

TARTU ÜLIKOOI METEOROLOOGIA OBSERVATOORIUMI
TEADUSLIKUD VÄLJAANDED

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN
DES METEOROLOGISCHEN OBSERVATORIUMS DER DORPATER UNIVERSITÄT

№ 6

**EINIGE ANGABEN
ÜBER DIE ZYKLONENBEWEGUNG**

K. KIRDE

TARTU / DORPAT 1943

TARTU ÜLIKOOI METEOROLOOGIA OBSERVATOORIUMI
TEADUSLIKUD VÄLJAANDED

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN
DES METEOROLOGISCHEN OBSERVATORIUMS DER DORPATER UNIVERSITÄT

№ 6

EINIGE ANGABEN ÜBER DIE ZYKLONENBEWEGUNG

K. KIRDE

TARTU / DORPAT 1943

Acta Universitatis Tartuensis / Dorpatensis A XXXVIII.

In folgendem Bericht werden einige Angaben über die im praktischen Wetterdienst des Meteorologischen Observatoriums in Dorpat (Tartu) festgestellten Merkmale über die Zyklonenwanderung in der Umgebung der Ostsee gegeben. Als Arbeitsmaterial wurden die Wetterkarten des Meteorologischen Instituts Bergen, der Deutschen Seewarte und des Observatoriums Dorpat (Tartu) für die Jahre 1932—35 benutzt. Es wurden diejenigen Zyklonen, welche einige Tage nacheinander eine bestimmbare Bewegungsrichtung aufwiesen, in Betracht gezogen. Die Gesamtzahl der untersuchten Zyklonen betrug 60.

Zunächst wurde die Frage der Bewegungsrichtung der Zyklonen untersucht. Um einige Schlüsse betreffs der Bewegungsrichtung der Zyklonen in den kommenden 24 Stunden ziehen zu können, wurden auf Grund der Morgenwetterkarten gewisse Merkmale festgestellt. Es wurden dabei solche Kennzeichen gewählt, deren Entnahme der Wetterkarte sich eindeutig durchführen liess und keinen subjektiven Einflüssen unterlag.

Als erstes Merkmal diente die mittlere Richtung der Isobaren im warmen Sektor, wobei zwecks Erhaltung eines Zahlenwerts die mittlere Isobarenrichtung, ausgedrückt in Grad, von Norden aus gezählt, bestimmt wurde. Die Lage des warmen Sektors wurde der Wetterkarte des Meteorologischen Instituts Bergen entnommen.

Als zweites Merkmal wurde die Richtung der vom Zentrum der Zyklone zum Zentrum des vorwärtsschreitenden dreistündigen Luftdruckfallgebiets gezogenen Geraden genommen. Zur Bestimmung des erwähnten Fallgebiets dienten die Isallobarenkarten, welche nach den Morgenbeobachtungen entnommenen dreistündigen Luftdruckänderungen gezeichnet wurden.

Ferner wurde die Richtung der zur Kurslinie in ihrem Anfangspunkt gezogenen Tangente als Kennzeichen zur Vorausbestimmung der Zyklonenbahnen benutzt.

Als letztes Kennzeichen wurde die Richtung der die Mittelpunkte des dreistündigen Luftdruckfall- und Luftdrucksteiggebiets verbindenden Geraden genommen, wobei als Mittelpunkt der

Ort des tiefsten Luftdruckfalls bzw. höchsten Anstiegs genommen wurde.

Um die zwischen der Richtung der Zyklonenbewegung und den erwähnten Grössen bestehenden Beziehungen feststellen und dieselben mathematisch zum Ausdruck bringen zu können, wurden die Korrelationsfelder für die Richtung der Zyklonenbewegung und alle genannten Merkmale gezeichnet und die entsprechenden Korrelationskoeffizienten berechnet. Zur Feststellung der Zyklonenbahn für die folgenden 24 Stunden wurde der Ort, an welchem sich die Zyklone heute befand, und derjenige für den nächsten Morgen nach den Wetterkarten bestimmt und die beiden Punkte mit einer Geraden verbunden, deren Richtung in Grad ausgedrückt und von Norden aus gezählt wird. Die durchgeführten Berechnungen zur Bestimmung der entsprechenden Korrelationskoeffizienten nach der bekannten Formel

