

**DIE VERÄNDERUNGEN DER KLIMATISCHEN
ELEMENTE NACH DEN METEOROLOGISCHEN
BEOBACHTUNGEN VON TARTU 1866—1930**

VON

KARL FRISCH

TARTU 1932

Die Anregung zur folgenden Untersuchung gaben die Arbeiten von N. Ekholm¹⁾, Wagner²⁾ und O. Johanson³⁾, in denen eine Abnahme der Kontinentalität in Nordwest-Europa bewiesen wird. Aus den Arbeiten von Ekholm und Wagner ersieht man, dass die Abnahme der Kontinentalität in Nordwest-Europa schon mehrere Jahrhunderte andauert. Unter den hierauf hinweisenden Tatsachen sind in erster Linie zu nennen: das häufigere Zufrieren der Ostsee im Winter bis zum 18. Jahrhundert, die Verschiebung der Grenzen des Weinbaus mehr nach Süden und endlich nach meteorologischen Beobachtungen die Abnahme der Jahresamplitude der Lufttemperatur.

Zur Behandlung dieser Frage in der vorliegenden Arbeit wurden die meteorologischen Beobachtungen von Tartu benutzt, die, beginnend mit dem Jahre 1866, nach ein und demselben Schema durchgeführt und bearbeitet worden sind.

Um über die stattgefundenen Veränderungen eine Übersicht zu gewinnen, sind fünfjährige Monats- und Jahresmittel berechnet worden. Unter Annahme einer linearen Änderung der Monats- bzw. Jahresmitteltemperatur lässt sich für jede Fünfjahr-Gruppe eine lineare Gleichung (zusammen also 13 Gleichungen) von folgender Gestalt aufstellen:

$$t = t_m + xv.$$

Hier bedeutet t — das einer Fünfjahr-Gruppe entsprechende Monats- bzw. Jahresmittel; t_m — den entsprechenden Mittelwert für 65 Jahre (1866—1930); x — den unbekanntem Koeffizienten, der sich nach der Methode der kleinsten Quadrate aus

1) N. Ekholm — On the Variations of the Climate, Quarterly Journal 1901, January.

2) A. Wagner — Untersuchungen der säkularen Änderung der Jahreschwankung der Temperatur in Europa, Gerlands Beiträge zur Geophysik Band XX, Seite 134.

3) O. Johanson — Die abnehmende Kontinentalität in Europa, Mitt. d. Math. Inst. 1929, Helsingfors, Nr. 13.

dem Gleichungssystem berechnen lässt; τ bedeutet den Jahresgruppenindex, der zweckmässig von -6 bis 6 gezählt wird.

In Tabelle 1 sind die aus den 13 Gleichungen berechneten Temperaturveränderungen der Monats- sowie Jahresmittelwerte aufgeführt.

Hier bedeutet: t_m — die 65-jährigen Monats- bzw. Jahresmittel der Lufttemperatur, t_I — den nach der Gleichung berechneten Mittelwert für die erste Fünfjahr-Gruppe (1866—1870), t_{XIII} — den betreffenden Mittelwert für die letzte Fünfjahr-Gruppe (1926—1930), A — die Differenz zwischen t_{XIII} und t_I , d. h. die für die ganze

Tabelle 1.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
t_m	-6.54	-6.67	-3.14	3.54	10.04	14.70	17.04	15.16	10.53	4.92	-0.34	-4.84	4.54
t_I	-6.90	-6.82	-3.73	2.96	9.15	15.55	17.07	15.42	10.61	4.84	-1.15	-5.73	4.28
t_{XIII}	-6.19	-6.52	-2.55	4.12	10.93	13.85	17.01	14.90	10.45	5.00	0.47	-3.95	4.80
A	0.72	0.30	1.18	1.16	1.78	-1.70	-0.06	-0.52	-0.16	0.16	1.62	1.78	0.52
f	± 0.18	± 0.22	± 0.16	± 0.15	± 0.15	± 0.08	± 0.12	± 0.11	± 0.08	± 0.15	± 0.15	± 0.13	± 0.02

