Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Eine bemerkenswerte 16jährige Klimaschwankung

mit einem Anhang:

Mögliche Perioden verschiedener Wellenlänge

Von

Arthur Wagner, Wien

(Mit 12 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 3. Juli 1924)

I. Einleitung.

In den letzten Dezennien erschienen zahlreiche Arbeiten, die sich mit dem Nachweis mehrjähriger periodischer Schwankungen verschiedener meteorologischer Elemente befaßten; die positiven Ergebnisse dieser Untersuchungen sind aber zumeist äußerst dürftig, so daß es wenig ermutigend ist, neuerlich dieses Problem in Angriff zu nehmen. Wenn ich trotzdem hier eine bestimmte mehrjährige Periode näher untersuche, geschieht dies aus dem Grunde, weil diese Schwankung, auf welche ich durch Zufall aufmerksam wurde, von vornherein durch die auffällige Regelmäßigkeit des Ablaufes den Eindruck des Gesetzmäßigen machte; tatsächlich konnte unter Anwendung verschiedener Methoden, insbesondere des Schusterschen Kriteriums,[1] nachgewiesen werden, daß wir es hier mit sehr großer Wahrscheinlichkeit mit einer wirklichen Periode im physikalischen Sinne zu tun haben.

Bevor auf die Diskussion des Beobachtungsmaterials selbst eingegangen wird, dürfte es zweckmäßig sein, auseinanderzusetzen, was derartige Untersuchungen überhaupt im besten Fall leisten können. In den meisten derartigen Arbeiten begnügten sich die Verfasser mit dem Nachweis, daß das betreffende meteorologische Element während der zur Verfügung stehenden Beobachtungszeit mehr oder weniger regelmäßige Schwankungen aufweist, die meist erst nach Anwendung verschiedener Ausgleichsverfahren ersichtlich werden. Demgegenüber muß betont werden, daß jeder beliebige Kollektivgegenstand, jede willkürliche, ungeordnete Zahlenreihe derartige Schwankungen aufweisen wird; je weiter in dem Ausgleichverfahren gegangen wird desto mehr werden die kürzeren Schwankungen gegenüber den längeren zurücktreten; je nach dem Ausgleichverfahren werden daher scheinbare Periodenlängen gewisser Größenordnung bevorzugt. Das Ausgleichen des ursprünglichen Zahlenmaterials vor der mathematischen Behandlung ist daher, wie

[1] A. Schuster: On the investigation of hidden periodicities.... Terr. Magn. 1898, p. 32.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

insbesondere auch A. Schuster l. c. betont, unter allen Umständen zu vermeiden, weil dadurch bestimmte Periodenlängen besonders hervorgehoben werden, denen im ursprünglichen Zahlenmaterial keine besondere Rolle zukommt; andrerseits können dadurch charakteristische Regelmäßigkeiten stark abgestumpft werden.

Man kann die zeitlichen Schwankungen verschiedener Elemente in drei Gruppen einteilen:

1. Wirkliche periodische Erscheinungen, die eine genau bestimmbare Periodenlänge haben und deren Phase — wenigstens im Mittel mehrerer Perioden — konstant bleibt; z. B. täglicher oder jährlicher Temperaturgang. Wenn auch die Eintrittszeiten der Extreme in den einzelnen Periodenabläufen eine gewisse Streuung aufweisen, so wird doch der aus einzelnen Jahrgängen abgeleitete mittlere tägliche Temperaturgang nahezu dieselbe Phase zeigen, die aufeinanderfolgenden Perioden sind kohärent.

2. Der periodische Ablauf setzt erst nach Einwirkung eines äußeren Impulses ein und klingt allmählich ab, z. B. die Häufigkeit erdmagnetischer Störungen oder des Nordlichtes im Zusammenhang mit dem Auftreten großer Sonnenflecken; die Wirkung eines bestimmten Sonnenflecken auf die erdmagnetischen Elemente ist häufig noch nach einer und mehreren Sonnenrotationen mit abnehmender Stärke nachweisbar. Derartige quasiperiodische Erscheinungen können naturgemäß nur dann klargelegt werden, wenn die Eintrittszeiten des äußeren Impulses, also der wirkenden Kraft, bekannt sind.

3. Schwankungen überhaupt, über die weiters nichts gesagt werden kann, als daß bestimmte Periodenlängen mit einer größten Häufigkeit auftreten, z. B. die Pulsationen des Windes, die Aufeinanderfolge von barometrischen Steig- und Fallgebieten; in diesem Falle kann eine Untersuchung nur dann einen Erfolg haben, wenn das Beobachtungsmaterial so groß ist, daß eine Häufigkeitsverteilung der einzelnen Periodenlängen gegeben werden kann, aus welcher man ersieht, mit welcher Häufigkeit die einzelnen Periodenlängen vorkommen.

Will man hierbei nur Perioden von einer gewissen Periodenlänge aufwärts ins Auge fassen, so ist eine gewisse Willkür nicht zu vermeiden; je nach dem gewählten Schwellenwert, von welchem an man eine zeitliche Schwankung als Welle gelten läßt oder je nach dem Ausgleichverfahren werden die Ergebnisse subjektiv gefärbt sein.

Wenn man sich bei der Untersuchung von mehrjährigen Perioden auf das zur Verfügung stehende ziffernmäßige Beobachtungsmaterial beschränkt (im besten Fall 150 bis 200 Jahre), so scheiden die unter 3. genannten Erscheinungen von vornherein aus, da das Zahlenmaterial nur die Berechnung einer sehr beschränkten Anzahl aufeinanderfolgender Perioden gestattet. Die unter 2. genannten quasiperiodischen Erscheinungen sind in der Meteorologie noch sehr wenig untersucht worden. Es kommen

daher für eine ernstliche Untersuchung von mehrjährigen Perioden nur solche Erscheinungen in Betracht, die eine konstante mittlere Periodenlänge haben, bei welchen also die einzelnen aufeinanderfolgenden Perioden organisch zusammenhängen. Die an sich denkbaren Fälle, in welchen die Periodenlänge gesetzmäßige Schwankungen aufweist, müssen wohl auch wegen der Dürftigkeit des verfügbaren Zahlenmaterials von einer Untersuchung ausscheiden.

Um eine unter 1. genannte Periode von vorläufig unbekannter Periodenlänge festzustellen, bleibt nichts anderes übrig, als die recht mühselige Arbeit einer Periodogramm-Berechnung zu leisten und die Amplituden für verschiedene Wellenlängen mit Hilfe der Bessel'schen Funktionen zu bestimmen. Doch darf man nicht, wie es einige Verfasser getan haben, aus jedem Maximum im Periodogramm, aus jeder merklich über das Mittelmaß hinausgehenden Amplitude auf die reale Existenz der betreffenden Periode, d. h. auf das Vorhandensein einer diese Periode verursachenden Kraft schließen.

Wenn man eine beliebige Zahlenreihe in Einzelreihen von m Glieder einteilt und dann diese Einzelreihen derart zusammenfaßt, daß das erste Glied jeder Einzelreihe, dann das zweite usf. zu je einem Mittel vereinigt wird, so wird die Reihe dieser Mittelwerte im allgemeinen Schwankungen aufweisen; je größer die Anzahl der verwendeten Einzelwerte ist und je weniger die Einzelwerte um ihren Mittelwert verstreut sind, desto kleiner wird diese durch den Zufall bedingte und mit Hilfe der Bessel'schen Funktionen zu berechnende Amplitude im allgemeinen sein. Eine aus irgendeinem Beobachtungsmaterial abgeleitete Periode kann nur dann ein gewisses Interesse beanspruchen, wenn deren Amplitude so groß ist, daß sie durch die zufällige Verteilung der Einzelwerte nur mit äußerst geringer Wahrscheinlichkeit erklärt werden kann. Nur in solchen Fällen können wir mit einer an die Einheit heranreichenden Wahrscheinlichkeit annehmen, daß zur Erklärung der gefundenen Periode die Voraussetzung einer wirksamen Kraft notwendig ist; dann aber können wir auch mit sehr großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß diese während der verflossenen Beobachtungszeit wirksame Kraft auch in der Zukunft den Ablauf der untersuchten Erscheinung in gesetzmäßiger Weise beeinflussen wird.

Eine Stütze für diese Annahme wird der Nachweis sein, daß das Beobachtungsmaterial nicht nur in seiner Gesamtheit den Nachweis einer bestimmten Periode gestattet, sondern daß letztere auch in den einzelnen Zeitabschnitten mit konstanter Phase zum Ausdruck kommt.

Nach dem oben Gesagten kann es sich beim Nachweis einer bestimmten Periode nur um einen Wahrscheinlichkeitsbeweis handeln; zur Beurteilung ist es aber unbedingt notwendig, die Wahrscheinlichkeit ziffermäßig anzugeben, mit welcher man die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gefundene Regelmäßigkeit auch durch die zufällige Gruppierung der Einzelwerte allein erklären kann. Streng genommen ist der Nachweis z. B. des täglichen Temperaturganges auch nur ein Wahrscheinlichkeitsbeweis, doch kann bei derartig großen Amplituden (im Vergleich zur mittleren Streuung) schon aus einem kleinen Zahlenmaterial mit einer an die Einheit heranreichenden Wahrscheinlichkeit auf das Vorhandensein einer äußeren Kraft geschlossen werden. Mit Rücksicht auf die große verfügbare Anzahl einzelner Stundenwerte kann diese Wahrscheinlichkeit fast beliebig nahe an die Einheit herangebracht werden.

Bei einer erst festzustellenden mehrjährigen Periode, die naturgemäß keine auffällig große Amplitude haben kann, wird man sich von vornherein mit einer wesentlich geringeren Wahrscheinlichkeit begnügen müssen. Es bleibt dann Ansichtssache, von welchem Betrag der Wahrscheinlichkeit an man sich berechtigt glaubt, die Erklärung der gefundenen Regelmäßigkeit durch die bloß zufällige Verteilung der Einzelwerte abzulehnen und die Existenz einer wirksamen Kraft anzunehmen. Schuster selbst stellt die Forderung auf (l. c.), daß die Realität einer Periode erst dann mit brauchbarer Wahrscheinlichkeit erwiesen ist, wenn die Wahrscheinlichkeit, daß diese Periode auch durch bloßen Zufall entstanden sein könne, kleiner als rund 10^{-3} ist.

Schuster benutzt zur Beurteilung der erwähnten Wahrscheinlichkeit eine Größe, die er Expektanz E nennt; bei zufälliger Gruppierung der Einzelwerte kommt einer mit den Bessel'schen Funktionen berechneten Amplitude a, die die Größe E überschreitet, eine Wahrscheinlichkeit $W = e^{-\frac{\pi}{4}} = 0 \cdot 4559$, also rund $^1/$ zu. Diese Expektanz ist gleich dem Mittelwert aus allen Amplituden, die man bei sämtlichen möglichen Gruppierungen der Einzelwerte nach verschiedenen Periodenlängen erhält. Sind die aufeinanderfolgenden Einzelwerte voneinander unabhängig (wie man dies z. B. gewiß mit großer Annäherung von den Jahresmitteln, keinesfalls aber von Stundenwerten annehmen darf) und folgen die Abweichungen der Einzelwerte von ihrem Mittelwerte dem Gauß'schen Fehlerverteilungsgesetz, so erhält man die Größe E auch direkt aus der Anzahl der Einzelwerte und ihrer mittleren Streuung. Ist das Gauß'sche Fehlerverteilungsgesetz gegeben durch $\varphi(x) = e^{-h^2 \times x^2} . h / \sqrt{\pi}$, in welcher Gleichung h das Präzisionsmaß darstellt, so ist die Expektanz gegeben durch $E = 1/h \times \sqrt{\pi \; 2N}$, wobei N gleich ist der Gesamtanzahl der verfügbaren Beobachtungszahlen. Bei Geltung des Gauß'schen Fehlerverteilungsgesetzes hängt das Präzisionsmaß h mit dem aus den quadratischen Abweichungen berechneten mittleren Fehler des Einzelwertes μ[1] und mit der

[1] Zweckmäßiger im Sinne der Kollektivmaßlehre mit mittlerer Streuung bezeichnet.

mittleren Abweichung v durch folgende Gleichungen zusammen: $\mu = 1/h\sqrt{2}$; $v = 1/h\sqrt{\pi}$. Wir können daher auch schreiben: $E = \mu\sqrt{\pi\ 2N} = v\pi/\sqrt{2N}$

Nachdem die mittlere Abweichung v bei vielen meteorologischen Beobachtungen bereits gegeben ist, andrerseits am einfachsten zu berechnen ist, führt die letzte Formel $E = v\pi\ \sqrt{2N}$ am raschesten zum Ziel.

Ist die aus einem gegebenen Beobachtungsmaterial berechnete Amplitude für eine gewisse Periodenlänge $\varkappa$mal größer als E, so ist die Wahrscheinlichkeit, mit welcher sich diese Amplitude durch den bloßen Zufall erklärt, gegeben durch

$$W = e^{-\frac{\pi\varkappa^2}{4}}$$

Zur leichteren Beurteilung wurden diese Werte von W für $\varkappa = 0$ bis $\varkappa = 5{\cdot}0$ in Stufen von $0{\cdot}1$ neu berechnet und in Tabelle 1 zusammengestellt.

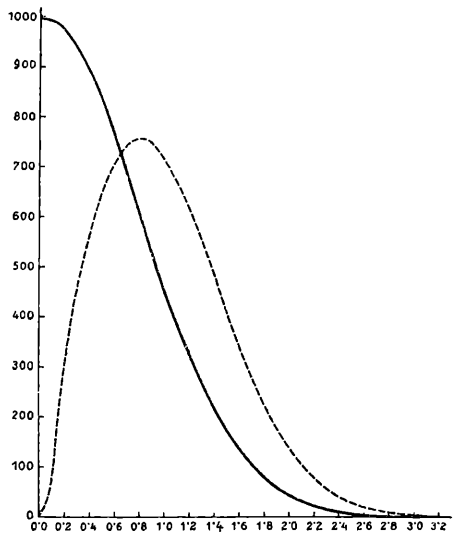

Fig. 1.

Funktion $10^3\ e^{-\frac{\pi\varkappa^2}{4}}$ ———

und $10^4 \frac{\partial}{\partial\varkappa} e^{-\frac{\pi\varkappa^2}{4}}$: – – – – –

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1.

Funktion $e^{-\frac{\pi}{4}\varkappa^2}$

	$e^{-\frac{\pi}{4}\varkappa^2}$	$\Delta.10^4$		$e^{-\frac{\pi}{4}\varkappa^2}$	$\Delta.10^4$
0·0	1.000	78	2·6	$4\cdot95.10^{-3}$	16
0·1	$9\cdot922.10^{-1}$	231	2·7	$3\cdot26.10^{-3}$	12
0·2	$9\cdot691.10^{-1}$	373	2·8	$2\cdot12.10^{-3}$	8
0·3	$9\cdot318.10^{-1}$	499	2·9	$1\cdot35.10^{-3}$	5
0·4	$8\cdot819.10^{-1}$	602	3·0	$8\cdot51.10^{-4}$	3
0·5	$8\cdot217.10^{-1}$	680	3·1	$5\cdot27.10^{-4}$	2
0·6	$7\cdot537.10^{-1}$	731	3·2	$3\cdot21.10^{-4}$	1
0·7	$6\cdot806.10^{-1}$	757	3·3	$1\cdot94.10^{-4}$	1
0·8	$6\cdot049.10^{-1}$	756	3·4	$1\cdot14\cdot10^{-4}$	
0·9	$5\ 293.10^{-1}$	734	3·5	$6\cdot63.10^{-5}$	
1·0	$4\cdot559.10^{-1}$	692	3·6	$3\cdot80.10^{-5}$	
1·1	$3\cdot867.10^{-1}$	640	3·7	$2\cdot14.10^{-5}$	
1·2	$3\cdot227.10^{-1}$	576	3·8	$1\cdot19.10^{-5}$	
1·3	$2\cdot651.10^{-1}$	506	3·9	$6\cdot49.10^{-6}$	
1·4	$2\cdot145.10^{-1}$	437	4·0	$3\cdot49.10^{-6}$	
1·5	$1\cdot708.10^{-1}$	369	4·1	$1\cdot85.10^{-6}$	
1·6	$1\cdot339.10^{-1}$	306	4·2	$9\cdot62.10^{-7}$	
1·7	$1\cdot033.10^{-1}$	248	4·3	$4\cdot93.10^{-7}$	
1·8	$7\cdot850.10^{-2}$	198	4·4	$2\cdot50.10^{-7}$	
1·9	$5\cdot871.10^{-2}$	155	4·5	$1\cdot24.10^{-7}$	
2·0	$4\cdot321.10^{-2}$	119	4·6	$6\cdot07.10^{-8}$	
2·1	$3\cdot132.10^{-2}$	90	4·7	$2\cdot93.10^{-8}$	
2·2	$2\cdot235\cdot10^{-2}$	66	4·8	$1\cdot38.10^{-8}$	
2·3	$1\cdot572.10^{-2}$	49	4·9	$6\cdot46.10^{-9}$	
2·4	$1\cdot085.10^{-2}$	34	5·0	$2\cdot97.10^{-9}$	
2·5	$7\cdot38.10^{-3}$	25			

Die Werte dieser Funktion sowie auch deren Ableitung nach $\varkappa$, welche die Häufigkeit der einzelnen durch das Gesetz des Zufalls bedingten Amplitudengrößen darstellt, sind auch in Fig. 1 wiedergegeben, und zwar die erstere Funktion multipliziert mit 10^3, deren Ableitung multipliziert mit 10^1.

Nachdem z. B. die Veränderlichkeit v der Jahresmittel der Temperatur zu Wien 0·53° beträgt, ergibt sich die Expektanz für $N = 150$ zu 0·0960°; erst wenn eine aus 150 Jahren gefundene mittlere Amplitude a den Betrag von 0·29° erreicht, also 3 mal größer ist als E, sind wir nach Schuster berechtigt, diese Periode als reell anzusehen; die mittlere Schwankung zwischen den mittleren Extremen müßte also rund 0·6° betragen.[1]

[1] Während des Druckes erschienen zwei Arbeiten, in welchen der Schuster'sche Expektanzbegriff näher auseinandergesetzt wird, und zwar Franz Baur, Mitteilungen der Wetter- und Sonnenwarte St. Blasien, Heft 3 und V. Conrad, Meteorologische Zeitschrift 1924, S. 299.

II. 16jährige Periode in Wien.

Bei der Untersuchung der Temperaturverhältnisse in Wien fiel mir auf, daß die 5jährigen Mittel der Temperaturdifferenz Sommer—Winter durch die ganze verfügbare Beobachtungszeit hindurch vom Jahre 1776 angefangen eine recht auffällige regelmäßige Schwankung aufweisen. Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist,

Tabelle 2.

5jährige Sommer- und Wintertemperaturen, Wien.

	Sommer	Winter	Δ		Sommer	Winter	Δ
1776—1780	18·3	—1·4	19·7	1851—1855	18·2	—1·1	19·3
1781—1785	19·8	—0·8	**20·6**	1856—1860	18·9	—1·4	**20·3**
1786—1790	18·9	—0·1	19·0	1861—1865	18·5	—1·3	19·8
1791—1795	19·5	0·0	19·5	1866—1870	18·3	—0·1	17·4
1796—1800	19·5	—1·3	**20·8**	1871—1875	18·9	—1·3	**20·2**
1801—1805	18·8	—1·2	20·0	1876—1880	18·9	—0·5	19·4
1806—1810	19·5	0·3	19·2	1881—1885	18·3	0·1	18·2
1811—1815	18·9	—1·9	**20·8**	1886—1890	18·5	—1·9	**20·4**
1816—1820	19·0	—0·1	19·1	1891—1895	18·3	—1·6	19·9
1821—1825	18·4	0·8	17·6	1896—1900	18·3	0·4	17·9
1826—1830	18·9	—2·9	**21·8**	1901—1905	18·6	0·0	**18·6**
1831—1835	18·9	—0·1	19·0	1906—1910	17·9	0·2	17·7
1836—1840	17·9	—2·1	**20·0**	1911—1915	17·8	0·6	17·2
1841—1845	17·9	—1·0	18·9	1916—1920	17·7	1·2	16·5
1846—1850	18·6	—1·2	19·8	1921—1924	18·0	0·1	(**17·9**)

überschreitet in jedem dritten Lustrum die mittlere Differenz Sommer—Winter den Betrag von 20°, während sie in den beiden dazwischenliegenden Lustren darunter bleibt. Nur das Maximum im Lustrum 1836—1840 wäre erst im nächsten Lustrum 1841—1845 zu erwarten. Das nachfolgende Maximum dagegen fällt wieder auf das durch eine etwa 15jährige Periode bedingte Lustrum. Erst in den letzten Jahren, etwa nach 1900, tritt die erwähnte Schwankung nicht mehr mit derselben Regelmäßigkeit auf; dies könnte — wie sich nachträglich auch herausstellte — darin seinen Grund haben, daß die angedeutete Periode nicht genau eine Periodenlänge von 15 Jahren hat.

