

DEUTSCHER WETTERDIENST

Seewetteramt

Einzelveröffentlichungen

Nr. 83

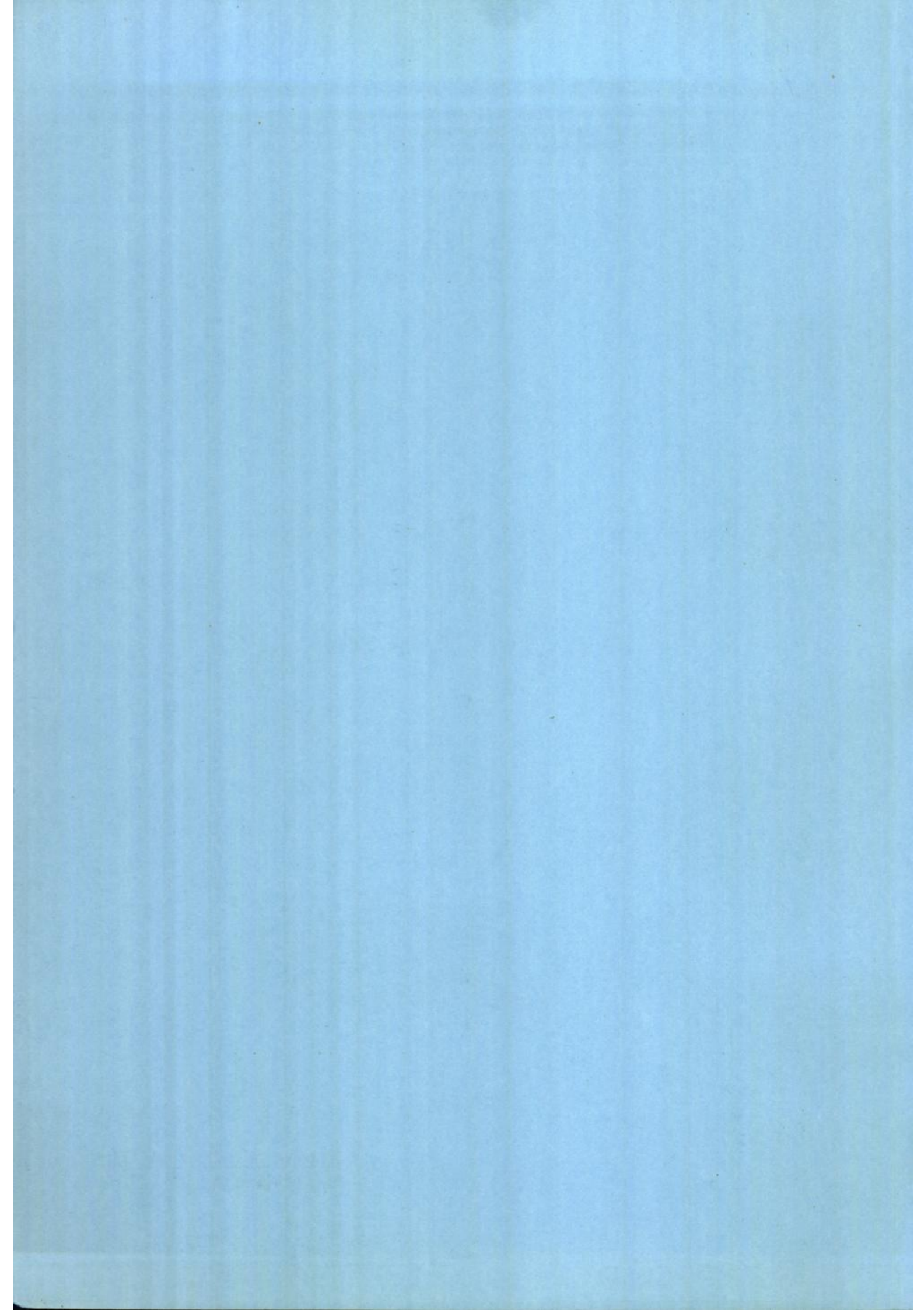
Unterschiedliche Windverhältnisse
in Warmluft und Kaltluft
über der Nordsee

von

Horst Dronia



Hamburg
1973



DEUTSCHER WETTERDIENST

Seewetteramt

Einzelveröffentlichungen

Nr. 83

Unterschiedliche Windverhältnisse
in Warmluft und Kaltluft
über der Nordsee

von

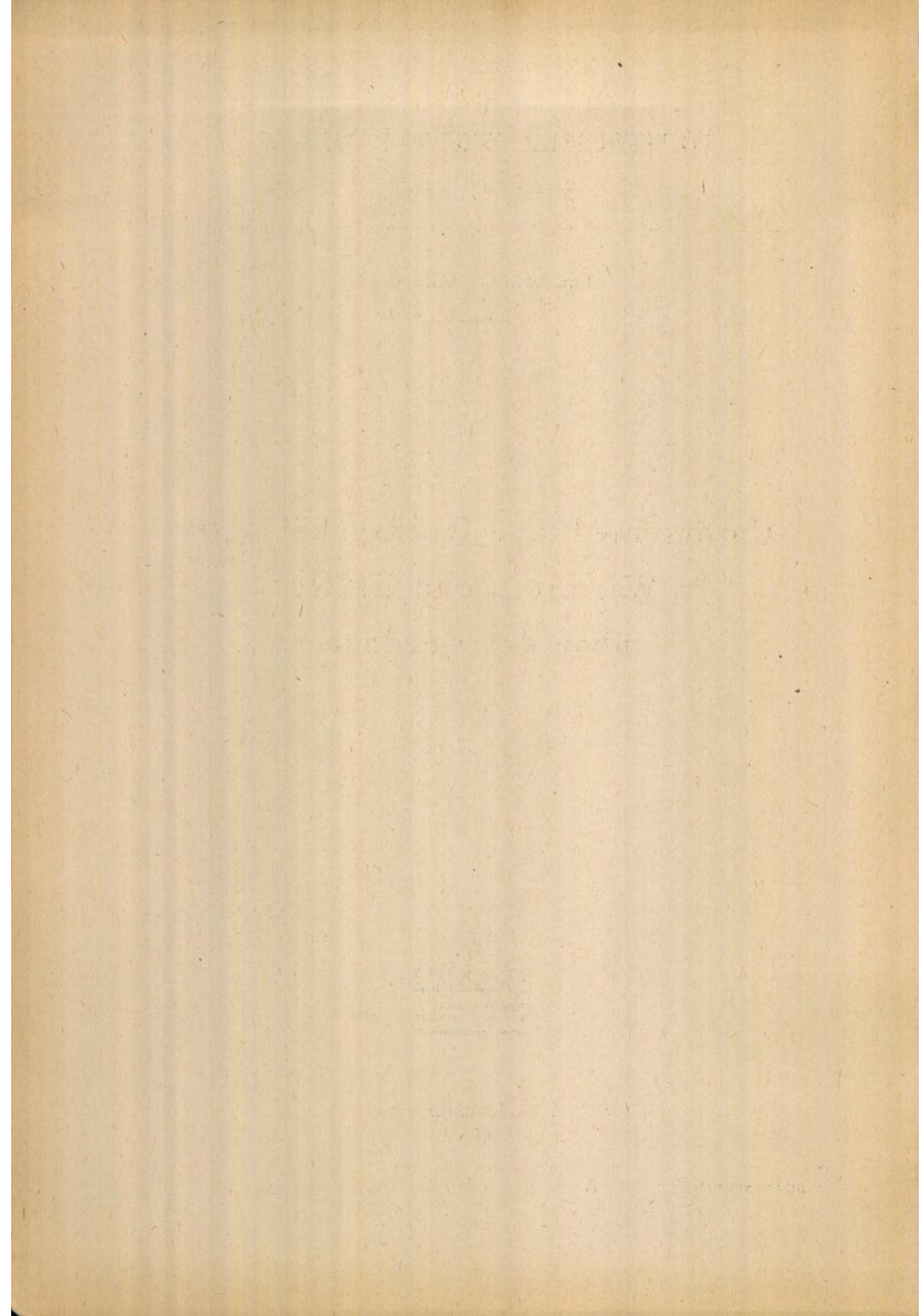
Horst Dronia



Hamburg
1973

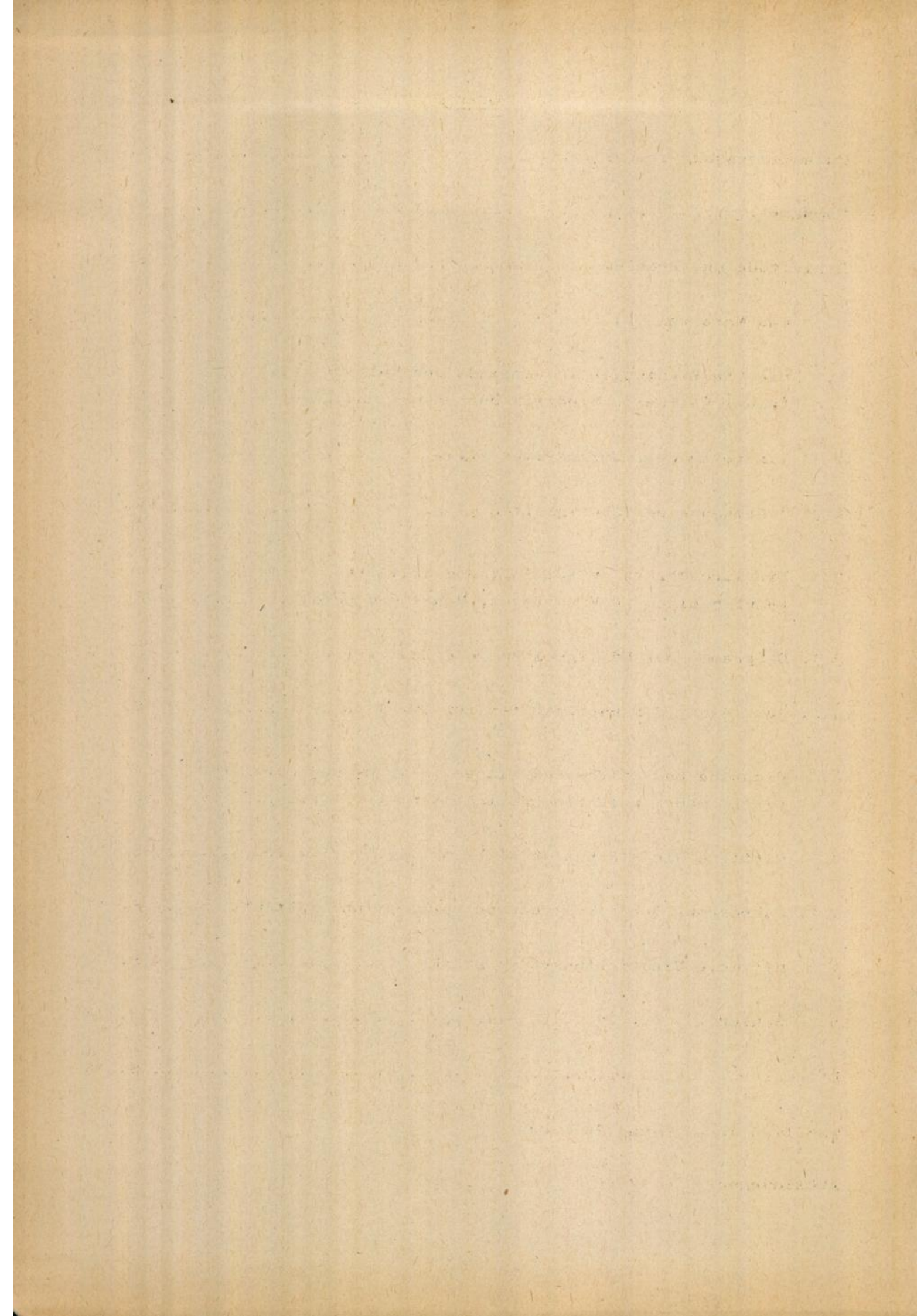
DK 551.553.6 (261.26)

Wetteramt München
Handbücher Nr. 5694



Inhalt

Zusammenfassung	S. 1
Summary	S. 2
Einleitung und Problem	S. 3
1. Das Material	S. 5
2. Die Windrichtungen in Warmluft und Kaltluft (Häufigkeiten je Windrichtung, Monat und Feld)	S. 6
2.1. Windrosen der Häufigkeiten	S. 7
2.2. Jahresgang der Häufigkeiten	S. 8
3. Die Windstärken in Warmluft und Kaltluft (Häufigkeiten je Windstärke, Monat und Feld)	S. 9
3.1. Diagramme der Häufigkeiten je Feld	S. 9
3.2. Jahresgang der Häufigkeiten für Bft 1 und 7	S. 9
4. Richtung und Stärke des Windes in Warm- und Kaltluft (zweidimensionale Windhäufigkeiten)	S. 10
4.1. Mittlere Windstärken je Richtung	S. 10
4.2. Jahresgang der Advektion von Warmluft und Kaltluft	S. 11
4.3. Mittlere Windrichtungen je Stärke	S. 11
5. Schluß	S. 14
Literatur	S. 15
Tabellen 1a - 1d und 2a - 2d	
Abbildungen 1 - 12	



Zusammenfassung

Anhand einer viertel Million Lochkarten, die Schiffsbeobachtungen seit 1860 enthalten, wurden vier ausgewählte Felder der freien Nordsee analysiert, um Gesetzmäßigkeiten in der Häufigkeit von warmen und kalten Luftmassen einerseits und den dabei auftretenden Windrichtungen und Windstärken andererseits herauszufinden.

Die festgestellten Beziehungen lassen erkennen, daß sich Windrichtung und Windstärke im Jahresablauf und in den verschiedenen Regionen der Nordsee in Warmluft und Kaltluft markant unterschiedlich verhalten.

Die berechneten Mittelwerte sind einmal für Überlegungen und Planungen auf dem Gebiet der Ausbreitung von atmosphärischen Beimengungen in und um die Nordsee von praktischem Nutzen. Zum anderen bestätigen und ergänzen sie unsere Kenntnisse in der Witterungsklimatologie Europas.

Summary

On the basis of a quarter of a million punched cards containing ship observations since 1860, four selected regions of the North Sea were analysed in order to find out regularities in the frequency of warm and cold air masses on the one side, and in wind directions and speeds on the other side.

The results show that wind direction and wind speed vary quite differently in warm and in cold air within the course of the year and in the different regions.

The computed mean values may be useful for considerations and plannings with regard to atmospheric pollution over and near the North Sea. They also confirm and complete our knowledge about weather climatology of Europe.

Einleitung und Problem

In Zeiten wachsenden Interesses am Umweltschutz hat auch die Meteorologie ihren Beitrag zur Lösung der anstehenden Probleme zu leisten. Ihr fällt dabei im wesentlichen die Aufgabe zu, die Atmosphäre auf ihren Gehalt an Schadstoffen und deren Transport zu überwachen. Weil aber über jedem Raum der Zustand der Luft mehr oder minder fremden Ursprungs ist, das heißt zu einem großen Teil durch Vorgänge auf den Bahnen der Luft durch die weitere Umgebung bestimmt wird, scheint es notwendig, die Atmosphäre schon in benachbarten Räumen zu beobachten.

Da Luftmassen in ihren Eigenschaften recht konservativ sind, ändert sich der atmosphärische Zustand über einem Gebiet in der Regel so lange nur wenig, bis ein neuer Luftkörper den alten verdrängt. Den Termin, zu dem dies geschehen wird, die Dauer der Zufuhr und die Eigenschaften der neuen Luft vorherzusagen, war und ist immer noch eine der Hauptaufgaben der Meteorologie. Zumindest für die nördliche Hälfte der Bundesrepublik Deutschland ist zum Beispiel die Nordsee ein Raum, aus dem in wenigen Stunden Luftmassen bis zu den Mittelgebirgen und weiter vordringen können. Auf die Nordsee erstreckt sich nun auch diese Untersuchung (siehe Abb. 1).

Die Tatsache, dass Vertikalmessungen der Atmosphäre durch Radiosonden über der offenen See zur Zeit nur an einigen wenigen Punkten wie den Ozean-Wetterschiffen möglich sind, zwingt den Meteorologen immer noch, mit klimatologischen Werten von der Meeresoberfläche wenigstens den Großteil der Fälle annähernd zu erfassen. Einen Teil dieser Werte bereitzustellen, dazu soll diese Untersuchung beitragen.

Welche Eigenschaften eines Luftkörpers sind nun für die Aufnahmefähigkeit und das Ausscheidungsvermögen sowohl schon mitgebrachter als auch über dem neuen Gebiet erst noch aufzunehmender Schadstoffe, gewöhnlich Immissionen genannt, im wesentlichen verantwortlich? (Denn wie schnell und bis zu welcher Höhe die Luft sich durchmischt, hängt vom Grad der Verdünnung oder Verteilung beliebiger Gase oder Aerosole ab.) Bestimmend für eine Luftmasse in dieser Hinsicht sind im wesentlichen Stabilität, Windscherungen und Windgeschwindigkeit. Die Intensität vertikaler Durchmischung hängt ausser von der Windgeschwindigkeit aber am stärksten ab von der Temperaturschichtung in der Luft und von der Temperatur des Untergrundes, der zum einen als labilisierende Heizplatte und zum anderen als

stabilisierende Kühlfläche wirken kann. Weil die in der Regel weniger stabile Kaltluft auch fast immer kälter ist als die See und stabilere Warmluft im Durchschnitt auch wärmer, ist der Schluß von der Temperaturdifferenz Luft minus Wasser auf die Stabilität einer Luftmasse, jedenfalls über dem küstenferneren Meer, meistens erlaubt. Damit ist man in vielen Fällen unabhängig von den über See ohnehin nicht vorhandenen Zustandswerten auch aus größeren Höhen.

Wegen des Tagesganges der Erdbodentemperatur und damit auch der Temperaturdifferenz Luft minus Untergrund darf die vereinfachende Gleichsetzung "warm = stabil" und "kalt = labil" zu Zwecken der Austausch- und Ausbreitungsbetrachtungen über Land nicht ohne weiteres angewendet werden, sondern es müssen auch jahreszeitliche, tageszeitbedingte und geografische Einflüsse zusätzlich berücksichtigt werden. Im übrigen soll diese Untersuchung nicht nur praktische Regeln für Ausbreitung und eventuell Durchmischung anbieten. Die hier vorgelegte Luftmassen-Windstatistik kann und soll auch ein Beitrag zur synoptischen Witterungsklimatologie sein.

In dieser Arbeit wird nun mit Hilfe einer größeren Zahl vorliegender Schiffsbeobachtungen versucht, mit der genannten Temperaturdifferenz Luft minus Wasser als einem vorläufig brauchbaren Kriterium stabile = relativ warme und labile = relativ kalte Luftmassen auseinanderzuhalten und sie zu anderen Größen wie Windrichtung und Windstärke in Beziehung zu setzen. Es soll hier aber betont werden, daß die Gleichsetzung "wärmer als Wasser = labil = Warmluft" und "kälter als Wasser = labil = Kaltluft": - aus sprachlichen Gründen im folgenden nur kurz Warmluft und Kaltluft genannt - jeweils relative Warmluft und relative Kaltluft meint und nicht in jedem Falle einer Einteilung nach den in der synoptischen Meteorologie üblichen Kriterien in Warm(sektor)luft und Kaltluft entspricht.

An ähnlichen Untersuchungen ist, soweit bekannt, kaum etwas veröffentlicht worden. Die einzelnen Elemente für sich aber, wie Windrichtung und -stärke über See oder Temperaturdifferenz Luft - Wasser, sind sehr oft beschrieben worden. Auch die Häufigkeit verschiedener Luftmassen über See ist mehr oder minder bekannt, doch ist sie mit den hier angegebenen Daten der relativen Warm- oder Kaltlufthäufigkeit nicht vergleichbar. Denn die bloße Herkunft einer Luftmasse, in der Regel dasjenige Kennzeichen, nach dem sie klassifiziert wird, bedingt nicht schon einen im ganzen Jahr

gleichen Warm- oder Kaltluftcharakter. So ist zum Beispiel russische Kontinentalluft im Sommer über der Nordsee warm, im Winter aber ausgesprochen kalt. Auf das vielschichtige Problem der Luftmassen-Synoptik, das erst kürzlich wieder von GEB (2) behandelt worden ist, braucht für den Zweck dieser Veröffentlichung hier nicht näher eingegangen zu werden. Zu allgemeinen Klimadaten der Nordsee siehe auch Lit. (4 u. 5).

Insbesondere ist eine kausale Verknüpfung zwischen den hier beschriebenen Größen "Warmluft/Kaltluft" einerseits und "Wind" andererseits weder beabsichtigt noch, da es sich um vieljährige Monatsmittel handelt, überhaupt möglich. Selbstverständlich ändert die Luftmassenadvektion durch ihre Richtung, Stärke, Dauer und ihren Turbulenzcharakter auch ihrerseits die Wassertemperatur. Doch sind diese Luft-See-Wechselwirkungen nicht Gegenstand - wenn auch mögliche Fortführung - dieser Arbeit. Dazu kommt noch, daß "warm" (= stabil) und "kalt" (= labil) hier nur alternativ, aber nicht quantitativ unterschieden werden.

Von BINTIG (1) ist zwar vor längerer Zeit versucht worden, quantitative und kausale Beziehungen zwischen Windstärke und Temperaturdifferenz Luft/Ozean herauszufinden, doch deckt sich auch dieser Gesichtspunkt nicht mit dem Zweck der hier vorzulegenden Klimatologie der Warm- und Kaltluftadvektion über der freien Nordsee. Ihre Aufgabe ist es außerdem, dem an Fragen der Ausbreitung ("Transmission") interessierten Meteorologen und allen sonst beruflich mit diesem Problem Befassten eine übersichtliche Darstellung mit möglichst praktischem Nutzwert an die Hand zu geben.

1. Das Material

Zugrunde liegen dieser Untersuchung Schiffsbeobachtungen von 32 Ein-Grad-Feldern zwischen $54 - 58^{\circ}$ N und $0 - 8^{\circ}$ E, im ganzen unterteilt in vier gleich große Felder (siehe Abb. 1). Alle Daten stammen aus dem Archiv des Seewetteramtes Hamburg, und die Beobachtungen reichen von 1860 bis 1970. Sie sind allerdings recht ungleichmäßig über die Jahre verteilt und fehlen in etlichen Jahren ganz oder fast ganz (siehe Abb. 2). Eine Mittelung aller dieser Werte nach Monaten bringt zwar eine große Zahl Beobachtungen zusammen, sie sind aber, da vergangene Klimaschwankungen ganz sicher unterstellt werden müssen, kein vollwertig repräsentatives Mittel. Auch enthalten die Daten Unterschiede in den Meßmethoden, und es sind wohl auch ungleichmäßig

über den Tag verteilte Beobachtungszeiten anzunehmen. Trotzdem darf man die Ergebnisse als hinreichend brauchbar ansehen, wie sich im einzelnen sowohl an den Gemeinsamkeiten als auch an den Unterschieden zwischen den Kollektiven zeigen wird.

Das Kollektiv aller Beobachtungen, rund 244 000 Lochkarten, wurde je Feld nach den Merkmalen "Luft kälter als Wasser", "Luft wärmer oder gleich der Wassertemperatur" und "ohne Angaben" sortiert. Innerhalb jeder dieser Gruppen und aus den beiden ersten zusammen wurden Mittel der Windrichtung und der Windstärke sowie die relativen Anteile einzelner Windrichtungen und Stärken mit Hilfe eines im Seewetteramt Hamburg von Dr. Höflich und Herrn Meißner bearbeiteten Programms ausgerechnet. Herrn Dr. Höflich sei hier auch für förderliche Kritik und nützliche Ratschläge zu dieser Veröffentlichung gedankt. - Ohne Rechenmaschine ermittelte dann der Verfasser noch die relativen Anteile von Warm- und Kaltluft, bezogen auf das vereinigte Kollektiv der beiden o.a. erstgenannten Gruppen "Luft wärmer" und "Luft kälter als Wasser". Die Werte "ohne Temperaturangabe" wurden fortgelassen. Diese relativen Anteile liegen den Abbildungen 3-4 u. 9 zugrunde.

Alle Größen, die für sich allein oder in Bezug zu anderen von Aussagewert scheinen, sind nach den beiden Hauptmerkmalen "warm" (stabil) und "kalt" (labil) sortiert und in Tabellen verzeichnet. Sie werden zum größten Teil in Abbildungen dargestellt und miteinander verglichen. Dabei ist großer Wert auf komprimierte und zugleich anschauliche Darstellung gelegt worden. Denn in Zeiten einer unaufhörlich wachsenden Informationsschwemme auch in der Wissenschaft, der der einzelne nicht anders als durch weitere Spezialisierung Herr werden kann, ist darüber hinaus die bestmögliche Aufnehmbarkeit dargebotener Informationen unerlässlich. So beschränkt sich auch der die Abbildungen erläuternde Text auf hinweisende Anmerkungen zu nicht selbstverständlichen, erklärungsbedürftigen oder besonders auffälligen Erscheinungen.