Zeitspanne (1766—1930) berechnete Temperaturerhöhung, f — den nach der Formel:

$$f = 0,6745 \sqrt{\frac{\sum e^2}{n-1}}$$

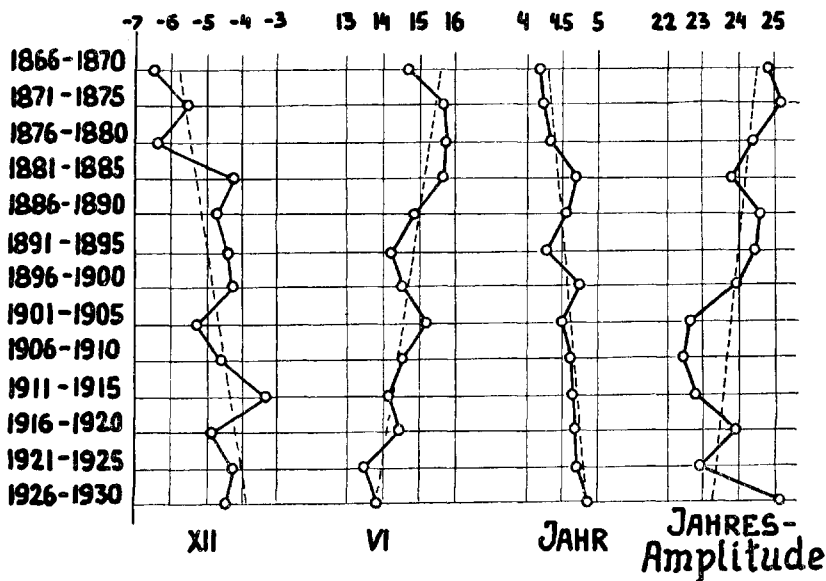
berechneten wahrscheinlichen Fehler.

Aus obiger Tabelle ersehen wir, dass in den Monaten Oktober—Mai eine Zunahme der Temperatur, mit je einem Maximum im Dezember und Mai, feststellbar ist. Im Intervall Juni-September ist dagegen eine Temperaturabnahme mit einem Maximum im Juni ersichtlich. Die mittlere Jahrestemperatur erhöht sich von 4.28° bis 4.80° .

Da die wahrscheinlichen Fehler für die Monate Januar, März, April, Mai, Juni, November, Dezember sowie für das ganze Jahr ca. viermal kleiner sind als die betreffenden Temperaturveränderungen, so darf man die berechneten Grössen A als reell bestehend ansehen. Es sei hier betont, dass die in dieser Weise berechneten Temperaturveränderungen keinesfalls als absolute anzusehen sind, sondern nur zeigen, in welcher Richtung die Lufttemperatur im erwähnten Zeitraum sich verändert hat.

Weiter ist aus den mit Hilfe der harmonischen Analyse abgeleiteten Periodizitäten des jährlichen Temperaturganges für jede Fünffjahr-Gruppe die Jahresamplitude bestimmt. Die in gleicher Weise durchgeführten Berechnungen zeigen, dass die Amplituden in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Wagner¹⁾ im betrachteten Zeitabschnitt eine kleine Abnahme aufweisen. Sie beträgt $1,2^{\circ}$ bei einem wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0,2^{\circ}$.

Fig. 1.



Die Jahresamplitude der Temperatur ändert sich von $24,5^{\circ}$ (1866—1870) bis $23,3^{\circ}$ (1926—1930).

Zur besseren Übersicht sind in Fig. 1 die berechneten Temperaturänderungen, sowie die Mittelwerte der Fünffjahr-Gruppen graphisch dargestellt. Die betreffenden Monats- und Jahresmittelwerte sowie die Mittelwerte der Jahresamplituden sind durch entsprechend gelegene eingekreiste Punkte angegeben, wobei die Zickzacklinie den wahren Übergang von einer Fünffjahr-Gruppe zur anderen bezeichnet. Die ausgeglichenen Veränderungen sind durch punktierte Gerade angegeben.