Um zu sehen, ob diese scheinbar 15jährige Schwankung etwa durch zufällige Vorkommnisse nur auf die Station Wien

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

beschränkt ist, wurden für den Zeitraum 1851—1900 sämtliche meteorologische Stationen des alten Österreichs, soweit sie während der ganzen 50 Jahre beobachtet hatten (außerdem noch Lesina und Marienberg) in ähnlicher Weise untersucht. Die in Tabelle 3 zusammengestellten mittleren Temperaturdifferenzen: Sommer—Winter konnten in einfacher Weise aus den von W. Trabert[1] publizierten Lustrenmitteln berechnet werden. Wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, weisen sämtliche 15 Stationen von Lesina im Süden, bis Krakau im Norden genau dieselben langjährigen Schwankungen auf wie Wien, mit der einzigen Ausnahme, daß in Krakau das Lustrummittel 1851—1855 um 0·1° höher ist als das darauffolgende.

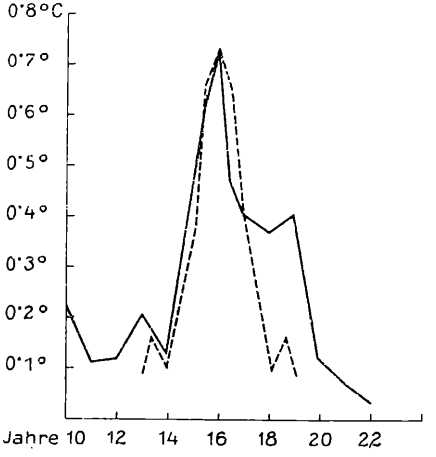

Fig. 2.

Periodogramm Wien, ΔT (Sommer—Winter).

Die sich ergebende Amplitude ist immerhin recht beträchtlich; der Unterschied zwischen den Jahrfünften mit geringer Jahresamplitude und den dazwischenliegenden Jahrfünften beträgt im Mittel aller 15 Stationen 1·37° Bereits hier kann man einige mit der geographischen Lage zusammenhängende Unterschiede erkennen: Die südlichen Stationen (Lesina, Triest, Bozen) weisen eine kleinere Amplitude auf als die nördlichen; überdies scheinen Stationen, die in Talkesseln gelegen sind und starke Ausstrahlung im Winter haben (Laibach, Klagenfurt), eine größere Schwankung zu haben.

Schließlich wurde noch für Wien das Zahlenmaterial von 1776—1910 (145 Jahre) in drei Abschnitte zu je 45 Jahren (= 3 Perioden zu je 15 Jahren) geteilt und für jeden dieser drei Abschnitte der mittlere Verlauf während der 15 Periodenjahre ermittelt.

Wie aus den Zahlenreihen in Tabelle 4 zu ersehen ist, prägt sich eine Periode von ungefähr 15 Jahren in jedem der drei Zeitabschnitte deutlich aus, jedoch verschiebt sich die Lage der Extreme von einer zur nächsten Zeile etwas nach rechts, d. h. die Periodenlänge muß etwas mehr als 15 Jahre betragen.

Die bisher sich ergebende Regelmäßigkeit ermutigte mich, die angedeutete Periode näher zu untersuchen und ein Periodogramm —

---

[1] W. Trabert, Isothermen Österreich. Denkschr. d. Akad. d. Wiss., Jubelband (1901).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 3. 5jährige Mittel des Temperaturunterschiedes: Sommer—Winter.

	1851–1855	1856–1860	1861–1865	1866–1870	1871–1875	1876–1880	1881–1885	1886–1890	1891–1895	1896–1900	Mittl. Min.	Übrige Jahre	Schwankung
Lesina	—	—	15·5	14·5	14·8	15·0	14·1	15·1	15·1	14·1	14·23	15·12	0·89
Triest	17·8	19·0	18·6	17·2	17·9	17·7	17·1	18·5	18·4	16·7	17·20	18·37	1·17
Laibach	19·6	21·0	20·5	18·6	19·8	20·5	19·3	21·2	21·2	18·1	18·92	20·64	1·72
Graz (Stadt)	19·9	21·2	20·6	19·0	20·4	20·0	19·0	20·5	20·9	19·1	19·25	20·62	1·37
Alt-Aussee ..	17·5	17·8	17·7	17·0	18·0	17·1	15·8	17·7	18·6	15·8	16·52	17·82	1·30
Klagenfurt	22·4	23·9	22·9	21·4	22·3	23·0	21·2	23·1	23·4	21·0	21·53	23·13	1·60
Bozen-Gries...	20·6	21·2	20·8	19·8	20·4	20·3	19·2	20·2	20·7	18·7	19·59	20·60	1·01
Marienberg	—	17·4	15·8	15·4	16·2	15·6	14·7	16·2	16·8	14·5	14·89	16·32	1·43
Ischl.....	18·6	19·3	18·7	17·3	19·1	18·4	16·9	19·0	19·6	16·9	17·36	19·04	1·68
Kremsmünster.....	19·5	20·1	19·7	18·1	20·1	18·9	17·6	20·0	20·0	17·7	18·22	19·60	1·38
Wien	19·3	20·2	19·7	18·3	20·2	19·4	18·1	20·4	20·0	17·9	18·41	19·95	1·54
Preßburg	19·4	19·7	19·6	18·9	19·2	18·5	17·8	20·2	19·8	17·5	18·36	19·47	1·11
Prag...	19·1	19·6	18·5	17·8	20·1	19·0	17·5	19·7	19·7	17·8	18·07	19·58	1·51
Brünn....	20·1	20·8	20·7	19·4	21·3	20·2	18·7	20·1	20·6	18·2	19·15	20·61	1·46
Krakau.	20·4	20·3	20·4	19·0	21·1	19·8	18·3	20·8	20·4	18·3	19·00	20·45	1·45
Mittel (15 Stationen)..	**18·88**	19·80	19·31	**18·10**	19·37	18·88	**17·68**	19·52	19·68	**17·49**	18·04	19·41	1·37

Tabelle 4. Wien, jährliche Temperaturschwankung: Sommer—Winter in Abweichung vom vieljährigen Mittel, geordnet nach Folgen von 15 Jahren; 3jährige Mittel, $(a+2b+c):4$, °C.

1776—1820	−0·63	−0·03	0·00	−0·40	0·50	1·43	0·67	0·27	0·77	−0·17	−0·93	−0·50	−0·20	−0·07	−0·37
1821—1865	−0·70	−0·70	−0·17	−0·63	−0·43	1·23	1·43	0·03	0·07	0·97	0·50	−0·13	−0·47	−0·50	−0·30
1866—1910	−0·37	−0·97	−0·93	−1·57	−0·10	0·93	0·30	−0·03	0·53	1·13	0·87	0·03	−0·17	0·20	0·37
1776—1910	−0·75	−0·59	−0·24	0·03	0·68	0·94	0·44	0·49	0·67	0·12	−0·41	−0·26	−0·11	−0·25	−0·68

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

vorerst für Periodenlängen von 10 bis 22 Jahren von Jahr zu Jahr zu berechnen. Benutzt wurden stets sämtliche Jahre 1776—1923; als Sommer wurden die Monate Juni, Juli und August, als Winter die Monate Dezember, Jänner und Februar in ihrer natürlichen Reihenfolge benutzt und die Temperaturdifferenzen Sommer—vorhergehendem Winter berechnet. Die Amplituden für die einzelnen angenommenen Periodenlängen von 10 bis 22 Jahre sind in Fig. 2 wiedergegeben. Hier zeigt sich ein sehr stark ausgeprägtes Maximum bei 16 Jahren mit einer Amplitude $a = 0 \cdot 735°$; die Zwischenwerte $15^1/_2$ und $16^1/_2$ Jahre weisen kleinere Amplituden auf als die Periodenlänge $16 \cdot 0$. Die punktierte Linie in Fig. 2 stellt nach A. Schuster (l. c.) den Verlauf der Amplitude dar, wie er sich bei einer für 16 Jahren tatsächlich vorhandenen Periode durch die bloße Verschiebung der einzelnen Reihen infolge der Gruppierung nach 10, 11 usw. Jahren theoretisch ergeben sollte. Je größer nämlich die

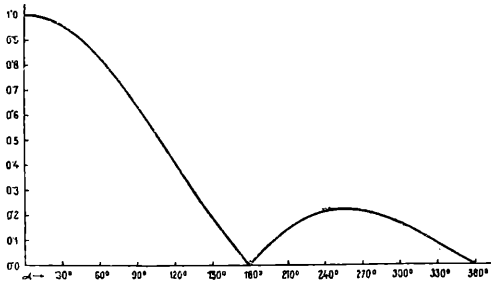

Fig. 3.

Funktion $|\sin \alpha \quad \alpha|$.

Anzahl der verfügbaren aufeinanderfolgenden Perioden ist, desto rascher fällt das Maximum im Periodogramm nach beiden Seiten ab. Mit der Abnahme der Amplitude nach beiden Seiten von der tatsächlich vorhandenen Periode ist auch eine Phasenverschiebung der für die einzelnen Periodenlängen berechneten Perioden verbunden. Ist n die Anzahl der verfügbaren Periodenlängen (in unserem Falle für 16 Jahre $n = 9 \cdot 2$, für kürzere Periodenlängen etwas mehr, für längere etwas weniger) und entspricht q der tatsächlichen Periodenlänge l_0 derart, daß $2\pi/q = l_0$ ist, so ergibt sich theoretisch bei Anordnung des Zahlenmaterials nach einer anderen Periodenlänge l_1, die ausgedrückt ist durch $l_1 = 2\pi/k$ einer Phasenverschiebung, die gegeben ist durch $\bar{\alpha} = n\pi\,(q-k)\;k$, im Winkelmaß also $\alpha = n \,.\, 180°\;(q-k)\;k$.

Wird die Amplitude der tatsächlich vorhandenen Periode $= 1$ gesetzt, so ist der Abfall der Amplitude nach beiden Seiten gegeben durch $a = |\sin \alpha : \alpha|$; bei einem Winkel $\alpha = \pm 257°$ treten hierbei noch sekundäre Maxima auf, die aber nur mehr $0 \cdot 217$ der wirklich vorhandenen Amplitude ausmachen. Die Funktion $|\sin \alpha : \alpha|$ ist in Fig. 3 und außerdem für Intervalle von 10 zu 10° in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5.

$|\sin \alpha : \alpha|$.

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°+	1·000	0·997	0·983	0·957	0·924	0·879	0·830	0·772	0·707	0·638
100°+	0·565	0·491	0·415	0·338	0·264	0·191	0·124	0·059	0·000	0·053
200°+	0·098	0·137	0·168	0·191	0·207	0·215	0·217	0·213	0·202	0·186
300°+	0·166	0·143	0·115	0·087	0·058	0·029	0·000			

Die Übereinstimmung des tatsächlichen Amplitudenabfalls in Fig. 2 nach beiden Seiten vom Maximum mit dem nach der Theorie beim Vorhandensein einer wirklichen Periode für 16 Jahre geforderten ist eine sehr günstige; sogar die sekundären Maxima, die theoretisch für $13^1/_2$ und $18^1/_2$ Jahre zu erwarten sind, finden sich im Periodogramm wieder; natürlich kann dieses Zusammenfallen auch nur ein Zufall sein, da die Streuung der Einzelwerte allein auch genügen würde, um diese kleinen sekundären Maxima im Periodogramm zu erklären.

Zur Berechnung der Expektanz E kann man nach Schuster den Mittelwert aus allen Perioden-Amplituden bestimmen, soweit diese nicht durch eine tatsächlich vorhandene Periode beeinflußt sind; nachdem, wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, außer dem Wert für 16 Jahre auch die für 15 und 17 Jahre zweifelsohne beeinflußt sind, können wir den Mittelwert aus den Jahren 10 bis 14 und 18 bis 22, zusammen also aus 10 Jahren berechnen. Das Mittel aus den 5 Amplituden für angenommene Periodenlängen von 10 bis 14 Jahren beträgt 0·155°, für die Periodenlängen 18 bis 22 Jahre 0·203° Nimmt man also das Mittel aus diesen beiden Werten, nämlich 0·171° als durchschnittliche Amplitude, wie sie sich durch die zufällige Gruppierung der Einzelwerte ergibt, so hat man eine Expektanz $E = 0 \cdot 179°$ und für eine Periodenlänge von 16 Jahren $a = 0 \cdot 735°$, $\varkappa = a/E = 4 \cdot 11$; nach den in Tabelle 1 wiedergegebenen Werten beträgt demnach die Wahrscheinlichkeit, daß die für eine Periodenlänge von 16 Jahren ermittelte Amplitude lediglich durch Zufall entstanden ist, nur $1 \cdot 76 \times 10^{-6}$; damit wäre die reale Existenz einer 16jährigen Periode mit überaus großer Wahrscheinlichkeit nachgewiesen.

Es bleibt jedoch hierbei zu bedenken, daß der aus den Periodenlängen 10 bis 14 und 18 bis 22 Jahren berechnete Betrag des Mittelwertes, also die Expektanz, ein zufälliger sein und vom wahren Mittelwert, wie er sich aus allen möglichen Gruppierungen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ergeben würde, wesentlich abweichen kann. Es wurde daher — auch aus anderen Gründen — das Periodogramm noch nach beiden Seiten ergänzt und von 2 bis 38 Jahren berechnet. Die Koeffizienten der Bessel'schen Funktionen sowie die Amplitude a und der Phasenwinkel A sind für die einzelnen Periodenlängen in Tabelle 6 enthalten. Beim Phasenwinkel A ist vom Jahre 1775 ausgegangen worden; für die 16jährige Periode kommt es auf dasselbe hinaus, als ob vom Jahre 1919 ausgegangen worden wäre. Nachdem für den Sommer 1919 zu setzen ist: 1919·5, für den Winter dementsprechend 1919·05, entspricht also, genau genommen, der Phasenwinkel $A = 0$ der Epoche 1919·27.

In Tabelle 6 tritt neben dem Hauptmaximum bei 16 Jahren noch eine relativ große Amplitude bei 3·0 und bei 33 Jahren auf, die beide vorläufig außer Betracht bleiben mögen. Während für die kurzen Periodenlängen die aufeinanderfolgenden Phasenwinkel keinen sichtbaren Zusammenhang aufweisen, zeigt sich in der Umgebung von 16 Jahren eine deutliche Phasenverschiebung: der Phasenwinkel A wird von einer Periodenlänge zur nächsten immer größer. Die Jahre 15 und 17 sind im Mittel um 115° gegenüber dem A für 16 Jahre verschoben; nach der Theorie sollten sich 100° ergeben. Die Jahre 14 und 18 zeigen eine ebensolche Phasenverschiebung von im Mittel 235° (nach der Theorie 207°) und die Jahre 13 und 19 eine solche von 299° (nach der Theorie 315°). Die Übereinstimmung mit der Theorie ist somit eine völlig befriedigende.

Das Mittel aus allen Amplituden von 2 bis 38 Jahren (nur mit Berücksichtigung der Periodenlängen von ganzen Jahren) beträgt 0·282°, also wesentlich mehr als früher erhalten wurde; daraus ergibt sich für die Periodenlänge von 16 Jahren $\varkappa = 2 \cdot 61$ und die Wahrscheinlichkeit $W = 4 \cdot 79 \times 10^{-3}$. Fast genau denselben Wert erhält man aus der oben angegebenen Formel $E = v\pi / \sqrt{2N}$, nämlich $E = 0 \cdot 287$[1] ($v = 1 \cdot 57°$, $N = 148$) und daraus $\varkappa = 2 \cdot 56$. Wenn man bei der Berechnung der mittleren Amplitude die Werte für die Jahre 15 bis 17, die jedenfalls durch die angenommene Periode von 16 Jahren beeinflußt sind, wegläßt, so erhält man einen Mittelwert $E = 0 \cdot 254$ und daraus $\varkappa = 2 \cdot 89$, $W = 1 \cdot 43 \times 10^{-3}$.

Nachdem auf diese Weise der Wert von $\varkappa$ unter dem Betrag von 3 bleibt, die Wahrscheinlichkeit also $> 10^{-3}$ ist, erscheint es notwendig, weitere Argumente für eine reale Existenz der untersuchten Periode beizubringen. Es wurden die Jahre 1776—1919 in 3 Abschnitte zu je 48 Jahren — je 3 Periodenlängen — geteilt und für jeden dieser Abschnitte die Konstanten einer 16jährigen

---

[1] Aus den quadratischen Abweichungen erhält man nach der Formel $E = \mu \sqrt{\pi : N}$ genau denselben Wert, nämlich $\mu = 1 \cdot 96°$, $E = 0 \cdot 285°$.

Tabelle 6.

Wien, Temperaturdifferenz Sommer—Winter. 1776—1923.

Periodogramm.

Jahre	p	q		A	Jahre	p	q		A
2·0	—	—	0·015° C.	—	18	−0·358° C.	0·117° C.	0·376° C.	288·1°
2·9	0·367° C.	0·025° C.	0·368	86·1°	19	0·246	0·324	0·407	37·2
3·0	0·540	0·151	0·560	74·4	20	0·086	−0·086	0·122	135·0
3·1	0·027	−0·427	0·427	176·4	21	−0·053	−0·052	0·074	225·6
4	−0·160	−0·005	0·160	168·2	22	−0·033	−0·013	0·036	249·0
5	0·166	0·333	0·372	26·4	23	−0·172	0·013	0·173	274·3
6	0·055	0·030	0·063	61·4	24	0·163	0·259	0·306	327·9
7	0·286	0·110	0·306	69·2	25	0·081	0·351	0·359	13·0
8	0·142	0·042	0·148	73·6	26	0·242	0·205	0·317	49·7
9	0·412	−0·010	0·412	91·4	27	0·233	0·073	0·244	71·9
10	−0·174	0·121	0·212	304·8	28	0·203	0·078	0·214	69·5
11	0·059	−0·094	0·111	147·3	29	0·269	0·089	0·283	71·7
12	−0·015	−0·120	0·121	187·0	30	0·359	−0·017	0·366	92·7
13	0·074	−0·192	0·206	159·0	31	0·315	0·212	0·378	54·0
14	0·004	−0·127	0·127	178·2	32	0·149	−0·384	0·413	158·8
15	−0·401	−0·214	0·455	242·0	33	−0·046	−0·454	0·457	185·8
15½	−0·590	0·210	0·626	289·6	34	−0·257	−0·230	0·345	228·1
16	−0·178	0·714	0·735	346·4	36	−0·203	0·196	0·282	314·0
16½	0·368	0·307	0·479	50·2	38	0·168	0·233	0·287	35·9
17	0·376	−0·160	0·408	113·0					

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Periode berechnet. Die Wahrscheinlichkeit W, daß in jedem einzelnen Abschnitt die ermittelte Periode lediglich durch die zufällige Verteilung der Einzelwerte mindestens erreicht wird, ist dann gegeben durch das Produkt der Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Zeitabschnitte. Die in Betracht kommenden Werte finden sich in Tabelle 7 zusammengestellt.

Daraus, daß der Phasenwinkel A in jedem der drei Zeitabschnitte ungefähr gleich ist, ergibt sich, daß die Periodenlänge ziemlich genau 16·0 Jahre beträgt, vielleicht ist sie entsprechend der geringen Zunahme von A um 0·1 bis 0·2 Jahre kürzer. Die Amplitude a ist im letzten Abschnitt 1872—1919 wesentlich größer als in den beiden vorhergehenden (über 1° gegenüber rund 0·6°). Die Wahrscheinlichkeit W ist nur im letzten Abschnitt für sich genommen befriedigend klein, die Gesamtwahrscheinlichkeit beträgt aber nur $8 \cdot 76 \times 10^{-4}$. Dieser Wert der Gesamtwahrscheinlichkeit hat für die Existenz einer kohärenten Periode nur dann eine Bedeutung, wenn gleichzeitig auch die Phase annähernd konstant bleibt, was tatsächlich nach Tabelle 7 erfüllt ist. Diese gute Übereinstimmung der Phasenwinkel stützt jedenfalls die Annahme, daß die 16jährige Periode nicht durch zufällige Verteilung der Einzelwerte zustande gekommen ist. Im Mittel der drei Zeitabschnitte ergibt sich ein Phasenwinkel von 353·7°, die mittlere Abweichung davon beträgt nur 14·2°, entsprechend 7·5 Monate.

Um zu zeigen, in wie weit sich die abgeleitete 16jährige Periode in den Einzelwerten widerspiegelt, sind in Tabelle 8 sämtliche Einzelwerte der Jahre 1776—1919 geordnet in Horizontalzeilen zu je 16 Jahren mitgeteilt; die Zahlen sind Abweichungen der Differenz: Sommer—Winter vom Mittelwert; bis 1850 wurden die Abweichungen der »Meteorologie von Wien« von Hann[1] entnommen, die späteren Werte beziehen sich auf das Mittel 1850—1920. Negative Vorzeichen entsprechen somit zu kleiner Jahresschwankung, positive Vorzeichen zu großer Jahresschwankung.