2. Die Windrichtungen in Warmluft und Kaltluft

Dieser Abschnitt behandelt die Häufigkeiten von Warm- und Kaltluft bei den 8 Hauptwindrichtungen in den zwölf Monaten für die vier Nordseefelder. Zwischenrichtungen, wie sie in den Windbeobachtungen auftreten, sind den zugehörigen Hauptrichtungen zugeschlagen oder anteilmäßig auf die benachbarten Richtungen aufgeteilt. Die Tabellen

1a - 1d enthalten die Anzahlen aller dieser Fälle (die absoluten Häufigkeiten), also das Grundmaterial. Aus ihm wurden relative Häufigkeiten berechnet, bezogen auf die Anzahl aller Beobachtungen je Monat und Feld. Sie sind veranschaulicht einmal in Polygonzügen als Windrosen je Monat und Feld (Abb. 3), zum anderen in Jahresgängen für die Windrichtungen je Feld (Abb. 4).

2.1. Windrosen der Häufigkeiten je Monat

Die Darstellung der einzelnen Richtungsanteile für jeden Monat, getrennt nach den vier Feldern 1 bis 4 und für ihr räumliches Mittel, zeigt einige bemerkenswerte Einzelheiten. So fällt z. B. auf, daß von November bis Januar in keinem Feld und aus keiner Richtung die Warmluftzufuhr (im Mittel) überwiegt; in Feld 4, dem sozusagen kontinentalsten der vier Felder, ist der Warmluftanteil sogar verschwindend klein. Bei den Polygonzügen ist zu beachten, daß die Prozentverhältnisse nur im A b s t a n d vom Koordinatenschnittpunkt miteinander verglichen werden können, nicht jedoch die von den Verbindungslinien umschlossenen Flächen. (Diese würden einen quadrierten Unterschied ergeben.) Daß im Spätherbst und sogar im Frühwinter auch aus Südwesten die Kaltluftzufuhr überwiegt, ist zunächst überraschend und deutet darauf hin, daß die herangeführte Warmluft über den schon kühl werdenden Festländern auch schnell bodenkalt wird.

Ferner ist bemerkenswert: In fast jedem Monat und jedem Feld überwiegt bei Nordwind die Kaltluftzufuhr; ausgenommen sind nur der Mai und Juni im Südwesten der Nordsee (Feld 3). Letzteres könnte mit den um diese Jahreszeit häufiger auftretenden Hochdrucklagen über den Britischen Inseln zusammenhängen, bei denen über Schottland erwärmte Luft auf antizyklonaler Bahn über Ost nach Süd auf die noch kühle See strömt.

Auffallend ist ferner die relative Häufigkeit von Kaltluftzufuhr aus Nordwest, die über alle Monate einen relativ großen und auch beständigen Anteil hat. Dieser Anteil ist am größten im Nordosten der Nordsee, was wohl an der Häufigkeit und an der Nähe der über Skandinavien ost- oder südostwärts ziehenden Tiefdruckgebiete und an der Ablenkung durch das südnorwegische Gebirgsmassiv liegen dürfte.

Recht klar und nicht unerwartet prägt sich auch die Häufigkeit von Ostlagen im März und Mai mit ihrem hohen Anteil an Ostwinden aus.

Dies freilich mit unterschiedlicher Wirkung: Im März entfällt der größte Anteil von Kaltluftzufuhr auf eben diese Ostwinde, im Mai schon bringen östliche bis südliche Winde den Hauptanteil warmer Luft. Hieran zeigt sich, daß die wohl stärkste Änderung innerhalb des Jahresablaufs im nördlichen Mitteleuropa in diese Zeit fällt. Auch dies steht im guten Einklang mit der langjährigen Häufigkeit bestimmter Großwetterlagen über Europa (siehe dazu auch Abschnitt 3).

Schließlich sei noch bemerkt, daß sich die bei den Richtungen Nordwest plus Nord vorherrschende Kaltluftzufuhr, die im Spätfrühling und im Frühsommer nur im Nordwesten (Feld 1) deutlich überwiegt, im Hochsommer ab Juli auch in den restlichen Gebieten durchsetzt. Überhaupt nimmt ab Sommer schon die Kaltluftzufuhr auch aus Westen stetig zu, was natürlich teilweise auch ein Relativ-Effekt ist (wärmer werdendes Nordseewasser).

2.2. Jahresgang der Häufigkeiten je Windrichtung

In den Abbildungen 4a bis 4f sind für jede Hauptwindrichtung die Jahresgänge mit den Warm- und Kaltluftanteilen jeden Monats dargestellt. Gegenüber Abschnitt 2.1 bringt die bildliche Wiedergabe zwar nichts materiell Neues, doch zeigt sich durch die andere Darstellungsart manches deutlicher. So lassen sich erst hier die relativen Anteile der einzelnen Windrichtungen gut abschätzen, weil ja die Häufigkeiten der Richtungen aufs Gesamtkollektiv "warm plus kalt" bezogen sind.

Gut erkennbar ist zum Beispiel die wachsende Warmlufthäufigkeit zum Frühsommer und das Maximum der Kaltlufthäufigkeit im Dezember und Januar. Der angedeutete Doppelgipfel bei der Warmluftzufuhr aus Südosten, wobei zwischen das große Maximum im Mai und ein kleines im September/Okttober ein relatives Minimum in Juli/August fällt, ist sicher schon damit zu erklären, daß die allgemeine Zirkulation im Hochsommer (sog. Monsuneffekt) überhaupt nur wenig Südostwinde zuläßt.

Erwähnenswert ist noch der verhältnismäßig hohe Anteil kalter Nordwinde in Feld 1 während des ganzen Jahres. Gut zu erkennen ist auch der Kaltlufteinbruch aus Nord im September und Oktober im Südwesten der Nordsee und, was schon unter 2.1 erörtert wurde, das Vorherrschen kühler Luft aus Nordwesten mit nur geringen Änderungen übers Jahr in allen vier Feldern.

Schließlich ist noch augenfällig, daß die jährliche Schwankung aller Anteile und in allen Windrichtungen im Nordwestfeld, dem "ozeanischsten" der vier, wie zu erwarten, am kleinsten ist. Daneben ist dieses Feld auch das mit der stärksten Kaltluftzufuhr.

3. Die Windstärken in Warmluft und Kaltluft

Betrachtet man diese Beziehungen, so wird man natürlich in der Hauptsache erwarten, daß in Kaltluft der Anteil der höheren Windstärken im Verhältnis etwas größer sein wird. Dies bestätigt sich auch, doch lassen sich daneben noch ein paar nennenswerte Unterschiede zwischen Warm- und Kaltluft erkennen.

3.1. Diagramme der Häufigkeiten je Monat

In Tabelle 2 sind von 1 bis 11 Bft die absoluten Häufigkeiten (Zahl der Beobachtungen) von Warm- und Kaltluft angegeben. Sie sind in relative Anteile umgerechnet worden und in der Abbildung 5 für jede Windstärke pro Monat dargestellt.

Neben der nicht überraschenden Tatsache, daß der Mittelwert der auftretenden Windstärken zwischen dem Frühsommer mit 3 Bft und im Frühwinter mit 4-5 Bft schwankt, scheint noch erwähnenswert, daß im Jahresmittel unterhalb von knapp 4 Bft Warmluft und Kaltluft gleich häufig sind, daß ferner der größte Unterschied im Bereich um 6-7 Bft liegt und daß schließlich zu hohen Windstärken hin - um 10 Bft - Warmluft wieder gleich häufig wird wie Kaltluft.

Es soll an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, daß die hier verwendeten Begriffe Warmluft und Kaltluft nicht mit denen in der Synoptik gebräuchlichen identisch sind, sondern nur das Temperaturverhältnis zur darunter befindlichen Wasserfläche meinen. So gesehen kommt deutlich zum Ausdruck, wie die die Nordsee umgebenden Räume - der Atlantik und die europäischen Landgebiete - wegen ihres unterschiedlichen und phasenverschobenen thermischen Verhaltens je nachdem Wärme- oder Kältequellen für die Nordsee sind.

3.2. Jahresgang der Häufigkeiten für alle Windstärken

Stellt man für jede Windstärke getrennt den Jahresgang des Verhältnisses Warmluft zu Kaltluft zusammen, s. Abb. 6, so fällt zunächst natürlich der Jahresgang der Windstärken an sich am stärk-

sten ins Auge. Doch läßt man in der bildlichen Wiedergabe den beherrschenden Eindruck der starken Jahresschwankung einmal außer acht, so zeigen sich einige Besonderheiten.

Erstens: Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten, Bft 1 und 2, schwankt der Kaltluftanteil übers Jahr nur wenig, während die Warmluft schon einen deutlichen Jahresgang zeigt. Zweitens: Bei größeren Stärken, Bft 6 und 7, ist es gerade umgekehrt. Und drittens: Vor allem im Sommer sinkt bei höheren Windgeschwindigkeiten, siehe besonders Abbildung 6, der Warmluftanteil immer mehr ab.

4. Richtung und Stärke des Windes in Warm- und Kaltluft (zweidimensionale Häufigkeiten)

Es ist normalerweise zu erwarten, daß Richtung und Stärke des Windes in einer Luftmasse kausal nur schwach miteinander verknüpft sein werden und daß eine Betrachtung dieser Beziehungen nicht viel Neues bringen wird. Das trifft im ganzen auch zu, jedoch ergeben sich einige erwähnenswerte Besonderheiten in bezug auf den Unterschied zwischen Warmluft und Kaltluft.

4.1. Mittlere Windstärken je Richtung

Aus den Abbildungen 7 und 8 ist zunächst nur im wesentlichen Bekanntes ersichtlich. Im Jahresgang der mittleren monatlichen Windstärke liegen die Minima - 3,1 bis 3,8 Bft - in den Monaten Mai bis Juli, die Maxima dagegen - 4,9 bis 5,4 Bft - allerdings ausschließlich im Januar. Interessant und teilweise neu ist aber folgendes: In Warmluft liegen die Minima der Stärke überwiegend bei Nordost bis Ost, in Kaltluft verteilen sie sich dagegen auf einen breiten Sektor von Nordost bis Südsüdwest. Die Maxima der Windstärke konzentrieren sich hingegen in Warmluft auf die Richtungen Südwest bis Nordwest und in Kaltluft nur auf Nord und Nordwest. Der "kalte" Nordwest stellt sich hier als der stärkste Wind überhaupt heraus. Diese Unterschiede erinnern an die synoptische Regel der Rechtsdrehung des Windes mit Kaltfrontpassage, hier wird allerdings ein statistisches Mittel wiedergegeben. Bemerkenswert ist noch, daß in allen vier Feldern und von allen Richtungen der "warme" Südwest als einzige Richtung im Mittel geringfügig stärker ist als sein kaltes Pendant.

Im übrigen ist es erstaunlich, daß so wenige Unterschiede sichtbar sind. Gab es bei der Häufigkeit von Warm- und Kaltluft, siehe Abschn.

2 und Abb. 3, noch beträchtliche zeitliche und räumliche Differenzen, so sind hier bei den mittleren Stärken weder im Jahresgang noch zwischen den einzelnen Feldern deutliche Unterschiede zwischen warm und kalt zu sehen. Noch nicht einmal die acht Hauptwindrichtungen unterscheiden sich bemerkenswert in ihrer Stärke.

4.2. Der Jahresgang der Advektion von Warmluft und Kaltluft

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurden allein die Häufigkeiten und damit ausreichend genau auch letztlich die Dauer von Kalt- und Warmluftzufuhr betrachtet. Nicht berücksichtigt wurden dabei noch zwei andere Größen, die die Wirksamkeit von Advektion und die Luftstabilität bestimmen: Die Windgeschwindigkeit und die Temperaturdifferenz gegenüber dem Untergrund. Die letztgenannte steht in dieser Untersuchung nicht zur Verfügung; man darf jedoch nach der Erfahrung unterstellen, daß relative Kaltluft in der Regel um einen etwas größeren Betrag kälter als das Wasser ist, als relative Warmluft gegenüber dem Wasser wärmer ist.

Die die Advektion verstärkende Windgeschwindigkeit läßt sich nun insofern berücksichtigen, als man den Häufigkeitsanteil einer Luftmasse durch das physikalisch dimensionslose Produkt "Anteil mal relativer Windstärke" ersetzt. Das genannte Produkt ist nun für das Mittel aus allen Richtungen und für jeden Monat für die vier Felder getrennt berechnet und in Abbildung 9 dargestellt worden.

Wie der Vergleich mit Abb. 4f zeigt, ändert sich an dem Charakter der Jahresgänge nur insoweit etwas, als die Extreme und die Jahreschwankung vorwiegend bei der Kaltluftadvektion verschärft werden, was in diesem Falle bedeutet, daß der Gesamtanteil der Kaltluftadvektion zu Lasten der Warmluft größer wird.

4.3. Mittlere Windrichtungen je Stärke

Windrichtung und Windstärke lassen sich natürlich auch so miteinander vergleichen, daß, für Warmluft und Kaltluft jeweils getrennt, die Richtungen nach Stärkegruppen sortiert werden. Die vom Elektronenrechner skalar berechneten Richtungsmittel sind in den Abbildungen 10a bis 10d dargestellt.

Die Abbildung der mittleren Richtungen in Warm- und Kaltluft mittels Uhrzeigersymbolen hat den Vorteil, daß jede Stärke und jeder

Monat unmittelbar mit- oder nebeneinander verglichen werden können. Dabei fällt sofort ins Auge, daß die Richtungsunterschiede einen markanten Jahresgang zeigen. Von Februar bis Juni sind sie recht groß, im Sommer geringer, im Herbst wieder größer und von November bis Januar ziemlich klein. Hierbei sollte man den Vergleich allerdings auf die ausreichend häufig auftretenden Windstärken von Bft 1 bis Bft 7 beschränken. Aus den deutlichen Richtungsunterschieden läßt sich schließen, daß die Herkunftsgebiete der warmen und der kalten Luftmassen von Frühjahr bis Sommer weiter auseinander liegen als in den übrigen Jahreszeiten. Dieser Befund stimmt auch mit synoptisch-klimatologischen Erfahrungen überein.

Noch etwas ist jedoch interessant: Die Richtungsunterschiede zwischen Warm- und Kaltluftzufuhr sind in der westlichen Hälfte der Nordsee, Felder 1 und 3, im Sommer sichtlich größer. Das liegt vielleicht an der stärkeren, mehr rechtgedrehten Nordkomponente der Kaltluftadvektion in diesem Raum. Aufschlußreich ist auch das deutliche Rückdrehen hoher Windstärken zur Winterzeit im Nordostfeld. Erklären läßt sich dies wahrscheinlich durch die im Winter oft mit Ostsüdost-Kurs und vielfach bis weit südlich über die Deutsche Bucht nach Osten ziehenden Sturmzyklonen.

Die mittleren Windrichtungen pro Monat und Stärke sind, diesmal nach Warmluft und Kaltluft getrennt, noch ein zweites Mal in den Abbildungen 11a bis 12d aufgezeichnet. Diese getrennte Darstellung hat den Vorzug, daß zeitliche Veränderungen so anschaulicher werden. Demgemäß fällt auch hier einiges Überraschende ins Auge.

Bei der Warmluft (Abb. 11) mit ihren im ganzen vorherrschenden Westwinden deutet sich zweimal im Jahr gewissermaßen ein Aufsteilen der Strömung, ein Rückdrehen des Windes an, und zwar zuerst um den Mai und dann noch einmal, etwas schwächer ausgeprägt, zum September/Oktober hin. Bei geringeren Windgeschwindigkeiten ist die Erscheinung im übrigen deutlicher. Was aber darüber hinaus noch auffällt, sind die Unterschiede zwischen den vier Feldern. Im Norden ist das Bild der gleichmäßigen Westströmung weniger gestört als in den südlichen Feldern 3 und 4, wo sich im Mai im Mittel sogar eine Warmluftzufuhr aus östlichen Richtungen mehr oder weniger durchsetzt. Daneben ist erstaunlich, daß im Nordostfeld (Nr. 2) mit mittleren und hohen Windstärken Warmluft gerade im Sommer im Mittel aus Nordwest herangeführt zu werden scheint. Erklärt werden könnte dies vielleicht so, daß mit der durch Nordwestwinde in Gang

gesetzten Südwärtsdrift von Oberflächenwasser vor Südwestnorwegen kälteres Tiefenwasser nach oben quillt und damit die oberhalb befindlichen, der Herkunft nach kühlen Luftmassen auf die Weise zu relativ warmen macht.

Die mittleren Windrichtungen in Kaltluft, s. Abb. 12, zeigen noch markantere Jahresschwankungen als die in Warmluft. Der Windsprung vom Januar zum Februar (im Südwesten einen Monat später) ist beachtlich und erreicht oft 180 Grad. Zum April dreht der Wind dann schnell und in allen Richtungen und Gebieten ziemlich einheitlich auf nördliche Sektoren, wobei in ihnen im Westen eine kleine Nordost- und im Osten eine geringe Nordwestkomponente enthalten zu sein scheint. Dieses Auf-Nord-Drehen des Windes stimmt gut überein mit der mittleren Zunahme meridionaler Zirkulation vom März zum Mai, wie sie von HESS u. BREZOWSKY (3) aus 80 Jahren ermittelt wurde. Danach sind die meridionalen Zirkulationsformen mit 57% gegenüber nur 18% der zonalen um diese Jahreszeit dreimal so häufig. In den folgenden Monaten dreht der Wind in der Kaltluft dann gleichmäßig weiter über Nordwest und West zurück auf West bis Süd im Winter. Nur die hohen Windstärken über Bft 9 oder 10 verbleiben in dem Sektor von West bis Nordwest. Bemerkenswert ist noch das Überwiegen kontinentaler Kaltluftzufuhr aus Südost bis Ost im Dezember ausschließlich im Nordostfeld. Auf diese Besonderheit wurde aber zuvor schon hingewiesen.

Schluß

Diese Untersuchung hat das aus den Lochkarten nach dem gegebenen Programm berechnete Material ausgewertet, soweit es möglich war und interessant schien. Jedoch wäre eine Erweiterung in mancher Hinsicht erstrebenswert.

Erstens lassen es die über dem bearbeiteten Raum ermittelten regionalen Unterschiede erwarten, daß sich auch für die noch nicht erfaßten Randgebiete der Nordsee, vor allem für das recht ausgedehnte Stück im Südwesten (s. Abb. 1) noch wertvolle Erkenntnisse finden ließen.

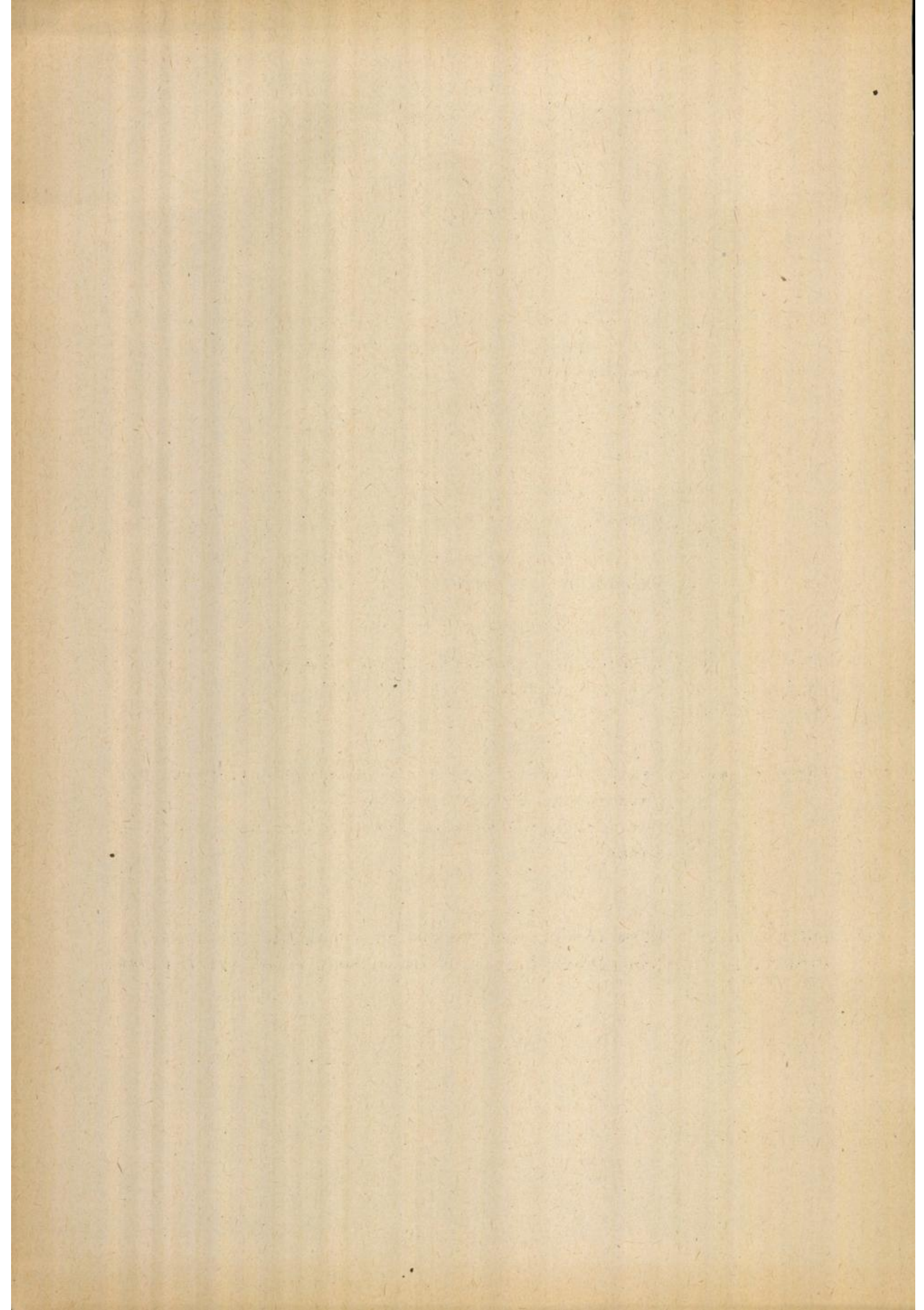
Zweitens würde das gesammelte Datenmaterial es ermöglichen, die Temperaturdifferenz Luft minus Wasser auch quantitativ zu analysieren.

Drittens wären für Untersuchungen, wie sich Luftverschmutzungen ausbreiten, Häufigkeiten von Luftbahnen (Trajektorien des Windes) und längs ihnen die mittleren Verhältnisse von Stabilität, Feuchte und Niederschlag von Bedeutung.

Solche Programme werden aber erst dann verwirklicht werden können wenn das Lochkartenmaterial aller Nordseebeobachtungen auf Magnetbänder übertragen ist. Bis dahin müssen wir uns mit dieser Stichprobe begnügen, die das Problem sondierte, die Methoden testete und unsere Klimakenntnisse um einiges bereicherte.

Literatur

- (1) BINTIG, P.: Der Einfluß des Windes auf die Wassertemperatur des Ozeans und ihr Zusammenwirken mit der Lufttemperatur
Ann. Meteor. 3 (1950) H. 7/8
- (2) GEB, M.: Neue Aspekte und Interpretationen zum Luftmassen- und Frontenkonzept
Meteor. Abh. Inst. Meteor. Geophys. Freie Univ. Berlin 109 (1971) H. 2
- (3) HESS, P.; : Katalog der Großwetterlagen Europas
BREZOWSKY, H. Ber. Dt. Wetterd. 115 (1969)
- (4) LUMB, F. E.: Serial Atlas of the Marine Environment, Folio 9: Meteorology of the North Sea
Met.Off.United Kingdom - Amer.Geogr.Soc. New York (1965)
- (5) BULLIG, H.;; : Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer
BINTIG, P. Einzelveröff.Dt.Wetterd. Seewetteramt Nr. 4 (1954)



Tabellen

Tab. 1: Absolute Häufigkeiten von Warm-
und Kaltluft an den 8 Hauptwind-
richtungen, nach Monaten

Abschn. 2 u. Abb. 3 u. 4

Tab. 2: Absolute Häufigkeiten von Warm-
und Kaltluft in allen Windstärken,
nach Monaten

Abschn. 3 u. Abb. 5 u. 6

Tabelle 1a
(Feld 1)

Die Tabellen 1a - 1d (siehe Abschnitt 2.1. und Abb. 3a - K) geben die absoluten Häufigkeiten von relativer Warmluft (obere Zeilen) und relativer Kaltluft (untere Zeilen) für alle Windrichtungen an. Unterstrichene Werte: Warmlufthäufigkeit überwiegt.