$$r_{12} = \frac{\sum x_1 x_2}{N \sigma_1 \sigma_2}$$

ergab für den Korrelationskoeffizienten zwischen der Richtung der Zyklonenbahn und derselben der Isobaren im warmen Sektor der Zyklone

$$r_{12} = 0.63 (\pm 0.08).$$

Gleicherweise wurde der Korrelationskoeffizient zwischen der Richtung der Zyklonenbahn und der Richtung der Verbindungslinie des Zyklonenzentrums und des zugehörigen Zentrums des dreistündigen Luftdruckfallgebiets gefunden:

$$r_{13} = 0.55 (\pm 0.09).$$

Eine etwas losere Beziehung besteht zwischen der Richtung der Zyklonenbahn und der zur Kurslinie in ihrem Anfangspunkt gezogenen Tangente. Der Korrelationskoeffizient beträgt hier nur:

$$r_{14} = 0.36 (\pm 0.11).$$

Der Korrelationskoeffizient zwischen der Bewegungsrichtung der Zyklone und der Richtung der die Mittelpunkte des dreistündigen Luftdrucksteig- und Luftdruckfallgebiets verbindenden Geraden beträgt:

$$r_{15} = 0.61 (\pm 0.08).$$

Ein Vergleich der gefundenen Korrelationskoeffizienten miteinander zeigt, dass der festeste Zusammenhang zwischen der

Richtung der Zyklonenbahn und der Richtung der Isobaren im warmen Sektor besteht. Zur Berechnung des allgemeinen Korrelationskoeffizienten dient die bekannte Formel:

$$r = \sqrt{1 - \frac{R}{R_{11}}},$$

wo R die aus den einzelnen Korrelationskoeffizienten zusammengesetzte symmetrische Determinante:

$$R = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & 1 & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & 1 \end{vmatrix}$$

ist, R_{11} aber seine Unterdeterminante darstellt.

Die durchgeführte Berechnung ergibt:

$$r = 0.76.$$

Die entsprechende Regressionsgleichung lässt sich folgenderweise darstellen:

$$x_1 = 0.55x_2 + 0.35x_3 + 0.01x_4 + 0.32x_5 - 20^\circ.$$

Hier bedeutet x_1 die Richtung der Zyklonenbahn, ausgedrückt in Grad, gezählt, wie schon oben erwähnt, von Norden aus im Sinne des Uhrzeigers, x_2 — die mittlere Richtung der Isobaren im warmen Sektor, x_3 — die Richtung der Geraden, welche das Zyklonenzentrum mit demjenigen des Gebietes des in den letzten 3 Stunden vor dem Beobachtungsmoment stattgefundenen Luftdruckfalls verbindet, x_4 — die Richtung der zum Anfangspunkt der Kurslinie gezogenen Tangente und x_5 — die Richtung der die Mittelpunkte des dreistündigen Luftdrucksteig- und Luftdruckfallgebiets verbindenden Geraden. Alle Richtungen sind in Grad gegeben und werden von Norden aus gezählt. Um über die Genauigkeit der mit Hilfe der gegebenen Regressionsgleichung vorherbestimmten Richtung der Zyklonenbahn ein Bild zu gewinnen, ist für jeden untersuchten Fall die Differenz der Winkel zwischen der wirklichen und der berechneten Zyklonenbahn in Grad bestimmt, und aus diesen das entsprechende Streuungsmass berechnet worden. Die durchgeführte Rechnung ergab:

$$\sigma = \pm 21^\circ,$$

woraus folgt, dass etwa 66% der vorausberechneten Richtung der Zyklonenbahnen in einen Sektor von 42° fallen. Bei der Annahme, dass die Verteilung der Richtungen der Zyklonenbahnen dem Gesetz von Gauss folgt, kann der obengenannte Korrelationskoeffizient abhängig vom Streuungsmass (σ_m) nach der bekannten Formel

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_m}\right)^2}$$

bestimmt werden.

Zur Bestimmung von σ_m wurde zunächst die mittlere Bewegungsrichtung für alle untersuchten Zyklonen bestimmt, darauf wurden die entsprechenden Abweichungen k in Grad von derselben für die einzelnen Zyklonen und zuletzt das Streuungsmass nach der bekannten Formel

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k^2}$$

berechnet, wobei n die Zahl der betrachteten Fälle bedeutet.