Die Periode kommt in den gänzlich unkorrigierten Mittelwerten (vorletzte Zeile) bereits sehr deutlich zum Ausdruck; die linke Hälfte (entsprechend den Jahren 1904—1912) hat fast durchwegs positives Vorzeichen, die zweite Hälfte negatives Vorzeichen. Die nach der Formel $(a+2b+c)$ 4 nur wenig ausgeglichenen Mittelwerte (letzte Zeile) stellen bereits eine recht gleichmäßig verlaufende Kurve dar (vgl. Fig. 4).

Auch in den Einzelwerten zeigt sich eine recht befriedigende Verteilung der Vorzeichen, wenn wir uns nur auf den Bereich der Extreme beschränken. Die drei Periodenjahre in der Umgebung des Maximums der 16jährigen Periode (in Tabelle 8 mit Jahr 2 bis Jahr 4 bezeichnet) weisen unter 27 Einzelwerten 20 positive

---

[1] Denkschr. d. Akad. d. Wiss., Wien, Jubelband (1901).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 7.

16jährige Periode. Wien, Temperaturdifferenz Sommer—Winter.

Jahre	p	q	a	A		E		W	
1776—1823	−0·277°	0·537°	0·606°	332·8°	1·57°	0·484°	1·25	0·293	$8 \cdot 76 . 10^{-4}$
1824—1871	0·093	0·577	0·585	369·1	1·57	0·484	1·21	0·317	
1872—1919	−0·009	1·042	1·042	359·3	1·57	0·484	2·43	$9 \cdot 49 . 10^{-3}$	
1776—1919	−0·092	0·736	0·741	352·9	1·57	0·291	2·54		

Tabelle 8.

Jahresschwankung: Sommer—Winter in Abweichung vom vieljährigen Mittel, geordnet nach Folgen von 16 Jahren. (Wien, 1776—1919.)

Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1776—1791	1·6	1·6	0·7	−3·5	−0·3	2·5	1·7	−1·4	4·0	−0·8	−1·6	−0·4	−1·3	2·1	−1·1	−2·7
1792—1807	0·6	0·0	−1·3	3·0	0·0	1·4	−1·6	3·4	0·9	−1·2	2·1	2·0	−1·1	0·1	−2·8	−0·2
1808—1823	1 1	1·5	−0·3	4·4	0·3	−0·3	1·2	−2·4	−0·7	−1·4	−1·3	−0·2	1·5	−2·0	−1·9	1·3
1824—1839	−2·6	−3·7	2·7	1·1	0·4	−0·8	6·4	−0·9	−1·1	−0·6	−1·3	−1·3	0·5	−1·2	2·6	−0·5
1840—1855	−1·9	3·4	2·5	−4·8	−2·3	1·4	−1·0	0·4	1·4	−1·7	0·2	−0·9	−0·4	−1·1	1·0	1·4
1856—1871	1·1	3·0	3·3	1·1	0·0	1·8	1·2	−1·3	0·1	2·9	−1·7	−1·3	0·8	−2·7	1·2	2·1
1872—1887	2·0	−0·6	0·3	3 1	2·8	−0·8	−1·0	0·4	3·4	0·8	−2·5	−0·7	−2·9	0·2	1·1	1·6
1888—1903	1·3	1·2	1·0	3·4	−0·2	2·2	−0·4	2·4	0·9	−0·3	−1·6	−2·7	0·1	2·8	−3·7	−0·9
1904—1919	0·4	0·6	−1·9	0·0	−1·1	0·7	−3·0	−0·7	−2·2	−2·6	0·0	−2·5	−5·1	1·4	−1·8	−3·0
Mittel	0·40	0·78	0·78	0·86	−0·04	0·90	0·39	−0·01	0·74	−0·48	−0·85	−0·89	−0·88	−0·04	−0·60	−0·10
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·37	0·69	0·80	0·62	0·42	0·53	0·42	0·28	0·26	−0·27	−0·77	−0·88	−0·68	−0·39	−0·33	−0·10

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und 7 negative Vorzeichen auf, die drei Periodenjahre 10 bis 12 im Bereiche des Minimums der 16jährigen Periode unter 27 Einzelwerten 21 negative und 6 positive Vorzeichen. Insgesamt stimmt also in 76 Prozent der Fälle in der Umgebung der Extreme der Sinn der Vorzeichen mit dem mittleren Verlauf der 16jährigen Periode überein.

Es ist nun von Interesse, zu untersuchen, inwieweit die beiden Jahreszeiten Sommer und Winter für sich am Zustandekommen der Periode beteiligt sind. Nachstehend sind die Koeffizienten für eine 16jährige Periode für die beiden Jahreszeiten getrennt berechnet.

	p	q		A		E	
Sommer	0·029°	0·229°	0·231°	7·2°	0·81°	0·141°	1·64
Winter...	0·121°	−0·507°	0·521°	166·6°	1·48°	0·270°	1·93

Im Sommer beträgt die Amplitude einer 16jährigen Periode 0·231°, im Winter 0·521°, also etwas mehr als doppelt soviel. Die Verhältniszahl $\varkappa$ ist zwar nicht besonders groß, nämlich für den Sommer $\varkappa = 1 \cdot 64$, für den Winter $\varkappa = 1 \cdot 93$, entsprechend einer Wahrscheinlichkeit von 0·122, beziehungsweise 0·0541; die kombinierte Wahrscheinlichkeit, daß sowohl im Sommer als auch im Winter durch den Zufall allein eine Amplitude erreicht wird, die die beobachtete übersteigt, ist nur $W = 6 \cdot 60 \times 10^{-3}$. Dieser Wert ist nahezu derselbe wie der, welcher aus der Differenz: Sommer—Winter bei Benutzung der Formel: Expektanz $E = v \pi \sqrt{2} N$ erhalten wurde.

Was beim Vergleich der Verhältnisse im Sommer und Winter von besonderer Bedeutung ist, ist der Umstand, daß die Phasenwinkel für Sommer und Winter fast genau um 180° verschieden sind: $A_{Wi} = 166 \cdot 6°$, $A_{So} + 180° = 187 \cdot 2°$ Ja sogar der kleine Unterschied von 20·6° findet zum größeren Teil seine Erklärung darin, daß dem Sommer von vornherein entsprechend dem Zeitunterschied von einem halben Jahr ein um 11·5° größerer Phasenwinkel zukommt. Für den Winter ist das nächste Minimum (zu kalt) nach 1919 zur Zeit 1923·6 zu erwarten, das nächste Maximum (zu warm) zur Zeit 1931·6; für den Sommer sind die entsprechenden Epochen 1923·2 (Maximum = zu warm), beziehungsweise 1931·2 (Minimum). Für die Differenz: Sommer—Winter ergab sich früher ein Phasenwinkel $A = 346 \cdot 4°$, gezählt von der Epoche 1919·27; daraus berechnet sich die Eintrittszeit des nächsten Maximums der Jahresschwankung zu 1923·9, und die des nächsten Minimums zu 1931·9.

Unter dem Einfluß der 16jährigen Periode entsprechen also kalte Winter warmen Sommern und umgekehrt; der Einfluß der Periode auf den Sommer ist aber nur halb so groß wie auf den

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Winter. Dieser Synchronismus: kalte Winter — warme Sommer steht in scheinbarem Widerspruch zu der für Wien und auch andere Orte nachgewiesenen Feststellung, daß eine — wenn auch geringe — Erhaltungstendenz in dem Sinne besteht, daß auf unternormale Winter auch unternormale Sommer folgen. In Wien hatte in den 144 Jahren 1776—1919 die Temperaturanomalie des Winters und des darauffolgenden Sommers 76 mal dasselbe Vorzeichen, 61 mal das entgegengesetzte und 7 mal kam die Anomalie Null vor. Unter Hinweglassung dieser letzten 7 Fälle berechnet sich die Wahrscheinlichkeit, daß die Temperaturanomalie des Sommers dasselbe Vorzeichen hat wie der vorangegangene Winter, zu 0·555, also ein wenig über $^1/_2$. Nachstehend ist für jedes einzelne der 16 Jahre der untersuchten Periode die mittlere Erhaltungstendenz in Abweichungen vom Mittelwerte 0·555 berechnet; Die Werte sind noch nach der Formel $(a+2b+c):4$ etwas ausgeglichen und in Einheiten der dritten Dezimale wiedergegeben. Das 16. Jahr entspricht wiederum dem Jahr 1919.

Jahr	1		3	4		6		8
Erh. Tendenz	2	−26	−54	−6	54	54	47	43
Jahr	9	10	11	12	13	14	15	16
Erh. Tendenz	−27	−98	−68	−7	−9	15		30

Das Ergebnis ist recht bemerkenswert: Zur Zeit der Extreme der 16jährigen Periode, nämlich in den Jahren 2 bis 4 (Maximum) und in den Jahren 9 bis 11 (Minimum) ist die gleichsinnige Koppelung zwischen der Temperaturanomalie des Winters und des darauffolgenden Sommers merklich kleiner als in der Zwischenzeit; im Mittel der erwähnten 6 Jahre ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Temperaturanomalien der genannten beiden Jahreszeiten dasselbe Vorzeichen haben, nur 0·49, also kleiner als $^1/_2$, in den übrigen 10 Jahren der 16jährigen Periode dagegen 0·59.

In Tabelle 9 sind die einzelnen Abweichungen der Winter- und Sommertemperatuten vom vieljährigen Mittel in gleicher Weise wie die betreffenden Differenzen in Tabelle 8 zusammengestellt. Bei den Winterwerten kommt ebenfalls die 16jährige Periode bereits in den unkorrigierten Mittelwerten (vorletzte Zeile) klar zum Ausdruck: die erste Hälfte der Zeile hat im wesentlichen negatives Vorzeichen, die zweite Hälfte positives. Beim Sommer ist der Verlauf der 16jährigen Periode wohl auch schon aus dem unkorrigierten Mittelwerte zu erkennen, doch ist der Gang im Bereich des Minimums weniger regelmäßig.

Im Winter haben in den Periodenjahren 2 bis 4 (Minimum) von 27 Einzelwerten 16 negative und 11 positive Vorzeichen: in den Periodenjahren 10 bis 12 (Maximum) 19 Werte ein positives und 8 ein negatives Vorzeichen. Die Wahrscheinlichkeit also, daß im Bereich

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 9.

Winter- und Sommertemperaturen in Abweichungen vom vieljährigen Mittel geordnet nach Folgen von 16 Jahren. Wien 1776—1919.

Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a) Winter:																
1776—1791	−2·3	−2·4	−0·3	1·9	−0·9	−1·3	0·1	3·2	−3·5	−0·8	0·2	0·4	2·0	−2·5	1·4	2·9
1792—1807	−0·2	0·1	2·8	−3·1	0·2	0·3	2·2	−4·4	−1·2	0·2	−0·5	−2·2	1·0	−1·7	2·4	2·5
1808—1823	0·2	−1·1	−0·3	−1·3	−0·8	−1·8	−1·8	1·3	−0·9	2·1	1·3	0·6	−1·5	−0·4	2·8	−2·1
1824—1839	1·9	3·0	−0·9	0·2	−0·1	−1·0	−5·7	0·4	0·7	−0·4	4·1	2·3	−0·3	0·4	−3·8	0·8
1840—1855	0·7	−4·1	−1·8	3·5	1·0	−1·4	2·9	−1·2	−1·1	0·9	−0·4	0·1	1·3	1·4	−1·7	−0·9
1856—1871	−0·8	−1·7	−2·9	1·2	−0·6	−0·7	−1·4	2·1	−1·4	−2·7	1·7	1·4	0·5	2·4	−1·5	−2·8
1872—1887	−2·2	2·0	0·6	−1·6	−2·0	2·3	0·8	−0·5	−3·4	−0·2	1·4	0·8	2·0	0·1	−1·3	−1·0
1888—1903	−2·0	−0·7	−1·2	−4·3	0·7	−2·1	0·1	−2·3	−1·4	0·7	1·1	2·3	0·1	−1·9	2·4	0·1
1904—1919	0·6	0·5	1·3	−0·6	1·1	−1·6	2·3	1·5	1·3	0·8	−0·7	1·9	3·9	−0·1	0·4	1·8
Mittel	−0·39	−0·42	−0·23	−0·39	−0·09	−0·74	0·01	0·08	−1·14	0·13	0·98	0·91	1·07	−0·19	0·19	0·21
$\frac{a+2b+c}{4}$	−0·25	−0·36	−0·32	−0·28	−0·33	−0·39	−0·16	−0·24	−0·52	0·03	0·75	0·97	0·72	0·22	0·10	0·06
b) Sommer:																
1776—1791	−0·7	−0·8	0·4	−1·6	−1·2	1·2	1·8	1·8	0·5	−1·6	−1·4	0·0	0·7	−0·4	0·3	0·2
1792—1807	0·4	0·1	1·5	−0·1	0·2	1·7	0·6	−1·0	−0·3	−1·0	1·6	−0·2	−0·1	−1·6	−0·4	2·3
1808—1823	1·3	0·4	−0·6	3·1	−0·5	−2·1	−0·6	−1·1	−1·6	0·7	0·0	0·4	0·0	−2·4	0·9	−0·8
1824—1839	−0·7	−0·7	1·8	1·3	0·3	−1·8	0·7	−0·5	−0·4	−1·0	2·8	1·0	0·2	−0·8	−1·2	0·3
1840—1855	−1·2	−0·7	0·7	−1·3	−1·3	0·0	1·9	−0·8	0·3	−0·8	−0·2	−0·8	0·9	0·3	−0·7	0·5
1856—1871	0·3	1·3	0·4	2·3	−0·6	1·1	−0·2	0·8	−1·3	0·2	0·0	0·1	1·3	−0·3	−0·3	−0·7
1872—1887	−0·2	1·4	0·9	1·5	0·8	1·5	−0·2	−0·1	0·0	0·6	−1·1	0·1	−0·9	0·3	−0·2	0·6
1888—1903	−0·7	0·5	−0·2	−0·9	0·5	0·1	−0·3	0·1	−0·5	0·4	−0·5	−0·4	0·2	0·9	−1·3	−0·8
1904—1919	1·0	1·1	−0·6	−0·6	0·0	−0·9	−0·7	0·8	−0·9	−1·8	−0·7	−0·6	−1·2	1·3	−1·4	−1·2
Mittel	−0·04	0·30	0·49	0·42	−0·19	0·10	0·34	0·01	−0·46	−0·47	0·07	−0·03	0·13	−0·29	−0·47	0·06
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·07	0·26	0·43	0·29	0·04	0·09	0·20	−0·03	−0·35	−0·33	−0·09	0·03	−0·01	−0·23	−0·29	−0·10

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der Extreme der Periode das durch die Phase vorgeschriebene Vorzeichen eintritt, beträgt 65%. Beim Sommer sind die Verhältnisse weniger klar ausgesprochen. Im Bereich des Maximums (2. bis 4. Jahr) haben von den 27 Einzelwerten 16 positives Vorzeichen (59%); das Minimum ist in den Einzelwerten zu wenig scharf ausgeprägt, um einen brauchbaren Wert für eine solche Wahrscheinlichkeit abzuleiten.

In Fig. 4 ist der mittlere Verlauf der Sommer- und Wintertemperatur sowie der Differenz: Sommer—Winter während des 16jährigen Zyklus dargestellt, und zwar wurden die nach der Formel $(a+2b+c):4$ ausgeglichenen Mittel nach Tabelle 8 und 9 benutzt. Die Kurve für die Differenz: Sommer—Winter und für

Fig. 4.

Wien, Sommer—Winter: ————

Sommer: — — — —

Winter (verkehrt): —·—·—

den Winter verlauft ziemlich regelmäßig; letztere wurde zum besseren Vergleich mit entgegengesetztem Vorzeichen gezeichnet. Aus der Kurve für den Sommer kann man nur soviel entnehmen, daß in der ersten Hälfte vorzüglich positive, in der zweiten wesentlich negative Vorzeichen vorkommen.

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich, daß die Wiener Temperaturreihe 1776—1923 eine 16jährige Periode aufweist, die sich sowohl aus den Winter- wie auch aus den Sommertemperaturen ergibt, und zwar ist diese Amplitude beim Winter mehr als doppelt so groß als beim Sommer. Da diese beiden Jahreszeiten in ihrer 16jährigen Periode sehr genau entgegengesetzte Phasen aufweisen, ist diese Periode in der Temperaturdifferenz: Sommer—Winter um so stärker ausgeprägt. Nachdem die jährliche Temperaturschwankung ein Maß für die Kontinentalität eines Ortes ist, kann man auch sagen, der Einfluß des Meeres auf die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Temperaturverhältnisse von Wien oder die Kontinentalität dieses Ortes zeigt eine 16jährige Periode.

Dieselbe ergibt sich nicht nur im Mittel des Gesamtmaterials, sondern auch aus den drei aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten von je 48 Jahren, und zwar bei gleichbleibender Phase. Im Bereich der Extreme der Periode ist die Verteilung der Einzelwerte derart, daß bei der Differenz: Sommer—Winter in 76% der Fälle, beim Winter in 65% der Fälle das der Periodenphase entsprechende Vorzeichen gefunden wurde; beim Sommer ist die Verteilung der Einzelwerte infolge der Kleinheit der Periode eine unregelmäßigere.

Die Größe der für eine 16jährige Periode gefundenen Amplitude läßt mit Rücksicht auf die Anzahl der Einzelwerte und auf die mittlere Streuung derselben mit sehr großer Wahrscheinlichkeit den Schluß zu, daß diese Periode nicht das Ergebnis der zufälligen Gruppierung der Einzelwerte ist, sondern durch eine äußere Kraft verursacht wird. Nimmt man als Grundlage für die Annahme die Formel $E = v\pi\sqrt{2N}$, so ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, daß die Periode durch eine äußere Kraft verursacht wird, aus dem gesamten Material zu 0·994, während der vollen Sicherheit der Wert 1 entspräche. Leitet man die Wahrscheinlichkeit aus den in Tabelle 7 wiedergegebenen Werten für die einzelnen Zeitabschnitte ab, so erhält man eine Wahrscheinlichkeit von 0·9991.[1]

Zur Beurteilung der so dargestellten Sicherheit möge zum Vergleich eine feststehende periodische Erscheinung herangezogen werden, nämlich der tägliche Temperaturgang. Nach Kostlivý[2] beträgt in Wien die tägliche Amplitude a im Winter für trübe Tage 0·68°; die mittlere Veränderlichkeit der einzelnen Stundenwerte 1·86° Wir erhalten hier dasselbe Verhältnis $\varkappa = a/E$ wie oben bei einer Anzahl der Einzelwerte $N = 241$. Das heißt der aus 10 willkürlich herausgegriffenen trüben Wintertagen berechnete tägliche Temperaturgang bietet dieselbe Wahrscheinlichkeit für die reale Existenz eines täglichen Temperaturganges, wie sie bei der 16jährigen Periode abgeleitet wurde.

[1] Die jährliche Sonnenscheindauer Wien 1881—1923 zeigt ebenfalls eine 16jährige Periode mit genau demselben Phasenwinkel, nämlich 340·8° gegenüber 346·4° (bezogen auf die Epoche 1919·3). Die Amplitude dieser 16jährigen Periode beträgt 45·8 Sonnenscheinstunden, was bei einer mittleren Abweichung der Jahreswerte von $v = 99$ eine Expektanz $E = 33·5$ Stunden und ein Verhältnis $\varkappa = 1·37$ ergibt.

[2] St. Kostlivý, Der tägliche Temperaturgang von Wien, Hohe Warte für die Gesamtheit aller Tage, sowie an heiteren und trüben Tagen. Denkschr. d. Akad. d. Wiss., Jubelband (1901).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

III. 16jährige Periode an anderen Stationen.

Wenn auch die vorstehende Untersuchung des Wiener materials allein sehr befriedigende Ergebnisse zeitigte, so schien es doch wünschenswert, zur Bestätigung auch andere Stationen auf die Existenz einer solchen 16jährigen Periode hin zu untersuchen. Die in Tabelle 3 bereits mitgeteilten Lustrenwerte des Zeitraumes 1851—1900 für 15 Stationen des alten Österreich lassen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit vermuten, daß diese 16jährige Periode zumindest in ganz Mitteleuropa nachweisbar ist.

