	Mittel
+ 4,2°	+ 2,0°	− 4,0°	− 14,2°	− 20,5°	− 21,1°	− 12,8°

Der wärmste Monat ist demnach der Juli mit + 4,2°, der kälteste der Februar mit − 27,6°; die Mittelwerte für die Jahreszeiten sind:

Frühjahr (März—Mai)	− 16,7°
Sommer (Juni—August) . . .	+ 2,3°
Herbst (Sept.—Nov.)	− 12,9°
Winter (Dez.—Febr.)	− 23,7°

Der Herbst ist also wärmer als das Frühjahr.

Die Jahresamplitude der Monatsmittel ist 31,8°. Dieser grosse Wert beweist, dass die Station, trotzdem sie unmittelbar am Meere lag, durchaus kontinentales Klima hatte. Das ist ein sehr merkwürdiges Resultat, das

aber vielleicht in folgender Weise richtig erklärt werden kann. Die starke Eisbedeckung des Meeres zwischen Spitzbergen und Grönland ist die Ursache, dass dies ganze Gebiet in meteorologischer Beziehung mit einbegriffen wird in ein kontinentales Hochdruckgebiet, welches über dem Inlandeise anzunehmen ist. Für die Richtigkeit dieser Theorie spricht der Umstand, dass von der Germania-Expedition auf der mehr vom offenen Meere umgebenen Sabine-Insel eine Jahresamplitude von nur $27,9^{\circ}$ gefunden wurde. Nun liegt die Insel allerdings etwa 2° südlicher und einer Verminderung der geographischen Breite entspricht auch eine Verminderung der jährlichen Temperaturamplitude. Diese würde aber für 2° Breitenunterschied nur $\frac{1}{2}^{\circ}$ beitragen. Es ist also zwischen beiden Stationen ein wirklich klimatischer Unterschied vorhanden in dem Sinne, dass nach Norden der kontinentale Charakter stärker hervortritt.

Der harmonischen Analyse des jährlichen Ganges der Lufttemperatur sind wieder die Formeln von Seite 25 zugrunde gelegt. Hier ist $n = 12$, $x = 30^{\circ}$; $u_0 = +2,0$; $u_1 = -4,0 \dots, u_{11} = +4,2$. Man erhält $p_0 = -12,725$.

$$p_1 = (u_0 + u_1 \cos 30 + u_2 \cos 60 + \dots + u_{11} \cos 330^{\circ}) : 6$$

$$6 p_1 = u_0 - u_6 + (u_1 + u_{11} - u_5 - u_7) \cos 30 + (u_2 + u_{10} - u_4 - u_8) \cos 60$$

$$q_1 = (u_1 \sin 30 + u_2 \sin 60 + \dots) : 6$$

u. s. f.

Daraus findet man

$$p_1 = +13,726; q_1 = -5,159; A_1 = 110,6^{\circ}; a_1 = +14,66$$

$$p_2 = (u_0 \cos 60 + \dots + u_{11} \cos 660) : 6; q_2 = (u_1 \sin 60 + \dots \sin 660) : 6;$$

$$p_2 = +1,225; q_2 = -3,1898; A_2 = 159^{\circ}; a_2 = +3,42$$

$$p_3 = +0,366; q_3 = +0,8166; A_3 = 24,2^{\circ}; a_3 = +0,90$$

$$p_4 = -0,725; q_4 = +0,7361; A_4 = 135,5^{\circ}; a_4 = -1,03$$

Also ist $T = -12,73 + 14,66 \sin(110,6^{\circ} + x) + 3,42 \sin(159^{\circ} + 2x) + 0,90 \sin(24,2^{\circ} + 3x) - 1,03 \sin(135,5^{\circ} + 4x)$.