Die ferner durchgeführten Berechnungen ergaben:

$$r = 0.88,$$

was nur um ein wenig von dem früher gegebenen Wert von r abweicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die angeführte Regressionsgleichung ein gewisses Hilfsmittel zur Bestimmung der zu erwartenden Bewegungsrichtung der Zyklone darstellt.

Ferner ist ein Versuch gemacht worden, einige Schlüsse über die Änderung des Luftdrucks im Zyklonenzentrum zu ziehen. Zu diesem Zwecke betrachten wir das Integral:

$$p_t - p_{t_0} = \int_{t_0}^t \frac{dp}{dt} dt,$$

welches die Änderung des Luftdrucks im Zeitintervall $(t - t_0)$ im Zyklonenzentrum darstellt. Bei der Annahme:

$$p = f(\varrho, T, t),$$

wo ϱ — die Dichte, T — die Temperatur, t — aber die Zeit bedeuten, erhalten wir:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial \varrho} \cdot \frac{\partial \varrho}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}.$$

Die in dieser Gleichung vorkommenden partiellen Ableitungen lassen sich aus der Clapeyronschen Gleichung

$$p = \rho RT,$$

wie auch aus der Kontinuitätsgleichung für zwei Veränderliche

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v) = 0$$

bestimmen. Nach einigen Umformungen erhalten wir:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} - (\operatorname{grad} p, v) - p \operatorname{div} v + \frac{p}{T} (\operatorname{grad} T, v) + \frac{p}{T} \frac{\partial T}{\partial t},$$

wo der Klammerausdruck das skalare Produkt des Vektors $\operatorname{grad} p$ (bzw. $\operatorname{grad} T$) mit dem Geschwindigkeitsvektor v darstellt. Aus der letzten Gleichung ersehen wir, dass die in einer Zeiteinheit stattgefundene Luftdruckänderung sich aus einzelnen Teilmgliedern zusammensetzt, von denen $\frac{\partial p}{\partial t}$ die lokale Luftdruckänderung ist, die anderen Glieder dagegen den Luftdruck- sowie Temperaturgradienten, die Winddivergenz und Temperaturänderung in der betrachteten Luftsäule darstellen.

Aus dem Beobachtungsmaterial an der Erdoberfläche ist es nur möglich, über die Bedeutung des ersten Gliedes für die Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum einige Schlüsse zu ziehen, während der Einfluss der anderen Glieder die Kenntnis der Temperatur und des Windes in den höheren Schichten der Atmosphäre voraussetzt. Es sind jedoch einige Korrelationskoeffizienten berechnet worden, welche die Beziehung zwischen den Luftdruckänderungen im Zyklonenzentrum und den einzelnen Grössen, die der Wetterkarte entnehmbar sind, erläutern.

Zuerst wurde der Korrelationskoeffizient zwischen der Luftdruckänderung für die kommenden 24 Stunden und dem maximalen Luftdruckfall $\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)$ nach der dreistündigen Morgenisallobarenkarte berechnet.

Da der betreffende Korrelationskoeffizient

$$r_{12} = 0.45 (\pm 0.11)$$

ist, sehen wir, dass die Isallobarenkarte nicht immer eine genügende Grundlage für die Vorausbestimmung der kommenden Luftdruckänderung in der Zyklone darstellt.

Bei Anwendung der Reihenentwicklung nach Mac-Laurin können wir dem zweiten Gliede der Gleichung $\frac{dp}{dt}$ folgende Form geben:

$$\begin{aligned} (\text{grad } p, v) &= (\text{grad } p_0, v_0) + t \frac{\partial (\text{grad } p_0, v_0)}{\partial t} + t^2 \frac{\partial^2 (\text{grad } p_0, v_0)}{\partial t^2} + \dots = \\ &= (\text{grad } p_0, v_0) + t \left\{ \left(\frac{\partial \text{grad } p_0}{\partial t}, v_0 \right) + \left(\text{grad } p_0, \frac{\partial v_0}{\partial t} \right) + \dots \right\} = \\ &= (\text{grad } p_0, v_0) + t \left(\text{grad } \frac{\partial p_0}{\partial t}, v_0 \right) + t \left(\text{grad } p_0, \frac{\partial v_0}{\partial t} \right) + \dots \end{aligned}$$