Eine systematische Untersuchung über die Verbreitung dieser Periode auf der ganzen Erde kam vorläufig nicht in Frage; vorerst sollte nur soviel Material zusammengetragen werden, als notwendig erschien, um die reale Existenz der 16jährigen Periode mit genügender Sicherheit festzustellen. Die Auswahl der Stationen war zumeist durch das Vorhandensein von bereits publizierten Zusammenstellungen der Monatsmittel der Temperatur gegeben, die meist nur in geringerem Ausmaße aus Jahrbüchern ergänzt werden mußten.[1] Mit Ausnahme weniger Stationen mußte im Interesse, möglichst lange Reihen zu erhalten, darauf verzichtet werden, überall denselben Zeitraum zugrunde zu legen; daher sind die gewonnenen Resultate zum Teil nicht streng vergleichbar. Wenn sich trotzdem eine befriedigende Übereinstimmung ergab, so ist dieser Umstand um so mehr beweiskräftig dafür, daß durch eineinhalb Jahrhunderte hindurch in einem großen Teil von Europa eine 16jährige Periode auch in den einzelnen Zeitabschnitten mit konstanter Phase existierte.

Im ganzen wurden (einschließlich von Wien) 18 Stationen bearbeitet, und zwar: Wien, Basel, Berlin, Utrecht-Zwanenburg (1776—1850 Zwanenburg, 1851—1919 Utrecht-De Bilt), London; die Gipfelstationen Obir und Sonnblick; im Süden der Alpen: S. Fernando, Rom, Turin und Athen; in Nordeuropa: Bergen, Petersburg, Stockholm, Stykkisholm, Bodö und Gjesvar; und schließlich eine amerikanische Station: Newhaven, von der aber nur eine recht unverläßliche Zusammenstellung (wechselnde Beobachtungsplätze und stark wechselnde Beobachtungsstunden) der Jahre 1781—1861 benutzt werden konnte. In Mitteleuropa wäre zwar die Verarbeitung weiterer langjähriger Stationen möglich gewesen, doch hätten dieselben mit Rücksicht auf das Verhalten aller in Tabelle 3 mitgeteilten altösterreichischen Stationen sowie der im einzelnen untersuchten mitteleuropäischen Stationen wohl nur eine Bestätigung der erhaltenen Ergebnisse geliefert. Für den Nachweis der 16jährigen Periode schien die Heranziehung weiterer Stationen nicht mehr nötig.

---

[1] Bei dieser Gelegenheit erlaube ich mir, Herrn Direktor Dr. F. M. Exner, der mir eine Reihe teils gedruckter, teils handschriftlicher Zusammenstellungen zur Verfügung stellte, meinen besten Dank für diese Unterstützung auszusprechen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Eine genauere Untersuchung über die Homogenität des Materials wurde nicht vorgenommen, schien auch gar nicht notwendig, da ein einzelner Sprung in einer Beobachtungsreihe auf die Ableitung eines mittleren periodischen Verlaufs keinen merkbaren Einfluß haben konnte. Auch die mühselige Berechnung eines Periodogramms für jede einzelne Station konnte unterbleiben, da von vornherein nur die Existenz einer 16jährigen Periode untersucht wurde; es genügte, Amplitude und Phase dieser 16jährigen Periode mit Hilfe der Bessel'schen Funktionen zu berechnen, nach der Formel $E = v\pi \sqrt{2N}$ die Expektanz zu bestimmen und aus dem Verhältnis $a/E = \varkappa$ einen Schluß auf die Wahrscheinlichkeit zu ziehen, ob die gefundene Amplitude a auch durch die zufällige Verteilung der Einzelwerte erklärt werden kann.

Wenn auch der größte Teil der untersuchten Stationen eine völlige Bestätigung der für Wien gewonnenen Ergebnisse zeitigte, so ergab sich doch das Verhältnis $\varkappa$ (mit Ausnahme beim Obir) nicht so groß, als daß das Verhalten der einzelnen Stationen für sich eine genügende Bürgschaft für die reale Existenz dieser 16jährigen Periode geboten hätte. Es wurden daher noch am Schluß die Einzelwerte von einer Reihe von Stationen, von welchen gleichzeitige Beobachtungen vorlagen, für jedes Jahr zu einem Mittel vereinigt und für diese Mittelwerte neuerlich die 16jährige Periode abgeleitet. Da die Veränderlichkeit v dieser Mittelwerte wesentlich geringer ist als die der Einzelwerte, konnte mit Hilfe dieser Darstellung bereits aus einem kürzeren Zeitraum (64 Jahre) die reale Existenz dieser 16jährigen Periode mit sehr großer Wahrscheinlichkeit abgeleitet werden.

a) Gipfelstationen.

Unter den untersuchten Stationen nehmen die Gipfelstationen Obir und Sonnblick einen besonderen Platz ein, nachdem hier die Amplitude der 16jährigen Periode fast doppelt so groß ist als an den Talstationen in Mitteleuropa. Die Jahresschwankung der Temperatur, ausgedrückt durch die Differenz: Sommer—Winter, ändert sich hier innerhalb eines 16jährigen Zyklus um volle $2^1/_2$ bis 3°; das ist außerordentlich viel und könnte sogar praktische Bedeutung haben. Es sollen daher im folgenden vorerst diese beiden Gipfelstationen besprochen werden.

In den Tabellen 10 und 11 sind für die beiden Stationen die benützten Einzelwerte in Folgen von je 16 Jahren derart angeordnet, daß die letzte Zahl der Horizontalreihen dem Jahre 1919 entspricht; sowohl die Temperaturen des Winters und Sommers wie auch der Differenz: Sommer—Winter sind als Abweichungen vom Gesamtmittel in Celsiusgraden ausgedrückt. Für jedes Jahr des 16jährigen Zyklus ist außer dem rohen Mittel noch das nach der Formel $(a+2b+c):4$ ausgeglichene angeschrieben. Im wesentlichen ergeben

Tabelle 10.

Obir.

Sommer- und Wintertemperatur in Abweichungen vom Mittel, °C.

(1851—1914.)

Jahr	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
a) Sommer—Winter																
												0·2	−2·3	1·5	2·2	3·9
	−0·4	1·6	3·4	3·4	−0·8	0·0	0·0	−1·4	−0·9	1·2	−4·2	−0·5	−1·4	−2·0	1·5	−0·7
	−1·4	−1·0	0·6	2·1	−1·9	0·4	−0·4	0·6	−1·9	2·0	−3·9	0·3	−3·0	0·6	0·3	2·2
	0·1	2·4	1·7	1·1	0·9	1·6	0·6	2·5	−0·8	−0·2	−2·3	−1·5	−1·0	1·7	−2·2	−2·3
	0·1	2·2	1·0	2·6	−0·1	1·1	−2·0	0·7	−3·1	−1·8	−2·9					
Mittel	−0·42	1·32	1·62	2·27	−0·40	0·75	−0·47	0·57	−1·75	0·27	−3·24	−0·40	−1·94	0·42	0·42	0·75
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·32	0·96	1·71	1·44	0·56	0·05	0·09	−0·27	−0·66	−1·14	−1·70	−1·52	−0·99	−0·17	0·50	0·37
b) Winter																
												0·2	2·4	−0·2	−1·6	−2·4
	1·8	−0·4	−2·6	0·1	0·3	2·3	0·7	2·1	0·1	0·0	3·6	0·3	1·6	1·1	−1·9	−0·9
	1·5	1·5	0·0	−1·2	2·1	1·3	0·1	−0·9	1·6	−0·8	2·5	−0·6	1·4	−0·5	−0·7	−1·7
	−0·8	−2·5	−1·5	−1·5	−1·1	−1·9	−1·1	−2·9	−0·4	0·8	1·6	0·8	1·7	−2·6	0·7	1·2
	0·4	−1·1	−1·7	−1·9	−0·2	−2·3	1·1	−0·1	2·1	−0·2	1·8					
Mittel	0·72	−0·62	−1·44	−1·12	0·28	−0·15	0·20	−0·45	0·85	−0·05	2·37	0·17	1·77	−0·55	−0·87	−0·95
$\frac{a+2b+c}{4}$	−0·04	−0·49	−1·16	−0·85	−0·18	0·05	−0·05	0·04	0·30	0·78	1·21	1·12	0·79	−0·05	−0·81	−0·51
c) Sommer																
												0·4	0·1	1·3	0·6	1·5
	1·4	1·2	0·8	3·5	−0·5	2·3	0·7	0·7	−1·0	1·2	−0·6	−0·2	0·2	−0·9	−0·4	−1·6
	0·1	0·5	0·6	0·9	0·2	1·7	−0·3	−0·3	−0·3	1·2	−1·4	−0·3	−1·6	0·1	−0·4	0·5
	−0·7	0·1	0·1	−0·4	0·2	−0·3	−0·5	−0·4	−1·2	0·6	−0·7	−0·7	0·7	−0·9	−1·5	−1·1
	0·5	1·1	−0·7	0·7	−0·3	−1·2	−0·9	0·6	−1·0	−2·0	−1·1					
Mittel	0·30	0·70	0·18	1·15	−0·12	0·60	−0·27	0·12	−0·90	0·22	−0·97	−0·23	−0·17	−0·13	−0·45	−0·20
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·28	0·47	0·55	0·59	0·38	0·10	0·04	−0·23	−0·36	−0·36	−0·49	−0·40	−0·17	−0·22	−0·31	−0·14

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

sich hier ganz dieselben Ergebnisse, wie sie bereits bei der Station Wien besprochen wurden, nur ist die Amplitude viel größer, die Verteilung der Vorzeichen der Einzelwerte auf die Phasen der 16-jährigen Periode eine noch gleichmäßigere.

In der Zusammenstellung für Sommer—Winter wie auch für den Sommer kommen in der ersten linken Hälfte im wesentlichen positive Abweichungen vor, in der rechten Hälfte negative. Am Obir hat die Differenz: Sommer—Winter einen Phasenwinkel $A = 22 \cdot 7°$, dementsprechend fällt ein Maximum auf das Jahr 1906, ein Minimum auf das Jahr 1914. Greifen wir die auf die Extreme fallenden Jahre sowie je ein Vor- und Nachjahr heraus, im ganzen also 12 Maxima- und 12 Minimajahre, so ergeben sich bei ersteren 11 positive und 1 negatives Vorzeichen, bei letzteren 8 negative und 4 positive, unter den 24 Fällen also 19 »günstige« und 5 »ungünstige«. Die Wahrscheinlichkeit, daß in der Umgebung der Extreme der Periode der Einzelwert das der Periodenphase entsprechende Vorzeichen hat, ist im Mittel $19/24 = 79\%$. Wenn wir außer dem Extremjahr selbst noch je 2 Jahre vor und nach Eintritt der Extreme hinzunehmen, erhalten wir beim Maximum 14 positive und 6 negative Vorzeichen, beim Minimum 16 negative und 4 positive; die entsprechende Wahrscheinlichkeit beträgt also $30/40 = 75\%$ (vgl. Tabelle 12, in welcher diese Verhältniszahlen für Obir und Sonnblick vereinigt sind).

Kaum weniger günstig liegen die Verhältnisse bei den einzelnen Jahreszeiten Winter und Sommer. Wenn wir wiederum außer dem Extremjahr noch das Vor- und Nachjahr betrachten, haben im Bereiche des Minimums der Periode von 12 Winterwerten 9 eine negative Abweichung, 2 eine positive und 1 die Anomalie Null (in Tabelle 12 eingetragen unter $0 \cdot 0$); beim Maximum sind unter 12 Zahlenwerten 8 mit positiven, 3 mit negativen Vorzeichen und 1 Wert Null. Die Wahrscheinlichkeit, daß die Einzelwerte im Bereich der Extreme der Periode das der letzteren entsprechende Vorzeichen aufweisen, beträgt $17/22 = 77\%$. Und wenn man neben dem Extremjahr selbst noch die beiden vorausgehenden und nachfolgenden Jahre miteinbezieht, erhält man beim Minimum unter 20 Einzelwerten 14 mit negativen, 5 mit positiven Vorzeichen und 1 Abweichung Null, beim Maximum 15 positive, 4 negative Vorzeichen und 1 Abweichung Null; die entsprechende Wahrscheinlichkeit beträgt daher $29/38 = 76\%$.

Beim Sommer sind die Einzelwerte im Bereich der Extreme fast ebenso regelmäßig verteilt: Betrachten wir außer dem Extremjahr noch das Vor- und Nachjahr, so gibt die Tabelle 11 beim Maximum der Periode unter 12 Einzelwerten 10 mal zu warme Sommer, 2 mal zu kalte; beim Minimum 8 mal zu kalte und 4 mal zu warme; die oben erwähnte Wahrscheinlichkeit beträgt $18/24 = 75\%$. Wenn auch noch das zweite Vor- und Nachjahr miteinbezogen wird, so sind die Häufigkeitszahlen: beim Maximum

15 positive, 5 negative Vorzeichen, beim Minimum 13 negative und 7 positive Vorzeichen. Die entsprechende Wahrscheinlichkeit beträgt also 28/40 = 70%.

Nachstehend sind die für die Beurteilung der 16jährigen Periode notwendigen Konstanten für den Obir (1851—1914) angeschrieben:

	p	q	a	A	v	E	$\varkappa$
Sommer—Winter	0·518	1·207	1·315	22·7	1·50	0·417	3·16
Winter	−0·422	−0·733	0·846	210·0	1·26	0·352	2·40
Sommer	0·096	0·474	0·485	11·5	0·81	0·224	2·16

So wie in Wien ist auch hier die 16jährige Periode sowohl im Sommer als auch im Winter ausgesprochen, die Amplitude des

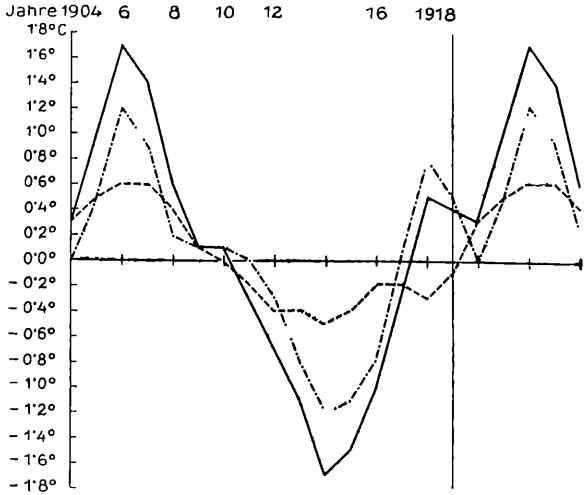

Fig. 5.
Obir, Sommer—Winter: ———
Sommer: — — —
Winter (verkehrt): —·—·—

Winters ist ebenfalls rund doppelt so groß wie im Sommer; die Phase für diese beiden Jahreszeiten ist auch hier ungefähr um 180° verschoben ($A_{So}+180° = 191·5°$, $A_{Wi} = 210°$). Die Amplituden sind fast doppelt so groß wie in Wien. Die Differenz: Sommer—Winter hat eine 16jährige Amplitude von 1·315°, das Verhältnis $\varkappa$ ist hier 3·16, entsprechend einer Wahrscheinlichkeit von nur $4·03 \times 10^{-4}$. Die kombinierte Wahrscheinlichkeit, daß sowohl die Winter als auch die Sommer für sich infolge der zufälligen Verteilung der Einzelwerte eine mindestens so große Amplitude aufweisen, wie sich oben ergeben hat, beträgt noch etwas weniger, nämlich $2·59 \times 10^{-4}$.

In Fig. 5 ist für den Obir der mittlere Verlauf der 16jährigen Periode für Sommer, Winter und die Differenz: Sommer—Winter durch die in Tabelle 10 mitgeteilten, nach der Formel $(a+2b+c):4$ etwas ausgeglichenen Mittel dargestellt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 11.

Sonnblick.

Sommer- und Wintertemperatur in Abweichungen vom Mittel, °C.

(1887—1918.)

Jahr	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
a) Winter—Sommer																
	1·9	1·0	−0·7	1·7	0·6	2·0	−0·8	4·3	−1·2	−0·1	−1·9	−2·5	0·0	1·5	−1·8	1·4
	1·0	2·6	0·0	2·7	0·5	2·3	−0·8	0·5	−2·2	−3·2	−2·1	0·4	−3·1	1·1	−2·0	−1·9
Mittel	1·45	1·80	−0·35	2·20	0·55	2·15	−0·80	2·40	−1·70	−1·65	−2·00	−1·05	−1·55	1·30	−1·90	−0·25
$\frac{a+2b+c}{4}$	1·11	1·18	0·83	1·15	1·37	1·02	0·74	0·58	−0·66	−1·75	−1·68	−1·41	−0·72	−0·21	−0·69	−0·24
b) Winter																
	−2·4	−0·6	0·4	−1·9	0·0	−2·1	0·7	−3·6	1·0	0·9	1·7	2·2	0·5	−1·3	−1·4	−1·1
	0·5	−1·0	0·5	−2·7	−0·5	−2·9	0·4	0·2	1·7	1·5	1·6	−0·5	1·9	−0·1	0·7	1·7
Mittel	−0·95	−0·80	0·45	−2·30	−0·25	−2·50	0·55	−1·70	1·35	1·20	1·65	0·85	1·20	−0·70	1·05	0·30
$\frac{a+2b+c}{4}$	−0·60	−0·53	−0·55	−1·10	−1·33	−1·18	−0·78	−0·38	0·55	1·35	1·34	1·14	0·64	0·21	0·43	0·18
c) Sommer																
	−0·5	0·4	−0·3	−0·2	0·6	−0·1	−0·1	0·7	−0·2	0·8	−0·2	−0·3	0·5	0·2	−0·4	0·3
	1·5	1·6	0·5	0·0	0·0	−0·6	−0·4	0·7	−0·5	−1·7	−0·5	−0·1	−1·2	1·0	−1·3	−0·2
Mittel	0·50	1·00	0·10	−0·10	0·30	−0·35	−0·25	0·70	−0·35	−0·45	−0·35	−0·20	−0·35	0·60	−0·85	0·05
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·51	0·65	0·28	0·05	0·04	−0·16	−0·04	0·20	−0·11	−0·40	−0·34	−0·27	−0·08	0·00	−0·26	−0·06

Am Sonnblick ist die Amplitude ($a = 1 \cdot 405°$) der 16jährigen Periode noch etwas größer als auf dem Obir; nachdem aber nur halb soviel Jahre (32) benutzt werden konnten, ist das Verhältnis $\varkappa$, wie nachstehende Übersicht zeigt, etwas kleiner.

	p	q	a	A	v	E	
Sommer—Winter	−0·066	1·403	1·405	357·3	1·54	0·607	2·31
Winter	0·052	−1·161	1·163	177·5	1·26	0·494	2·36
Sommer	−0·014	0·242	0·242	356·6	0·55	0·217	1·11

Der Verhältniszahl $\varkappa$ für die Differenz: Sommer—Winter entspricht eine Wahrscheinlichkeit $W = 1 \cdot 52 \times 10^{-2}$; die kombinierte

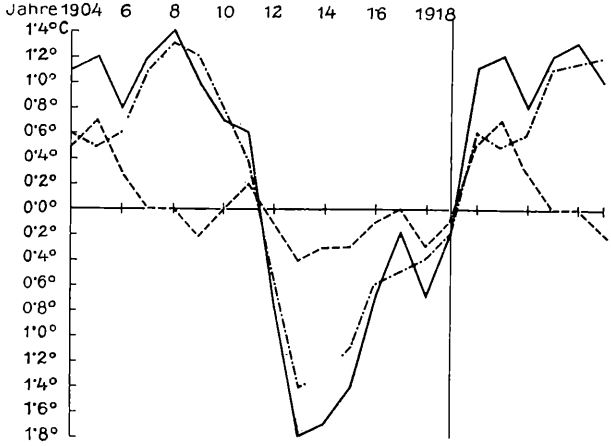

Fig. 6.

Sonnblick, Sommer—Winter: ————
Sommer: — — — —
Winter (verkehrt): —·—·—

Wahrscheinlichkeit, daß sowohl die Amplitude des Sommers wie auch des Winters allein durch Zufall entstanden ist, beträgt $4 \cdot 12 \times 10^{-3}$.

Die Übereinstimmung der Einzelwerte mit der durch die mittlere 16jährige Periode gegebenen Kurve ist auch hier eine recht befriedigende. Nachdem die Verhältnisse hier genau dieselben sind wie beim Obir, genügt es, auf die Tabelle 12 zu verweisen, in welcher für den Bereich der Extreme der 16jährigen Periode die Anzahl der »günstigen« und »ungünstigen« Vorzeichen der Einzelwerte sowie die der Anomalie 0·0 eingetragen ist. Die erste Hälfte gilt für die Einbeziehung des Vor- und Nachjahres zum Extremjahr, die zweite Hälfte für die Einbeziehung von je zwei Vor- und Nachjahren. Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher man für den Bereich der Extreme der 16jährigen Periode das dieser Phase entsprechende Vorzeichen erwarten kann, ist wie bein Obir für die Differenz: Sommer—Winter am größten, für den Sommer am kleinsten; die Größe dieser Wahrscheinlichkeit ist für Sonnblick und Obir praktisch dieselbe.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 12.

Häufigkeit positiver und negativer Anomalien im Bereich der Extreme der 16jährigen Periode.