1) A. Wagner — Untersuchungen der säkularen Änderung der Jahreschwankung der Temperatur in Europa, Gerlands Beiträge zur Geophysik Band XX, Seite 134.

Weiter sind nach derselben Methode auch die stattgefundenen Luftdruckveränderungen berechnet. Da die gefundenen Veränderungen des Luftdrucks für die einzelnen Monate verhältnismässig klein sind und meistens eine kleine Abnahme zeigen, so beschränken wir uns auf die Angabe der Veränderungen des Jahresmittelwertes. Da im Winter und Frühling die Temperatur im ganzen Zeitraum gestiegen, im Sommer aber gefallen ist, dürfen wir annehmen, dass die zyklonale Tätigkeit sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr zugenommen hat. Infolgedessen macht sich eine kleine Luftdruckabnahme bemerkbar. Das Jahresmittel des Luftdrucks für 65 Jahre beträgt in Tartu 753,78 mm. Der Luftdruck hat nach den Berech-

Tabelle 2.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
e_m	2.82	2.71	3.21	4.60	6.65	8.82	10.78	10.26	8.05	5.88	4.32	3.22	5.95
e_{II}	2.80	2.70	3.09	4.34	6.44	9.06	10.70	10.10	7.97	5.83	4.16	3.14	5.87
e_{XIII}	2.84	2.72	3.33	4.86	6.86	8.58	10.86	10.42	8.13	5.93	4.48	3.30	6.03
A	0.04	0.02	0.24	0.52	0.42	-0.48	0.16	0.32	0.16	0.10	0.32	0.16	0.16
f	± 0.04	± 0.05	± 0.04	± 0.05	± 0.07	± 0.05	± 0.06	± 0.05	± 0.04	± 0.06	± 0.06	± 0.03	0.02

nungen von der ersten Fünfjahr-Gruppe (1866—1870) bis zur letzten Fünfjahr-Gruppe um 0,52 mm abgenommen, bei einem wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0,11$ mm.

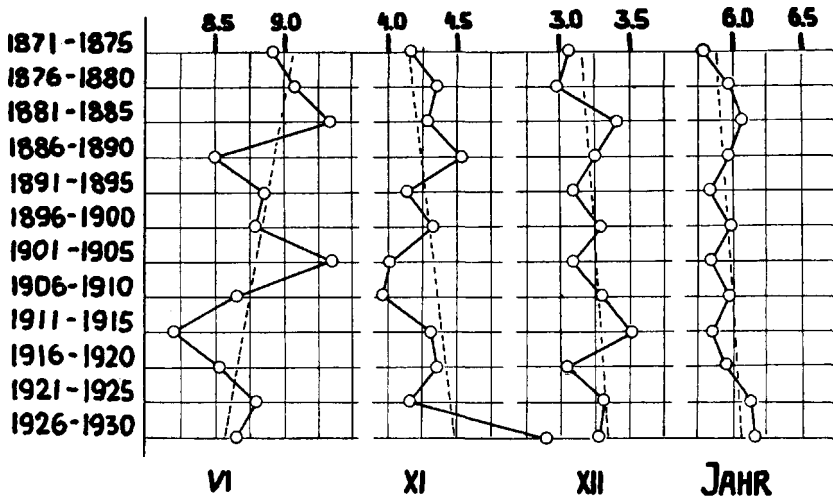
Tabelle 2 charakterisiert die in dem ganzen Zeitraum stattgefundenen Veränderungen der absoluten Feuchtigkeit. Sie enthält, analog der Tabelle 1, aus dem linearen Gleichungssystem erhaltene Daten.