Setzt man in dieser Formel $x = 30^{\circ}, 60^{\circ} \dots$, so erhält man die Mitteltemperatur von August, September . . . Folgende Zusammenstellung gibt einen Vergleich der gemessenen und der mit der obigen Formel berechneten Werte:

	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
Beobachtet:	+ 2,0	- 4,0	- 14,2	- 20,5	- 21,1	- 22,3
Berechnet:	+ 1,9	- 3,7	- 14,3	- 20,6	- 20,6	- 23,2
	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}
Beobachtet:	- 27,6	- 22,6	- 19,7	- 7,7	+ 0,8	+ 4,2
Berechnet:	- 26,3	- 23,9	- 18,4	- 8,7	+ 1,3	+ 4,0

Wie man sieht, sind einige verhältnismässig grosse Abweichungen vorhanden, z. B. bei u_9 , was eine Folge des springenden Wertes u_9 ist. Indess kann die Uebereinstimmung bei solchen Werten noch als gut bezeichnet werden. Auch bei einer graphischen Darstellung des wahren Ganges und desjenigen, wie er sich aus der Superposition der einzelnen Sinuslinien ergibt, erkennt man diese Uebereinstimmung.

Der tägliche Gang der Temperatur. Der tägliche Gang der Temperatur in den einzelnen Monaten, wie er aus den stündlichen Mitteln je zweier August-, September-Monate u. s. f. berechnet wurde, ist aus der Tabelle am Schluss zu ersehen. Der Gang während der Jahreszeiten und im Jahresmittel selbst ist ausserdem noch in Fig. 5 graphisch dargestellt. Es sei hier auch

gleich der tägliche Gang harmonisch dargestellt. Es ist in den Formeln Seite 25 $x = 15^{\circ}$, $n = 24$ zu setzen.

u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
— 13,4	— 13,5	— 13,6	— 13,7	— 13,6	— 13,5
u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}
— 13,2	— 13,0	— 12,8	— 12,4	— 12,3	— 12,1
u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	u_{16}	u_{17}
— 12,0	— 11,9	— 11,8	— 11,8	— 12,0	— 12,2
u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}
— 12,4	— 15,5	— 12,7	— 12,9	— 13,1	— 13,3

In derselben Weise wie oben ergibt sich

$$a_0 = -12,74 \text{ (Mittelwert)}$$

$$p_1 = -0,71; \quad q_1 = -0,466; \quad A_1 = 57^{\circ}; \quad a_1 = -0,85$$

$$p_2 = +0,058; \quad q_2 = -0,032; \quad A_2 = 119^{\circ}; \quad a_2 = +0,066$$

$$T = -12,74 - 0,85 \sin(57 + x) + 0,066 \sin(119 + 2x).$$

Diese beiden Glieder genügen schon zu einer überaus überraschenden Uebereinstimmung, wie aus einer graphischen Darstellung unmittelbar zu sehen ist, wie es auch folgende Tabelle zeigt, in welcher wahllos eine Reihe von Werten berechnet wurde.

	u_0	u_1	u_2	u_3	u_6	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{18}
Beob.:	— 13,4	— 13,5	— 13,6	— 13,7	— 13,2	— 12,0	— 11,9	— 11,8	— 12,4
Ber.:	— 13,4	— 13,5	— 13,6	— 13,6	— 13,3	— 12,0	— 11,9	— 11,9	— 12,3

Das Jahresmittel wird 8^h abends und vormittags zwischen 8^h — 9^h angetroffen. Die höchste Temperatur tritt 2^h nachmittags ein, die niedrigste um 3^h früh. Das 2. Maximum findet sich auch in den meisten Monaten wieder; in den 3 Wintermonaten ist dagegen von einem ausgesprochenen Maximum nichts zu erkennen, wenngleich in allen eine kleine Steigerung zwischen 2 und 4 Uhr

mittags da ist. Ebenso tritt in allen ausser wieder den Wintermonaten das Maximum gegen 3 Uhr morgens ein. Es zeigen also alle Monatskurven ausser denen der Wintermonate morgens ein Fallen bis gegen 3 Uhr, um dann langsam gegen 2 Uhr nachmittags anzusteigen und dann wieder etwa in demselben Masse zu fallen. Während der Wintermonate ist wegen der Polarnacht von einem regelmässigen Wärmegang nichts zu erkennen. So fällt z. B. das Maximum der Temperatur im November auf 3^h morgens, das Minimum auf 5^h nachmittags. Einen ganz unregelmässigen Verlauf zeigt der Januar. Die auftretenden Veränderungen zeigen hier keine Periode,