		Extrem- 1 Vor- 1 Nach- jahr				Extrem- 2 Vor- 2 Nach- jahre			
		günstig	un-günstig	0·0	*W*	günstig	un-günstig	0·0	*W*
a) Obir									
Sommer —Winter	Max.	11	1	0	92%	14	6	0	70%
	Min.	8	4	0	67	16	4	0	80
	Summe	19	5	0	79	30	10	0	75
Winter	Max.	9	2	1	82	14	5	1	74
	Min.	8	3	1	73	15	4	1	79
	Summe	17	5	2	77	29	9	2	76
Sommer	Max.	10	2	0	83	15	5	0	75
	Min.	8	4	0	50	13	7	0	65
	Summe	18	6	0	75	28	12	0	70
b) Sonnblick									
Sommer —Winter	Max.	4	1	1	80%	8	1	1	89%
	Min.	4	1	1	80	6	3	1	67
	Summe	8	2	2	80	14	4	2	78
Winter	Max.	3	2	1	60	7	2	1	78
	Min.	5	1	0	83	7	3	0	70
	Summe	8	3	1	73	14	5	1	74
Sommer	Max.	2	2	2	50	4	6	0	40
	Min.	5	1	0	83	6	4	0	60
	Summe	7	3	2	70	10	10	0	50

Im Mittel der beiden Gipfelstationen erhalten wir im Bereich der Extreme der 16jährigen Periode bei der Differenz: Sommer—Winter in 80% der Fälle das der Phase des 16jährigen Zyklus entsprechende Vorzeichen der Temperaturabweichung, beim Winter in 75% und beim Sommer in 73% der Fälle. Dieses Verhältnis ist so günstig, daß eine langfristige Prognose unter Zugrundelegung der 16jährigen Periode nicht aussichtslos wäre, wenn man bedenkt, daß auch die tägliche Wetterprognose

auf 24 Stunden nicht viel höhere Trefferprozente aufzuweisen hat.

b) Talstationen.

In Tabelle 13 sind sämtliche untersuchten 18 Stationen zusammengestellt, und zwar sind außer den benutzten Jahrgängen die für die Beurteilung der 16jährigen Periode maßgebenden Koeffizienten der Bessel'schen Funktionen, ferner die Veränderlichkeit der Einzelwerte v und die aus v und der Anzahl der Jahre abgeleitete Expektanz $E = v\pi/\sqrt{2N}$ und das Verhältnis der beiden letzteren Größen $\varkappa = a/E$ angegeben. Im ersten Teil der Tabelle sind die mittel- und südeuropäischen Stationen (1 bis 12) enthalten, und zwar geordnet nach fallendem $\varkappa$, also nach dem Maße der Sicherheit, mit welcher man von einer 16jährigen Periode sprechen kann; im zweiten Teil (13 bis 18) sind die nordeuropäischen Stationen sowie als vorläufiger Repräsentant der amerikanischen Ostküste Newhaven aufgenommen und ebenfalls nach fallendem $\varkappa$ angeordnet.

Bei den mittel- und südeuropäischen Stationen ist die Größe $\varkappa$ durchwegs > 1, der Wert $\varkappa$ beträgt für Obir $3 \cdot 16$ und sinkt bis auf $1 \cdot 08$ (Athen). Die Amplitude ist am größten bei den Gipfelstationen ($1 \cdot 3°$, beziehungsweise $1 \cdot 4°$), sie beträgt für die mitteleuropäischen Stationen Wien, Berlin und Basel im Mittel $0 \cdot 7°$ und wird sowohl gegen Süden hin als auch insbesondere in höheren Breiten kleiner; im Mittel der vier Stationen südlich der Alpen (S. Fernando, Rom, Turin und Athen) beträgt $a = 0 \cdot 38°$ Recht gering ist die Amplitude auch in London. Wenn auch, wie bereits früher erwähnt, diese zum Teil aus verschiedenen Zeiträumen abgeleiteten Amplituden nicht streng vergleichbar sind, so stehen doch wenigstens einige Stationen mit denselben oder nahezu denselben Beobachtungsjahren zur Verfügung (Wien, Berlin, Utrecht, Stockholm 1776—1919, Turin 1766—1909), so daß man wohl als gesichertes Ergebnis annehmen kann, daß die Amplitude der 16jährigen Periode ungefähr in der Breite von Basel—Wien ein Maximum hat und sowohl gegen Süden als auch besonders stark gegen Norden abnimmt.

Von größter Wichtigkeit ist der Umstand, daß die Phase A bei den einzelnen Stationen der Tabelle 13 — obwohl die Beobachtungsjahre nicht überall dieselben sind — sehr befriedigend übereinstimmt. Für alle diese Stationen ergibt sich ein Phasenwinkel von rund 360° (gerechnet vom Jahre 1919), nur die letzten Stationen, bei welchen $\varkappa$ nicht mehr sehr groß ist, weisen auch eine größere Streuung beim Phasenwinkel auf. Die Stationen 1 bis 8, die alle ein $\varkappa > 1 \cdot 5$ aufweisen, ergeben im Mittel einen Phasenwinkel von $354 \cdot 4°$ mit einer mittleren Abweichung von diesem Wert von $11 \cdot 5°$, entsprechend $0 \cdot 50$ Jahre. In Fig. 7 ist der Phasenwinkel dieser 8 Stationen sowie einiger erst später zu besprechenden Stationen dargestellt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 13.

16jährige Periode der Temperaturdifferenz Sommer—Winter.

Nr.	Station	Jahre	p	q		A		E	
1	Obir	1851—1914	0·518°	1·207°	1·315°	22·7°	1·50	0·417°	3·16
2	Wien	1776—1919	–0·092	0·736	0·741	352·9	1·57	0·291	2·54
3	Sonnblick	1887—1918	–0·066	1·403	1·405	357·3	1·54	0·607	2·31
4	Basel	1826—1905	0·010	0·800	0·800	0·7	1·44	0·357	2·24
5	Berlin	1776—1919	–0·302	0·636	0·704	334·6	1·80	0·333	2·11
6	S. Fernando	1851—1898	–0·124	0·455	0·471	344·7	0·91	0·292	1·61
7	Rom	1815—1910	0·018	0·328	0·329	3·1	0·92	0·209	1·57
8	Utrecht	1776—1919	–0·154	0·406	0·434	339·2	1·54	0·284	1·56
9	London	1767—1910	0·272	0·204	0·340	53·1	1·28	0·236	1·44
10	Turin	1766—1909	0·084	0·273	0·285	17·0	1·26	0·232	1·23
11	Athen	1859—1890	–0·428	–0·037	0·429	265·1	1·01	0·396	1·08
12	Bergen	1863—1910	–0·546	0·005	0·546	270·6	1·44	0·461	1·18
13	Newhaven	1781—1861	–0·334	–0·383	0·509	221·2	1·16	0·288	1·77
14	Gjesvar	1879—1920	0·530	–0·723	0·895	143·8	1·30	0·447	2·00
15	Bodö	1869—1916	–0·324	–0·670	0·743	205·8	1·50	0·482	1·54
16	Petersburg	1756—1787; 1804—1915	–0·166	0·074	0·182	294·0	2·27	0·420	0·43
17	Stykkisholm	1847—1916	0·094	0·241	0·258	21·3	3·53	0·935	0·28
18	Stockholm	1757—1900	–0·035	0·029	0·045	309·6	2·07	0·382	0·12

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Sehr interessant ist das Verhalten der 16jährigen Periode in höheren Breiten; die Station Bergen zeigt noch eine 16jährige Periode wie in Mitteleuropa, jedoch stimmt der Phasenwinkel $A = 270 \cdot 6°$ schlecht überein und der Wert $\varkappa$ ist nur wenig größer als 1 (1 18). An den drei Stationen Petersburg, Stykkisholm und Stockholm jedoch ist von einer 16jährigen Periode überhaupt nichts zu sehen, die Werte $\varkappa$ sind sogar unwahrscheinlich klein. Noch weiter nördlich (Gjesvar und Bodö) ist die 16jährige Periode wieder deutlich zu konstatieren, jedoch mit entgegengesetzter Phase. Im Mittel dieser beiden Stationen haben wir

	p	q	a	A
Sommer—Winter	−0·103	−0·697	0·705	188·4°,

also einen Phasenwinkel von rund 180°, während er im Mittel aus 8 mittel- und südeuropäischen Stationen rund 360° beträgt.

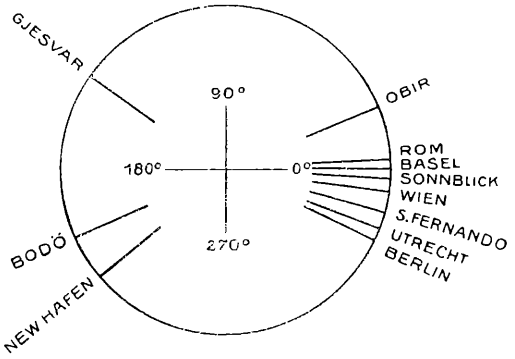

Fig. 7.
Phasenwinkel der 16jährigen Periode, Sommer—Winter.

Zur Zeit also, wenn im übrigen Europa im Ablauf des 16jährigen Zyklus ein Maximum mit großer Jahresschwankung auftritt, haben wir gleichzeitig im hohen Norden von Europa ein Minimum mit kleiner Jahresschwankung. In einer Breite, die durch Stykkisholm—Stockholm—Petersburg gegeben ist, zeigt sich eine Art Knotenlinie, in welcher die 16jährige Periode erloschen ist.

Die bisher erörterten Verhältnisse spiegeln sich auch wieder, wenn wir die beiden Jahreszeiten Winter und Sommer getrennt betrachten; die für die Beurteilung nötigen Koeffizienten sind nur für einige Stationen berechnet worden und in den Tabellen 14 (Winter) und 15 (Sommer) zusammengestellt.

Die vier Stationen Wien, Sonnblick, Obir und Berlin ergeben für den Winter einen mittleren Phasenwinkel $A = 173 \cdot 6°$ mit einer mittleren Abweichung von diesem Wert von 20·1°, entsprechend 0·9 Jahren. Für den Sommer beträgt dieser Phasenwinkel im

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mittel 362·5° mit einer mittleren Abweichung von 6·9°, entsprechend 0·3 Jahren. Die beiden Phasenwinkel für Sommer und Winter sind also fast genau entgegengesetzt, der Unterschied zwischen Sommer und Winter beträgt 188·9° Und selbst diese geringe Abweichung von 8·9° findet, wie bereits bei der Station Wien erörtert wurde, nahezu vollkommen seine Erklärung darin, daß der Sommer um ein halbes Jahr, entsprechend 11·2° gegen den Winter verschoben ist.

Tabelle 14.

16jährige Periode, Wintertemperatur.

	p	q		A		E	
Wien	0·121°	–0·507°	0·521°	166°6	1·48°	0·270°	1·93
Sonnblick.	0·052	–1·161	1·163	177°5	1·26	0·494	2·36
Obir	–0·422	–0·733	0·846	210°0	1·26	0·352	2·40
Berlin	0·273	–0·330	0·428	140°3	1·72	0·300	1·43
Newhaven	0·242	0·406	0·473	30°9	1·12	0·277	1·71
Stockholm	0·292	0·114	0·313	78°7	1·76	0·325	0·96
Bodö	0·038	0·303	0·304	7°1	1·27	0·406	0·75
Gjesvar	–0·168	0·483	0·511	340°8	1·06	0·363	1·41
Stykkisholm.....	–0·138	0·119	0·182	310°7	3·64	0·966	0·19

Tabelle 15.

16jährige Periode, Sommertemperatur.

	p	q		A		E	
Wien	0·029°	0·229°	0·231°	7°2	0·81°	0·141°	1·64
Sonnblick	–0·014	0·242	0·242	356°6	0·55	0·217	1·11
Obir	0·096	0·474	0·485	11°5	0·81	0·224	2·16
Berlin.....	–0·029	0·303	0·309	354°5	0·90	0·157	1·94
Newhaven	–0·092	0·023	0·095	286°0	0·69	0·164	0·58
Stockholm	0·257	0·143	0·294	60°9	0·98	0·180	1·63
Bodö	–0·286	–0·367	0·466	217°9	0·89	0·287	1·62
Gjesvar	0·362	–0·240	0·435	123°5	0·90	0·309	1·41
Stykkisholm	–0·044	0·360	0·363	351°1	2·21	0·586	0·62

Bei Stockholm und Stykkisholm ist die Amplitude a sowohl im Winter wie auch im Sommer recht klein; im Sommer stimmt die Phase einigermaßen mit den mitteleuropäischen Stationen überein, im Winter dagegen läßt sich überhaupt keine Gesetzmäßigkeit herauslesen.

Die beiden nördlichsten Stationen Bodö und Gjesvar ergeben im Mittel folgende Koeffizienten für Winter und Sommer:

$^1/_2$(Bodö+Gjesvar)	p	q		A
Winter	−0·065	0·393	0·398	350·7°
Sommer	0·038	−0·304	0·306	172·9°;

also auch hier im Winter größere Amplitude als im Sommer und fast ganz genau entgegengesetzte Phase zwischen beiden Jahreszeiten. Der Unterschied des Phasenwinkels zwischen Sommer und Winter beträgt 182·2°, also auch hier um ein wenig mehr als 180°

Für die Ostküste Amerikas liegt vorläufig nur die Station Newhaven vor, die natürlich noch kein endgültiges Urteil über das Bestehen einer 16jährigen Periode in diesem Gebiete gestattet. Auch hier ist die Amplitude des Winters größer als die des Sommers, in der warmen Jahreszeit ist sie aber so klein, daß auf den berechneten Phasenwinkel kein Gewicht zu legen ist. Bemerkenswert ist, daß der Unterschied: Sommer—Winter und dementsprechend auch der Winter allein ungefähr entgegengesetzte Phase gegenüber den mitteleuropäischen Stationen aufweist. Sommer Winter: 221·2° (in Mitteleuropa 354·4°); Winter: 30·9° (in Mitteleuropa 173·6°).

In Tabelle 16 sind für alle berechneten 18 Stationen die für die Ableitung der Bessel'schen Funktionen benutzten unausgeglichenen Mittel mitgeteilt, in Tabelle 17 sind dieselben nach der Formel $(a+2b+c)$ 4 etwas ausgeglichen. In Tabelle 18 und 19 sind für einzelne Stationen die entsprechenden Werte für die getrennten Jahreszeiten Sommer und Winter ebenfalls unausgeglichen und ausgeglichen zusammengestellt.

c) Mittelwerte.

Das Verhalten der einzelnen untersuchten Beobachtungsstationen während des Ablaufes des 16jährigen Zyklus macht durchaus den Eindruck des Gesetzmäßigen. Immerhin ist die Verhältniszahl $\varkappa$ nur beim Obir > 3, so daß man — wenigstens nach der Forderung A. Schusters — aus keiner der übrigen Stationen für sich allein berechtigt ist, die reale Existenz einer 16jährigen Periode mit genügender Sicherheit zu behaupten. Doch kann man durch die Zusammenfassung mehrerer Stationen die Sicherheit des Nachweises wesentlich erhöhen, da die mittlere Veränderlichkeit der Stationsmittel geringer ist als die einer einzelnen Station und hierdurch auch die als Maßstab benutzte Expektanz E herabgesetzt wird.

Nachstehend sind für die 64 Jahre 1851—1914 die mittleren Temperaturunterschiede: Sommer—Winter aus den Stationen 1 bis 4, ferner 5 bis 8 und 1 bis 8 (vgl. Tabelle 13) in Form von Abweichungen vom 64jährigen Mittel gebildet und aus dieser 64jährigen Reihe von Mittelwerten neuerlich die 16jährige Periode

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 16.

16jährige Periode der Temperaturdifferenz Sommer—Winter, nicht ausgeglichene Mittelwerte.

Jahre	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
Obir ..	−0·44	1·30	1·68	2·30	−0·42	0·73	−0·46	0·57	−1·70	0·25	−3·34	−0·30	−1·95	0·58	0·43	0·76
Wien ..	0·35	0·72	0·72	0·81	−0·10	0·84	0·33	−0·07	0·68	−0·60	−0·91	−0·94	−0·94	−0·10	−0·66	−0·15
Sonnblick	1·35	1·54	−0·42	2·15	0·53	2·09	−0·80	2·40	−1·78	−1·73	−2·02	−1·12	−1·58	1·25	−1·91	−0·30
Basel	0·04	0·68	1·00	0·82	−0·68	0·44	0·46	0·74	1·00	−0·68	−1·74	−1·88	−0·28	−1·04	0·54	0·52
Berlin	0·06	0·32	0·05	0·94	−0·60	1·68	0·26	0·77	0·60	−0·50	−1·13	−1·09	−0·66	0·28	−1·12	0·11
S. Fernando...	−0·47	0·41	−0·04	0·49	0·60	0·36	0·59	−0·23	−0·49	0·73	−0·31	−0·71	−0·78	−1·02	0·18	0·76
Rom	0·00	0·60	0·63	0·32	0·00	−0·10	0·20	−0·53	0·43	0·23	−0·12	−1·23	0·05	−0·27	−0·35	0·15
Utrecht... ..	0·08	0·14	0·45	0·69	−0·89	1·05	−0·04	0·69	0·57	−0·42	−0·74	−0·80	−0·41	−0·01	−0·40	−0·01
London	0·25	0·48	0·48	0·20	−0·84	0·37	−0·31	0·58	0·19	−0·42	−0·98	−0·48	0·69	−0·45	0·27	−0·02
Turin ..	0·13	0·06	1·33	0·17	−0·80	−0·47	0·52	0·22	0·41	−0·16	−0·43	−1·11	−0·06	−0·35	0·55	−0·07
Athen ..	0·68	−1·12	0·42	0·57	−0·05	−1·17	1·12	−0·15	1·89	−0·93	1·25	−0·47	0·18	−0·58	−0·60	−0·92
Bergen	0·27	0·27	−2·36	0·90	−0·10	0·07	0·23	1·53	0·00	1·33	−1·70	0·30	0·53	−1·63	0·03	0·13
Newhaven	−0·25	−0·19	−1·82	−0·70	−0·36	0·14	0·78	1·19	0·46	−0·04	−0·44	0·15	0·74	0·45	−0·98	0·80
Gjesvar	0·64	1·26	−1·57	−2·01	−0·17	−0·34	−0·74	−0·40	−0·31	−0·07	0·56	0·55	0·59	0·76	2·06	−0·80
Bodö ..	−0·43	1·27	−2·56	−0·63	−0·36	0·63	−0·70	1·10	−0·47	1·13	0·27	1·36	1·34	−0·97	0·43	−1·36
Petersburg	−0·47	0·59	−2·05	−1·19	0·85	2·30	0·44	0·39	−0·21	−0·99	0·01	−1·13	0·54	0·53	0·46	−0·12
Stykkisholm...	0·25	1·28	−0·05	−0·32	0·03	−0·33	0·55	−0·43	−0·11	1·04	−0·92	−0·36	−0·35	−0·80	0·31	0·20
Stockholm ..	0·03	0·15	−1·45	0·02	−0·34	1·42	0·44	0·95	−0·61	−1·05	−0·53	−0·74	1·25	0·33	−0·39	0·54

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 17.

16jährige Periode der Temperaturdifferenz Sommer—Winter, Mittelwerte ausgeglichen nach $(a+2b+c):4$.