Es ist für die einzelnen Glieder der rechten Seite geprüft worden, einen wie grossen Einfluss dieselben auf die Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum ausüben. Da wir, wie schon oben erwähnt, zur Bestimmung von $(\text{grad } p_0, v_0)$ der Angaben über die Windverteilung in den höheren Schichten der Atmosphäre bedürfen, ist der Korrelationskoeffizient zwischen dem maximalen $\text{grad } p_0$ nach der Morgenwetterkarte und der Luftdruckänderung in den kommenden 24 Stunden berechnet worden.

Die Berechnung ergab:

$$r = 0.0 (\pm 0.13),$$

weshalb dieser Korrelationskoeffizient bei der Zusammenstellung der entsprechenden Regressionsgleichung nicht benutzt wurde.

Um den $\text{grad } \frac{\partial p_0}{\partial t}$ eindeutig zu charakterisieren, ist die mittlere Änderung des Luftdruckfalls in mb pro 111 km vom Mittelpunkt des dreistündigen Luftdruckfallgebiets aus bis zur 0-Isallobare bestimmt worden, wobei der Gradient in der Richtung der die Mittelpunkte des Luftdruckfall- und Luftdrucksteiggebiets verbindenden Geraden genommen wurde.

Der betreffende Korrelationskoeffizient beträgt:

$$r_{13} = -0.21 (\pm 0.13).$$

Eine etwas bessere Korrelation ergibt sich zwischen der zu erwartenden Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum und der Differenz des maximalen Luftdruckgradienten nach der Isobarenkarte des vorliegenden und des vorhergehenden Tages. Der genannte Korrelationskoeffizient ist:

$$r_{14} = 0.32 (\pm 0.12).$$

Wie für die Richtung der zu erwartenden Zyklonenbewegung, ist der allgemeine Korrelationskoeffizient auch für die zu erwartende

tende Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum in den kommenden 24 Stunden auf Grund der oben angegebenen Korrelationen sowie der entsprechenden Regressionsgleichung bestimmt worden. Der allgemeine Korrelationskoeffizient erwies sich als:

$$r = 0.52,$$

wobei sich die Regressionsgleichung in folgender Form darstellen liess:

$$x_1 = 1.90x_2 + 2.03x_3 + 1.05x_4 - 8.4 (\pm 7.7) \text{ mb.}$$

Hier bedeuten: x_1 — die in mb ausgedrückte Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum in den kommenden 24 Stunden, x_2 — den der dreistündigen Isallobarenkarte entnommenen maximalen Luftdruckfall in mb, x_3 — die mittlere Änderung des Luftdruckfalls in mb pro 111 km, gemessen vom Mittelpunkt des dreistündigen Luftdruckfallgebiets aus bis zur 0-Isallobare in der Richtung der Linie, welche den Mittelpunkt des Luftdruckfallgebiets mit demjenigen des Luftdrucksteiggebiets verbindet, x_4 — die Änderung des maximalen Luftdruckgradienten von gestern morgen bis heute morgen in mb pro 111 km.

Ähnlich wie bei der Berechnung der Richtungen der Zyklonenbahnen wurden auch für die Luftdruckänderungen der allgemeine Korrelationskoeffizient mit Hilfe der entsprechenden Streuungsmasse nach der Formel

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_m}\right)^2}$$

berechnet.

Hier ist σ das nach der Regressionsgleichung berechnete Streuungsmass der Luftdruckänderung, σ_m — dasselbe, berechnet auf Grund der wirklich stattgefundenen Luftdruckänderungen im untersuchten Zyklonenzentrum.

Es ist bestimmt worden:

$$\sigma = 7.7; \quad \sigma_m = 8.5; \quad r = 0.43.$$

Ein Vergleich der beiden σ zeigt, dass das Streuungsmass σ_u nur um ein wenig σ übersteigt; das bedeutet, dass die angeführte Regressionsgleichung im allgemeinen keine genügenden Auskünfte über die kommenden Luftdruckänderungen im Zyklonenzentrum liefert.