Die grösste Schwankung innerhalb 24 Stunden wurde vom 16. zum 17. Dezember 1907 beobachtet. Sie betrug 23,5°, indem die Temperatur von — 27,4° bis auf — 3,9° stieg. Die Ursache dieser und ähnlicher starker Schwankungen ist wahrscheinlich in der über dem Erdboden herrschenden Temperaturumkehr zu suchen. Es bilden sich dann Luftwirbel, die fortwährend Luftteilchen aus andern Schichten und infolgedessen von andern Temperaturen an den Thermometern vorbeiführen. Die Registrierkurven sind in solchen Fällen sehr merkwürdig, sie zeigen ausserordentlich starke Elementarschwankungen der Temperatur, die in der Regel 1—2° betragen und ganz schnell erfolgen. Sie sind keineswegs eine Folge der verschiedenen Bestrahlung, da jeder Strahlungseinfluss ausgeschlossen war. Vielleicht waren die wahren Schwankungen sogar noch grösser und erfolgten noch schneller, als es der Thermograph wegen seiner Trägheit hat festhalten können.

In Figur 8 zeigt die untere Kurve sehr schön diese starken Elementarschwankungen. Zum Vergleich diente eine Woche des Mai, in welcher durch Nebelbildung die Wirkung der Sonnenstrahlen stark verringert war, so

dass die Temperatur nur wenig um den Wert Null schwankte. Aenderungen über 8° kamen 14mal vor.

Amplitude. Der Mittelwert der täglichen Schwankung oder der periodischen täglichen Amplitude ist $2,0^{\circ}$, also entsprechend der hohen geographischen Breite sehr klein. Vom Winter zum Sommer nimmt die Amplitude beträchtlich zu. Ihr Hauptmaximum erreicht sie im April. Die Figur 5 lässt deutlich erkennen, wie verschieden die Amplitude in den einzelnen Jahreszeiten ist. Noch auffälliger wird der Unterschied, wenn man den täglichen Gang der Temperatur auch für die einzelnen Monate graphisch darstellt. In den Wintermonaten kann man kaum eine Amplitude erkennen, während sie im Frühjahr schnell ansteigt.

Die Werte der Amplituden in den verschiedenen Monaten sind in Figur 6 graphisch dargestellt. Aus dem Verlauf dieser Kurve sieht man, dass ein zweites Maximum im Herbst liegt, dem ein Minimum im Juli vorangeht. Aus der Tabelle der Amplituden ist dies Maximum weniger leicht zu erkennen. Höchstens könnte da der Stillstand der Werte auffallen. Geht man aber zurück auf den einen Juli 1907, für den vollständige Beobachtungen während des ganzen Monats vorliegen, so erkennt man deutlich das Minimum. Es ist auffällig, dass das Minimum grade in den Monat mit höchster Temperatur fällt. Man könnte vielleicht annehmen, dass es eine Folge der um diese Jahreszeit im Polargebiet besonders häufigen Nebel sei, durch welche die Sonnenstrahlung stark verringert wird. Sicherlich haben diese einen Einfluss gehabt, den man aber wohl nicht als ausreichend ansehen kann. Denn das Wetterjournal verzeichnet eine ganze Reihe von klaren Tagen. Vielmehr gibt wohl folgende Ueberlegung eine Erklärung.