Jahre	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
Obir ..	0·32	0·96	1·71	1·44	0·56	0·05	0·09	–0·27	–0·66	–1·14	–1·70	–1·52	–0·99	–0·17	0·50	0·37
Wien	0·32	0·62	0·75	0·57	0·37	0·48	0·36	0·21	0·17	–0·36	–0·84	–0·94	–0·73	–0·45	–0·39	–0·16
Sonnblick.. .	1·11	1·18	0·83	1·15	1·37	1·02	0·74	0·58	–0·66	–1·75	–1·68	–1·41	–0·72	–0·21	–0·69	–0·24
Basel ..	0·32	0·60	0·88	0·49	–0·02	0·17	0·53	0·74	0·52	–0·52	–1·51	–1·44	–0·87	–0·46	0·14	0·40
Berlin	0·14	0·19	0·34	0·33	0·36	0·76	0·74	0·60	0·37	–0·38	–0·96	–0·99	–0·53	–0·30	–0·46	–0·21
S. Fernando...	0·06	0·08	0·21	0·39	0·51	0·48	0·33	–0·09	–0·12	0·16	–0·15	–0·63	–0·82	–0·66	0·02	0·31
Rom . ..	0·19	0·46	0·55	0·32	0·06	0·00	–0·06	–0·11	0·14	0·19	–0·31	–0·63	–0·35	–0·21	–0·20	–0·01
Utrecht ..	0·07	0·20	0·43	0·24	–0·35	0·29	0·41	0·48	0·35	–0·25	–0·67	–0·69	–0·41	–0·21	–0·20	–0·08
London ..	0·24	0·42	0·41	0·02	–0·28	–0·10	0·08	0·26	0·14	–0·41	–0·72	–0·31	0·11	0·01	0·02	0·12
Turin	0·06	0·40	0·72	0·22	–0·47	–0·30	0·20	0·34	0·22	–0·08	–0·53	–0·68	–0·40	–0·05	0·17	0·14
Athen	–0·17	–0·29	0·07	0·38	–0·17	–0·32	0·23	0·68	0·68	0·32	0·28	0·12	–0·17	–0·40	–0·68	–0·44
Bergen	0·24	–0·39	–0·89	–0·17	0·19	0·07	0·52	0·82	0·72	0·62	–0·44	–0·14	–0·07	–0·68	–0·36	0·14
New-Haven .	0·03	–0·61	–1·13	–0·90	–0·32	0·17	0·72	0·91	0·52	–0·02	–0·19	0·15	0·52	0·17	–0·18	0·09
Gjesvar	0·44	0·40	–0·97	–1·44	–0·67	–0·40	–0·56	–0·46	–0·27	0·03	0·40	0·56	0·62	1·04	1·02	0·27
Bodö	–0·24	–0·11	–1·12	–1·05	–0·18	0·05	0·08	0·26	0·32	0·52	0·76	1·08	0·77	–0·04	–0·37	–0·68
Petersburg	–0·12	–0·34	–1·17	–0·90	0·70	1·47	0·89	0·25	–0·26	–0·45	–0·53	–0·43	0·12	0·52	0·33	–0·06
Stykkisholm...	0·50	0·69	0·22	–0·16	–0·15	–0·02	0·08	–0·10	0·10	0·26	–0·29	–0·50	–0·46	–0·41	0·00	0·24
Stockholm ...	0·19	–0·28	–0·68	–0·44	0·19	0·73	0·81	0·43	–0·33	–0·81	–0·71	–0·19	0·52	0·38	0·02	0·18

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 18.

16jährige Periode, Sommer- und Wintertemperaturen; nicht ausgeglichene Mittelwerte.

Jahre		1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
Wien	So	–0·04	0·30	0·49	0·42	–0·19	0·10	0·34	0·01	–0·46	–0·47	0·07	–0·03	0·13	–0·29	–0·47	0·06
	Wi	–0·39	–0·42	–0·23	–0·39	–0·09	–0·74	0·01	0·08	–1·14	0·13	0·98	0·91	1·07	–0·19	0·19	0·21
Sonnblick	So	0·45	0·82	0·08	–0·08	0·28	–0·35	–0·25	0·72	–0·40	–0·48	–0·35	–0·22	–0·35	0·58	–0·85	0·05
	Wi	–0·90	–0·72	0·50	–2·23	–0·25	–2·44	0·55	–1·68	1·38	1·25	1·67	0·90	1·23	–0·67	1·06	0·35
Obir	So	0·30	0·68	0·17	1·16	–0·10	0·59	–0·25	0·13	–0·84	0·22	–0·95	–0·18	–0·18	–0·13	–0·43	–0·20
	Wi	0·74	–0·62	–1·51	–1·14	0·32	–0·14	0·21	–0·44	0·86	–0·03	2·39	0·12	1·77	–0·71	–0·86	–0·96
Berlin	So	0·03	0·29	0·62	0·48	–0·07	0·47	0·23	0·20	–0·79	–0·60	0·13	0·21	0·04	–0·17	–0·84	–0·21
	Wi	–0·03	–0·03	0·57	–0·46	0·53	–1·21	–0·03	–0·57	–1·39	–0·10	1·26	1·30	0·70	–0·45	0·28	–0·32
Newhaven	So	–0·19	0·09	–0·21	–0·78	0·04	0·64	0·43	0·62	–0·41	–0·42	0·15	–0·19	–0·24	0·08	0·42	–0·02
	Wi	0·06	0·28	1·61	–0·08	0·40	0·50	–0·35	–0·57	–0·87	–0·38	0·59	–0·34	–0·98	–0·37	1·40	–0·82
Stockholm	So	–0·03	0·12	0·56	0·33	–0·18	0·04	–0·04	–0·05	–0·61	–0·78	0·14	–0·25	0·28	–0·12	–0·10	0·70
	Wi	–0·06	–0·03	2·01	0·31	0·16	–1·38	–0·48	–1·00	0·00	0·27	0·67	0·49	–0·97	–0·45	0·29	0·16
Stykkisholm	So	0·65	0·52	0·04	–0·01	0·02	0·41	0·49	0·19	0·21	–0·13	–1·35	–0·27	0·31	–0·58	–0·23	–0·31
	Wi	0·40	–0·76	0·09	0·31	–0·01	0·74	–0·07	0·61	0·31	–1·17	–0·43	0·09	0·66	0·22	–0·54	–0·52
Bodö	So	–0·33	0·90	–0·73	–0·40	–0·53	–0·67	0·47	0·73	0·50	–0·30	1·10	0·53	0·57	–0·40	–0·47	–0·93
	Wi	0·10	–0·37	1·83	0·23	–0·17	–1·30	1·17	–0·37	0·97	–1·43	0·83	–0·83	–0·77	0·57	–0·90	0·43
Gjesvar	So	0·34	0·93	0·30	–0·77	–0·90	–0·87	0·20	–0·53	0·16	–0·64	0·79	0·56	–0·09	–0·21	0·47	0·25
	Wi	–0·28	–0·33	1·87	1·24	–0·73	–0·53	0·94	–0·13	0·47	–0·57	0·23	0·01	–0·68	–0·97	–1·59	1·05

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 19.

16jährige Periode, Sommer- und Wintertemperaturen; Mittelwerte, ausgeglichen nach der Formel $(a+2b+c)$ 4.

Jahre		1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
Wien	So	0·07	0·26	0·43	0·29	0·04	0·09	0·20	–0·03	–0·35	–0·33	–0·09	0·03	–0·01	–0·23	–0·29	–0·10
	Wi	–0·25	–0·36	–0·32	–0·28	–0·33	–0·39	–0·16	–0·24	–0·52	0·03	0·75	0·97	0·72	0·22	0·10	0·06
Sonnblick	So	0·51	0·65	0·28	0·05	0·04	–0·16	–0·04	0·20	–0·11	–0·40	–0·34	–0·27	–0·08	0·00	–0·26	–0·06
	Wi	–0·60	–0·53	–0·55	–1·10	–1·33	–1·18	–0·78	–0·38	0·55	1·35	1·34	1·14	0·64	0·21	0·43	0·18
Obir	So	0·28	0·47	0·55	0·59	0·38	0·10	0·04	–0·23	–0·36	–0·36	–0·49	–0·40	–0·17	–0·22	–0·31	–0·14
	Wi	–0·04	–0·49	–1·16	–0·85	–0·18	0·05	–0·05	0·04	0·30	0·78	1·21	1·12	0·79	–0·05	–0·81	–0·51
Berlin	So	0·04	0·31	0·50	0·38	0·20	0·28	0·28	–0·04	–0·50	–0·47	–0·03	0·15	0·03	–0·29	–0·51	–0·31
	Wi	–0·10	0·12	0·16	0·05	–0·15	–0·48	–0·46	–0·64	–0·86	–0·08	0·93	1·14	0·56	0·02	–0·05	–0·10
Newhaven	So	–0·08	–0·05	–0·28	–0·43	–0·02	0·44	0·53	0·31	–0·15	–0·27	–0·08	–0.12	–0·15	0·08	0·22	0·05
	Wi	–0·10	0·56	0·86	0·46	0·31	0·26	–0·19	–0·59	–0·67	–0·26	0·12	–0·27	–0·67	–0·08	0·40	–0·04
Stockholm	So	0·19	0·19	0·39	0·26	0·00	–0·03	–0·02	–0·19	–0·51	–0·51	–0·19	–0·02	0·05	–0·02	0·10	0·32
	Wi	0·00	0·47	1·08	0·70	–0·19	–0·77	–0·83	–0·62	–0·18	0·30	0·52	0·17	–0·47	–0·40	0·07	0·14
Stykkisholm	So	0·38	0·43	0·15	0·00	0·11	0·33	0·40	0·27	0·12	–0·35	–0·78	–0·40	–0·26	–0·27	–0·34	–0·05
	Wi	–0·12	–0·26	–0·07	0·18	0·26	0·35	0·30	0·36	0·01	–0·55	–0·48	0·10	0·41	0·14	–0·35	–0·30
Bodö	So	–0·17	0·19	–0·24	–0·52	–0·53	–0·35	0·25	0·61	0·36	0·25	0·61	0·68	0·32	–0·22	–0·57	–0·67
	Wi	0·07	0·30	0·88	0·53	–0·35	–0·40	0·17	0·35	0·04	–0·27	–0·15	–0·40	–0·45	–0·13	–0·20	0·01
Gjesvar	So	0·46	0·63	0·19	–0·53	–0·86	–0·61	–0·25	–0·17	–0·21	–0·08	0·38	0·46	0·04	–0·01	0·25	0·33
	Wi	0·04	0·23	1·16	0·91	–0·19	–0·21	0·30	0·29	0·06	–0·11	–0·02	–0·11	–0·58	–1·05	–0·73	0·06

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

berechnet worden. In Tabelle 20 sind diese Einzelwerte wiedergegeben; überdies sind in Fig. 8 die aufeinanderfolgenden Mittelwerte ΔT (Sommer—Winter) aus allen 8 Stationen in der Weise graphisch dargestellt, daß je drei aufeinanderfolgende Jahre nach

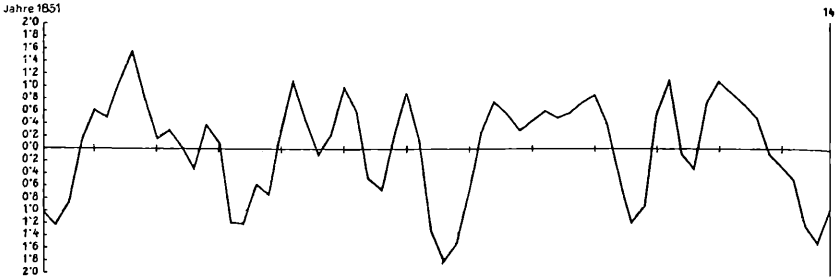

Fig. 8.
ΔT (Sommer—Winter) im Mittel aus 8 Stationen in Abweichungen vom Gesamtmittel 1851—1914.

der Formel $(a+2b+c):4$ etwas ausgeglichen wurden. Insbesondere die Minima der 16jährigen Periode treten in der graphischen Darstellung deutlich hervor (1852, 1866, 1883, 1898 und 1913).

Der mittlere Verlauf während des 16-jährigen Zyklus in den beiden Stationsgruppen 1 bis 4 und 5 bis 8 und im Gesamtmittel 1 bis 8 ist nach den Schlußzahlen von Tabelle 20 noch in Fig. 9

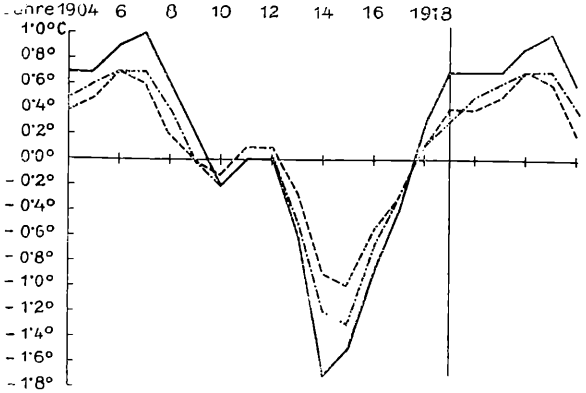

Fig. 9.
Sommer—Winter, Mittel aus Station 1—4: ————
5—8: — — — —
1—8: —·—·—

wiedergegeben. Der Verlauf dieser drei Kurven ist bereits ein recht glatter und macht durchaus den Eindruck einer gesetzmäßigen Schwankung.

Wie sich aus den nachstehenden, für die einzelnen Stationsgruppen berechneten Konstanten der 16jährigen Periode ergibt, sind nunmehr die Verhältniszahlen $\varkappa$ wohl groß genug, um die reale Existenz einer 16jährigen Periode auch für die gemeinsamen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 20.

Jahresschwankung ΔT (Sommer—Winter), geordnet nach Folgen von 16 Jahren, 1851—1914, in Abweichungen vom Gesamtmittel.

	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
a) Mittel aus Station 1 bis 4																
												−0·8°	−1·1°	−0·5°	1·5	2·2°
	0·4°	1·8°	2·9°	1·5°	−0·5°	1·9°	0·1°	−1·4°	−0·4°	2·0°	−2·9°	−1·7	0·5	−3·2	1·5	1·6
	0·5	−0·7	−0·2	2·1	1·1	−1·0	−1·2	0·3	1·9	0·6	−2·8	−1·2	−2·1	−0·4	0·7	1·5
	0·4	1·7	0·3	2·2	0·0	2·1	−0·3	3·0	0·0	0·2	−2·0	−2·4	0·0	1·9	−2·5	−1·7
	0·5	0·7	−0·8	0·6	−0·5	0·4	−2·6	0·3	−2·6	−2·6	−1·2					
Mittel	0·47	0·88	0·54	1·61	0·03	0·86	−1·02	0·57	−0·28	0·04	−2·20	−1·51	−0·68	−0·53	0·31	0·91
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·68	0·69	0·89	0·95	0·63	0·18	−0·15	−0·04	0·01	−0·60	−1·72	−1·48	−0·85	−0·36	0·25	0·65
b) Mittel aus Station 5 bis 8																
												−0·9°	−0·8°	−1·3°	−0·2°	0·7°
	−0·1°	1·3°	2·0°	0·8°	0·1°	0·6°	0·3°	0·2°	1·2°	1·5°	−1·0°	−1·5	1·2	−1·7	0·9	1·0
	0·5	−0·1	0·2	0·8	0·9	−1·0	−0·3	−0·2	1·3	0·0	−1·0	−1·7	−1·0	−0·1	0·3	1·8
	0·6	0·2	−0·1	1·7	−0·6	1·8	0·4	1·5	0·4	0·4	−0·9	−1·4	−0·2	1·4	−0·8	−1·2
	0·4	0·6	0·4	0·4	−0·8	−0·5	−2·1	0·1	−2·8	−2·3	−1·1					
Mittel	0·33	0·51	0·63	0·92	−0·10	0·21	−0·44	0·38	0·02	−0·11	−0·97	−1·39	−0·19	−0·44	0·03	0·57
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·44	0·50	0·67	0·59	0·23	−0·03	−0·07	0·08	0·08	−0·29	−0·86	−0·98	−0·55	−0·26	0·05	0·38
c) Mittel aus Station 1 bis 8																
												−0·9°	−1·0°	−0·9°	0·7°	1·5°
	0·1°	1·5°	2·4°	1·1°	−0·2°	1·2°	0·2°	−0·6°	0·4°	1·7°	−2·0°	−1·6	0·8	−2·5	1·2	1·3
	0·5	−0·4	0·0	1·5	−1·0	−1·0	−0·8	0·0	1·6	0·3	−1·9	−1·5	−1·6	−0·2	0·5	1·6
	0·5	0·9	0·1	1·9	−0·3	1·9	0·0	2·2	0·2	0·3	−1·5	−1·9	−0·1	1·7	−1·7	−1·5
	0·4	0·6	−0·2	0·5	−0·7	0·0	−2·4	0·2	−2·7	−2·5	−1·1					
Mittel	0·36	0·65	0·54	1·22	−0·07	0·49	−0·77	0·44	−0·17	−0·05	−1·63	−1·49	−0·47	−0·52	0·13	0·70
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·52	0·55	0·74	0·73	0·39	0·04	−0·15	−0·02	0·01	−0·48	−1·20	−1·27	−0·74	−0·34	0·11	0·27

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mittelwerte aus allen 8 angeführten europäischen Stationen mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit behaupten zu können.

	p	q		A		E		W
Mittel 1 bis 4	0·332	0·980	1·033	18·7	1·25	0·347	2·98	$9·51\times10^{-4}$
8	0·183	0·590	0·618	17·3	0·84	0·233	2·65	$4·10\times10^{-3}$
1 8	0·255	0·769	0·808	18·3	1·03	0·286	2·83	$1·88\times10^{-3}$

Die Wahrscheinlichkeit des Zustandekommens dieser Periode durch die zufällige Verteilung der Einzelwerte ist hier nur mehr von der Größenordnung 10^{-3}; bemerkenswert ist auch die sehr genaue Übereinstimmung des Phasenwinkels A, so daß man annehmen kann, daß die Unterschiede im Phasenwinkel, wie sie bei den Stationen 1 bis 12 in Tabelle 13 zutage treten, wenigstens zum größeren Teil nur dadurch bedingt sind, daß dort nicht überall dieselben Zeitabschnitte für die Berechnung der Konstanten benutzt wurden.

Nachdem der Phasenwinkel gezählt ist von 1919·27, ist das nächste Maximum der Periode (kalte Sommer und warme Winter) zur Zeit 1922·44 zu erwarten, das nächste Minimum 8 Jahre später, nämlich 1930·44. Der Phasenwinkel ergibt sich hier aus den benutzten 64 Jahren 1851—1914 etwas größer als früher nach Tabelle 13 aus den langen 144jährigen Reihen. Es ist daher wahrscheinlich (wie bereits bei der Station Wien im Anschluß an Tabelle 7 erörtert wurde), daß die Periode etwa um 0 2 Jahre kürzer ist als 16 Jahre.

Am deutlichsten und überzeugendsten kommt die 16jährige Periode zur Geltung, wenn wir die Gipfelstationen einerseits, die nordeuropäischen Stationen Bodö unb Gjesvar andrerseits einander gegenüberstellen. In Tabelle 21 ist die Jahresschwankung ΔT (Sommer—Winter) für die einzelnen Jahre 1887—1918 (32 Jahre) für diese 4 Stationen zusammengestellt, und zwar sind im ersten Teil der Tabelle die Mittel aus Obir und Sonnblick, im zweiten die Mittel aus Bodö und Gjesvar enthalten; im dritten Teil sind für jedes Jahr die Differenzen aus den beiden Stationspaaren gebildet. Letztere geben also — abgesehen von einer additiven Konstante — an, um wieviel in jedem Jahre die Jahresschwankung am ersten Stationspaar größer ist als am zweiten Stationspaar.

In Fig. 10 ist der mittlere Verlauf der Temperaturdifferenz: Sommer—Winter für die beiden Stationspaare während des 16-jährigen Zyklus unter Benutzung der nach der Formel $(a+2b+c)$ 4 ausgeglichenen Mittelwerte der Tabelle 21 graphisch dargestellt. Da das Mittel aus den beiden nordeuropäischen Stationen eine entgegengesetzte Phase aufweist, wurde die Kurve für Bodö und Gjesvar mit entgegengesetztem Vorzeichen gezeichnet.

Trotzdem für diese Gegenüberstellung nur 32 Jahre benutzt werden konnten, ist die Gesetzmäßigkeit in der Verteilung der

Vorzeichen eine ganz erstaunliche; wie aus Tabelle 21 *c* zu ersehen ist, finden sich in der ersten linken Hälfte fast ausschließlich positive Vorzeichen (Jahresschwankung an den Gipfelstationen relativ größer als an den nordeuropäischen Stationen), in der rechten Hälfte fast ausschließlich negative Vorzeichen. In den mit 1919 und 1904 — 1907 bezeichneten Jahren der Tabelle 21 im Bereiche des Maximums der Periode kommen unter 10 Einzelwerten nur positive Vorzeichen vor, in den Jahren 1912—1916

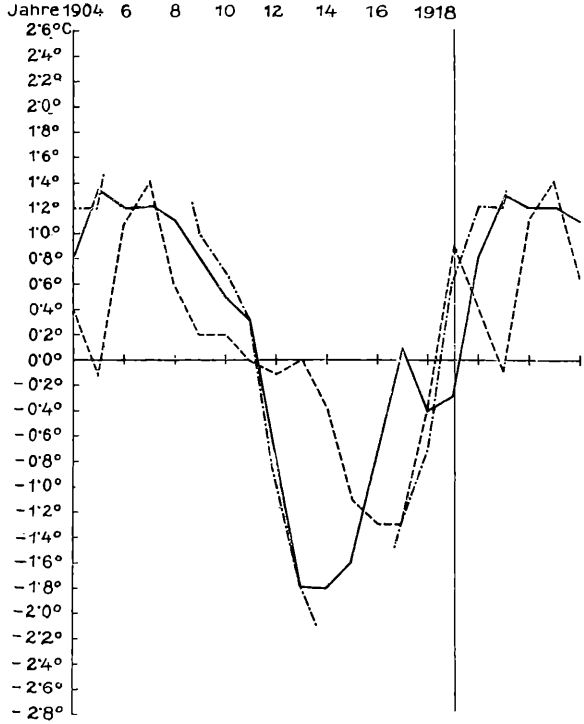

Fig. 10.