Wind- richtung	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
C $\hat{=}$ ≤ 3 kn	9	4	24	<u>61</u>	<u>22</u>	<u>25</u>	<u>102</u>	102	69	21	15	14	608
	39	33	45	43	50	69	76	127	73	46	41	51	693
NE	13	15	30	82	<u>153</u>	<u>113</u>	<u>118</u>	141	94	39	24	6	828
	172	148	172	147	126	70	103	249	152	161	187	152	1839
E	10	26	49	119	<u>182</u>	<u>167</u>	<u>106</u>	<u>170</u>	148	97	46	9	1129
	231	267	283	146	<u>72</u>	<u>82</u>	<u>60</u>	127	147	165	279	235	2094
SE	33	54	125	175	<u>243</u>	<u>196</u>	<u>253</u>	<u>364</u>	<u>320</u>	<u>264</u>	110	66	2203
	323	280	417	182	101	90	100	201	189	251	304	360	2798
S	107	105	146	<u>216</u>	<u>268</u>	<u>218</u>	<u>376</u>	<u>508</u>	<u>383</u>	<u>304</u>	142	107	2980
	341	251	207	139	105	88	170	264	245	289	265	333	2697
SW	210	190	<u>243</u>	<u>265</u>	<u>280</u>	<u>296</u>	<u>427</u>	<u>508</u>	<u>372</u>	377	219	169	3556
	316	192	<u>150</u>	<u>92</u>	<u>75</u>	<u>78</u>	<u>173</u>	<u>360</u>	<u>307</u>	399	346	327	2815
W	190	193	<u>215</u>	<u>199</u>	<u>195</u>	<u>229</u>	<u>344</u>	340	220	202	161	117	2605
	305	215	161	99	101	115	242	420	398	339	319	297	3011
NW	105	107	143	195	200	184	329	257	152	105	95	56	1928
	337	275	245	246	235	261	435	697	453	383	381	316	4264
N	19	13	39	81	104	97	119	101	47	30	12	17	679
	157	192	112	154	142	162	218	323	216	220	159	135	2190
Summe	696	707	1014	1393	1717	1695	2174	2491	1805	1439	824	561	16516
	2221	1853	1792	1248	1007	1015	1577	2768	2180	2253	2281	2206	22401

Tabelle 1b

(Feld 2)

Wind- richtung	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
C $\hat{=}$ ≤ 3 kn	7 30	7 36	22 25	40 28	72 22	77 30	65 29	32 36	21 36	23 27	7 29	7 47	380 375
NE	3 158	18 173	49 196	148 134	137 50	184 53	126 56	122 75	94 117	33 167	22 203	15 159	951 1541
E	7 289	31 319	82 351	181 141	208 53	201 52	139 41	164 76	193 150	103 341	44 350	20 347	1373 2510
SE	29 398	51 295	148 336	188 125	210 48	206 47	213 58	159 99	184 119	128 334	74 356	50 390	1640 2605
S	82 248	106 243	168 199	228 95	234 56	251 58	231 79	213 139	185 131	219 228	143 283	94 358	2154 2117
SW	212 266	227 196	306 151	290 107	198 52	273 86	279 146	319 236	207 161	279 278	211 263	209 303	3010 2245
W	268 309	260 210	315 146	269 119	158 66	280 170	323 304	341 339	162 277	169 348	172 337	193 296	2910 2921
NW	138 314	146 273	180 226	270 189	184 172	377 296	375 411	336 542	152 418	75 354	76 384	86 332	2395 3911
N	8 88	15 105	37 71	47 74	41 42	50 44	43 50	41 79	16 61	10 72	18 90	3 85	329 861
Summe	754 2100	861 1850	1307 1701	1661 1012	1442 561	1899 836	1794 1174	1727 1621	1214 1470	1039 2149	767 2295	677 2317	15142 19086

Tabelle 1c

(Feld 3)

Wind- richtung	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
C \hat{a} ≤ 3 kn	5 14	1 5	5 11	26 11	56 24	60 20	45 32	84 71	176 137	86 111	15 16	4 8	563 460
NE	14 101	17 109	32 110	107 123	147 75	135 80	77 73	99 119	197 422	110 340	52 160	11 93	998 1805
E	9 91	26 99	31 143	115 110	206 64	139 41	67 29	108 65	330 304	267 383	58 152	6 126	1362 1607
SE	23 210	25 83	93 100	150 55	185 62	104 24	100 40	164 102	655 299	574 519	73 149	35 130	2181 1773
S	67 175	112 137	121 89	200 46	190 43	178 24	166 51	332 134	1114 533	738 474	123 174	110 193	3451 2073
SW	171 172	237 156	165 69	228 54	193 39	248 32	168 53	418 207	1070 844	906 877	257 264	199 257	4260 3024
W	195 204	183 155	178 84	189 43	197 42	208 45	139 83	376 265	662 929	473 764	171 218	159 179	3130 3011
NW	84 172	122 156	81 107	144 81	147 74	155 80	121 152	194 289	343 1223	174 763	94 227	82 180	1741 3504
N	5 36	12 34	18 41	31 46	50 34	41 33	26 65	71 139	200 698	51 542	13 43	5 35	523 1746
Summe	573 1175	735 934	724 754	1190 569	1371 457	1268 379	909 578	1846 1391	4747 5389	3379 4773	856 1403	611 1201	18209 19003

Tabelle 1d

(Feld 4)

Wind- richtung	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
C $\hat{=}$ ≤ 3 kn	10	34	26	64	106	75	57	66	45	18	9	4	514
	42	53	32	39	48	37	46	61	44	35	49	44	530
NE	17	34	68	205	320	249	143	149	118	30	8	11	1352
	199	219	239	193	127	82	93	135	186	196	240	150	2059
E	11	38	116	191	428	297	142	190	186	64	23	9	1695
	252	298	339	139	91	51	44	85	204	305	295	221	2324
SE	44	62	229	201	309	240	178	233	241	134	35	41	1967
	351	283	290	87	57	32	28	66	219	346	336	350	2445
S	112	184	248	268	299	270	234	289	261	255	70	127	2617
	267	189	154	64	64	55	73	140	198	321	367	374	2266
SW	302	370	413	433	389	416	415	546	312	350	130	217	4293
	335	216	131	106	97	136	162	337	303	540	458	424	3245
W	341	329	405	374	316	354	309	496	234	199	123	213	3693
	340	191	184	118	107	195	242	512	459	446	418	374	3586
NW	184	209	252	306	278	320	293	323	172	91	80	111	2619
	299	240	215	271	263	374	381	604	588	444	421	338	4438
N	12	24	37	73	101	70	84	58	36	16	4	6	521
	107	98	97	113	81	88	112	108	135	109	89	83	1220
Summe	1033	1284	1794	2115	2546	2291	1855	2370	1605	1157	482	739	19271
	2192	1787	1681	1130	935	1050	1181	2048	2336	2742	2673	2358	22113

Tabelle 2a

(Feld 1)

Die Tabellen 2a - 2d (siehe Abschnitt 3 und Abb. 5 und 6) geben die absoluten Häufigkeiten von relativer Warmluft (obere Zeilen) und relativer Kaltluft (untere Zeilen) für alle Windstärken an.
 Unterstrichene Werte: Warmlufthäufigkeit überwiegt.

Wind- stärke	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
0 *)	2 13	1 13	19 29	<u>36</u> 24	<u>71</u> 41	<u>75</u> 59	<u>77</u> 66	70 104	46 52	15 24	7 16	8 28	427 469
1	16 64	15 103	54 86	<u>107</u> 82	<u>165</u> 104	<u>151</u> 82	<u>233</u> 136	252 257	144 159	75 116	23 84	20 89	1255 1362
2	53 181	66 219	130 223	<u>225</u> 202	<u>387</u> 208	<u>375</u> 215	<u>499</u> 288	487 544	317 327	171 259	74 282	48 187	2832 3135
3	104 314	109 307	194 297	<u>344</u> 293	<u>430</u> 239	<u>496</u> 257	<u>572</u> 418	711 683	370 408	314 429	155 421	89 340	3888 4406
4	145 388	130 317	206 347	<u>313</u> 279	<u>359</u> 221	<u>366</u> 215	<u>480</u> 370	486 600	371 495	306 482	169 415	118 391	3449 4520
5	131 412	179 317	190 300	208 209	<u>240</u> 164	<u>200</u> 166	<u>255</u> 241	315 391	273 350	268 387	178 387	122 389	2559 3713
6	124 357	111 261	128 228	122 150	<u>100</u> 89	<u>80</u> 79	<u>100</u> 94	162 194	182 263	180 279	126 312	79 374	1494 2680
7	78 278	64 211	76 168	62 80	<u>42</u> 30	<u>38</u> 32	<u>46</u> 46	62 102	110 159	70 198	68 259	60 250	776 1813
8	36 185	36 138	32 116	<u>35</u> 32	12 18	<u>14</u> 10	12 23	12 35	39 76	46 127	32 164	27 136	333 1060
9	18 82	10 41	5 46	3 11	1 3	3 3	4 4	3 5	7 16	11 35	8 45	5 50	74 338
10	6 19	1 12	7 11	2 2		1 1	1 1		3 3	8 14	2 10	24 24	27 97
11	<u>3</u> 2		2 2							<u>3</u> 1	2 2	5 5	8 21
12		2 2	1 1		<u>1</u> 1					<u>2</u> 2	2 2		3 5
Summe	716 2295	722 1950	1043 1854	1457 1364	1808 1114	1798 1119	2275 1687	2560 2915	1859 2308	1469 2351	842 2399	576 2263	17125 23619

*) $0 \leq \leq 3$ Kn; enthält in dieser Tabelle auch "Umlaufende Winde" > 3 Kn

Tabelle 2b
(Feld 2)

Wind- stärke	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
0 *)	4 18	7 19	18 17	37 23	61 19	72 25	59 26	26 31	15 32	15 29	6 21	6 30	326 290
1	11 67	41 121	65 75	138 83	171 59	206 82	186 106	180 111	78 74	50 72	25 103	27 111	1178 1064
2	58 205	71 197	163 188	301 179	293 99	401 143	417 195	341 264	194 217	128 207	62 296	59 236	2488 2426
3	101 270	133 331	256 297	380 199	367 127	515 201	463 279	435 369	272 292	195 370	149 400	97 348	3363 3483
4	132 366	181 341	264 336	356 234	304 114	380 172	399 289	374 324	270 301	225 440	163 418	136 397	3184 3732
5	142 389	153 326	230 294	244 157	199 83	275 172	254 222	249 292	193 257	183 413	154 402	121 416	2397 3423
6	130 325	130 244	159 253	175 126	84 72	148 101	143 115	126 209	131 208	125 336	91 326	114 328	1556 2643
7	100 228	104 164	103 166	80 96	54 29	58 55	50 69	63 111	64 139	87 222	68 257	73 260	904 1796
8	59 179	41 133	53 -97	37 42	16 20	24 25	18 38	47 67	35 73	39 105	40 128	36 184	445 1091
9	26 81	21 53	32 51	21 12	1 5	8 6	4 18	8 20	19 36	16 64	17 57	22 63	195 466
10	7 57	13 22	6 19	5 3		6 1	2		7 6	5 26	10 40	10 45	69 221
11	3 23	1 9	4 5	4					1	3 5	2 6	1 11	15 63
12	1 2									2			3 3
Summe	774 2210	896 1960	1353 1798	1774 1158	1550 627	2093 983	1993 1359	1849 1798	1279 1635	1073 2289	787 2455	702 2429	16123 20701

*) s. Tab. 2a

Tabelle 2c
(Feld 3)

Wind- stärke	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
0 *)	4 8	0 4	4 7	24 10	54 21	60 17	59 29	54 62	100 90	70 91	12 14	3 8	444 361
1	15 16	24 58	23 42	81 45	114 45	107 44	144 84	124 132	417 366	280 350	39 75	14 39	1452 1296
2	39 88	59 108	91 90	178 86	271 103	242 91	279 111	340 252	898 807	547 769	95 164	42 113	3081 2782
3	80 165	124 187	145 125	256 103	357 109	359 87	342 171	444 356	1065 1112	769 963	117 224	88 212	4146 3814
4	110 239	170 184	130 156	285 146	361 103	309 108	259 138	391 295	965 1117	732 1005	156 236	123 297	3991 4024
5	103 190	160 165	147 128	221 118	185 63	159 65	152 75	268 221	688 903	527 706	138 255	121 210	2869 3099
6	94 158	104 136	91 90	130 68	83 48	87 43	57 40	142 104	406 645	295 488	108 235	116 170	1713 2225
7	77 153	61 81	64 83	66 47	41 33	44 24	23 17	63 44	230 384	124 361	109 180	67 120	971 1527
8	42 130	50 60	48 45	29 37	10 19	12 10	6 11	17 26	78 152	46 184	68 103	40 65	446 842
9	17 70	22 34	11 16	4 7	2 4	2 2		2 5	13 16	27 51	27 53	15 38	142 296
10	11 57	10 15	2 16	1 7		1 2			4 8	8 20	14 18	3 17	54 160
11	2 7	2 2								1 4	2 4		12 23
12	2 1										1		3 2
Summe	596 1282	791 1034	756 798	1275 674	1478 548	1382 493	1323 676	1915 1497	4864 3600	3426 4992	886 1561	632 1296	19324 20451

*) s. Tab. 2a

Tabelle 2d
(Feld 4)

Wind- stärke	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
0 *)	8 27	26 24	22 23	52 34	103 41	70 33	49 36	61 52	36 35	13 27	6 28	4 29	450 389
1	29 90	51 116	104 108	174 75	266 111	239 85	204 117	171 169	120 135	59 91	21 89	7 83	1445 1269
2	62 183	123 223	259 219	376 213	581 192	505 202	368 206	453 348	247 351	126 257	49 306	71 238	3220 2938
3	135 317	227 392	413 338	534 303	730 246	622 278	501 268	584 467	404 514	249 495	87 428	112 397	4598 4445
4	205 393	276 352	364 364	486 249	547 216	500 236	444 285	587 473	324 480	229 583	94 492	175 492	4231 4615
5	183 366	235 267	284 283	300 181	275 134	300 200	266 217	343 336	245 389	181 539	66 443	128 392	2806 3747
6	171 306	165 224	223 190	192 115	112 87	128 108	103 114	169 209	153 272	155 367	55 395	109 320	1735 2707
7	149 289	110 178	106 127	103 71	51 46	73 59	44 49	88 107	100 193	109 281	61 346	82 268	1076 2014
8	75 153	67 81	53 84	32 37	25 12	26 20	15 16	36 56	40 128	37 146	41 178	46 147	493 1058
9	23 84	42 13	28 30	11 18	4 7	5 3	3	4 9	12 56	19 73	16 83	12 54	176 433
10	15 45	11 7	14 15	2 11		2 .	2 4	1 2	6 8	5 35	5 37	7 32	70 196
11	2 7	4 1		2				1		2 17	1 16	1 11	12 53
12			1							2	1		4
Summe	1057 2260	1337 1878	1870 1782	2264 1309	2694 1092	2470 1224	1996 1315	2497 2229	1687 2561	1184 2913	502 2842	754 2463	20312 23868

*) s. Tab. 2a

Abbildungen

Abb. 1:	Das untersuchte Gebiet in der Nordsee	Abschn. 1
Abb. 2:	Häufigkeitsverteilung der Lochkarten über den untersuchten Zeitraum	Abschn. 1
Abb. 3:	Windrosen der Häufigkeit je Monat und Feld	Abschn. 2.1 u. Tab. 1
Abb. 4:	Jahresgänge der Häufigkeit je Windrichtung und Feld	Abschn. 2.2 u. Tab. 1
Abb. 5:	Häufigkeitsverteilung der Windstärken je Monat	Abschn. 3.1 u. Tab. 2
Abb. 6:	Jahresgänge der Häufigkeit von Warm- und Kaltluft je Windstärke	Abschn. 3.2 u. Tab. 2
Abb. 7:	Mittlere Windstärken nach Richtungen je Monat	Abschn. 4.1 u. Tab. 3
Abb. 8:	Mittlere Windstärken nach Richtungen je Feld	Abschn. 4.1 u. Tab. 3
Abb. 9:	Jahresgang der Advektion von Warmluft und Kaltluft je Feld	Abschn. 4.2 u. Tab. 1 u. 3
Abb. 10:	Mittlere Windrichtungen je Stärke, nach Monaten, warm und kalt nebeneinander, je Feld	Abschn. 4.3
Abb. 11:	Mittlere Windrichtungen je Stärke, nach Monaten, nur Warmluft	Abschn. 4.3
Abb. 12:	Mittlere Windrichtungen je Stärke, nach Monaten, nur Kaltluft	Abschn. 4.3

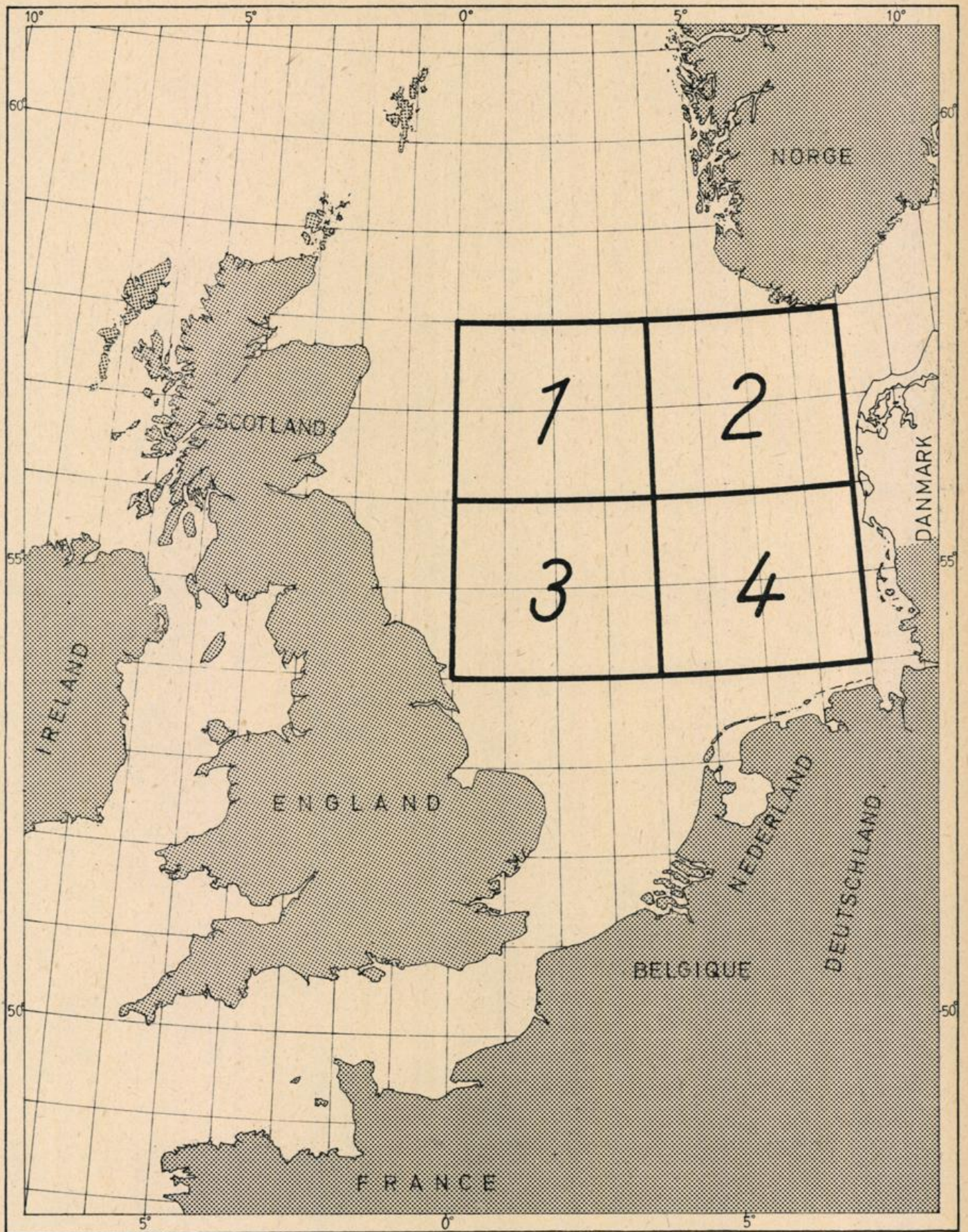


Abb. 1 Bereich der 32 1°-Felder, die im folgenden untersucht und in vier (je acht 1°-Felder umfassende) Gebiete aufgeteilt wurden

1860
62
64
66
68
1870
72
74
76
78
1880
82
84
86
88
1890
92
94
96
98
1900
02
04
06
08
1910
12
14
16
18
1920
22
24
26
28
1930
32
34
36
38
1940
42
44
46
48
1950
52
54
56
58
1960
62
64
66
68
1970

Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der aus dem untersuchten Gebiet, Abb. 1, in den einzelnen Jahren vorhandenen und verwerteten Lochkarten

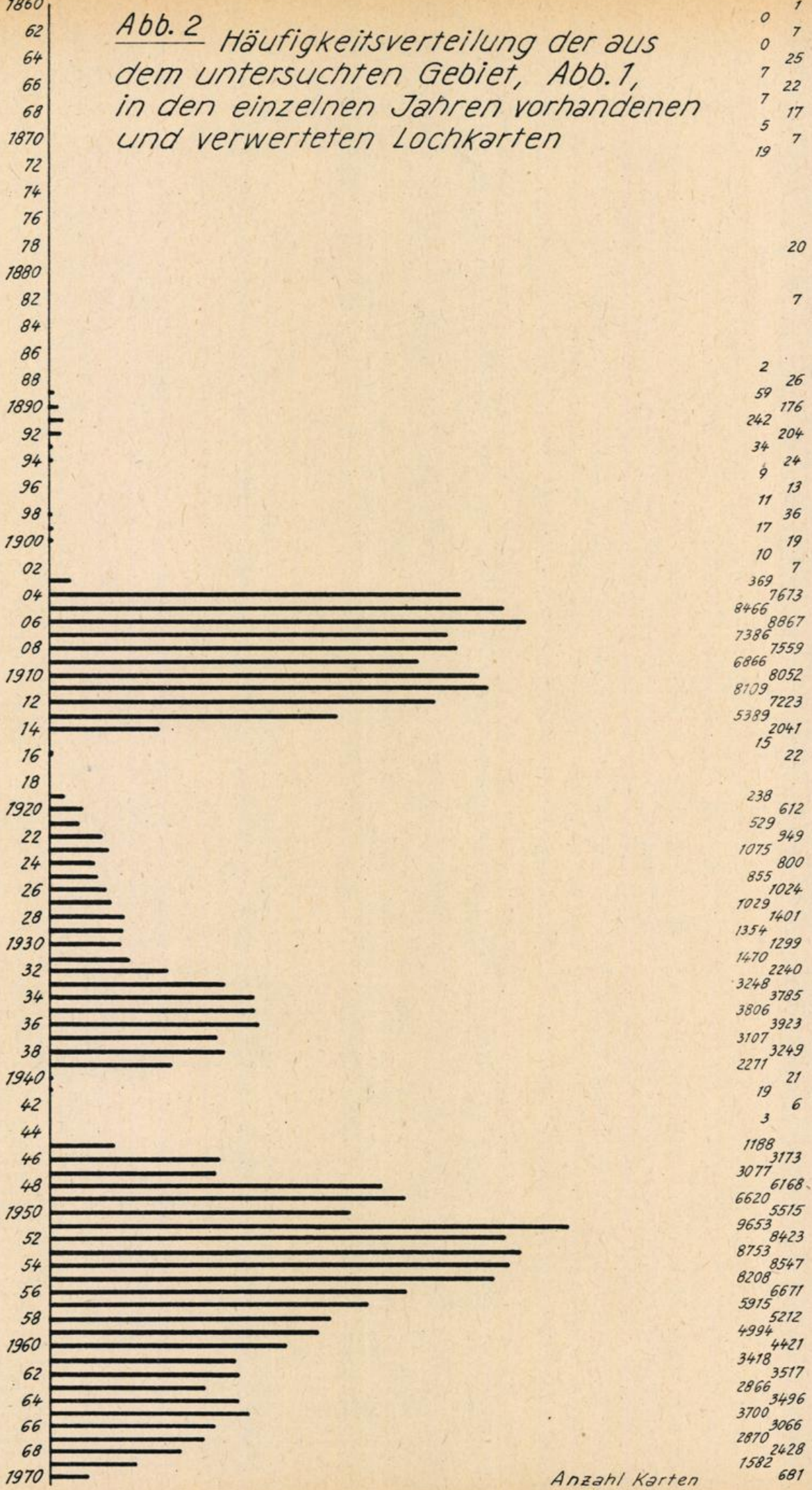
0 1
0 7
7 25
7 22
7 17
5 7
19

20

7

2 26
59 176
242 204
34 24
9 13
11 36
17 19
10 7
369 7673
8466 8867
7386 7559
6866 8052
8109 7223
5389 2041
15 22