Es bedeuten: e_m — die Monats- bzw. Jahresmittelwerte der absoluten Feuchtigkeit in mm für den Zeitraum 1870—1930¹⁾; e_{II} — die berechnete absolute Feuchtigkeit für die Fünfjahr-Gruppe 1871—1875¹⁾; e_{XIII} — dieselbe für die Gruppe 1926—1930; A — die Differenz $e_{XIII} - e_{II}$; f — den wahrscheinlichen Fehler der gefundenen Veränderungen der absoluten Feuchtigkeit. Die Tabelle zeigt für alle Monate eine kleine Zunahme der absoluten Feuchtigkeit mit Ausnahme des Juni, was offenbar

1) Für die ersten Jahre fehlen die Beobachtungen der Feuchtigkeit.

durch die starke Temperaturabnahme verursacht wurde. In den Monaten März, April, Mai, Juni und August übersteigt die berechnete Veränderung den betreffenden wahrscheinlichen Fehler um mehr als das Sechsfache. Das Jahresmittel zeigt gleich-

Fig. 2.



falls eine Zunahme um 0,16 mm, bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,02 mm. In Fig. 2 sind durch punktierte Gerade die ausgeglichenen Veränderungen der absoluten Feuchtigkeit

Tabelle 3.

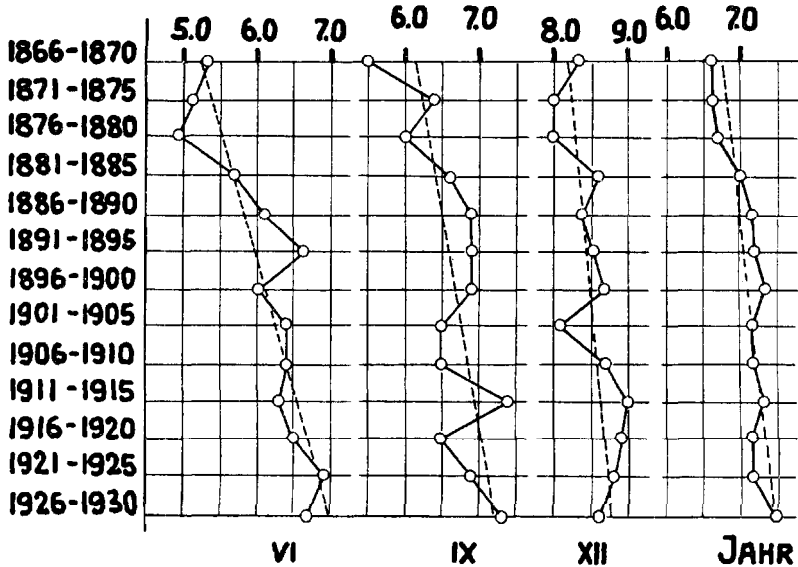
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
b_m	8.2	7.5	6.8	6.5	6.4	6.1	6.1	6.4	6.7	7.6	8.5	8.5	7.1
b_1	8.1	6.9	6.7	5.9	6.4	5.2	5.8	5.7	6.2	7.3	8.4	8.2	6.7
b_{XIII}	8.3	8.1	6.9	7.1	6.4	7.0	6.4	7.1	7.2	7.9	8.6	8.8	7.5
f	0.2	1.2	0.2	1.2	0.0	1.8	0.6	1.4	1.0	0.6	0.2	0.6	0.8
f	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.05	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.03

für die Monate Juni, November, Dezember und das ganze Jahr dargestellt. Die mit kleinen Ringen eingekreisten Punkte geben die Mittelwerte der absoluten Feuchtigkeit der Fünfjahr-Gruppen an.

Gleicherweise beobachten wir in Übereinstimmung mit den Veränderungen der Lufttemperatur und -feuchtigkeit eine Zu-

nahme der Bewölkung. Die Veränderungen im Gange der Bewölkung sind in Tab. 3 angegeben. Die erste Zeile (b_m) enthält die Monats- bzw. Jahresmittelwerte der Bewölkung für 65 Jahre,

Fig. 3.



die zweite Zeile die berechneten Mittelwerte für die erste Fünfjahr-Gruppe (1866—1870), die dritte dieselben für die letzte Fünfjahr-Gruppe (1926—1930). Darauf folgen, analog den früheren Tabellen, die Differenz $\Delta = b_{XII} - b_I$ und der wahrscheinliche Fehler (f) der Veränderung der berechneten Bewölkung. Ausser dem Mai macht sich in allen Monatsmitteln wie auch im Jahresmittel eine Zunahme der Bewölkung bemerkbar, was durch die Verstärkung der Zyklontätigkeit zu erklären ist.