$^1/_2$ (Sonnblick + Obir): ———————
$^1/_2$ (Bodö + Gjesvar), verkehrt: — — — — —
Differenz: —·—·—·—

im Bereiche des Minimums der Periode unter 10 Einzelwerten 9 mit negativem und nur 1 mit positivem Vorzeichen, also unter 20 Einzelwerten 19 (95 %), deren Vorzeichen mit der Phase der 16jährigen Periode übereinstimmen.

Die Amplitude *a* der 16jährigen Periode für den Unterschied der Temperaturjahresschwankung an den beiden Stationspaaren beträgt 2·38°, der Unterschied der Extreme also nahezu 5° Aus dem Wert $\varkappa = 3 \cdot 18$ berechnet sich die Wahrscheinlichkeit, daß die 16jährige Periode dieses gegensätzlichen Verhaltens zwischen Nord und Süd durch eine zufällige Verteilung der Einzelwerte

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 21.

Mittlerer Verlauf der 16jährigen Periode an den Höhenstationen Sonnblick und Obir einerseits, den nordeuropäischen Stationen Bodö und Gjesvar andrerseits. ΔT (So—Wi) 1887—1918, Abweichungen vom Mittel.

	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
a) Mittel aus Sonnblick und Obir																
	1·0	1·7	0·5	1·4	0·8	1·8	−0·1	3·4	−1·0	−0·2	−2·1	−2·0	−0·5	1·6	−2·0	1·8
	0·6	2·4	0·5	2·6	0·2	1·7	−1·4	0·6	−2·6	−2·5	−2.5	−0·3	−2·8	1·9	−0·9	−2·1
Mittel	0·75	2·00	0·45	1·95	0·45	1·70	−0·80	1·95	−1·85	−1·40	−2·35	−1·20	−1·70	1·70	−1·50	−0·20
$\frac{a+2b+c}{4}$	0·82	1·30	1·21	1·20	1·14	0·76	0·51	0·31	−0·79	−1·75	−1·83	−1·61	−0·72	0·05	−0·37	−0·29
b) Mittel aus Bodö und Gjesvar																
	0·9	0·7	−1·7	−3·9	−0·8	2·1	0·7	1·5	−0·4	−0·5	−0·1	1·7	−0·2	1·1	0·4	−2·3
	−1·0	1·6	−1·7	0·5	0·3	−2·0	−1·3	−1·4	1·4	0·0	1·0	1·0	3·1	1·6	2·4	−2·4
Mittel	−0·13	1·07	−1·78	−1·78	−0·33	−0·03	−0·38	−0·03	0·42	−0·33	0·37	1·27	1·37	1·27	1·32	−2·43
$\frac{a+2b+c}{4}$	−0·41	0·06	−1·07	−1·42	−0·62	−0·19	−0·20	0·00	0·12	0·03	0·42	1·07	1·32	1·31	0·37	−0·92
c) $a-b$																
	0·1	1·0	2·2	5·3	1·6	−0·3	−0·8	1·9	−0·6	0·3	−2·0	−3 7	−0·3	0·5	−2·4	4·1
	1·6	0·8	2·2	2·1	−0·1	3·7	−0·1	2·0	−4·0	−2·5	−3·5	−1·3	−5·9	0·3	−3·3	0·3
Mittel	0·88	0·93	2·25	3·73	0·78	1·73	−0·42	1·98	−2·27	−1·07	−2·72	−2·47	−3·07	0·43	−2·82	2·23
$\frac{a+2b+c}{4}$	1·23	1·24	2·28	2·62	1·76	0·95	0·71	0·31	−0·91	−1·78	−2·25	−2·68	−2·04	−1·26	−0·74	0·63

	p	q	a	A	v	E	$\varkappa$	W
$^1/_2$ (Sonnblick+Obir)	0·282	1·424	1·450	11·2°	1·48	0·582	2·49	$7·73 \times 10^{-3}$
$^1/_2$ (Bodö+Gjesvar)	0·050	−0·925	0·927	176·9°	1·30	0·512	1·61	$1·31 \times 10^{-1}$
Unterschied.....	0·232	2·349	2·375	5·5°	1·90	0·747	3·18	$3·62 \times 10^{-4}$

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zustande gekommen ist, zu $W = 3 \cdot 62 \times 10^{-4}$ [1]. Dieser auffallende und bedeutende Unterschied im Verhalten der beiden Nordstationen Bodö und Gjesvar gegenüber dem übrigen Europa dürfte in höheren Breiten noch viel stärker ausgesprochen sein. Ein wichtiges Zeugnis in dieser Hinsicht wird mit der Zeit die nördlichste meteorologische Station, Greenharbour auf Spitzbergen, ablegen, von welcher bisher allerdings erst 13 Jahre (seit 1912) zur Verfügung stehen. Immerhin bieten auch diese wenigen Jahre eine Bestätigung dafür, daß die 16jährige Periode in hohen Breiten mit entgegengesetzter Phase gegenüber Mitteleuropa verläuft und lassen vermuten, daß in diesen hohen Breiten die Amplitude dieser 16jährigen Periode von ganz erstaunlicher Größe ist.

Nachdem die Sommertemperaturen in Spitzbergen nur sehr geringe Schwankungen aufweisen, wird sich hier die 16jährige Periode fast ausschlieslich auf die Wintertemperatur beschränken, die nachstehend für die 13 Jahre 1912—1924 in Abweichungen vom 13jährigen Mittel 1912—1924 (das Mittel beträgt —16·6°) mitgeteilt sind.[2] In der ersten Zeile stehen die ungeänderten Winter-

Greenharbour, Wintertemperatur in Abweichungen vom Mittel:

1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924
–5·1°	0·3°	–3·2°	2·7°	–4·7°	–8·6°	–5·2°	3·9°	2·1°	1·1°	6·6°	4·2°	6·2°
(–2·4°)	–1·9°	–0·9°	–0·6°	–3·8°	–6·8°	–3·8°	1·2°	2·3°	2·7°	4·6°	5·3°	(5·2°)

temperaturen (Dezember+Jänner+Februar) in Abweichungen vom Mittel, in der zweiten Zeile sind die aufeinander folgenden Jahre nach der Formel $(a+2b+c)$ 4 etwas ausgeglichen; der erste und letzte eingeklammerte Wert ist nach der Formel $(a+b):2$ ausgeglichen.

Es sei daran erinnert, daß in Mitteleuropa die Epoche des Minimums der 16jährigen Periode (warme Winter) etwa auf das Jahr 1915, die Eintrittszeit des Maximums (kalte Winter) dementsprechend auf das Jahr 1923 fällt. In Spitzbergen dagegen waren die Winter in der Umgebung dieser Jahre gerade entgegengesetzt temperiert: 1912—1918 vorwiegend zu kalte Winter, 1919—1924 ausschließlich zu warme Winter. Die drei Jahre 1916—1918 sind im

---

[1] Der Korrelationsfaktor ist nicht geeignet, den ganz deutlich entgegengesetzten Verlauf von ΔT (Sommer—Winter) an den beiden Stationspaaren zu charakterisieren; er beträgt nur –0·112 und ist von derselben Größenordnung wie der wahrscheinliche Fehler. Vermutlich rührt dies davon her, daß das entgegengesetzte Verhalten hauptsächlich zur Zeit der Extreme der 16jährigen Periode ausgesprochen ist, in den Zwischenjahren aber nicht.

[2] Die Werte für die letzten drei Jahre, die noch nicht publiziert sind, verdanke ich einer gütigen brieflichen Mitteilung des norwegischen meteorologischen Instituts in Kristiania, wofür ich hiermit meinen ergebensten Dank ausdrücke.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mittel um 6·2° zu kalt, die drei Winter 1922—1924 um 5·7° zu warm, das ist eine Schwankung von fast 12° Sollten die folgenden Jahre dieses Ergebnis bestätigen, daß in Spitzbergen die Amplitude der 16jährigen Periode so außerordentlich groß ist, so dürfte vielleicht hier der Schlüssel für eine physikalische Erklärung der 16jährigen Periode liegen.

Die erhaltenen Ergebnisse kann man so deuten, daß zur Zeit des Maximums der 16jährigen Periode in Mitteleuropa die Kontinentalität daselbst erhöht und gleichzeitig im hohen Norden herabgesetzt ist; hierdurch wird im Winter das meridionale Temperaturgefälle verkleinert, im Sommer etwas vergrößert; das analoge gilt zur Zeit des Minimums der Periode. Nachdem für die untersuchten Gebiete die allgemeine Zirkulation eng mit den Strömungsverhältnissen im Atlantischen Ozean (Golfstrom) zusammenhängt, könnte man die Verhältnisse auch so darstellen, daß durch irgendwelche Verlagerungen innerhalb eines 16jährigen Zyklus abwechselnd in Mittel- und Südeuropa und dann wieder im hohen Norden der ozeanische Einfluß besonders groß ist.

Die oben erwähnte, durch die Stationen Stykkisholm—Stockholm—Petersburg charakterisierte Knotenlinie deckt sich ungefähr mit der Linie, welche nach F. M. Exner[1] bei der Beziehung zwischen der Luftdruckanomalie auf der Polarkappe (Mittel aus Gjesvar und Markowo) einerseits und anderen Orten andrerseits die Gebiete mit positiver Korrelation von denen mit negativer Korrelation scheidet.

Es scheint zweckmäßig zu sein, bei der Berechnung von Temperaturkorrelationen in dem untersuchten Gebiet auf die 16jährige Periode Rücksicht zu nehmen; zur Zeit der Extreme kann eine gegenseitige Beziehung ganz anders sein als in den Zwischenjahren.

Zusammenfassung.

Die Untersuchung über die Existenz einer 16jährigen Periode hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

1. In Wien wurde aus den Temperaturdifferenzen: Sommer—vorhergehenden Winter eine 16jährige Periode abgeleitet, die sich nicht nur aus dem gesamten Material 1776—1919 mit sehr großer Wahrscheinlichkeit ergibt, sondern sich auch — und zwar mit konstanter Phase — nach Unterteilung des Zahlenmaterials in drei Gruppen zeigt.

---

[1] Über monatliche Witterungsanomalien auf der nördlichen Erdhälfte im Winter, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien, 1913, p. 30, Karte 2.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

2. Die Untersuchung einer Reihe anderer Stationen in Mittel- und Südeuropa bestätigt die aus der Wiener Reihe gewonnenen Ergebnisse. Die Phase stimmt an den meisten Stationen mit der für Wien berechneten sehr befriedigend überein, obwohl sich die Berechnung zum Teil auf verschiedene Beobachtungsjahre stützen mußte. Die Amplitude der 16jährigen Periode scheint in Mitteleuropa am größten zu sein und nimmt allmählich nach Süden wie auch nach Norden ab. In einer Linie, die durch die Stationen Stykkisholm—Stockholm—Petersburg gegeben ist, ist die 16jährige Periode erloschen, weiter nördlich tritt sie wieder deutlich auf, jedoch mit entgegengesetzter Phase.

3. Sowohl die Stationen in Mitteleuropa als auch die im hohen Norden zeigen die 16jährige Periode sowohl in den Sommermitteln als auch in den Wintermitteln für sich. Überall weisen Sommer und Winter sehr genau entgegengesetzte Phase auf. Die Amplitude ist beim Winter rund doppelt so groß als beim Sommer. Zur Zeit des Maximums der Periode in Mittel- und Südeuropa treten also in diesen Gebieten strenge Winter und warme Sommer auf — gleichzeitig im hohen Norden milde Winter und kühle Sommer; die umgekehrten Verhältnisse zeigen sich beim Minimum der Periode.

Nach dem Phasenwinkel im Mittel von 8 europäischen Stationen fällt das nächste Maximum der 16jährigen Periode (kalte Winter, warme Sommer) nach dem Jahre 1919 ungefähr auf das Jahr 1923, das nächste Minimum wäre im Jahre 1931 zu erwarten.

4. Auf den Gipfelstationen (Obir und Sonnblick) ergibt sich eine fast doppelt so große Amplitude wie an den Talstationen in gleicher Breite; das Vorzeichen der Einzelwerte stimmt im Bereiche der Extreme der 16jährigen Periode für die Differenz: Sommer—Winter in 80% der Fälle, für den Winter in 75% der Fälle und für den Sommer in 73% der Fälle mit der Phase der 16jährigen Periode überein.

5. Die Wahrscheinlichkeit, daß die aus dem vorhandenen Material berechnete Periode lediglich durch die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zufällige Verteilung der Einzelwerte vorgetäuscht ist, ist sehr klein; sie ergibt sich für den Obir zu rund $4 \cdot 10^{-4}$, für das Mittel aus 4 mitteleuropäischen Stationen zu rund 10^{-3}, für das Mittel aus 8 mittel- und südeuropäischen Stationen zu rund $2 \cdot 10^{-3}$ und für die Differenz zwischen dem Mittel aus 2 Gipfelstationen und 2 Stationen in hohen Breiten zu rund $4 \cdot 10^{-4}$.

Aus diesen Wahrscheinlichkeitszahlen wie auch aus dem ganzen gesetzmäßigen Verhalten der Periode während Sommer und Winter, während verschiedener Zeitabschnitte und in verschiedenen Gebieten muß man wohl den Schluß ziehen, daß der ermittelte periodische Ablauf nicht ein Produkt des Zufalls ist, sondern durch eine *gesetzmäßige* Einwirkung einer äußeren Kraft verursacht ist. Nachdem die periodische Einwirkung dieser Kraft durch eineinhalb Jahrhunderte hindurch als erwiesen angesehen werden muß, kann man auch mit äußerst großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die Beeinflussung durch diese Kraft auch in Zukunft im gleichen Sinne bestehen bleiben wird.

Anhang.

Mögliche Perioden verschiedener Wellenlänge.

a) 8 Jahre.

Während in Stockholm und Petersburg die Amplitude der 16jährigen Periode ganz besonders klein ist, erscheint dort innerhalb des 16jährigen Zyklus eine doppelte Welle, die also eine Periodenlänge von 8 Jahren besitzt. Der Verlauf dieser 8jährigen Periode der Temperaturdifferenz: Sommer—Winter stimmt in Petersburg und Stockholm sehr gut miteinander überein, wie aus Fig. 11 zu ersehen ist.

Um ohne Berechnung eines Periodogramms nachzusehen, ob sich etwa bei einer anderen Periodenlänge in der Nähe von 8 Jahren eine noch größere Amplitude ergibt, wurde für Stockholm das Material in vier Gruppen zu je 40 Jahren geteilt (die letzte Gruppe 1877—1908 enthält nur mehr 32 Jahre) und für jeden dieser Abschnitte die Koeffizienten einer 8jährigen Periode berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 zusammengestellt; daraus ergibt sich vor allem, daß die Phase in allen vier Abschnitten ungefähr konstant bleibt, daß also die Periodenlänge von 8·0 Jahren richtig gewählt ist, da sich sonst eine gleichmäßige Phasenverschiebung von einem Zeitabschnitt zum nächsten zeigen müßte.

Die Wahrscheinlichkeit, daß die auftretende Amplitude durch die zufällige Verteilung der Einzelwerte entstanden ist, ist allerdings nicht besonders klein: Aus dem Gesamtmaterial ergibt sie sich zu 0·05, aus der Zusammenfassung der Wahrscheinlichkeitswerte in den vier Abschnitten zu 0·03. Immerhin läßt die während des ganzen Zeitraumes annähernd konstante Phase und die Übereinstimmung der Periode zwischen Stockholm und Petersburg die reale Existenz einer 8jährigen Periode als wahrscheinlich erscheinen.

Es wurden daraufhin auch für die übrigen Stationen der Tabelle 13 die Konstanten einer 8jährigen Periode berechnet, die für die Temperaturdifferenz: Sommer—Winter in Tabelle 23, für die Temperatur von Sommer und Winter getrennt in Tabelle 24 zusammengestellt sind. Die Gruppierung in Tabelle 23 erfolgte

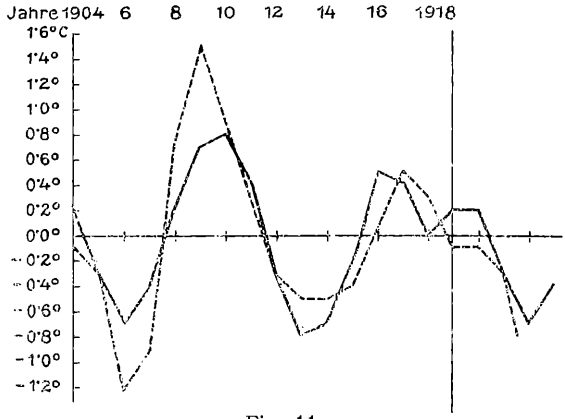

Fig. 11.
Sommer—Winter, Stockholm: ————
Petersburg: — — — —

wiederum nach sinkenden Werten von $\varkappa$. Außer an den ersten drei Stationen Petersburg, Newhaven und Stockholm hält sich $\varkappa$ ganz allgemein innerhalb von Grenzen, die einer Zufallsverteilung entsprechen (vgl. Fig. 1); mehr als die Hälfte der Stationen weisen ein $\varkappa < 1$ auf. Die Phase stimmt an den ersten drei Stationen recht gut miteinander überein; es sei auch bemerkt, daß die beiden Höhenstationen Obir und Sonnblick dieselbe Phase, aber bei sehr kleiner Amplitude aufweisen.

Bei der Untersuchung der beiden Jahreszeiten Sommer und Winter für sich (Tabelle 24) ergibt sich im Sommer für die meisten berechneten Stationen eine Phase von ungefähr 280° und ungefähr ebensoviel auch im Winter. Trotzdem läßt sich daraus wegen der Kleinheit der Amplitude a kein positives Urteil ableiten. Dagegen besteht einige Wahrscheinlichkeit, daß die 8jährige Periode in Petersburg und Stockholm reell ist, also in dem Gebiete, in welchem die Phase der 16jährigen Periode umschlägt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 22.

8jährige Periode der Temperaturdifferenz: Sommer—Winter in Stockholm.

Jahre	p	q	a	A	v	E	$\varkappa$	W	
1757—1796	0·329	–0·366	0·492	138·0°	2·07	0·730	0·588	0·76	$W = 0·028$
1797—1836	–0·121	–0·660	0·672	190·4°	2·07	0·730	0·920	0·51	
1837—1876	0·651	–0·098	1·277	149·4°	2·07	0·730	1·745	0·090	
1877—1908	0·202	–0·365	0·418	151·0°	2·07	0·815	0·513	0·81	
1757—1908	0·324	–0·645	0·720	153·3°	2·07	0·382	1·94	0·052	

Tabelle 23.

8jährige Periode der Temperaturdifferenz: Sommer—Winter.

Station	p	q	a	A	$\varkappa$
Petersburg	0·401	–0·846	0·937	154·7	2·23
Newhaven	0·485	–0·300	0·570	121·6	1·98
Stockholm	0·324	–0·645	0·720	153·3	1·94
Basel	0·568	–0·052	0·571	95·2	1·60
Turin	0·275	–0·038	0·278	97·8	1·20
Rom	0·042	0·242	0·245	9·8	1·17
Berlin	0·316	–0·122	0·338	112·0	1·01
Bergen	0·425	–0·001	0·425	90·0	0·92
London	0·198	0·029	0·200	81·7	0·85
Athen	–0·026	0·280	0·280	353·9	0·71
Wien	0·159	0·118	0·198	53·5	0·68
Sonnblick	0·165	–0·363	0·399	155·6	0·64
S. Fernando	0·124	0·057	0·137	65·3	0·47
Utrecht	0·121	0·002	0·121	89·1	0·43
Obir	0·081	–0·094	0·125	139·3	0·30
Bodö	0·115	–0·060	0·130	117·5	0·29
Gjesvar	–0·110	0·018	0·112	279·2	0·23

Tabelle 24.

8jährige Periode: Sommer- und Wintertemperatur.