238 612
529 949
1075 800
855 1024
7029 1401
1354 1299
1470 2240
3248 3785
3806 3923
3107 3249
2271 21
19 6
3
1188 3173
3077 6168
6620 5515
9653 8423
8753 8547
8208 6671
5915 5212
4994 4421
3418 3517
2866 3496
3700 3066
2870 2428
1582 681



Anzahl Karten

Abb. 3a
 zu Abschn. 2.1
 u. Tabelle 1a

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv
 (1mm = 1/3%)

Feld 1

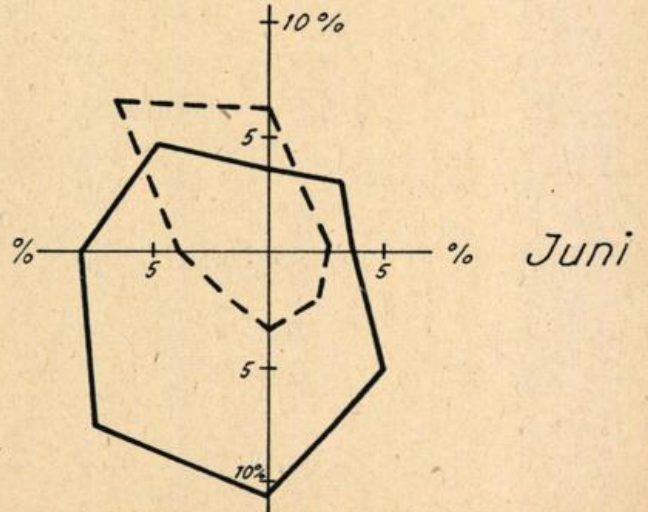
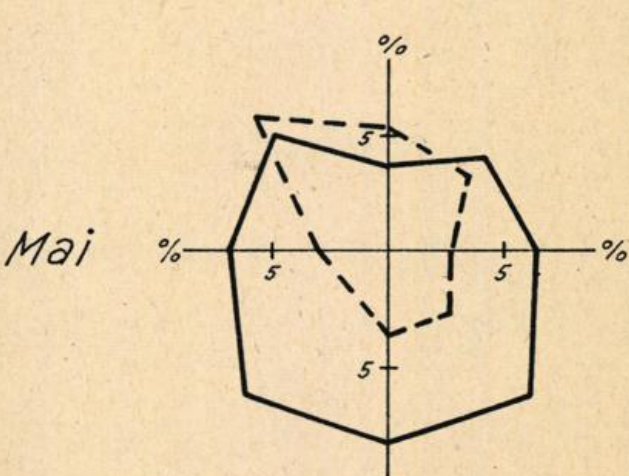
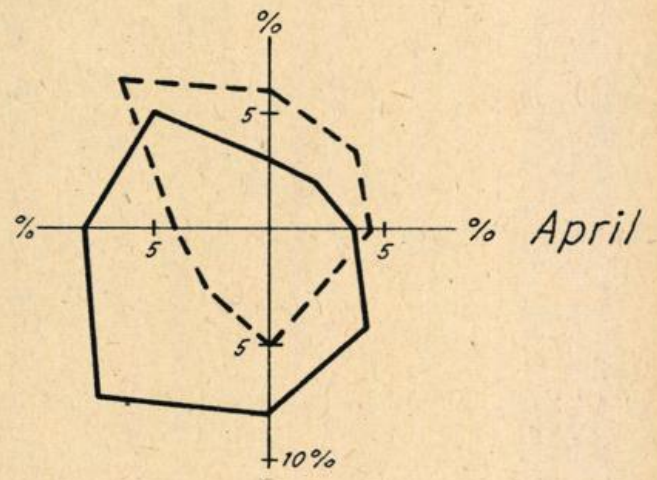
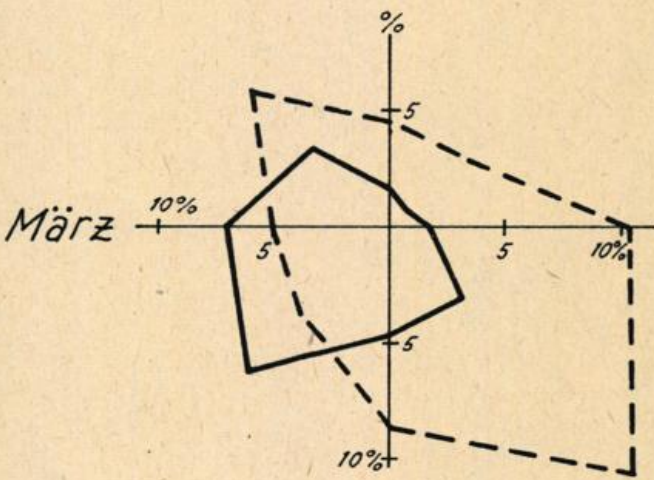
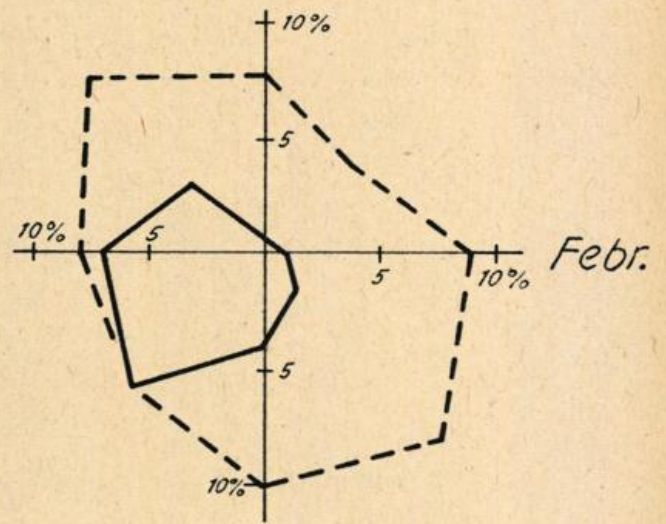
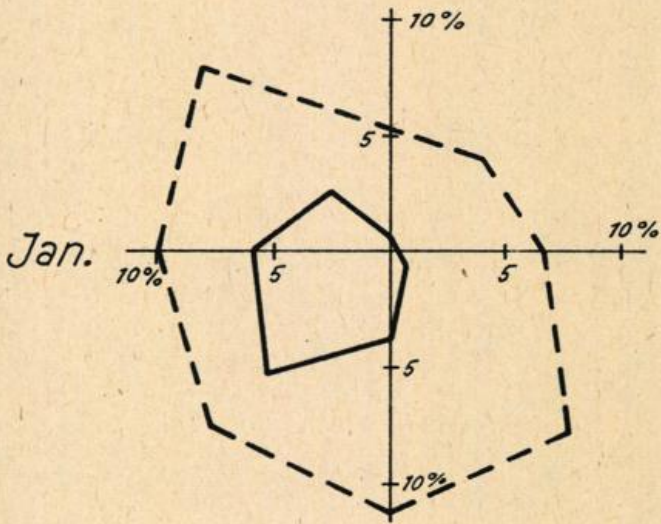


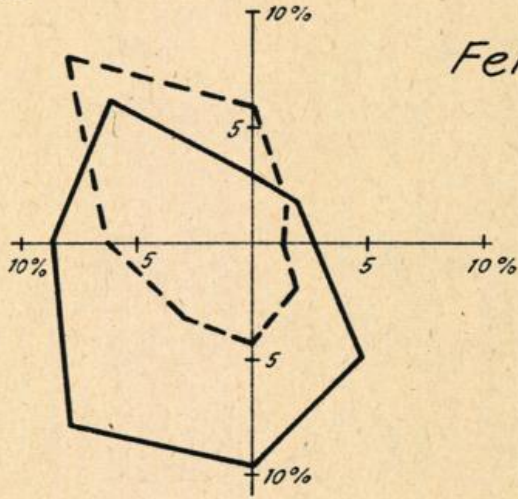
Abb. 36
zu Abschn. 2.1
u. Tabelle 1a

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv

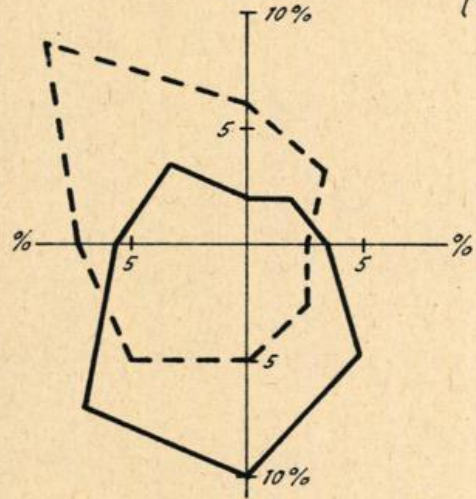
(1mm = 1/3%)

Feld 1

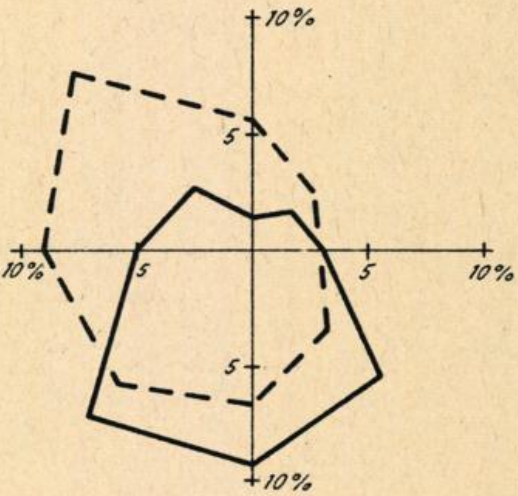
Juli



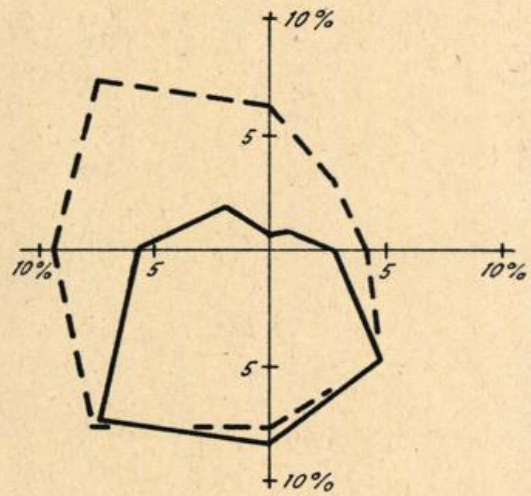
Aug.



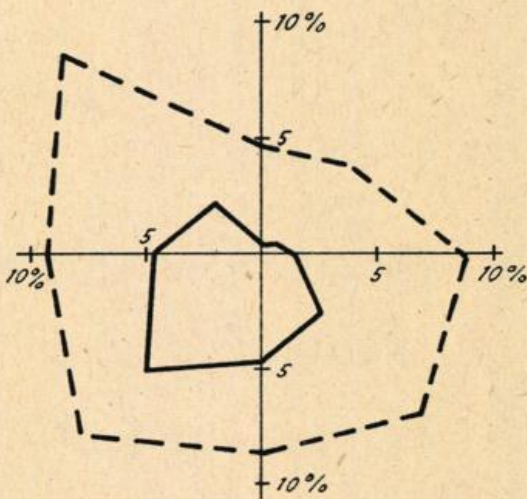
Sept.



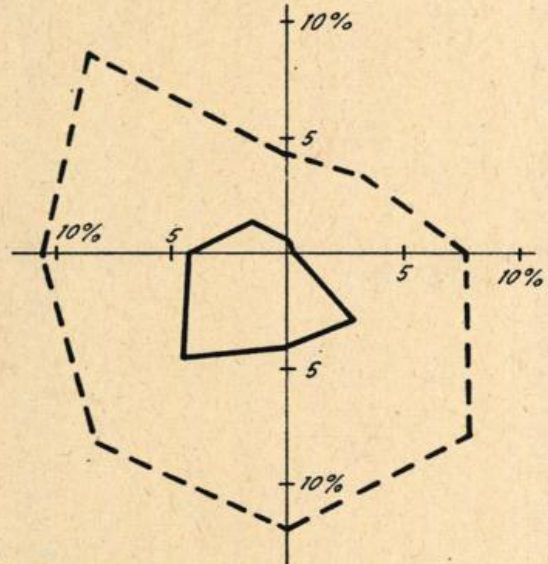
Okt.



Nov.



Dez.



Jahr

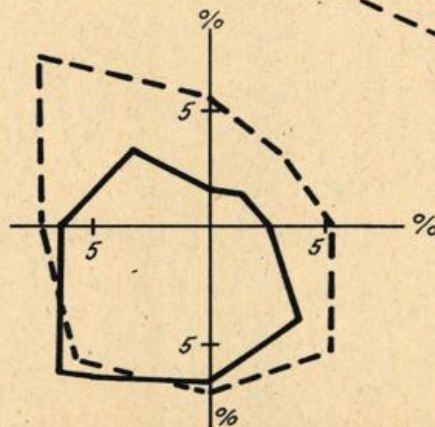


Abb. 3c
 zu Abschn. 2.1
 u. Tabelle 1b

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv
 (1mm = 1/3%)

Feld 2

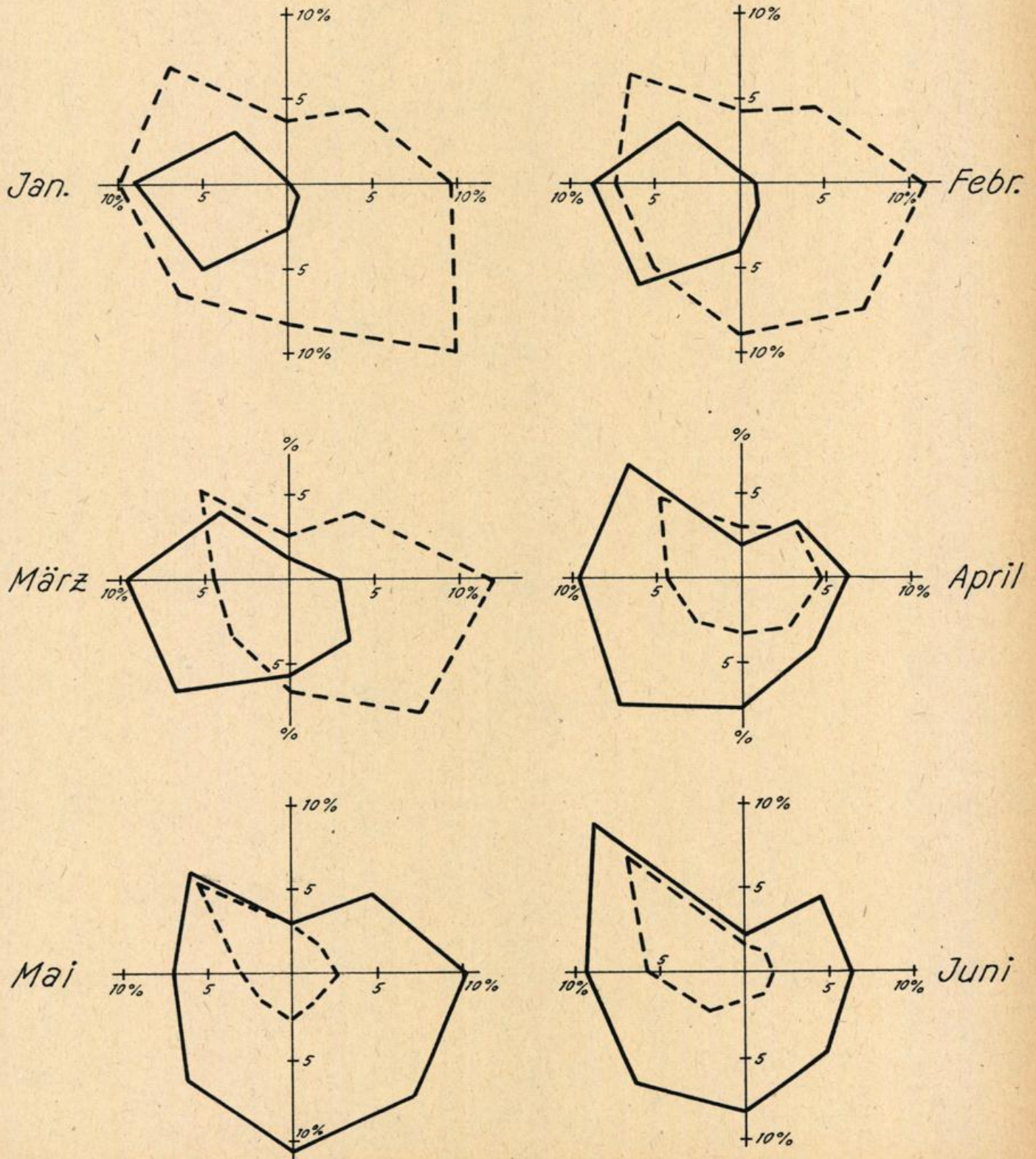


Abb. 3 d
zu Abschn. 2.1
u. Tabelle 7b

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv.

(1mm = 1/3%)

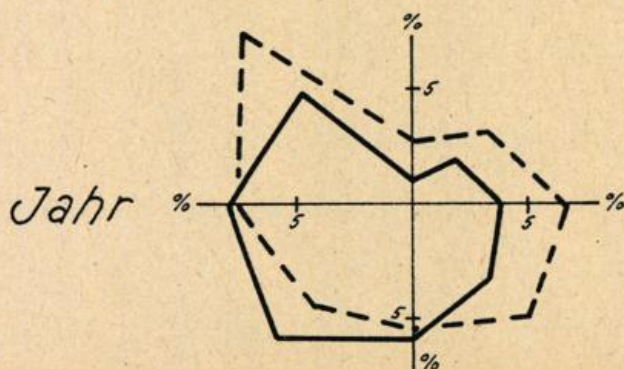
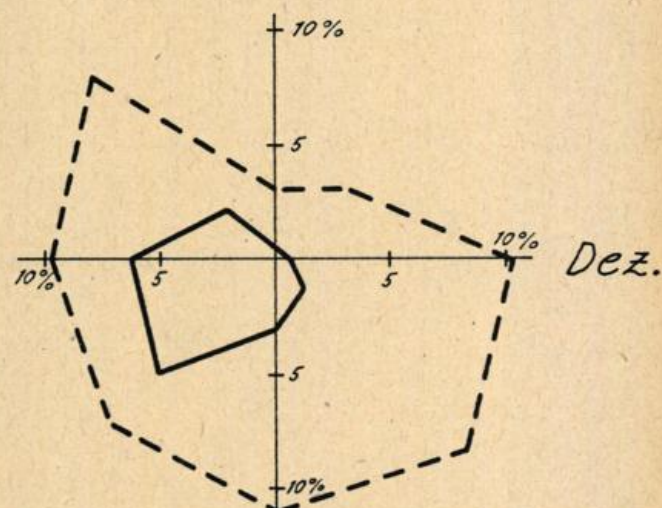
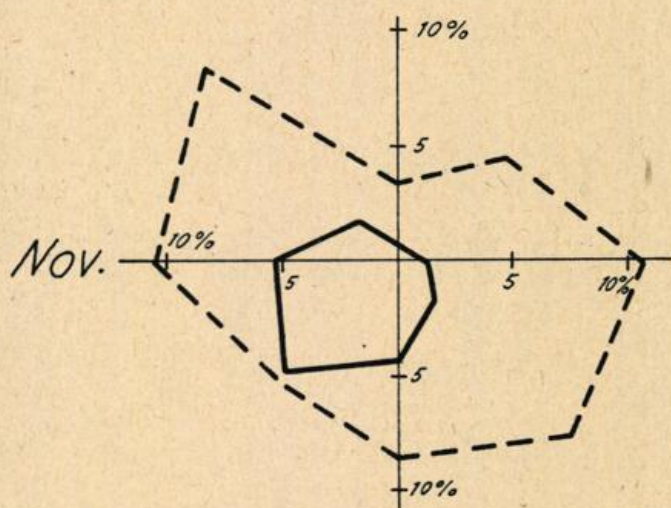
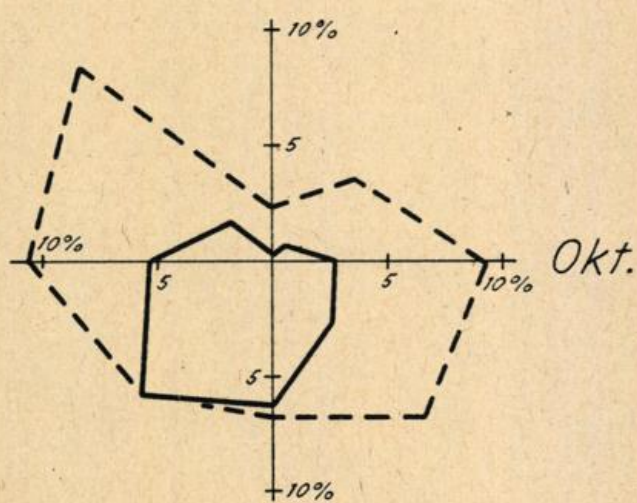
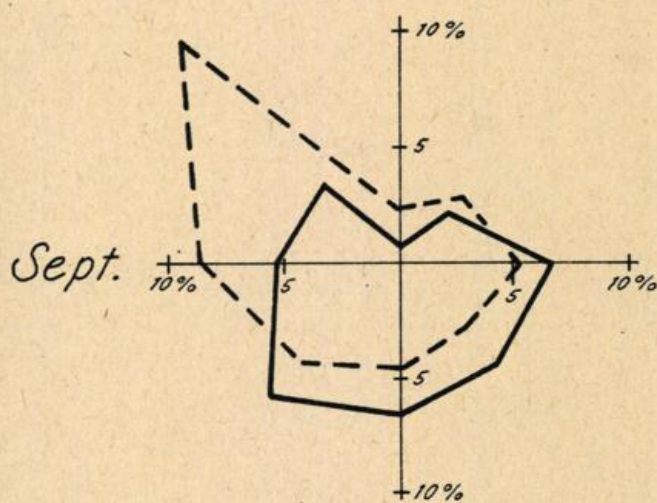
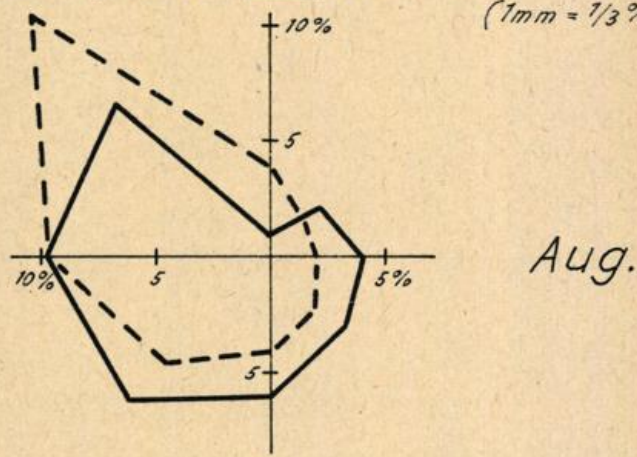
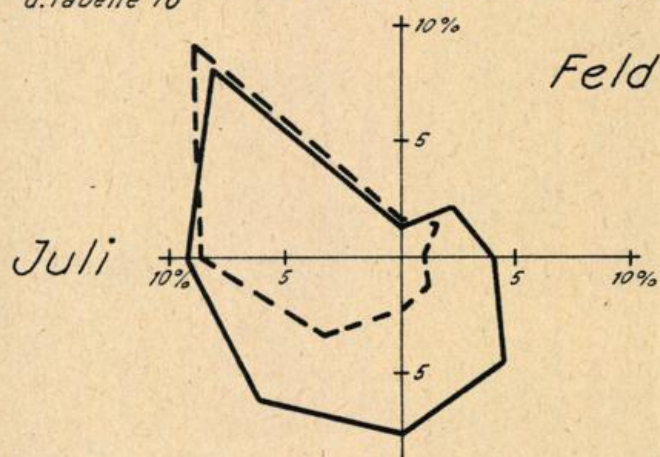


Abb. 3 e
 zu Abschn. 2.1
 u. Tabelle 1c

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv
 (1mm = 1/3%)