Ähnlich wie die Regressionsgleichungen für die Richtung der Zyklonenbewegung und die Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum ist die entsprechende Regressionsgleichung für die zu erwartende Geschwindigkeit des Fortschreitens der Zyklone in den kommenden 24 Stunden berechnet worden.

Zu diesem Zweck sind die Korrelationskoeffizienten zwischen der mittleren Zyklonengeschwindigkeit in den kommenden 24 Stunden und den einzelnen Merkmalen gefunden worden.

Insgesamt sind 3 Korrelationskoeffizienten bestimmt worden, nämlich derjenige zwischen der mittleren Zyklonengeschwindigkeit und der Änderung des maximalen Luftdruckgradienten von gestern morgen bis heute morgen (r_{12}), darauf derjenige (r_{13}) zwischen der genannten Geschwindigkeit und der Entfernung des Zentrums des dreistündigen Luftdruckfallgebiets vom Zyklonenzentrum, ausgedrückt in 100 km, und schliesslich derjenige zwischen der Geschwindigkeit des Zyklonenzentrums und dem maximalen Luftdruckgradienten im warmen Sektor (r_{14}).

Die genannten Korrelationskoeffizienten sind:

$$r_{12} = 0.28 (\pm 0.13),$$

$$r_{13} = 0.35 (\pm 0.12),$$

$$r_{14} = 0.39 (\pm 0.11).$$

Der allgemeine Korrelationskoeffizient für die Geschwindigkeit des Fortschreitens des Zyklonenzentrums erwies sich als

$$r = 0.62.$$

Auf Grund der bestimmten Korrelationen erhält die entsprechende Regressionsgleichung folgende Form:

$$x_1 = 3.07x_2 + 2.07x_3 + 2.41x_4 + 9.9 (\pm 12.5) \text{ km/h.}$$

Hier bedeuten: x_1 — die mittlere Geschwindigkeit des Vorwärtsschreitens des Zyklonenzentrums in den kommenden 24 Stunden, ausgedrückt in km/h, x_2 — die Änderung des maximalen Luftdruckgradienten von gestern morgen bis heute morgen in mb/111 km, x_3 — die Entfernung des Zentrums des Luftdruckfallgebiets vom Zyklonenzentrum, ausgedrückt in 100 km, x_4 — den maximalen Luftdruckgradienten im warmen Sektor in mb pro 111 km.

Gleicherweise wie für die Bewegungsrichtung und die kommende Luftdruckänderung wurden die entsprechenden Streuungs-

masse für die wirkliche Geschwindigkeit der Zyklonenmittelpunkte in den kommenden 24 Stunden, wie auch für die mit Hilfe der Regressionsgleichung berechneten Geschwindigkeiten bestimmt.

Die Berechnung ergab:

$$\sigma = 12.4, \quad \sigma_m = 15.8.$$

Der nach den erhaltenen σ -Werten berechnete allgemeine Korrelationskoeffizient nach der Formel

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_m}\right)^2}$$

ist:

$$r = 0.62.$$

Zur Veranschaulichung der Anwendbarkeit der angeführten Regressionsgleichungen zur Bestimmung der Zyklonenbewegung u. a. folgen einige Beispiele. Das erste bezieht sich auf die Wetterlage vom 14. 10. 34. Aus der Morgenwetterkarte (Fig. 1) ersehen wir, dass sich eine umfangreiche Zyklone von etwa 990 mb Luftdruck im Zentrum bis zum südlichen Teil der norwegischen Küste erstreckte. Zur Bestimmung der mittleren Bewegungsrichtung in den kommenden 24 Stunden wurden die zu diesem Zweck erforderlichen Grössen x_2 , x_3 , x_4 , x_5 der Morgenwetterkarte sowie der dreistündigen Isallobarenkarte (Fig. 2) entnommen. x_2 entspricht der mittleren Richtung der Isobaren im warmen Sektor, welche in Fig. 1 durch die Linie I dargestellt ist. Der betreffende Winkel, von Norden aus im Uhrzeigersinn gerechnet, beträgt 95° . Als x_3 wurde die Richtung der Verbindungslinie des Zentrums der Zyklone mit dem Zentrum des dreistündigen Luftdruckfallgebiets, welche Linie in Fig. 1 mit einer römischen II bezeichnet ist, genommen. Die Messung ergab für die Richtung der erwähnten Linie 133° . x_4 ist der Winkel zwischen der Nordrichtung und der in der Spitze des warmen Sektors zur Kurslinie gezogenen Tangente, welche Grösse 140° betrug. In Fig. 1 ist die erwähnte Tangente mit III bezeichnet. Zur Bestimmung von x_5 dient die auf der Isallobarenkarte gezogene Verbindungslinie der Mittelpunkte des dreistündigen Luftdruckfall- und Luftdrucksteiggebiets. Die erwähnte Linie ist in Fig. 2 mit IV markiert. Die für x_5 durchgeführte Messung ergab 110° . Nach Einsetzen der Werte für x_2 , x_3 , x_4 , x_5 in die entsprechende Regressionsgleichung