Station	Sommer					Winter				
	p	q	a	A	$\varkappa$	p	q	a	A	$\varkappa$
Newhaven	0·241	–0·247	0·346	135·8	2·11	–0·243	0·053	0·248	279·0	0·90
Stockholm	–0·069	–0·064	0·100	227·2	0·56	–0·392	0·579	0·699	325·9	2·15
Berlin	–0·272	–0·025	0·273	264·7	1·74	–0·588	0·097	0·595	279·4	1·98
Wien	–0·140	0·025	0·142	280·1	1·01	–0·299	–0·093	0·312	252·7	1·21
Sonnblick	0·071	0·098	0·121	35·8	0·60	–0·094	0·461	0·470	348·5	0·95
Obir	–0·145	0·023	0·147	280·0	0·66	–0·226	0·117	0·254	297·4	0·72
Stykkisholm	–0·164	–0·011	0·164	266·2	0·28	–0·055	–0·442	0·445	187·6	0·46
Gjesvar	–0·061	0·253	0·260	346·5	0·91	0·049	0·235	0·236	11·8	0·58
Bodö	0·044	0·170	0·176	14·5	0·57	–0·071	0·230	0·241	342·9	0·66

Nachdem A. Defant kürzlich in einer Arbeit[1] die Ansicht ausgesprochen hat, daß nach seinen Untersuchungen eine 8jährige Periode der Zirkulation im Nordatlantischen Ozean einige Wahrscheinlichkeit hat, habe ich nach seinen Zahlenangaben die Koeffizienten einer solchen 8jährigen Periode berechnet. Als Grundlage dienten die 24 Jahre 1881—1904, aus der Tabelle 6, l. c. (Anomalien des mittleren meridionalen Druckgradienten über dem Nordatlantischen Ozean zwischen 30° und 65° n. Br.). Es ergaben sich folgende Werte (*mm*):

p	q		A		E	
—0·327	0·547	0·630	328·6	1·48	0·657	0·96

Der geringe Wert von $\varkappa$ gibt keinen Anlaß, eine 8jährige Periode anzunehmen; bemerkenswert ist aber doch, daß der Phasenwinkel A (der hier wie früher vom Jahre 1919 aus gezählt ist) fast genau um 180° von dem für die Temperaturdifferenz: Sommer—Winter

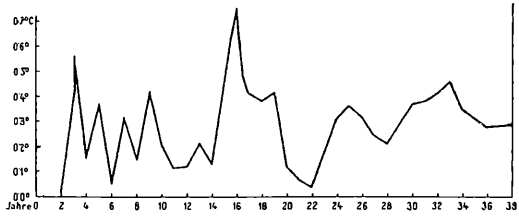

Fig. 12.

Periodogramm Wien, ΔT (Sommer—Winter), von 2—38 Jahre.

in Stockholm und Petersburg abgeleiteten Phasenwinkel $A = 154°$ (Tabelle 23) verschieden ist. Dies würde besagen: Bei geringem meridionalen Druckgefälle im Atlantischen Ozean, also bei geschwächter Zirkulation, ist die jährliche Temperaturamplitude in Stockholm und Petersburg groß; dies leuchtet ohne weiteres ein, doch wäre ein viel längerer Zeitraum nötig, um eine 8jährige Periode in der atlantischen Zirkulation mit genügender Wahrscheinlichkeit abzuleiten.

b) 3 Jahre.

In dem Periodogramm, das für Wien mit den Temperaturdifferenzen: Sommer—Winter für Periodenlängen von 2 bis 38 Jahren berechnet wurde (Tabelle 6) und deren Amplituden noch in Fig. 12 dargestellt sind, fallen neben dem starken Maximum bei 16 Jahren noch solche bei 3 und 33 Jahren auf. Nachdem die Expektanz nach Tabelle 13 $E = 0·291°$ ist, beträgt das Verhältnis $\varkappa$ für eine

[1] A. Defant, Die Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation über dem Nordatlantischen Ozean im 25jährigen Zeitraum 1881—1905, Geografiska Annaler 1924/I.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Periodenlänge von 3·0 Jahren 1·93, die betreffenden Wahrscheinlichkeiten also 0·054. Wie sich aus Tabelle 6 ergibt, ist die Amplitude für eine Periodenlänge von 2·9 und 3·1 Jahren bereits wesentlich kleiner als für 3·0 Jahre; die wirkliche Periodenlänge müßte also sehr nahe an 3·0 liegen.

Zur näheren Feststellung der Periodenlänge wurde das Zahlenmaterial 1776—1922 in fünf Gruppen geteilt, von welchen die ersten vier je 30 Jahre (10 Periodenlängen) umfassen, die letzte Gruppe 27 Jahre (9 Periodenlängen). Die für jeden dieser Zeitabschnitte berechneten Konstanten einer 3jährigen Periode sind in Tabelle 25 vereinigt. Der Phasenwinkel A ist vom Jahre 1775 an gezählt; anstatt dieses Jahres kann man auch irgendein Jahr setzen, dessen Jahreszahl gegeben ist durch $1775+3n$ ($n =$ eine ganze Zahl), z. B. auch das Jahr 1922. Der Phasenwinkel A nimmt

Tabelle 25.

3jährige Periode

Wien, Temperaturdifferenz: Sommer—Winter.

Jahre	p	q		A	v	E	W		
1776—1805	0·817°	-0·121°	0·827°	98·4°	1·57	0·635	1·30	0·265	
1806—1835	0·890	0·387	0·970	66·5	1·57	0·635	1·53	0·160	
1836—1865	0·544	0.665	0·857	39·3	1·57	0·635	1·35	0·240	$6{\cdot}70.10^{-3}$
1866—1895	0·410	-0·121	0·440	106·5	1·57	0·635	0·69	0·674	
1896—1922	-0·070	0·081	0·107	319·3	1·57	0·671	0·16	0·978	

recht gleichmäßig von einem zum nächsten Zeitabschnitt, also nach Ablauf von je 10 Perioden um rund 35° ab; nur in der vierten Gruppe fällt der Wert A heraus. Diese 35° entsprechen einer Verfrühung um 0·29 Jahre nach je 10 Periodenabläufen, die genaue Periodenlänge ergibt sich somit zu 2·97 Jahren. In den einzelnen Zeitabschnitten ist natürlich der Wert von W nicht besonders klein, die gesamte Wahrscheinlichkeit aber, daß in jedem der fünf Zeitabschnitte der gefundene Betrag der Amplitude durch den Zufall allein zustande gekommen ist, beträgt nur $4{\cdot}20.10^{-3}$. Dies ist schon ein ziemlich brauchbarer Wert, doch kann aus dem Verhalten der Station Wien allein noch kein endgültiges Urteil abgegeben werden.

Es wurden daher noch aus den in Tabelle 20 mitgeteilten Mittelwerten aus 8 Stationen für die Jahre 1851—1910 (60 Jahre) ebenfalls die Konstanten einer 3jährigen Periode berechnet; es ergaben sich hierbei folgende Werte:

p	q	a	A		E	
0·190	—0·220	0·290	139·2	1·03	0·294	0·985,

das sind Zahlen, die vollständig durch die Streuung der Einzelwerte erklärt werden können; allerdings war von vornherein kein

großer Wert für a und $\varkappa$ zu erwarten, da nach dem Verhalten der Station Wien (Tabelle 25) die Amplitude a wohl in der Zeit von 1776—1865 recht beträchtlich war, dagegen in den nachfolgenden Jahren nichts auffälliges an sich hat. Es muß daher die Frage noch offen bleiben, ob der aus dem Wiener Material mit einiger Wahrscheinlichkeit abgeleiteten 3jährigen Periode eine allgemeine Bedeutung zukommt.[1]

c) 33 Jahre.

Nach den Maxima für 16 und 3·0 Jahre ist im Periodogramm für Wien das nächstgrößte bei 33 Jahre mit einer Amplitude $a = 0 \cdot 457°$; die Verhältniszahl $\varkappa$ beträgt somit 1·57, die betreffende Wahrscheinlichkeit $W = 0 \cdot 145$. Dieser Wert von W ist viel zu groß, als daß man aus dem Wiener Material allein die Existenz einer solchen Periode nachweisen könnte; immerhin ist dieses Maximum im Periodogramm im Zusammenhang mit den umfassenden Untersuchungen von Brückner[2] bemerkenswert. Brückner selbst nimmt als wahrscheinlichsten Wert der Periodenlänge $34 \cdot 8 \pm 0 \cdot 7$ Jahre an. Lockyer[3] kommt zu einer Sonnenfleckenperiode von 34·4 Jahren, Liznar[4] zu einer solchen von 33 Jahren. A. Schuster[5] findet aus einer eingehenden Diskussion eines Periodogramms der Sonnenflecken 1749—1900 drei wahrscheinliche Periodenlängen von 11·13, 8·32 und 4·76 Jahren, die sämtlich einfache Bruchteile einer »Oberwelle« von 33·375 Jahren sind. A. E. Douglas[6] findet aus den Jahresringen der kalifornischen Riesenbäume, die über 500 Jahre alt waren, eine Periode von 32·8 Jahren. Der aus dem Periodogramm für Wien abgeleitete Wert von 33 Jahren stimmt mit diesen Ergebnissen recht gut überein, wenn er auch für sich allein durchaus nicht beweiskräftig ist.

---

[1] Es sei bemerkt, daß Dr. Franz Baur (Deutsches Meteorol. Jahrbuch für Bayern 1922) unter Benutzung von 10 bayrischen Stationen und der Jahre 1880–1922 für verschiedene meteorologische Elemente Periodogramme berechnete, aus welchen sich für eine Periode von 3·0 Jahren noch die größte Amplitude ergibt. Allerdings sind die von ihm angegebenen Verhältniszahlen $\varkappa$, die für die genannte Periodenlänge zwischen den Werten 1·5 und 2·5 schwanken, noch zu klein, als daß man — wie es der Verfasser tat — »ein zufälliges Zustandekommen dieser Periode für ausgeschlossen« erklären kann. Interessant ist, daß der Verfasser für die Temperatur nur eine ganz geringfügige Amplitude einer 3·0jährigen Periode erhält. Das wird nach den oben für Wien nachgewiesenen Verhältnissen verständlich: Die Periode äußert sich wahrscheinlich im Sommer und Winter im entgegengesetzten Sinne, kommt infolgedessen bei den Jahresmitteln fast gar nicht zum Ausdruck, um so stärker aber bei der Differenz: Sommer—Winter.

[2] E. Brückner, Klimaschwankungen Wien 1890, Hölzel.

[3] N. Lockyer, Die Sonnentätigkeit 1833—1900, Met. Ztschr. 1902, p. 59.

[4] J. Liznar, Über eine 33jährige Periode der Sonnenflecken, Met. Ztschr. 1902, p. 237.

[5] A. Schuster, Sonnenflecken-Perioden, Met. Ztschr. 1906, p. 310.

[6] A. E. Douglas, Month. Weath. Rev. 1909, p. 225.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

d) 3·5 Jahre.

Zum Schlusse möge noch aus dem Wiener Material die Existenz einer 3·5jährigen Periode näher untersucht werden, welche einzelne Verfasser für ganz verschiedene Gebiete der Erde mit ziemlich großer Wahrscheinlichkeit nachgewiesen haben.[1] Daß diese Periodenlänge im Periodogramm für Wien nicht zum Ausdruck kommt, spricht noch nicht gegen die Existenz einer solchen Periode; denn das Periodogramm ist im wesentlichen für Stufen von Jahr zu Jahr berechnet worden, was mit Rücksicht auf die Anzahl der Einzelfälle wohl für Periodenlängen von 10 Jahren aufwärts genügen dürfte, um auch Periodenlängen, deren größte Amplitude zwischen 2 Jahre fällt, noch zu erfassen. Für Periodenlängen oberhalb 20 Jahre hätte gewiß auch ein Fortschreiten von je 2 Jahren genügt. Kurze Perioden dagegen können bei einem Fortschreiten der Periodenlänge von Jahr zu Jahr ganz verschwinden; zur Feststellung aller möglichen Perioden hätten für die kurzen Perioden viel mehr Zwischenpunkte berechnet werden müssen.

Für die Temperaturdifferenz: Sommer—Winter ergaben sich für den ganzen Zeitabschnitt 1776—1923 nachstehende Koeffizienten:

p	q	a	A		E		W
0·202	−0·831	0·855	166·4	1·57	0·291	2·96	$1·05.10^{-3}$

Die der Berechnung zugrunde liegenden Mittelwerte für 7 aufeinanderfolgende Jahre sind nachstehend angeführt:

Jahr	1.	2.	3.	4.	5.	6.	
°C	−0·59	0·31	0·39	−0·57	−0·97	1·06	0·40

Das Jahr 1. entspricht dem Jahre 1776, beziehungsweise den nachfolgenden Jahren, die gegebenen sind durch $N = 1776 + 7\,n$ (n = einer ganzen Zahl). Der Phasenwinkel A ist gezählt vom Jahre 1775 oder, was auf dasselbe hinauskommt, vom Jahre 1924.

Die Amplitude $a = 0·855$ ist recht groß, größer sogar als bei der 16jährigen Periode in Wien; die Wahrscheinlichkeit, daß dieselbe durch eine zufällige Verteilung der Einzelwerte bedingt ist, beträgt nur 10^{-3}, so daß es aussichtsreich erscheint, die reale Existenz dieser Periode durch weitere Untersuchungen mit noch größerer Sicherheit festzustellen; im nachstehenden wurde ermittelt, inwieweit eine solche Periode von 3·5 Jahren in den einzelnen Zeitabschnitten sich nachweisen läßt und inwiefern die beiden Jahreszeiten Sommer und Winter am Zustandekommen derselben beteiligt sind.

---

[1] N. Lockyer, Solar physics observatory, South Kensington 1908;
C. Braak, Met. Zeitschr. 1910, 1912;
A. Defant, Geograf. annaler 1924/I.

Tabelle 26.

Mittlerer Verlauf einer $3^1/_2$jährigen Periode; Wien, Temperatur.

Jahre	1	2	3	4	5	6	7
a) Winter							
1776—1810	0·84	–0·38	–0·54	0·86	0·66	–0·68	–0·82
1811—1845	0·98	–0·08	–0·54	–0·28	1·34	–1·38	–0·08
1846—1880	1·42	–0·66	–0·32	0·88	–0·82	–1·36	0·84
1881—1923	–0·08	–0·07	0·11	0·06	1·03	–0·61	–0·56
b) Sommer							
1776—1810	0·48	–0·34	–0·56	–0·30	0·00	0·64	0·04
1811—1845	0·64	0·08	0·44	–0·02	–0·44	–0·58	–0·16
1846—1880	0·22	0·18	–0·08	0·00	–0·52	–0·40	0·62
1881—1923	–0·34	0·05	0·39	–0·28	–0·26	0·14	0·32

Tabelle 27.

Koeffizienten einer $3^1/_2$jährigen Periode; Wien, Temperatur.

Jahre	p	q	a	A		E		W
a) Winter								
1776—1810	–0·233	0·866	0·896	345·0	1·48	0·557	1·61	$1·03.10^{-1}$
1811—1845	–0·450	1·177	1·181	339·1	1·48	0·557	2·12	$2·95.10^{-2}$
1846—1880	0·714	1·025	1·247	389·7	1·48	0·557	2·24	$1·97.10^{-2}$
1881—1923	–0·303	0·271	0·407	311·8	1·48	0·502	0·81	$5·97·10^{-1}$
b) Sommer								
1776—1810	–0·174	0·056	0·183	287·4	0·81	0·305	0·60	$7·54·10^{-1}$
1811—1845	0·113	0·173	0·206	33·1	0·81	0·305	0·68	$6·95·10^{-1}$
1846—1880	0·270	0·104	0·289	68·9	0·81	0·305	0·95	$4·90.10^{-1}$
1881—1923	0·186	–0·321	0·372	149·9	0·81	0·274	1·36	$2·34.10^{-1}$

In Tabelle 26 sind je 35 Jahre (10 Periodenlängen) zusammengefaßt und die Temperaturmittel, geordnet nach Folgen von je 7 Jahren, für Winter und Sommer getrennt mitgeteilt; der letzte Zeitabschnitt umfaßt die 43 Jahre 1881 — 1923. Die daraus

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

berechneten Koeffizienten sind in Tabelle 27 zusammengestellt; daraus ergibt sich, daß die Periode im Winter recht deutlich ausgesprochen ist, der Phasenwinkel A ist in allen vier Zeitabschnitten ungefähr konstant; im Sommer dagegen ist die Amplitude nur von derselben Größenordnung wie die Expektanz und der Phasenwinkel liegt für die vier Zeitabschnitte ganz ungeregelt verteilt.[1] Für den Winter seien noch die Koeffizienten der 3·5jährigen Periode aus dem gesamten Material angeschrieben:

p	q	a	A		E	$\varkappa$	W
−0·015	0·804	0·804	358·9	1·48	0·270	2·98	9·50.10⁻⁴

Schließlich wurden noch die in Tabelle 20 für jedes der Jahre 1851—1914 zusammengestellten mittleren, aus 8 Stationen berechneten Temperaturdifferenzen: Sommer—Winter auf das Vorhandensein einer 3·5jährigen Periode hin untersucht; das Ergebnis ist hier jedoch im wesentlichen ein negatives. Nach Folgen von 7 Jahren geordnet, ergab sich folgender mittlerer Verlauf:

Jahr	1.		3.	4.	5.	6.	7.
°C	−0·30	0·72	0·21	−0·16	−0·06	−0·03	−0·40

Die daraus berechneten Koeffizienten einer 3·5jährigen Periode sind folgende:

p	q	a	A		E	
−0·240	−0·255	0·350	223·3	1·03	0·288	1·22

Die Amplitude ist also nur wenig größer als die Expektanz und die aus dem Mittel aller 8 Stationen ermittelte Phase um 56·9° (entsprechend 0·55 Jahre) von der für Wien berechneten verschieden. Auch die Mittelwerte der Stationen 1 bis 4 einerseits, 5 bis 8 andrerseits geben kaum ein besseres Resultat; es hängt dies wohl damit zusammen, daß auch in Wien für den Zeitabschnitt 1881—1915 nur eine verschwindend kleine Amplitude ermittelt wurde.

Wenn auch aus den vorstehenden Untersuchungen trotz der großen Amplitude, wie sie für Wien berechnet wurde, noch nicht mit genügender Sicherheit auf die reale Existenz einer 3·5jährigen Periode in Mitteleuropa geschlossen werden kann, so scheint es doch aussichtsreich zu sein, dieselbe auf Grund einzelner besonders weit zurückreichender Beobachtungsreihen weiter zu untersuchen.

---

[1] Es sei bemerkt, daß ursprünglich als vierter Abschnitt die 35 Jahre 1881—1915 gewählt wurden; in diesem Zeitabschnit ist die Amplitude auch für den Winter ganz verschwindend klein ($a = 0·081°$).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung.

Im Anhang werden Perioden von 33, 8, 3·5 und 3·0 Jahren untersucht; die Perioden von 33 und 3·0 Jahren weisen im Periodogramm Wien, Temperaturdifferenz Sommer—Winter ausgesprochene Maxima auf. Die Wahrscheinlichkeit, daß diese beiden durch die zufällige Verteilung der Einzelwerte entstanden sind, beträgt bei ersterer 0·054, bei letzterer 0·145.

Durch die Unterteilung des Gesamtmaterials in fünf Abschnitte berechnet sich für die 3jährige Periode die genaue Periodenlänge zu 2·97 Jahre und aus den Koeffizienten der fünf Einzelreihen ergibt sich eine gesamte Zufallswahrscheinlichkeit von $4 \cdot 20 . 10^{-3}$.

Die aus den Mittelwerten von 8 europäischen Stationen berechnete Amplitude dieser Periode ist jedoch nur von der Größe der Expektanz.

Das Maximum im Periodogramm bei 33 Jahren steht in guter Übereinstimmung mit den für die Brückner'sche Periode anderweitig gefundenen Periodenlängen, doch ist die aus dem Wiener Material ermittelte Amplitude viel zu klein, als daß aus dieser allein ein gesicherter Nachweis dieser Periode möglich wäre.

Für Stockholm und Petersburg, also in dem Gebiet, in welchem die 16jährige Periode erlischt und ihre Phase umschlägt, ist eine 8jährige Periode sehr wahrscheinlich. In den übrigen Stationen Europas ist die Amplitude dieser Periode kaum größer als nach den Zufallsgesetzen zu erwarten ist.

Eine sehr große Amplitude ($a = 0 \cdot 855°$ C.) wurde aus dem Wiener Material für eine Periode von 3·5 Jahren gefunden, die sich auch in den einzelnen Zeitabschnitten wiederfindet. Am Zustandekommen dieser Periode ist nur die kalte Jahreszeit (Winter) beteiligt, während die aus den Sommertemperaturen berechneten Amplituden nur geringfügig sind. Auch diese Periode findet (wie die

von 2·97 Jahren) in den Mittelwerten aus 8 europäischen Stationen keine genügende Bestätigung.

Es bestand nicht die Absicht, die Existenz dieser Perioden von 33, 8, 3·5 und 2·97 Jahren in Europa im einzelnen zu untersuchen. Es möge der Hinweis genügen, daß die Wahrscheinlichkeit für den gesetzmäßigen Verlauf der letzteren beiden Perioden ziemlich groß ist, so daß eine weitere Untersuchung wünschenswert erscheint. Für die Existenz der 33jährigen Brückner'schen Periode kann die vorliegende Untersuchung nicht als genügender Nachweis angesehen werden, immerhin ist sie eine Stütze für die von anderer Seite vorgebrachten Nachweise.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: 133_2a

Autor(en)/Author(s): Wagner Arthur

Artikel/Article: Eine bemerkenswerte 16jährige Klimaschwankung mit einem Anhang: Mögliche Perioden verschiedener Wellenlänge. 169-224