Feld 3

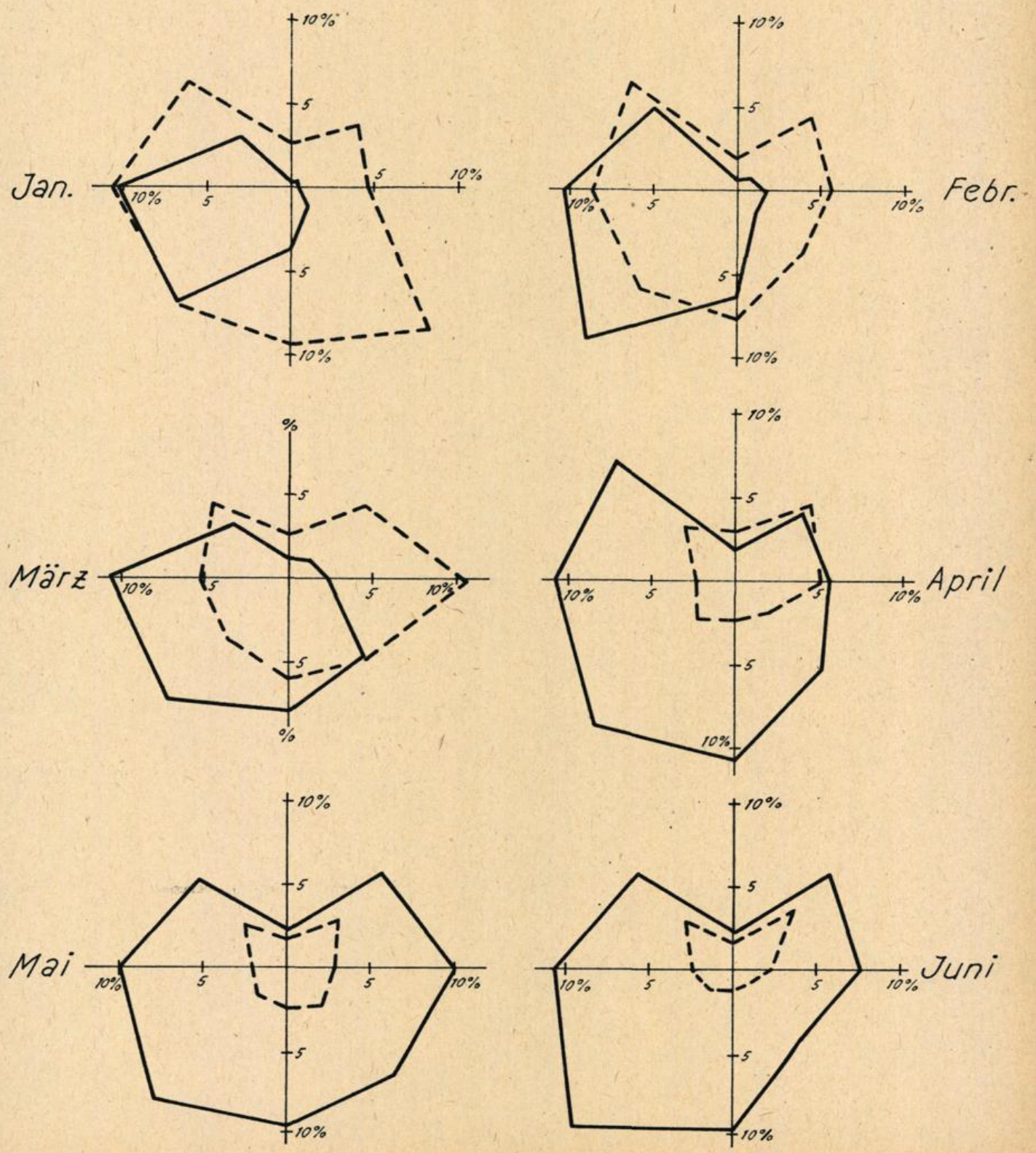


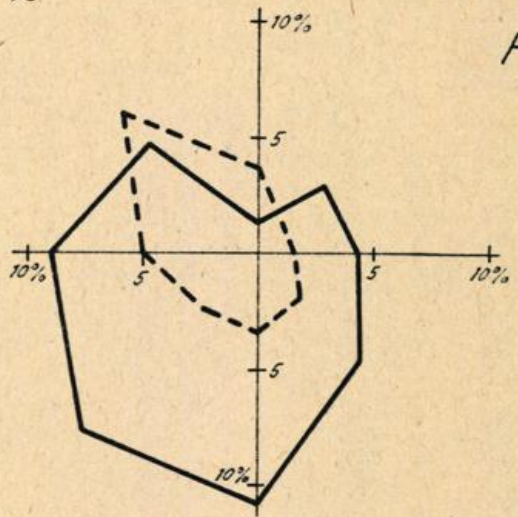
Abb. 3 f
 zu Abschn. 2.1
 u. Tabelle 1c

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv

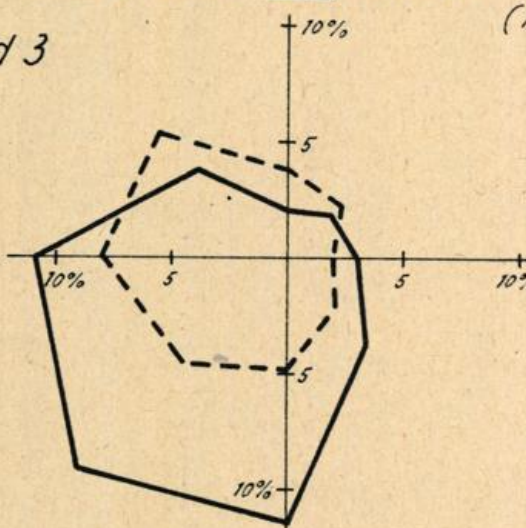
(1mm = 1/3%)

Feld 3

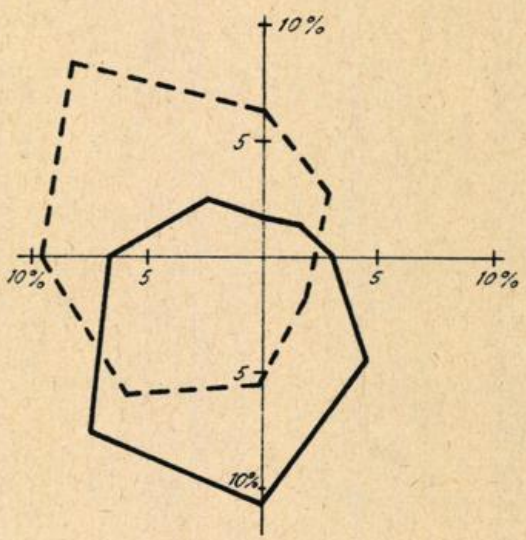
Juli



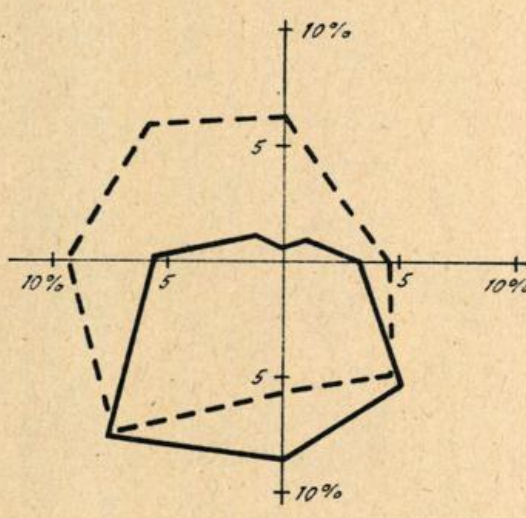
Aug.



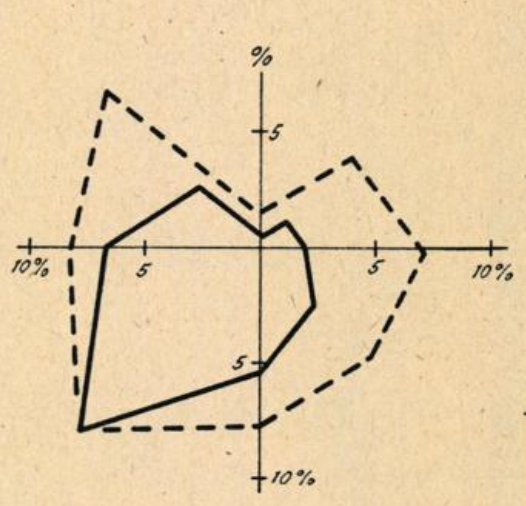
Sept.



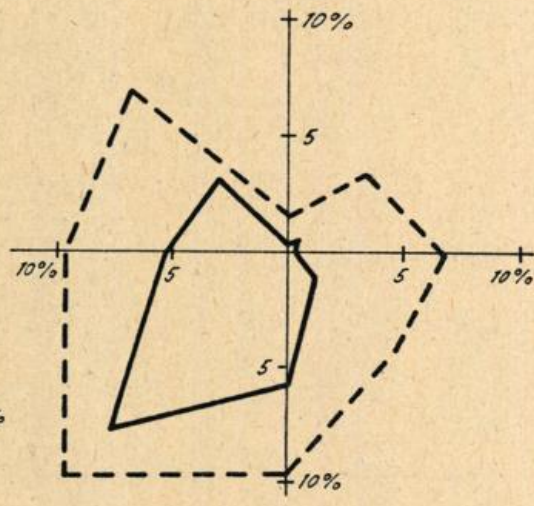
Okt.



Nov.



Dez.



Jahr

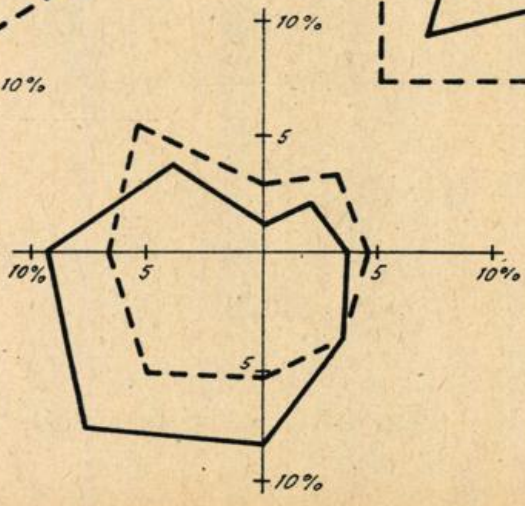


Abb. 3g
 zu Abschn. 2.1
 u. Tabelle 1d

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv
 (1mm = 1/3%)

Feld 4

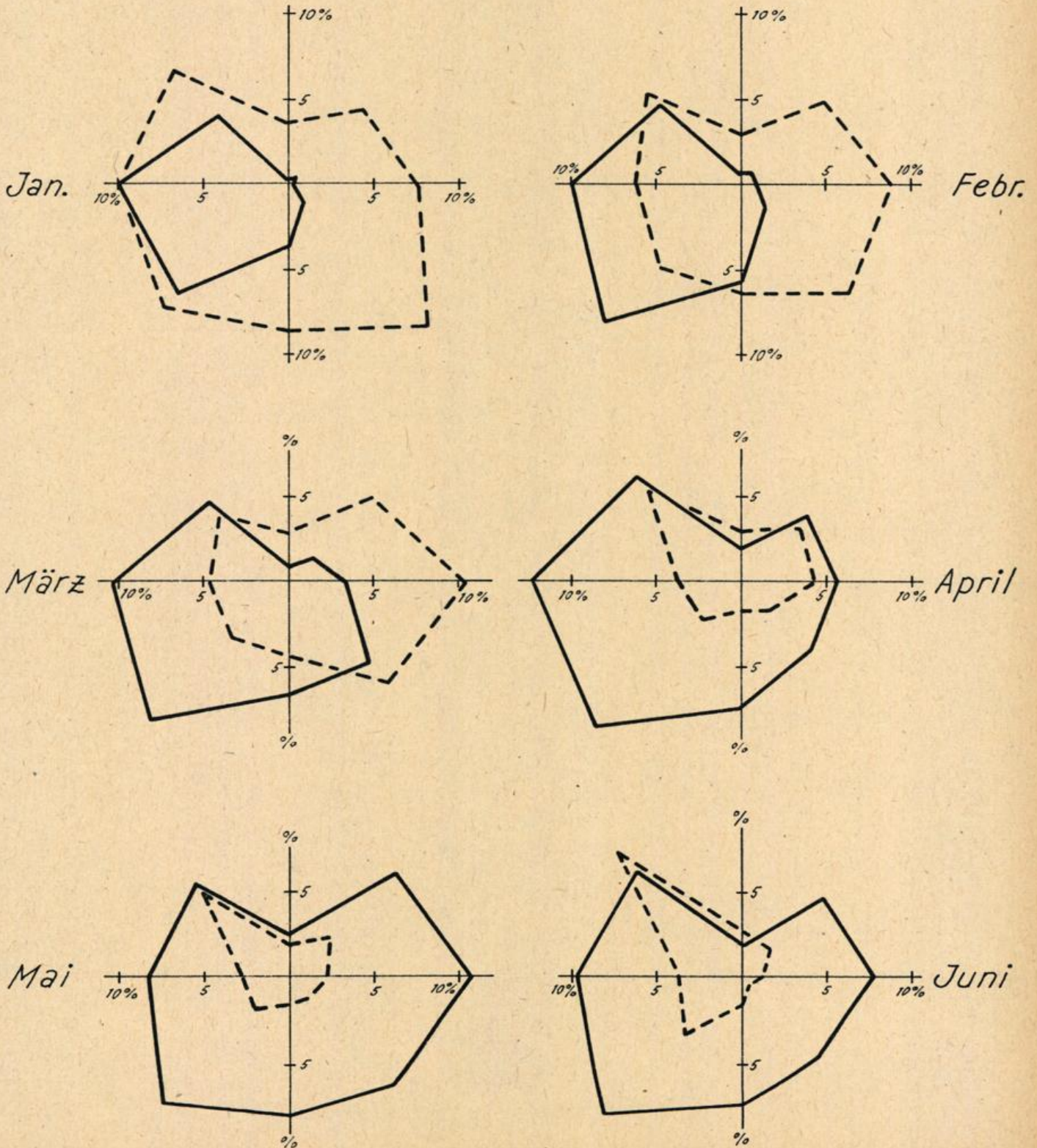


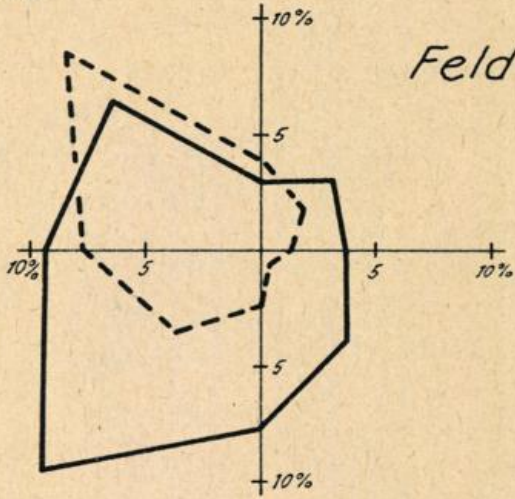
Abb. 3 h
zu Abschn. 2.1
u. Tabelle 1d

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv

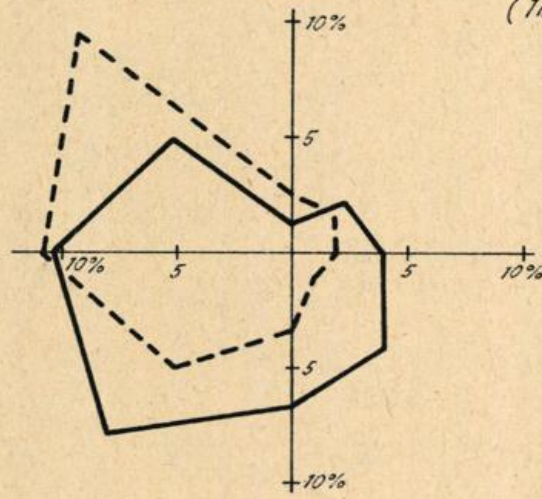
(1mm = 1/3 %)

Feld 4

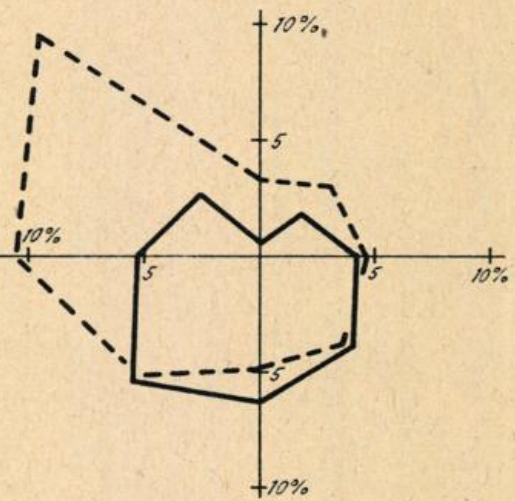
Juli



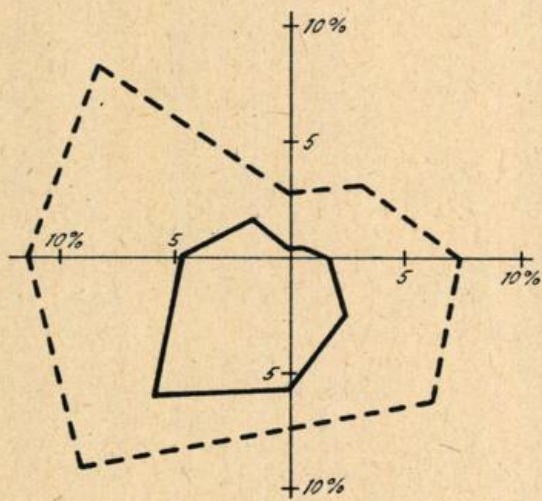
Aug.



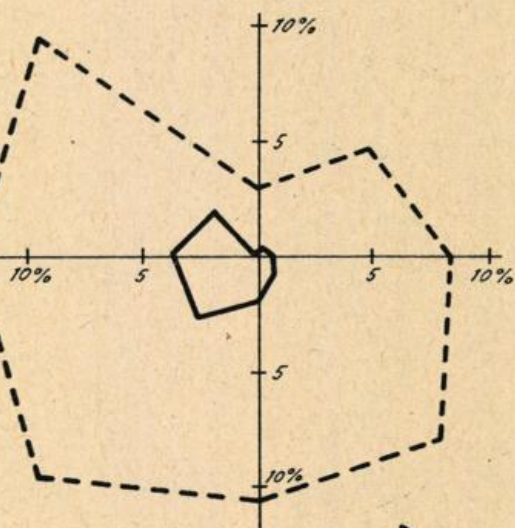
Sept.



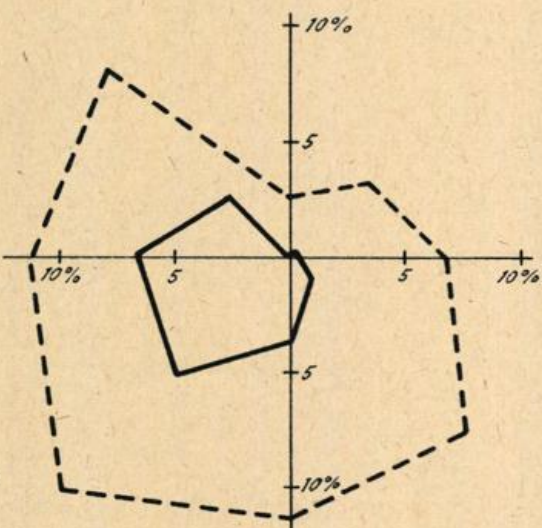
Okt.



Nov.



Dez.



Jahr %

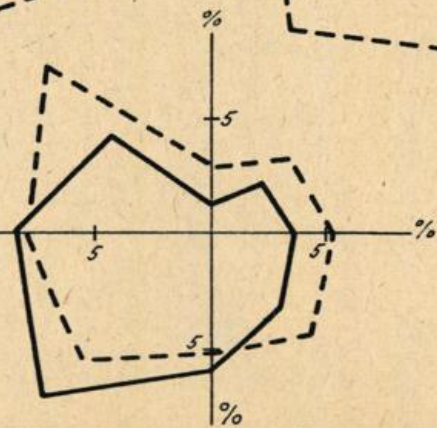


Abb. 3 i
zu Abschn. 2.1
u. Tabellen 1a - 1d

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %,
warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv

(1mm = 1/3 %)

Mittel aus allen Monaten

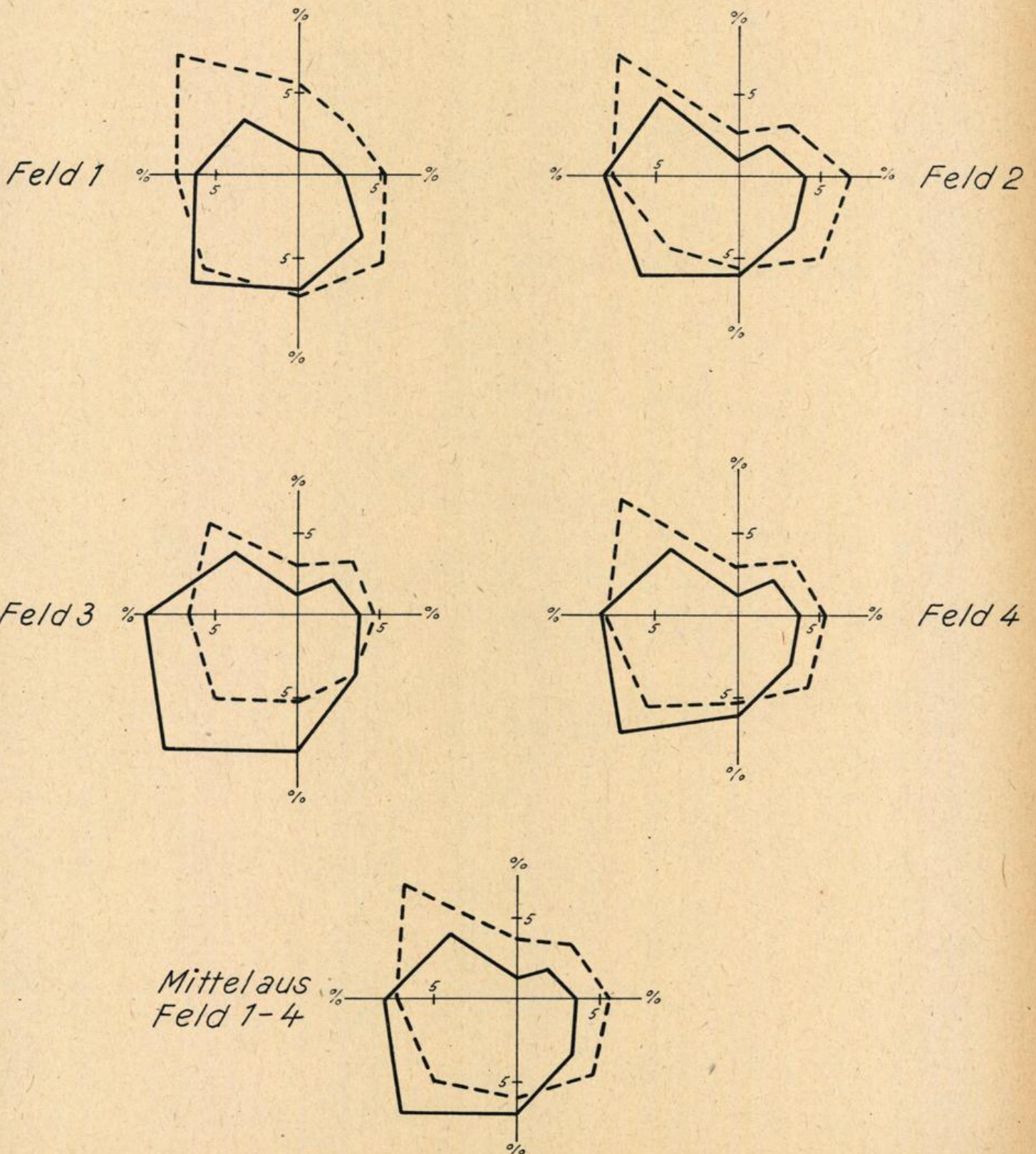


Abb. 3j
 zu Abschn. 2.1
 u. Tabellen 1a-1d

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv

(1mm = 1/3%)