$$x_1 = 0.55x_2 + 0.35x_3 + 0.01x_4 + 0.32x_5 - 20^\circ$$

erhalten wir für die Richtung der Zyklonenbewegung in den folgenden 24 Stunden 107° , wobei die wirklich beobachtete Richtung der Zyklonenbewegung 115° betrug.

Die zur Bestimmung der Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum erforderlichen obenangeführten Merkmale x_2 , x_3 , x_4 wurden der Wetterkarte entnommen. Als x_2 wurde der maximale Luftdruckfall nach der Isallobarenkarte, der etwa 9.4 mb betrug, genommen. Als x_3 ist die mittlere Änderung des Luftdruckfalls in mb pro 111 km vom Mittelpunkt des dreistündigen Luftdruckfallgebiets aus bis zur 0-Isallobare in der Richtung der Linie, welche den Mittelpunkt des Luftdruckfalls mit demjenigen des Luftdrucksteiggebiets verbindet, genommen worden. Die genannte Grösse (x_3) beträgt etwa 0.6 mb/111 km. Schliesslich ist als x_4 die Änderung des maximalen Luftdruckgradienten in mb pro 111 km von gestern morgen bis heute morgen genommen worden. Da der maximale Luftdruckgradient nach der Isobarenkarte von gestern morgen 3.0 mb, von heute morgen aber 4.2 mb betrug, ist die entsprechende Änderung 1.2 mb/111 km.

Die Berechnung mit Hilfe der entsprechenden Regressionsgleichung der erwähnten Luftdruckänderung im Zyklonenzentrum in 24 Stunden ergab 11.9 mb, wobei die wirkliche Änderung 18 mb betrug.

Zur Bestimmung der Zyklonengeschwindigkeit wurden gleicherweise die dazu erforderlichen Grössen x_2 , x_3 , x_4 bestimmt. Wie oben erwähnt, bedeuten: x_2 — die Änderung des maximalen Luftdruckgradienten von gestern morgen bis heute morgen, eine Grösse, die bei der Bestimmung der Änderung des Luftdrucks im Zyklonenzentrum bereits gefunden und mit x_4 bezeichnet wurde; x_3 — die Strecke zwischen den Mittelpunkten der Zyklone und des dreistündigen Luftdruckfallgebiets, ausgedrückt in 100 km und schliesslich x_4 — den maximalen Luftdruckgradienten im warmen Sektor.

Die genannten Grössen erwiesen sich als:

$$x_2 = 1.2 \text{ mb/111 km,}$$

$$x_3 = 4 \times 100 \text{ km,}$$

$$x_4 = 4.2 \text{ mb/111 km.}$$

Die mit Hilfe der Regressionsgleichung durchgeführten Berechnungen für die Zyklonengeschwindigkeit ergaben 32 km/h,