Während derjenigen Monate, in denen Temperatur-Maxima über Null und Temperatur-Minima unter Null vor-

kommen, wird die Tagesschwankung der Wärme stark gedämpft durch die Schmelzprozesse am Tage infolge Bindung von Wärme und die Gefrierprozesse bei Nacht infolge Freiwerdens von Wärme. Nun zeigte die Umgebung der Station eine solche Eisbedeckung sowohl nach der See als auch nach dem Lande hin, dass sie praktisch als von allen Seiten mit Eis umgeben angesehen werden konnte. Diese Eismassen blieben bis zum Juli fest. Erst dann fing das Eis unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung an zu schmelzen. Die dazu erforderliche kolossale Wärmemenge wurde zwar zum grössten Teil durch die direkte Sonnenstrahlung geliefert, zum Teil aber auch den unteren Luftschichten entzogen, so dass diese also bei Tage merklich kühler wurden und dadurch die Amplitude verringerten. Damit stimmt überein, was durch die Drachenaufstiege festgestellt wurde, dass im Juli eine starke Temperaturumkehr in der untersten Luftschicht vorhanden ist, sogar die stärkste im ganzen Jahre.

Aus diesen Gründen haben wir also kein Maximum der Tagesschwankung zur Zeit des höchsten Sonnenstandes zu erwarten, was sich auch bestätigt. Vielmehr ist dann ein Maximum wahrscheinlich, wenn die Temperatur noch (im Frühjahr) oder schon tief genug (im Herbst) ist. Das ist in der Tat der Fall. Nur ist das Herbstmaximum verkümmert und das Frühjahrsmaximum ungebührlich gross. Die Ursache ist das Nachhinken der Temperatur gegenüber dem Sonnenstande. Im Frühjahr ist nämlich bei -15° die Sonne schon hoch heraus, im Herbst bei derselben Temperatur kaum über dem Horizont. Interessant ist gerade das Herbstmaximum. In die Monate August und z. T. noch September fällt das Aufhören der Schmelzvorgänge und das Erstarren alles Wassers. Namentlich bildet sich auf dem Meere starkes Neueis. Die dabei frei werdende Wärme wird durch die Ausstrahlung nicht völlig beseitigt. Alle diese im Erstarren begriffenen Wasser-

mengen sind wärmer als die von der Höhe des Inland-eises herabkommende Luft, wo solche Schmelz- und Gefrierprozesse schon nicht mehr vorkommen, so dass die Amplitude wieder grösser wird als im Juli. Die untersten Luftschichten sind also jetzt wärmer als die darüber liegenden, die starke Temperaturumkehr, die im Juli beobachtet wurde, muss also im Herbst verschwinden, was durch Drachenaufstiege nachgewiesen wurde. Die Richtigkeit dieser Ueberlegungen wird bestätigt durch Beobachtungen in der Ausguckstonne am Grossmast. Ein weiterer Beweis ist das um diese Zeit häufig beobachtete Vorkommen von Luftspiegelungen nach unten, welche warmen Boden und darüber kältere Luft voraussetzen.

Auch die aperiodische Amplitude der Temperatur, deren Wert natürlich grösser ist als der der periodischen, zeigt ein Maximum und zwar auch das Hauptmaximum im April. Von einem regelmässigen Gang derselben kann man aber wohl kaum sprechen. Ihr Mittelwert ist $5,8^{\circ}$. Den grössten Wert von $6,7^{\circ}$ erreicht sie im Frühjahr, den kleinsten im Herbst. Im Winter sind die aperiodischen Aenderungen grösser ($6,0$) als im Sommer ($5,3$).

Extremtemperaturen.

Die absoluten Extreme hatten in den beiden Beobachtungsjahren die folgenden Werte:

	Maximum	Minimum
August 1906—Juli 1907:	+ $12,3^{\circ}$ (18. Juli 1907)	— $40,9^{\circ}$ (11. März 1907)
August 1907—Juli 1908:	+ $17,1^{\circ}$ (7. Juli 1908)	— $38,3^{\circ}$ (22. Feb. 1908)

Die Häufigkeit der Verteilung der Extremtemperaturen auf die verschiedenen Tagesstunden, wenigstens nach Jahreszeiten zusammengestellt, gibt folgende Tabelle an:

		1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	Sa.
Frühjahr	Max.	14	4	10	25	72	30	13	14	180
	Min.	77	33	4	6	0	0	4	56	180
Sommer	Max.	12	5	10	35	45	22	14	12	155
	Min.	53	24	6	0	0	1	3	67	155
Herbst	Max.	26	16	9	24	41	23	7	29	175
	Min.	39	24	13	9	4	14	15	57	175
Winter	Max.	41	16	17	16	10	14	17	35	166
	Min.	41	15	14	12	10	13	18	43	166
Jahr	Max.	93	41	46	100	168	89	51	90	676
	Min.	210	96	37	27	14	28	40	223	676

Diese Häufigkeit der Verteilung lässt sich in Prozenten ausrechnen; es seien hier nur die betr. Werte für das ganze Jahr angeführt.

	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
Max.: 14%	6	7	15	25	13	7	13	
Min.:	31	15	5	4	2	4	6	33

Stellt man diese Angaben in Prozenten für die einzelnen Jahreszeiten und für das Jahr graphisch dar, so erhält man ein anschauliches Bild von dem Verlauf. Man sieht daraus deutlicher wie aus der Tabelle, dass sich die im Frühjahr sehr steile Kurve der Maxima mit ihrem

Scheitel um 1—3^h nachmittags im Laufe des Jahres immer mehr verflacht, bis sie im Winter einen direkt entgegengesetzten Verlauf nimmt mit einem tiefsten Wert um 1—3^h nachmittags. Während sich also im Frühjahr ein grosser Prozentsatz (40%) der Maxima auf eine kurze Zeit zusammendrängt, verteilen sie sich im Lauf des Jahres immer mehr auch auf andere Stunden, bis die Verteilung im Winter schliesslich ganz gleichförmig wird, so dass hier die Periode völlig aufhört. Die Kurven der Minima verflachen ebenfalls vom Frühjahr nach dem Winter hin. Doch ist im Gegensatz zur Winterkurve des Maximums die des Minimums ebenso gebaut wie die der übrigen Jahreszeiten. Das Minimum der Häufigkeit liegt bei allen um 1—3^h nachmittags, also da, wo das Maximum der Häufigkeit der höchsten Temperatur eintritt. Es drängen sich hier die meisten Werte um die Mitternachts- und frühen Morgenstunden zusammen. Aber auch hier nimmt mit fortschreitender Jahreszeit die Verteilung auf andere Tagesstunden zu. Im Winter haben die Kurven für Maximum und Minimum beinahe parallelen Verlauf, ein weiteres Zeichen, dass hier jede periodische Temperaturänderung aufhört.

Dieser Gang der Häufigkeit der Verteilung auf die einzelnen Tagesstunden wird hervorgerufen durch die Superposition zweier Erscheinungen: 1) unperiodische Aenderungen, welche länger als einen Tag dauern. So muss z. B. bei sinkender Temperatur das Maximum auf den Tagesanfang, das Minimum auf das Tagesende fallen. Daher müssen beide Kurven Maxima um Mitternacht haben, wie es hier in den Winterkurven zum Ausdruck kommt. 2) lagert sich die Tagesschwankung über 1. Hierbei verhalten sich aber Maximum und Minimum verschieden. Letzteres fällt ja auch nahe auf Mitternacht, wirkt also im gleichen Sinne wie 1) und verstärkt den Gang der Minimum-

Kurve. Die Maxima dagegen erzeugen die nach oben gerichtete Kurve um Mittag, die im Frühjahr am stärksten ist und im Winter verschwindet.

Auf weitere Ergebnisse der Registrierung, wie die Zahl der Eistage, die tägliche und stündliche Veränderlichkeit der Temperatur u. a. soll hier nicht mehr eingegangen werden, ebenso wenig auf einige besondere interessante Registrierungen bei Schneestürmen und bei Föhn.

Kurve. Die
 richtete Kurve
 ist und im
 Auf w
 Zahl der
 derlichkeit
 eingegangen
 interessante
 Föhn.