Mittel aus Feld 1 bis 4

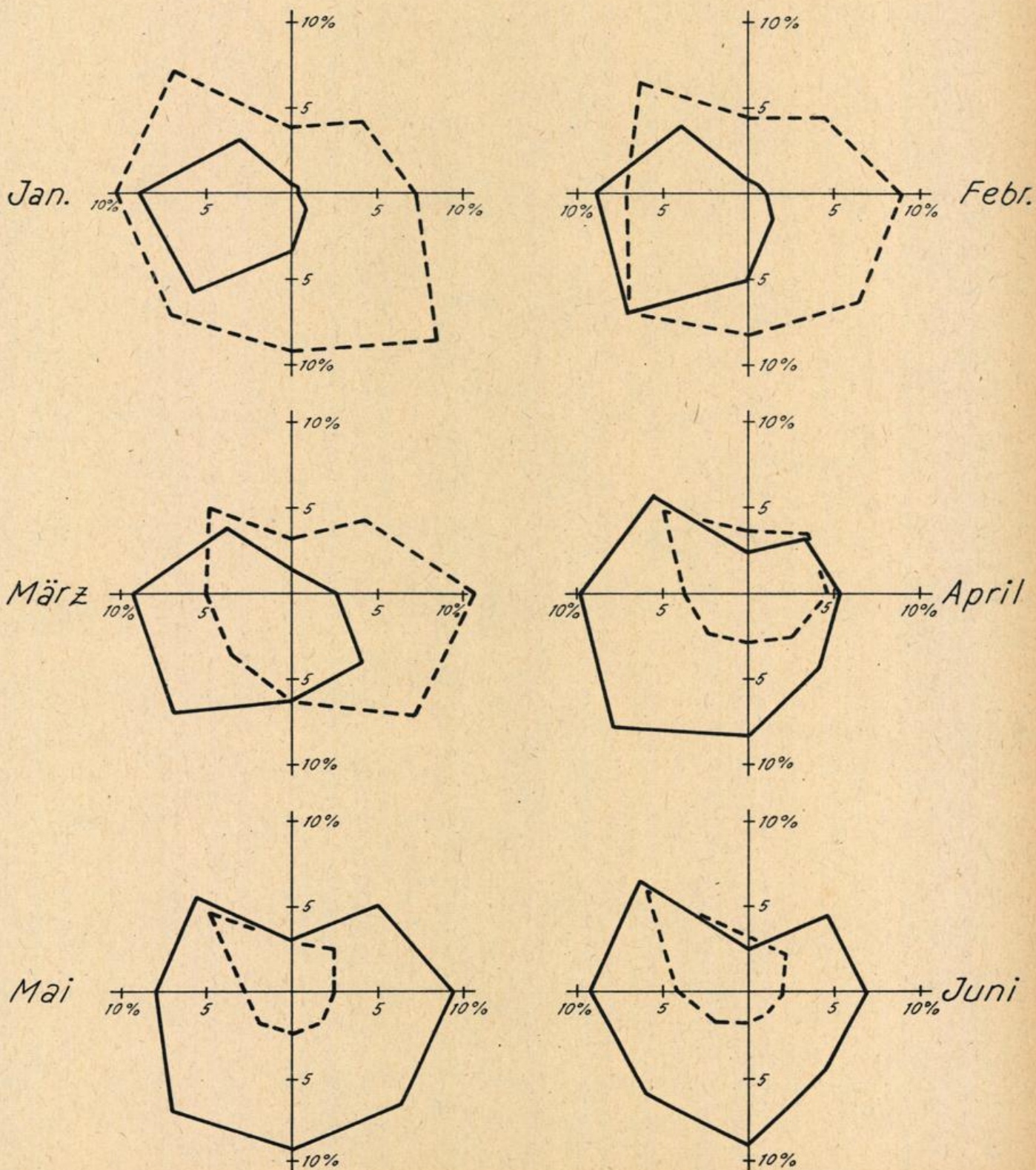


Abb. 3 k
 zu Abschn. 2.7
 u. Tabellen 1a-1d

Windrosen der Häufigkeiten je Monat in %, warm plus kalt (gestrichelt) sind ein Kollektiv

(1mm = 1/3 %)

Mittel aus Feld 1 bis 4

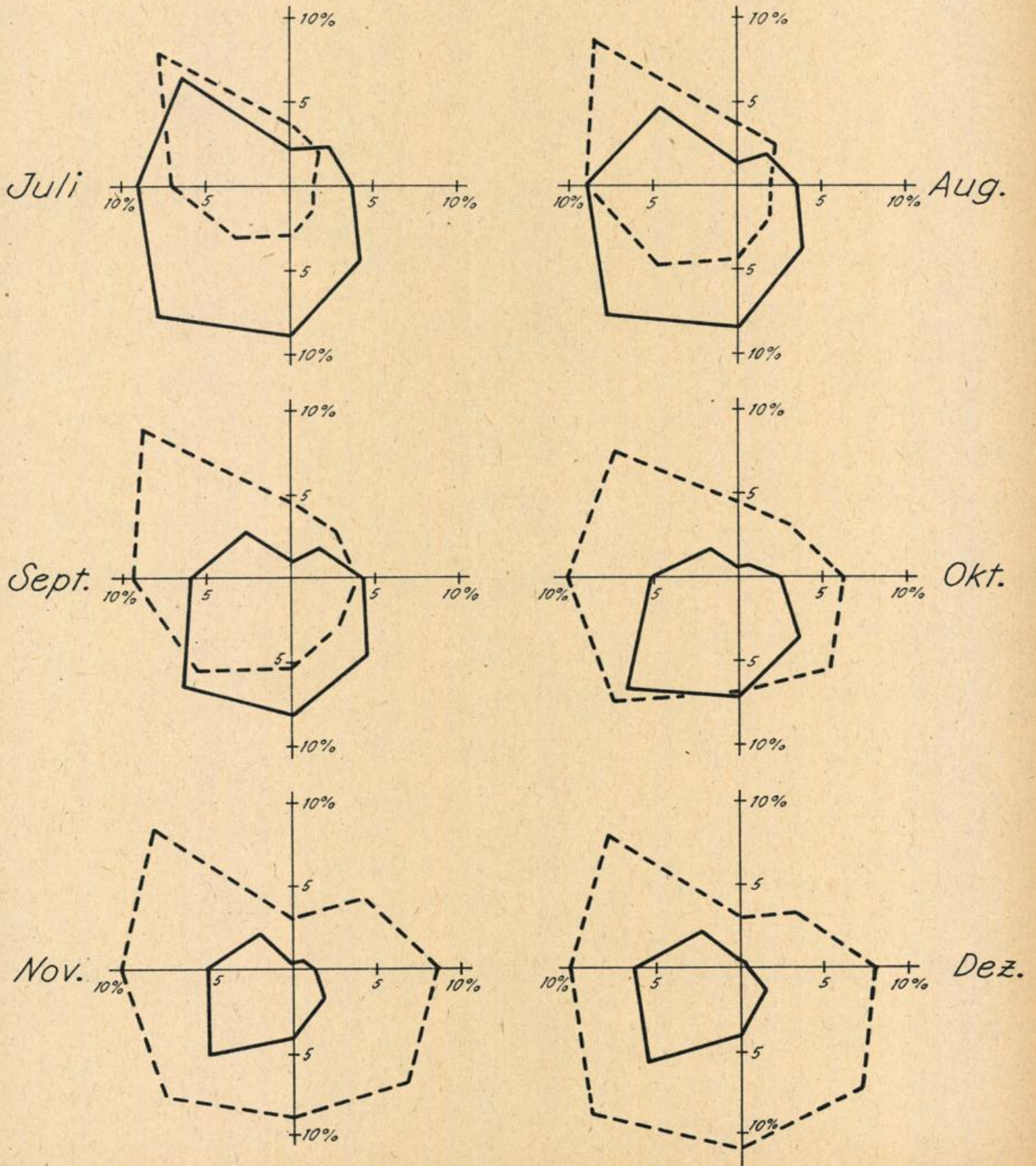


Abb. 4a - 4d

zu Abschn. 2.2
u. Tabelle 1a-1d

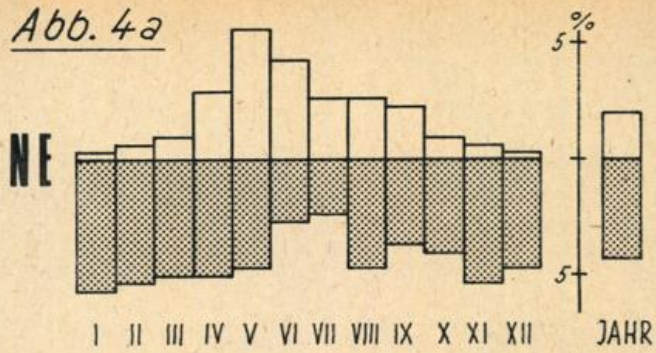
*Jahresgang der Anteile von Warmluft und
Kaltluft (punktiert) in den Hauptwindrichtungen;
warm plus kalt und alle Richtungen sind ein Kollektiv*

Abb. 4e

zu Abschn. 2.2
u. Tabelle 1a-1d

*Jahresgang der Anteile von Warmluft und
Kaltluft (punktiert) in den Hauptwindrichtungen*

Abb. 4a



Feld 1

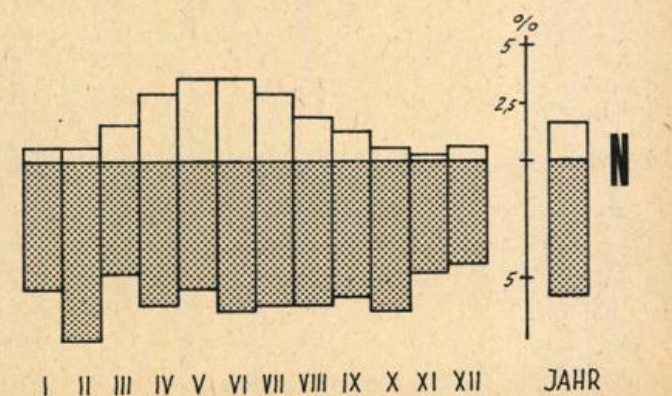
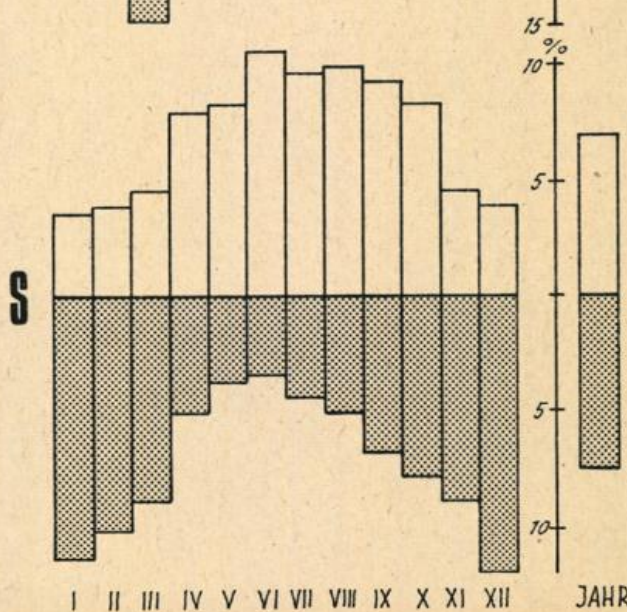
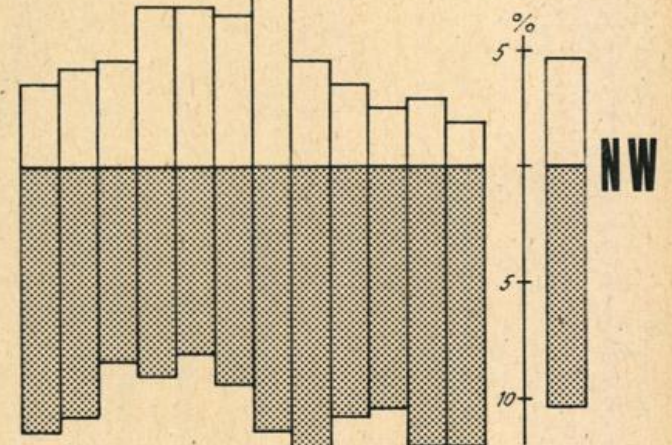
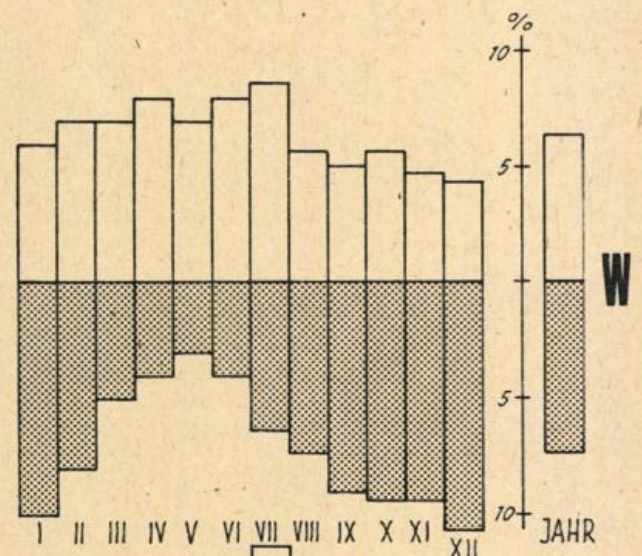
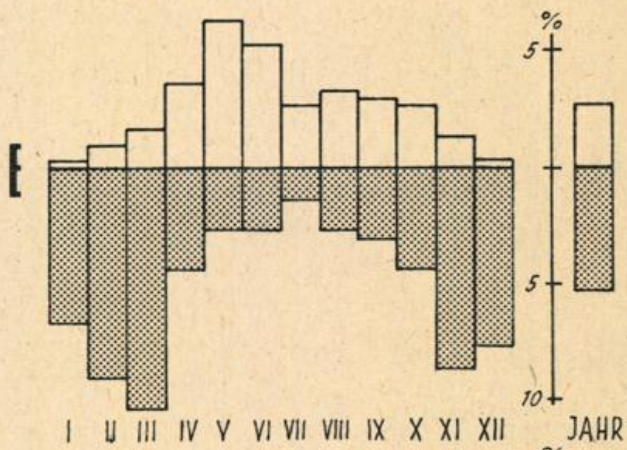
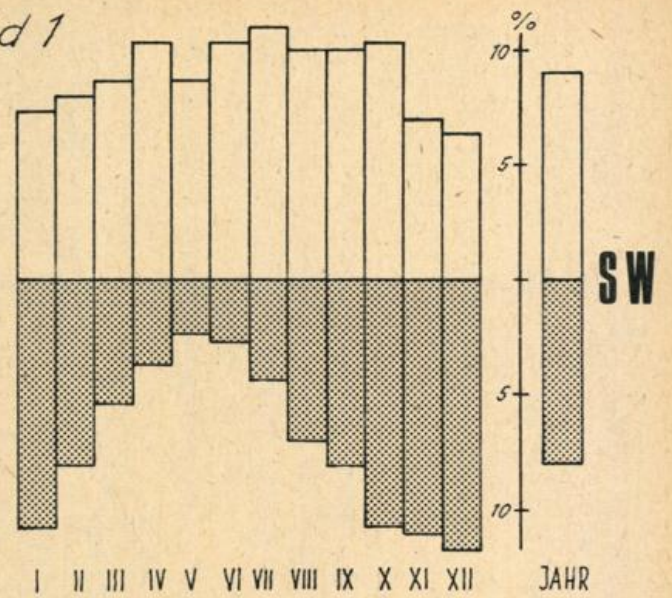


Abb. 4c

Feld 3

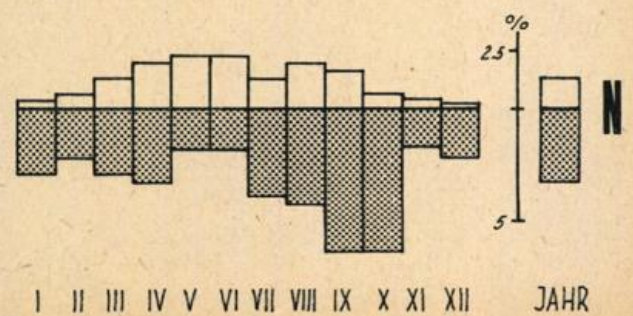
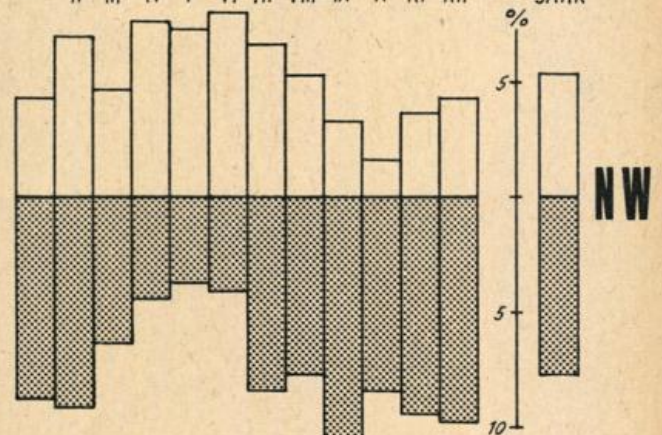
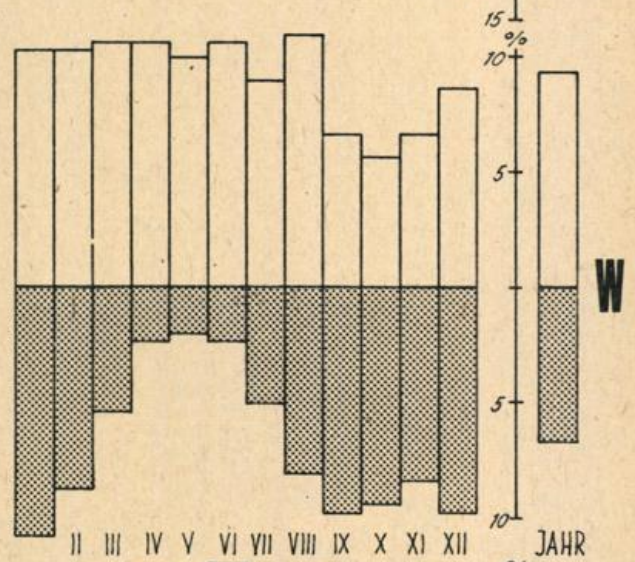
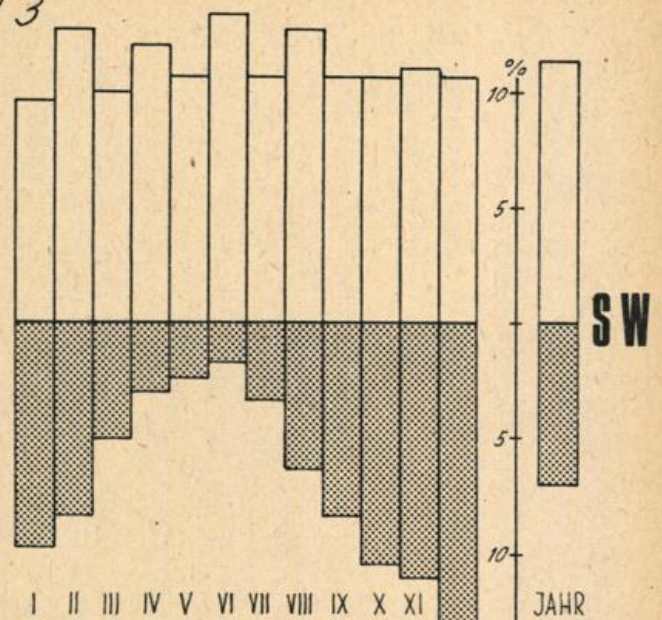
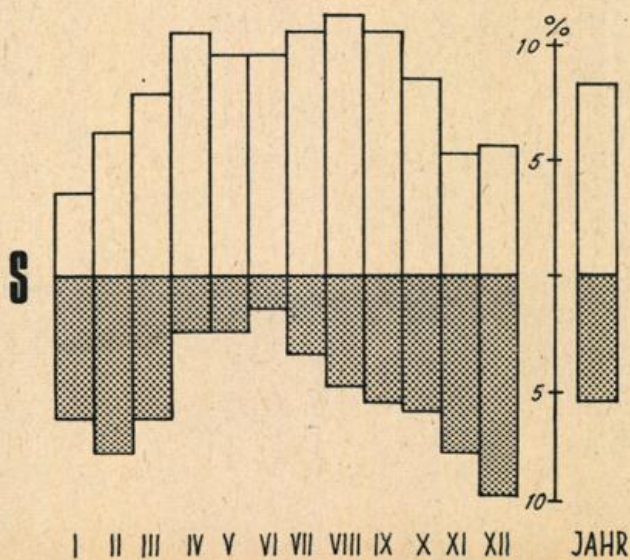
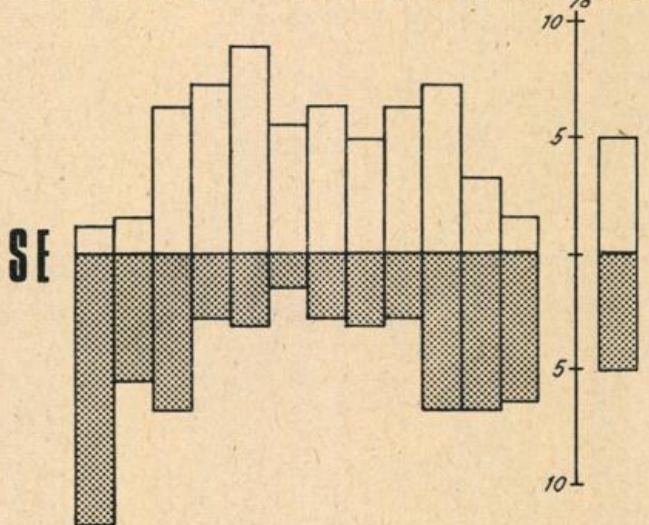
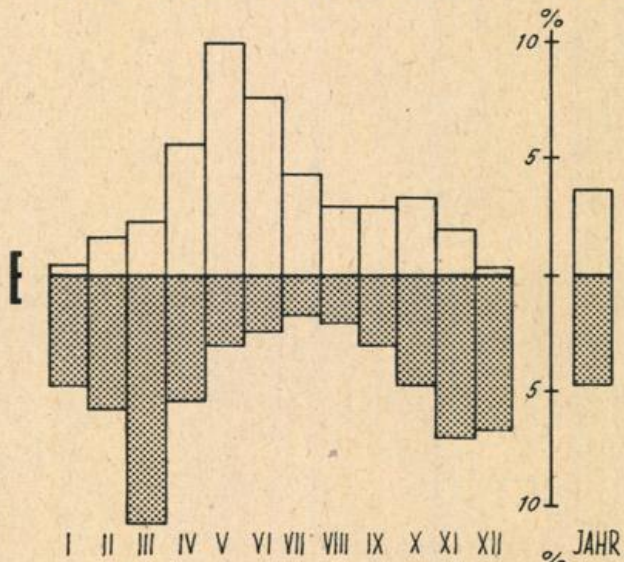
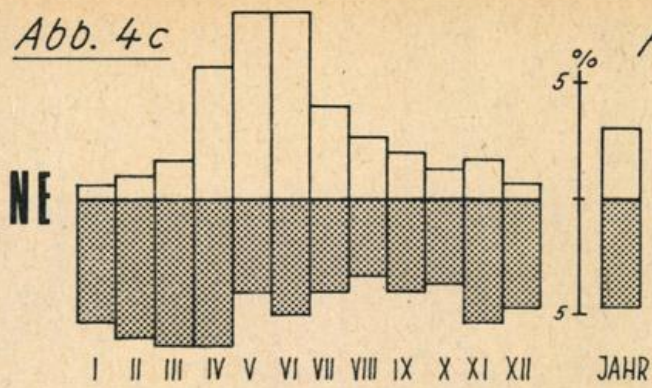
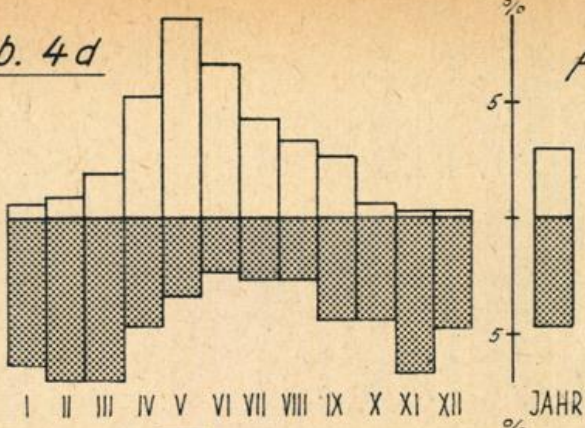
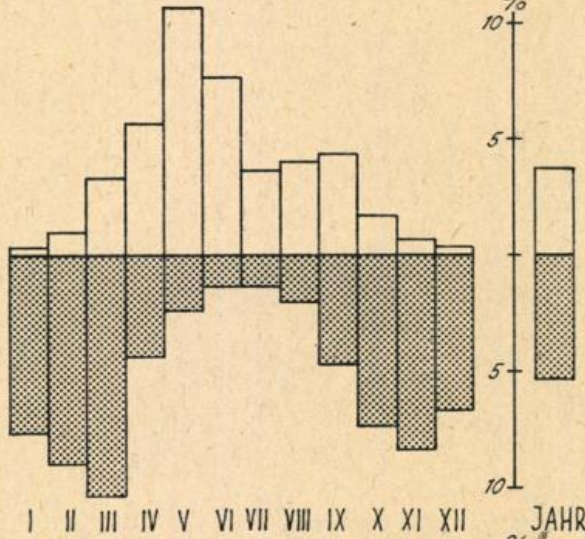