In Fig. 3 sind die Veränderungen der Bewölkung für die Monate Juni, September, Dezember, wie auch für das ganze Jahr, in gleicher Weise wie in Fig. 1 und 2 dargestellt.

Die Zunahme der Bewölkung ist ausserdem auch aus den Registrierungen der Sonnenscheindauer ersichtlich.

Die Beobachtungen der Sonnenscheindauer beginnen im Jahre 1901 und umfassen somit eine Zeitspanne von 30 Jahren. In der Tabelle 4 finden wir: s_m — die mittlere Sonnenscheindauer für 30 Jahre in Stunden, s_1 — die mittlere berechnete Sonnenscheindauer für die erste Fünfjahr-Gruppe (1901—1905),

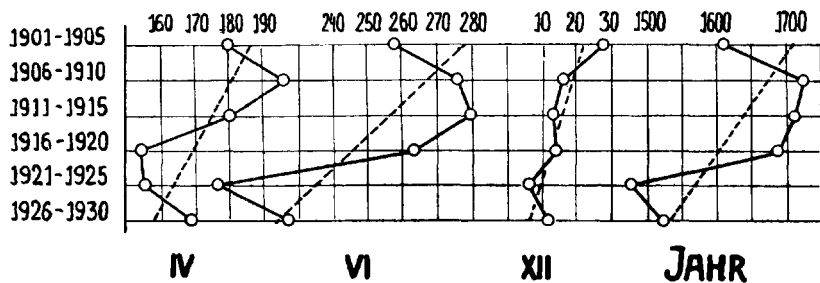
s_{VI} — dieselbe Sonnenscheindauer für die letzte Gruppe (1926—1930). Es folgen weiter Δ — die berechnete Veränderung der Sonnenscheindauer und f — der wahrscheinliche Fehler für Δ .

Tabelle 4.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
s_m	29.9	53.0	130.2	172.4	254.8	252.5	274.0	196.8	142.5	78.5	23.6	15.1	1623.7
s_I	32.9	52.1	127.0	186.5	257.3	279.3	278.0	195.9	160.5	89.1	26.8	22.9	1708.6
s_{VI}	26.9	53.9	133.4	158.3	252.3	225.7	270.0	197.7	124.5	67.9	20.4	7.3	1538.8
Δ	-6.0	1.8	6.4	-28.2	-5.0	-53.6	-8.0	1.8	-36.0	-21.2	-6.4	-15.6	-169.8
f	± 1.5	± 1.9	± 5.2	± 3.4	± 6.9	± 5.7	± 4.2	± 5.0	± 3.0	± 4.7	± 1.2	± 1.1	± 22.6

Wir bemerken ausser dem Februar, März und August in allen anderen Monaten eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Abnahme der Sonnenscheindauer, mit einem Maximalwert von 53,6 Stunden im Juni, wo die Bewölkungszunahme am stärksten

Fig. 4.



war. Die Veränderungen der Sonnenscheindauer sind graphisch in Fig. 4 für die Monate April, Juni, Dezember und für das ganze Jahr, analog den vorhergehenden Figuren, dargestellt.

Endlich sind noch die berechneten Veränderungen der Niederschlagsmengen angegeben. Es sei bemerkt, dass nur in einzelnen Monaten im Gange der Niederschläge eine Tendenz steter Zu- oder Abnahme zum Vorschein kommt. Trotzdem wurde angenommen, dass die Veränderungen der Niederschlagsmenge in allen Monaten linear von der Zeit abhängen, um die Möglichkeit zu haben, die berechneten Veränderungen der Niederschläge

mit denen der anderen meteorologischen Elemente zu vergleichen. Die Resultate der Berechnungen sind in Tab. 5 angegeben.