© The Tiffen Company, 2007

TIFFEN® Gray Scale



ch oben ge-
 m stärksten

g, wie die
 iche Verän-
 nicht mehr
 e besondere
 en und bei



Mittelwerte der Temperatur

Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1871	4.5	5.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	18.5	15.5	12.5	8.5	5.5
1872	4.0	5.0	7.0	10.0	13.0	16.0	19.0	18.0	15.0	12.0	8.0	5.0
1873	4.2	5.2	7.2	10.2	13.2	16.2	19.2	18.2	15.2	12.2	8.2	5.2
1874	4.1	5.1	7.1	10.1	13.1	16.1	19.1	18.1	15.1	12.1	8.1	5.1
1875	4.3	5.3	7.3	10.3	13.3	16.3	19.3	18.3	15.3	12.3	8.3	5.3
1876	4.4	5.4	7.4	10.4	13.4	16.4	19.4	18.4	15.4	12.4	8.4	5.4
1877	4.6	5.6	7.6	10.6	13.6	16.6	19.6	18.6	15.6	12.6	8.6	5.6
1878	4.7	5.7	7.7	10.7	13.7	16.7	19.7	18.7	15.7	12.7	8.7	5.7
1879	4.8	5.8	7.8	10.8	13.8	16.8	19.8	18.8	15.8	12.8	8.8	5.8
1880	4.9	5.9	7.9	10.9	13.9	16.9	19.9	18.9	15.9	12.9	8.9	5.9
1881	5.0	6.0	8.0	11.0	14.0	17.0	20.0	19.0	16.0	13.0	9.0	6.0
1882	5.1	6.1	8.1	11.1	14.1	17.1	20.1	19.1	16.1	13.1	9.1	6.1
1883	5.2	6.2	8.2	11.2	14.2	17.2	20.2	19.2	16.2	13.2	9.2	6.2
1884	5.3	6.3	8.3	11.3	14.3	17.3	20.3	19.3	16.3	13.3	9.3	6.3
1885	5.4	6.4	8.4	11.4	14.4	17.4	20.4	19.4	16.4	13.4	9.4	6.4
1886	5.5	6.5	8.5	11.5	14.5	17.5	20.5	19.5	16.5	13.5	9.5	6.5
1887	5.6	6.6	8.6	11.6	14.6	17.6	20.6	19.6	16.6	13.6	9.6	6.6
1888	5.7	6.7	8.7	11.7	14.7	17.7	20.7	19.7	16.7	13.7	9.7	6.7
1889	5.8	6.8	8.8	11.8	14.8	17.8	20.8	19.8	16.8	13.8	9.8	6.8
1890	5.9	6.9	8.9	11.9	14.9	17.9	20.9	19.9	16.9	13.9	9.9	6.9
1891	6.0	7.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	20.0	17.0	14.0	10.0	7.0
1892	6.1	7.1	9.1	12.1	15.1	18.1	21.1	20.1	17.1	14.1	10.1	7.1
1893	6.2	7.2	9.2	12.2	15.2	18.2	21.2	20.2	17.2	14.2	10.2	7.2
1894	6.3	7.3	9.3	12.3	15.3	18.3	21.3	20.3	17.3	14.3	10.3	7.3
1895	6.4	7.4	9.4	12.4	15.4	18.4	21.4	20.4	17.4	14.4	10.4	7.4
1896	6.5	7.5	9.5	12.5	15.5	18.5	21.5	20.5	17.5	14.5	10.5	7.5
1897	6.6	7.6	9.6	12.6	15.6	18.6	21.6	20.6	17.6	14.6	10.6	7.6
1898	6.7	7.7	9.7	12.7	15.7	18.7	21.7	20.7	17.7	14.7	10.7	7.7
1899	6.8	7.8	9.8	12.8	15.8	18.8	21.8	20.8	17.8	14.8	10.8	7.8
1900	6.9	7.9	9.9	12.9	15.9	18.9	21.9	20.9	17.9	14.9	10.9	7.9