Abb. 4d

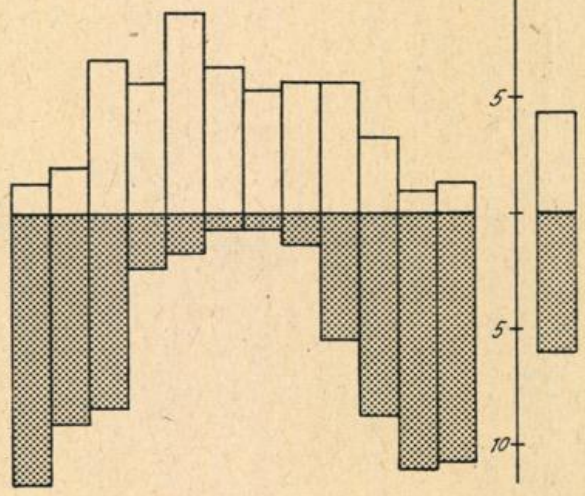
NE



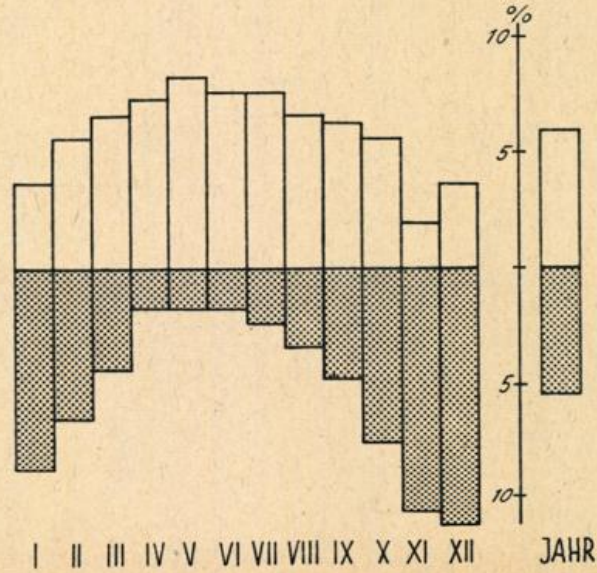
E



SE



S



Feld 4

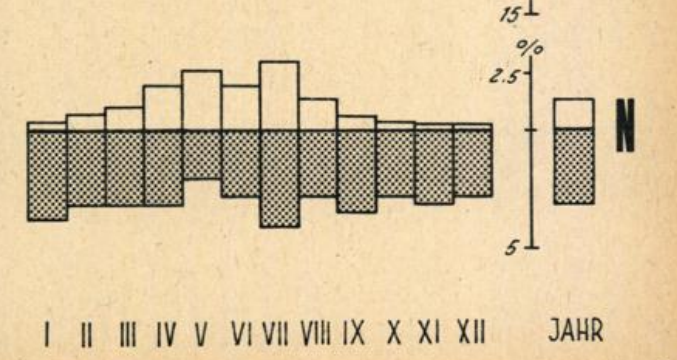
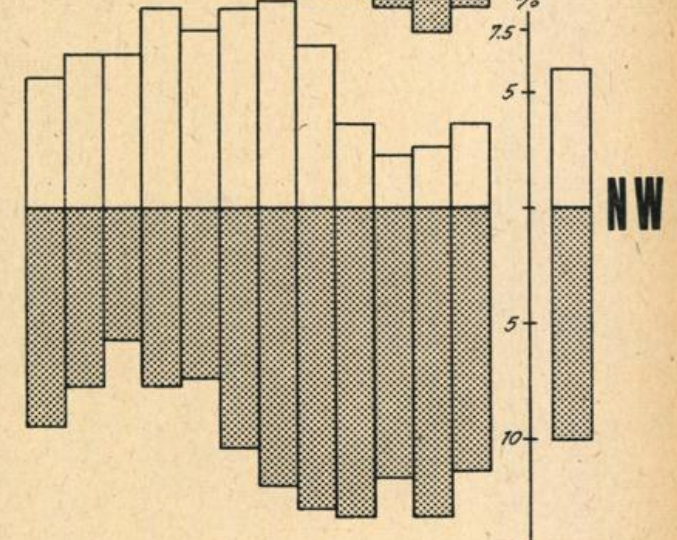
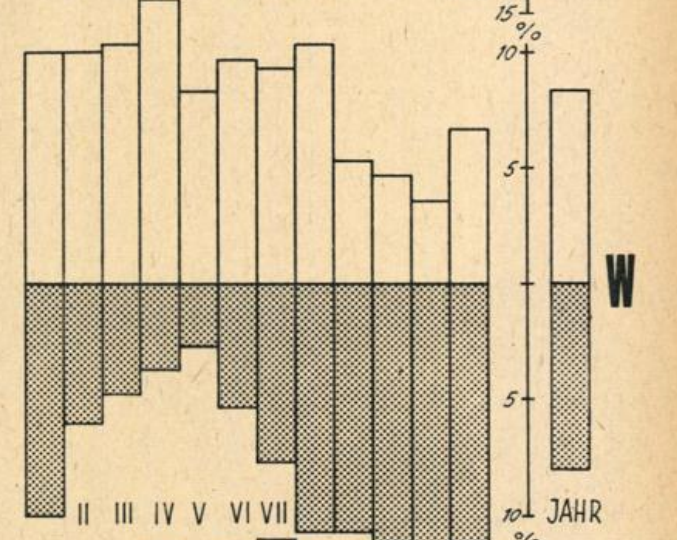
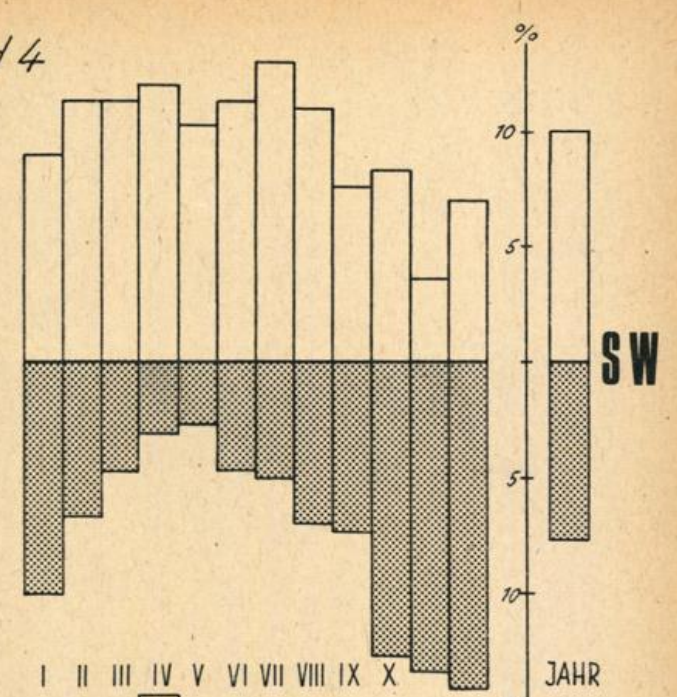
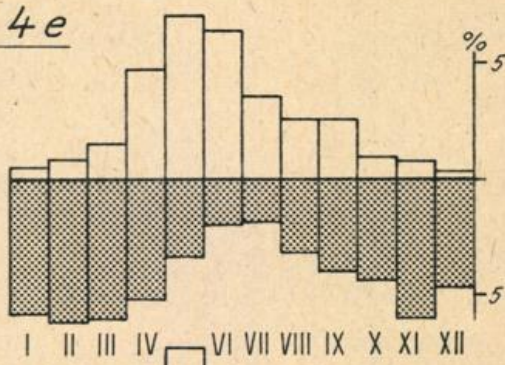


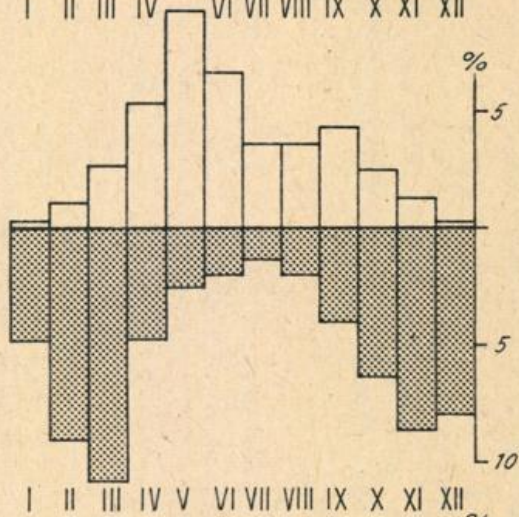
Abb. 4e

Feld 1-4

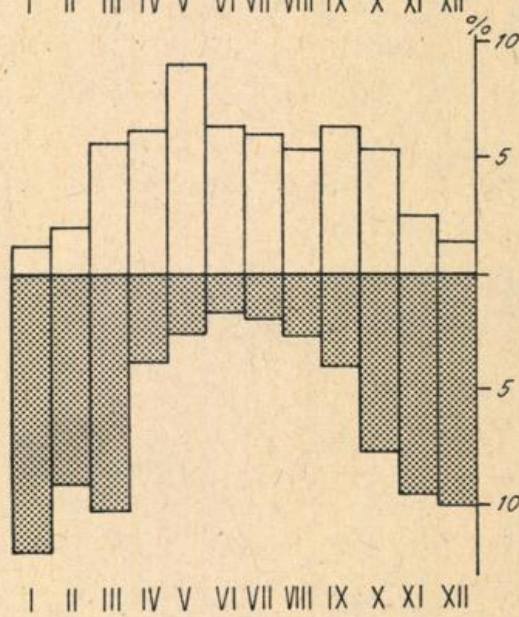
NE



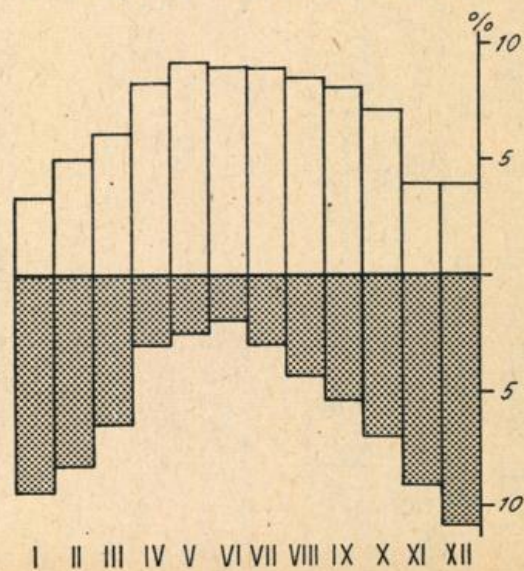
E



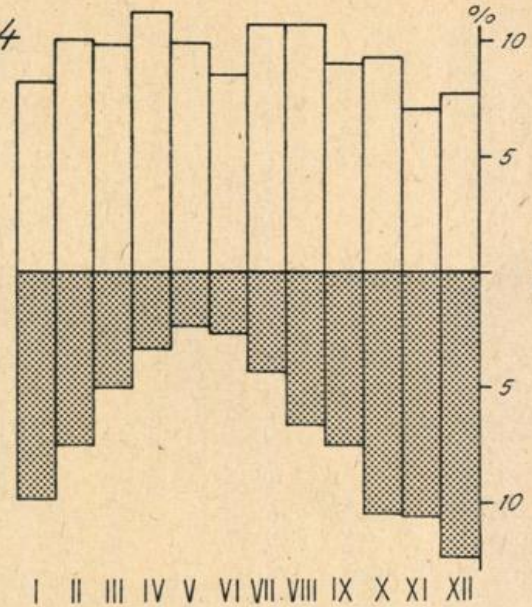
SE



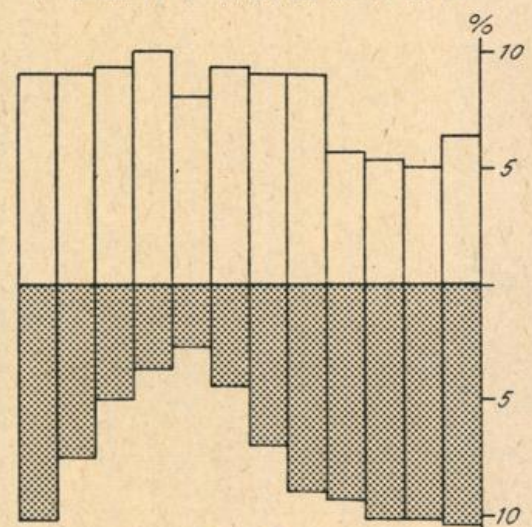
S



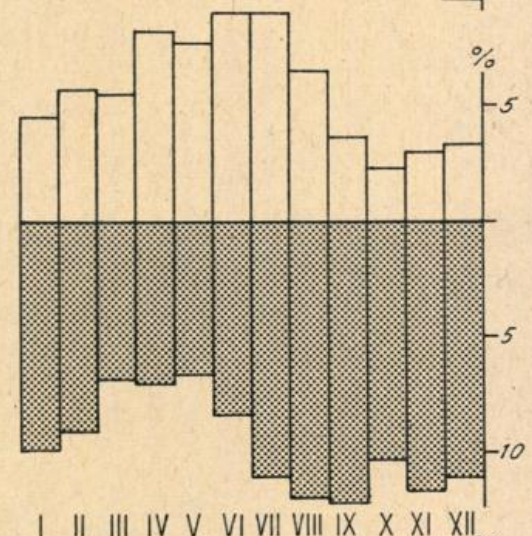
SW



W



NW



N

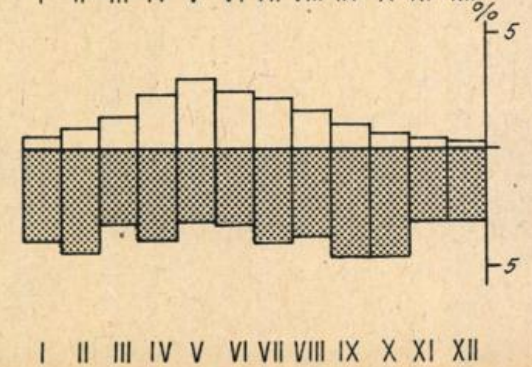
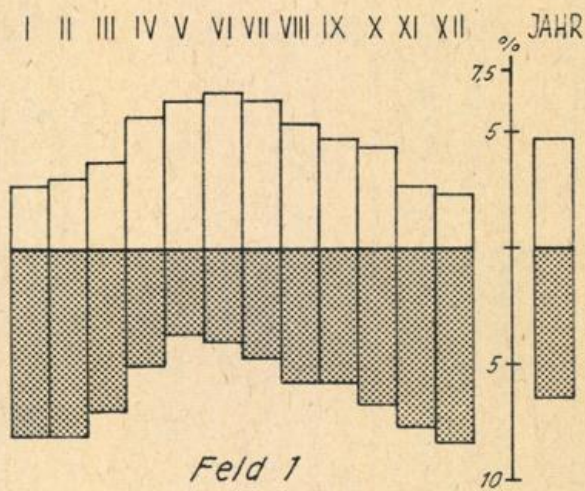


Abb. 4 f

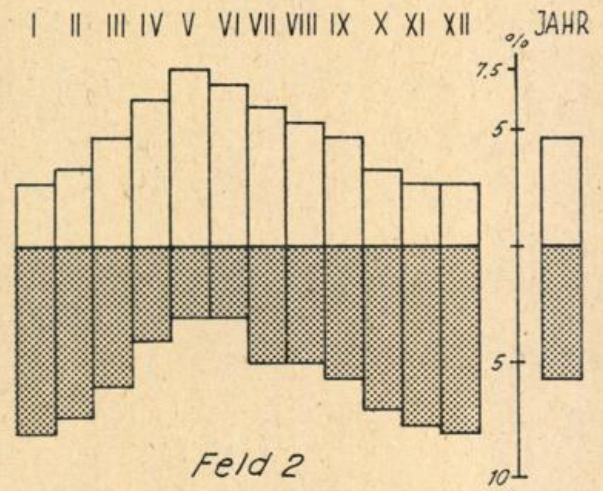
zu Abschn. 2.2
u. Tabellen 1a-1d

Jahresgang der Anteile von Warmluft u. Kaltluft (punktiert)
in den Hauptwindrichtungen; warm plus kalt und alle
Richtungen sind ein Kollektiv

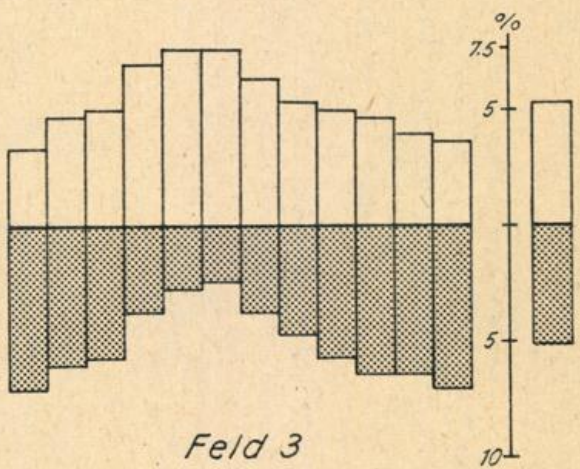
Jahresmittel aller 4 Felder



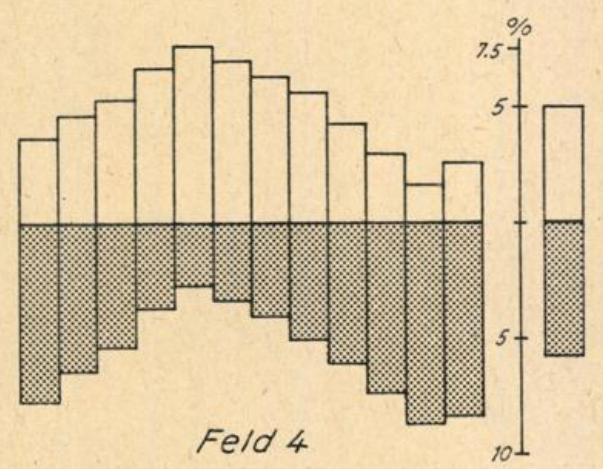
Feld 1



Feld 2



Feld 3



Feld 4

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII JAHR

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII JAHR

Feld 1-4

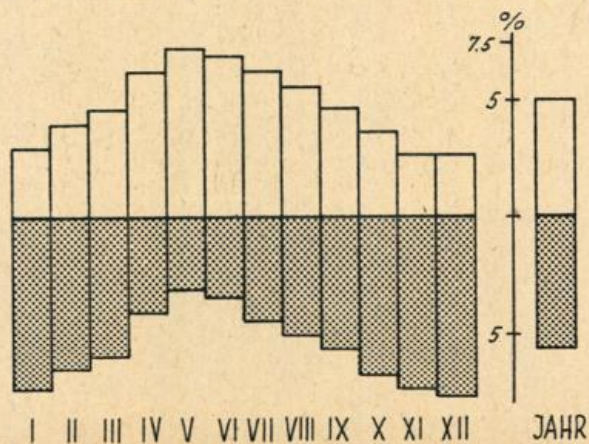
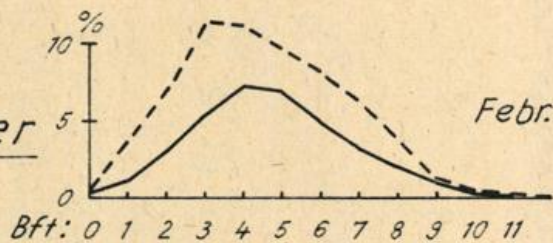
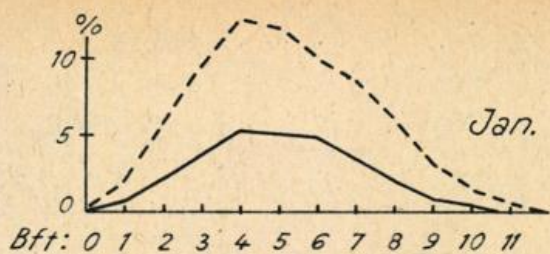


Abb. 5 Häufigkeiten der einzelnen Windstärken je Monat für Warm- und Kaltluft (gestrichelt)



alle Felder

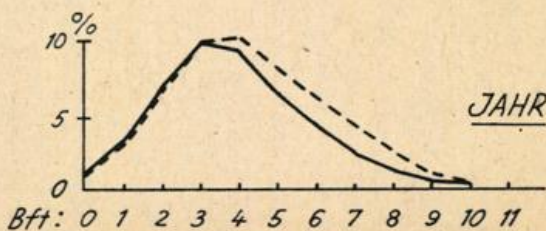
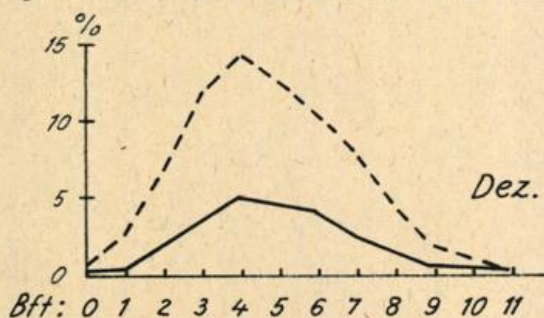
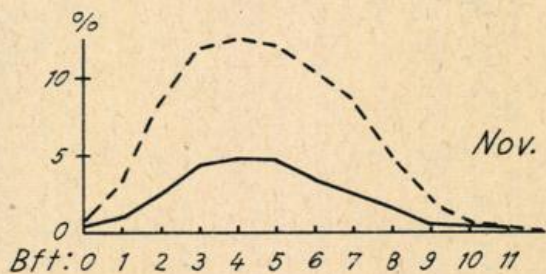
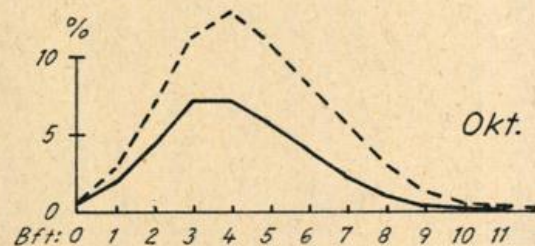
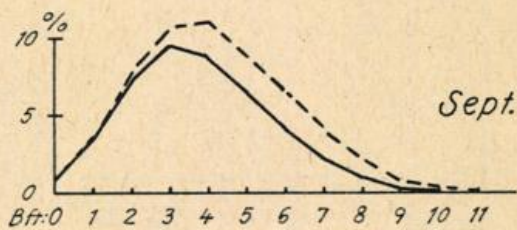
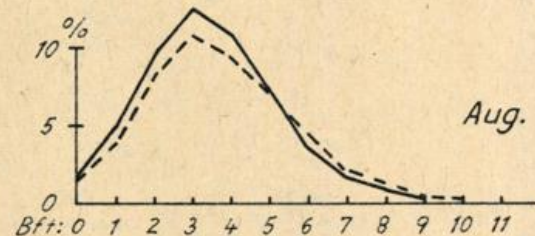
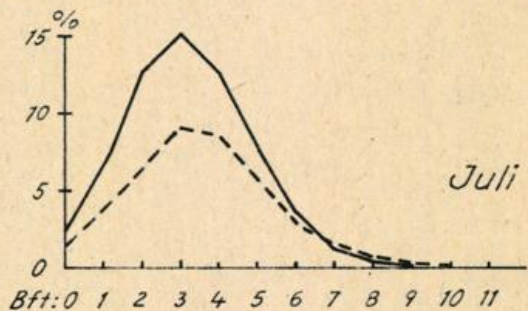
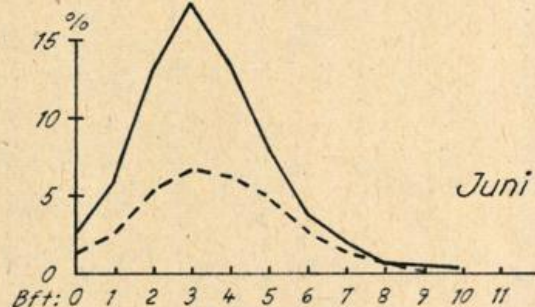
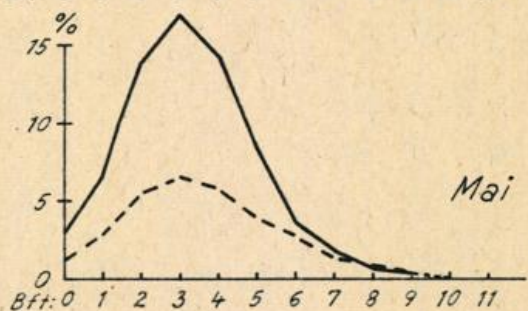
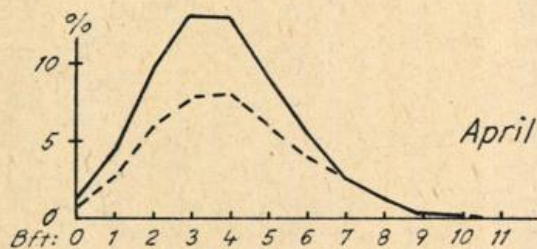
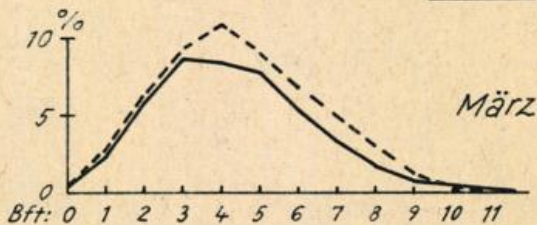