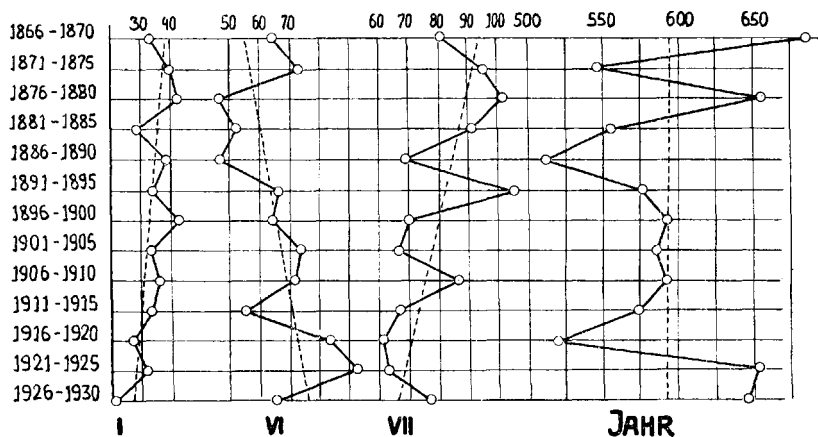
Es sind, wie in den früheren Tabellen, in der ersten Zeile die 65-jährigen Mittel der Niederschlagsmengen in mm ange-

Tabelle 5.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
n_m	33.9	29.4	27.2	30.4	47.8	65.7	80.0	81.4	58.4	50.1	46.9	40.6	592.6
n_I	39.1	29.5	25.4	28.5	49.7	55.3	94.0	69.5	59.6	51.7	44.4	44.9	593.0
n_{XIII}	28.7	29.3	29.0	32.3	45.9	76.1	66.0	93.3	57.2	48.5	49.4	36.3	592.2
A	-10.4	-0.2	3.6	3.8	-3.8	20.8	-28.0	23.8	-2.4	-3.2	5.0	-8.6	-0.8
f	+0.9	+1.3	+0.9	+1.0	+2.2	+2.2	+2.3	+4.0	+2.7	+2.5	+2.2	+1.6	+10.1

geben, in der zweiten und dritten Zeile die berechneten Niederschlagsmengen für die erste bzw. letzte Fünfjahr-Gruppe. Darauf folgen die schon früher erwähnten Grössen A und f . Die berechneten Veränderungen übersteigen den entsprechenden

Fig. 5.



wahrscheinlichen Fehler nur im Januar, Mai und Juli um das 9—10fache, während in den anderen Monaten sowie für das ganze Jahr der wahrscheinliche Fehler zu gross ist. Im Gange der Jahresmenge der Niederschläge bemerken wir ausser 10—15-jährigen Perioden (s. Fig. 5) eine übermässig hohe Niederschlagsmenge in der ersten, dritten und in den beiden letzten Fünf-

jahr-Gruppen, während von 1891 bis 1920 eine mässige Niederschlagsmenge auftritt.

In Fig. 5 sind die berechneten Veränderungen der Niederschläge für die Monate Januar, Juni, Juli und für das ganze Jahr angegeben.

Z u s a m m e n f a s s u n g.

Die durchgeführten Berechnungen bestätigen die Resultate der Untersuchungen von Wagner über die Abnahme der Kontinentalität in Nordwest-Europa.

Ausser dem Milderwerden der Winter und der Abkühlung der Sommer zeigen die Beobachtungen von Tartu eine entsprechende Abnahme der absoluten Feuchtigkeit, der Sonnenscheindauer und des Luftdrucks, sowie eine Zunahme der Bewölkung.

Alle diese Erscheinungen weisen auf eine Verstärkung der zyklonalen Tätigkeit hin.