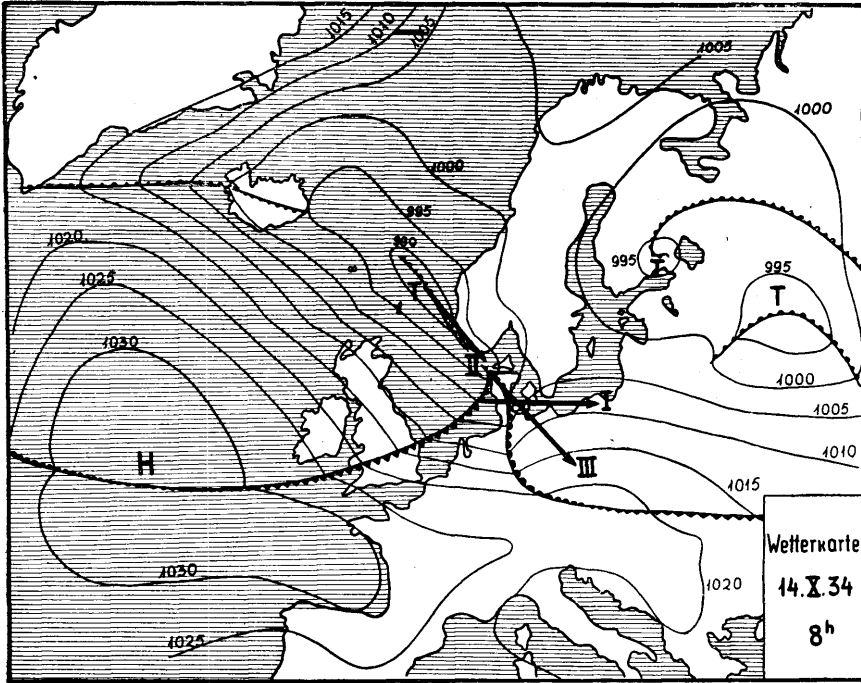


Fig. 1.

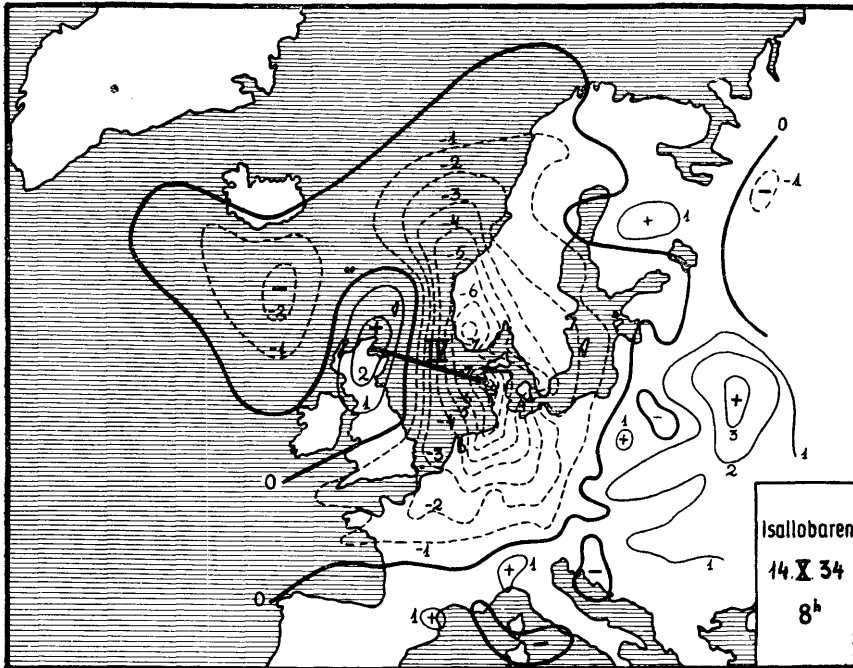


Fig. 2.

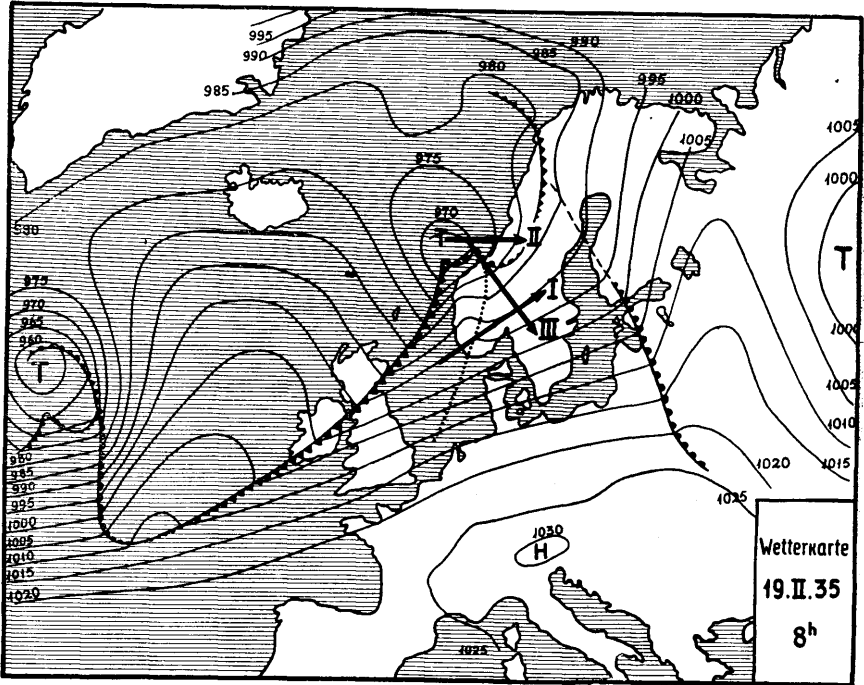


Fig. 3.

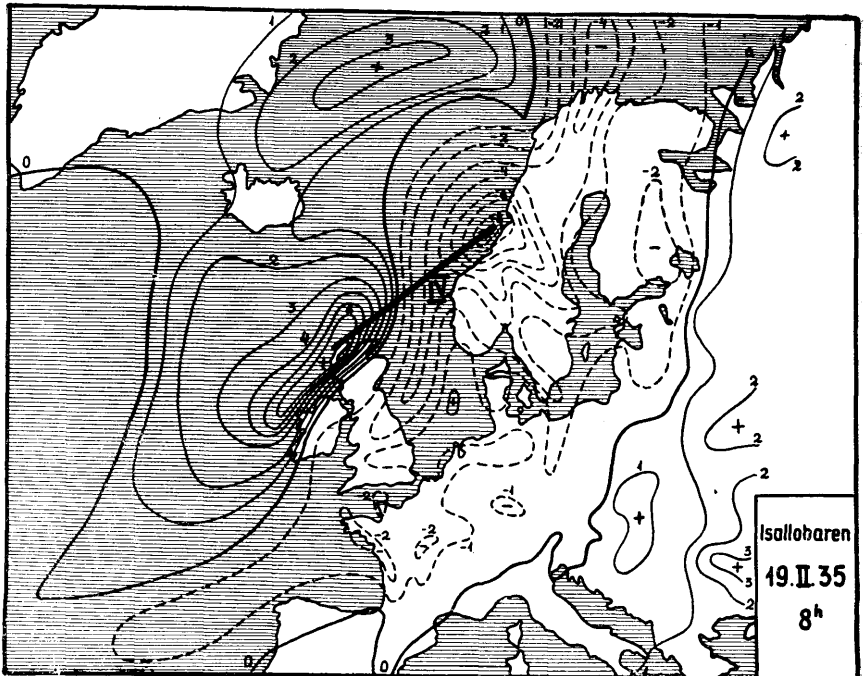


Fig. 4.

im Mittel um 45% geringer als die wirklich beobachtete Geschwindigkeit.

Als zweites Beispiel wurde die Bewegung der Zyklone vom 19. 2. bis zum 20. 2. 1935 gewählt (Fig. 3 und 4). Die zur Bestimmung der Bewegungsrichtung der Zyklone nötigen Grössen sind:

$$x_2 = 56^{\circ}, \quad x_3 = 90^{\circ}, \quad x_4 = 145^{\circ}, \quad x_5 = 50^{\circ}.$$

Die Lösung der Regressionsgleichung ergab für die erwähnte Bewegungsrichtung

$$x_1 = 59.7^{\circ},$$

was nur wenig von der tatsächlich beobachteten Bewegungsrichtung (50°) abweicht. Für die Änderung des Luftdruckes im Zyklonenzentrum ergab sich

$$x_2 = 8.0, \quad x_3 = 1.5, \quad x_4 = 2.4$$

und damit für die mit Hilfe der Regressionsgleichung bestimmte Zyklonenvertiefung — 12.4 mb. Die tatsächliche Vertiefung der Zyklone betrug 10 mb. Die zur Berechnung der Zyklonengeschwindigkeit nötigen Grössen waren:

$$x_2 = 2.4, \quad x_3 = 4.0, \quad x_4 = 7.9$$

und damit die erwähnte Geschwindigkeit 44.5 km/h, statt 48 km/h.