Abb. 6

Jahresgang der Häufigkeit von Warm- und Kaltluft (gestrichelt) je Windstärke

alle Felder

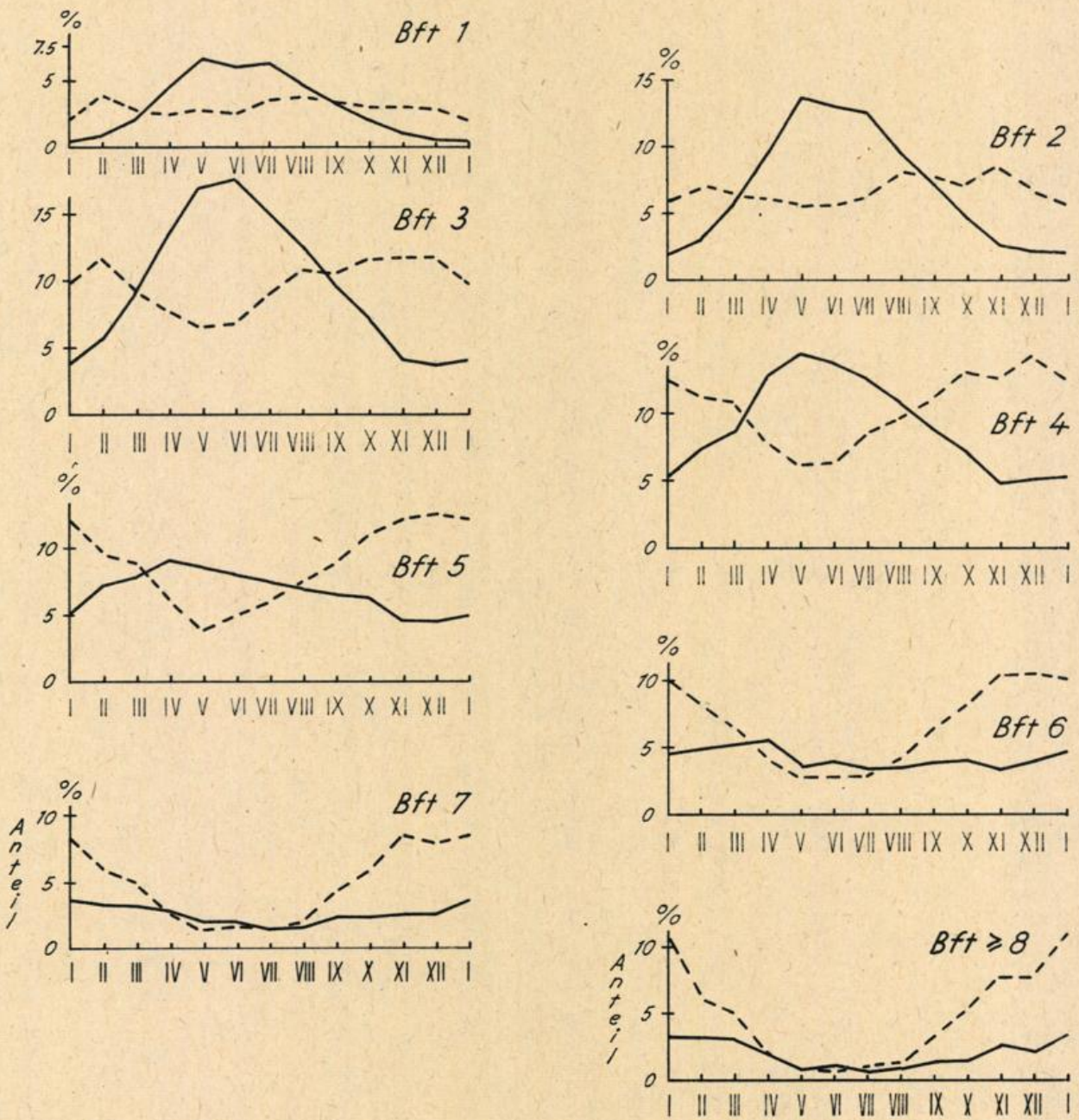


Abb. 7 Mittlere Windstärken nach Richtungen und Monaten in Beaufort; Mittel aus Feld 1 bis 4
 zu Abschn. 4.1 u. Tabelle 3

— = warm - - - = kalt

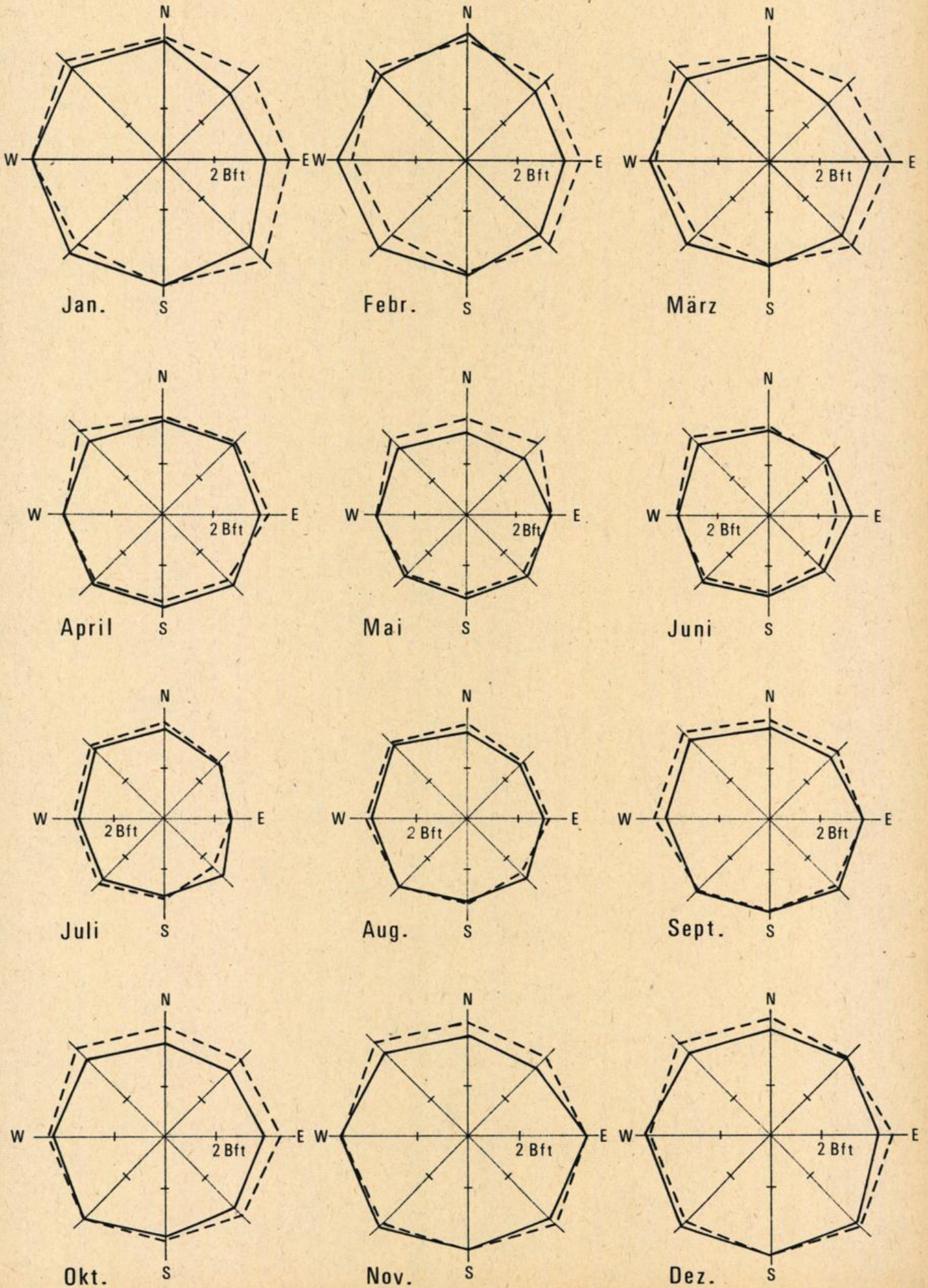


Abb. 8 Mittlere Windstärken nach Richtungen in Beaufort

zu Abschn. 4.1
u. Tabelle 3

— = warm - - - = kalt

Jahresmittel

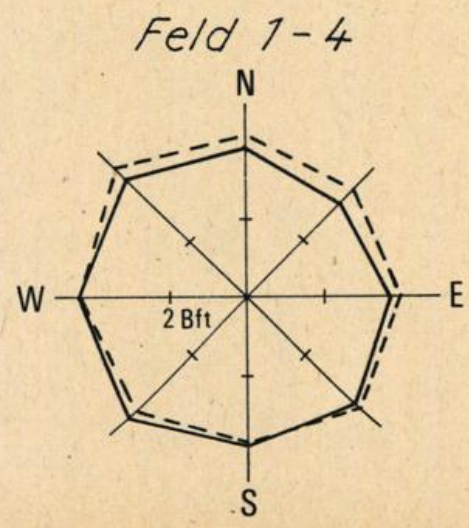
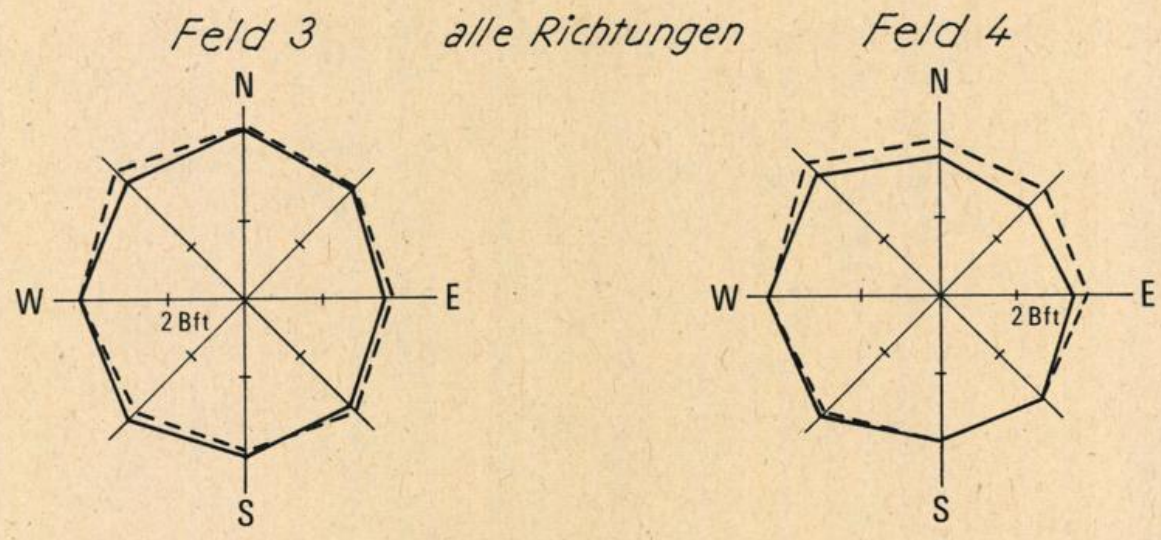
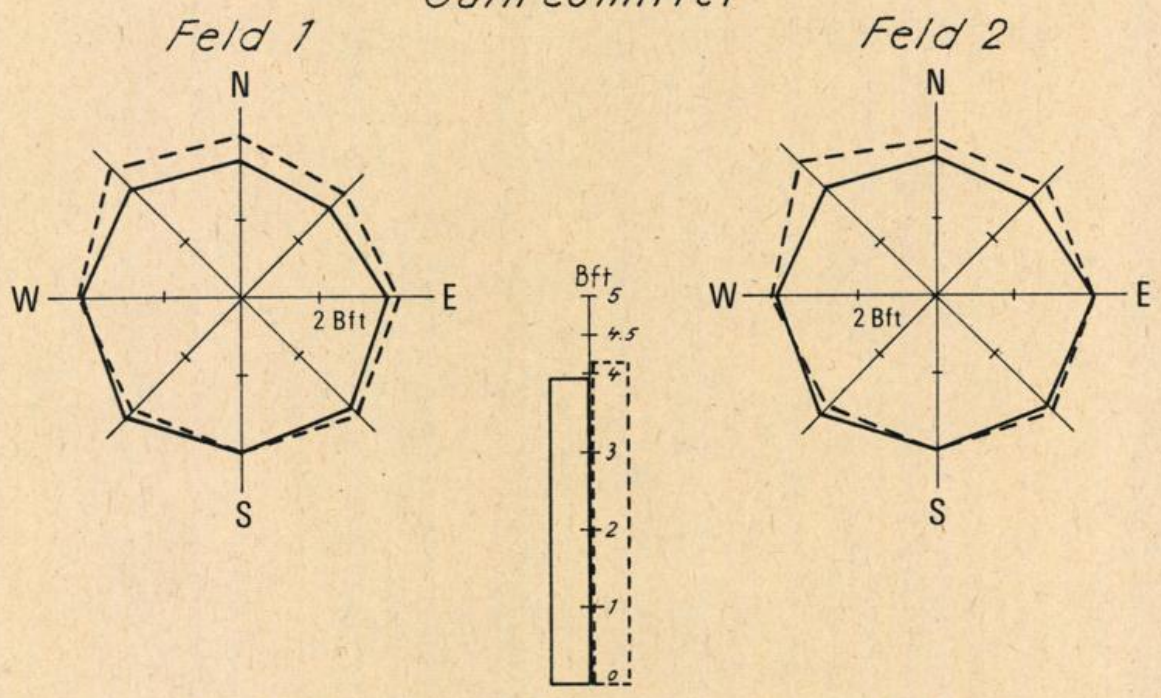
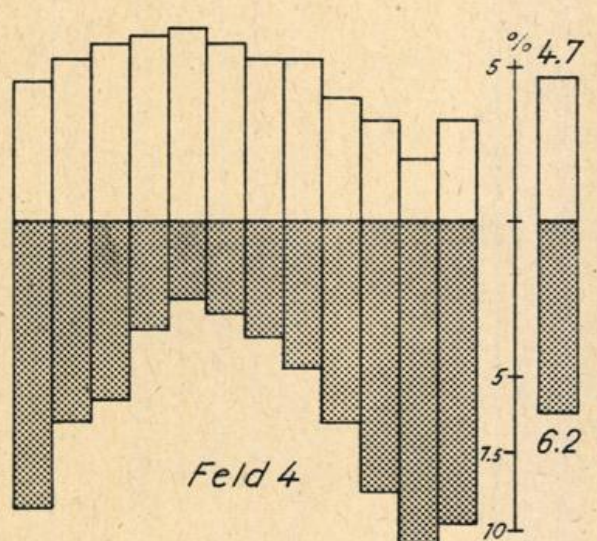
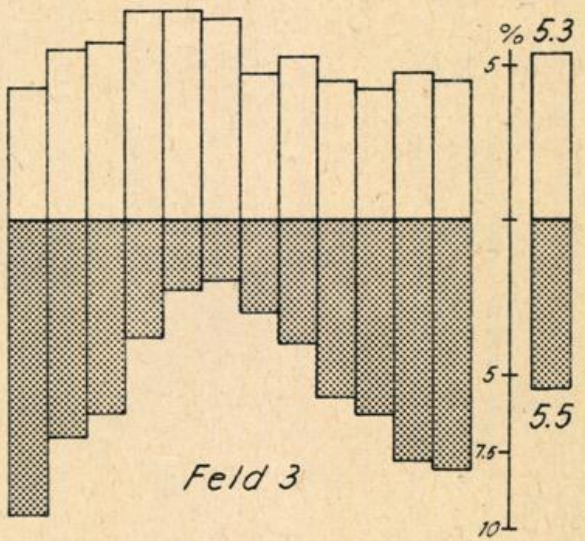
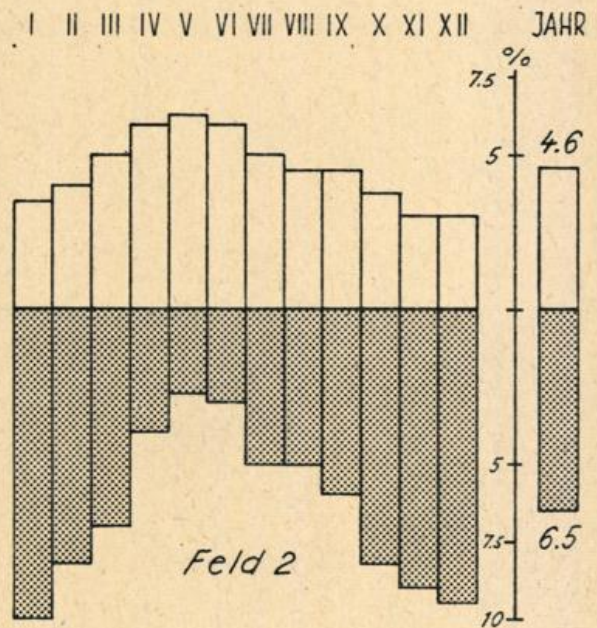
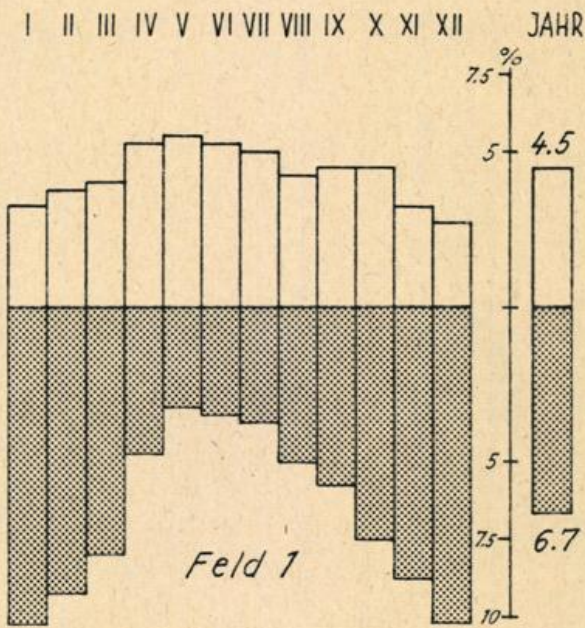


Abb. 9

zu Abschn. 4.2
sowie Tabellen 1a-1d
und 3

*Jahresgang der Advektion von Warmluft u. Kaltluft (punktiert),
nach Monaten. „Advektion“ = relativer Anteil von Warm-oder
Kaltluft mal skalares, relatives Mittel der Windstärke*

(Formel: $\% = \frac{Bft_M}{Bft_D}$)
 Bft_M = Bft - Monatsmittel
 Bft_D = Bft - Jahresmittel,
 näherungsweise = 4 gesetzt



I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII JAHR

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII JAHR

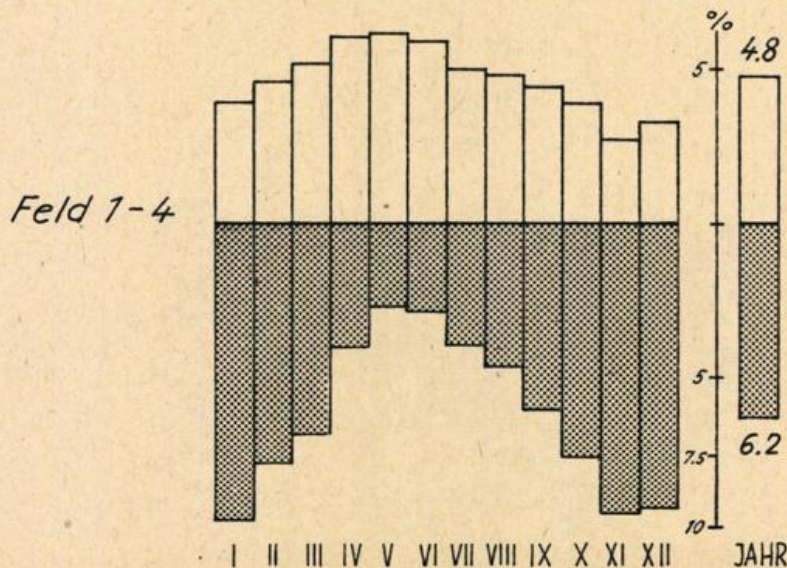


Abb. 10a Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft.
 zu Abschn. 4.3 in Warmluft und Kaltluft (gestrichelt) nach Monaten

Feld 1

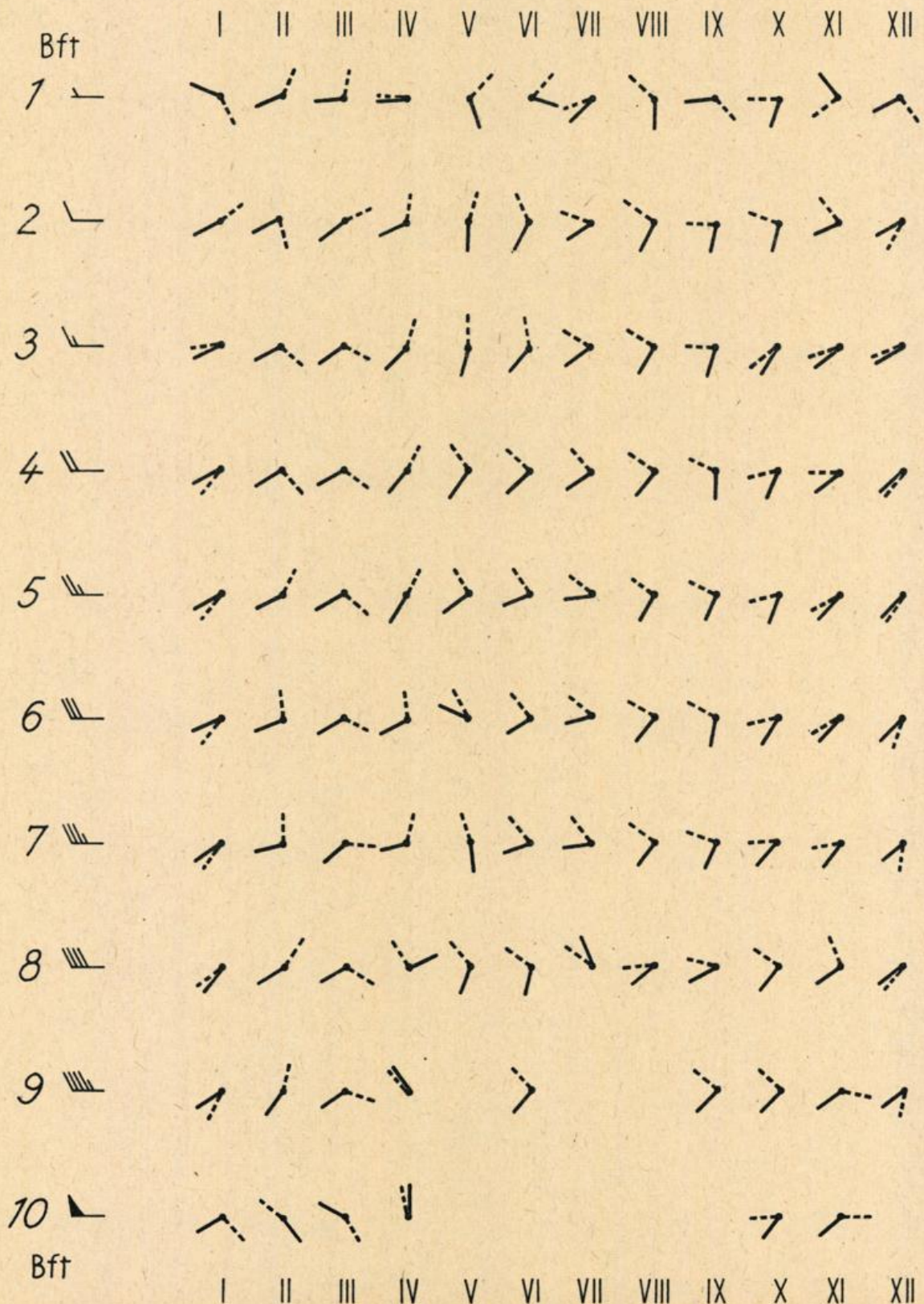


Abb. 106 Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Warmluft und Kaltluft (gestrichelt) nach Monaten

Feld 2

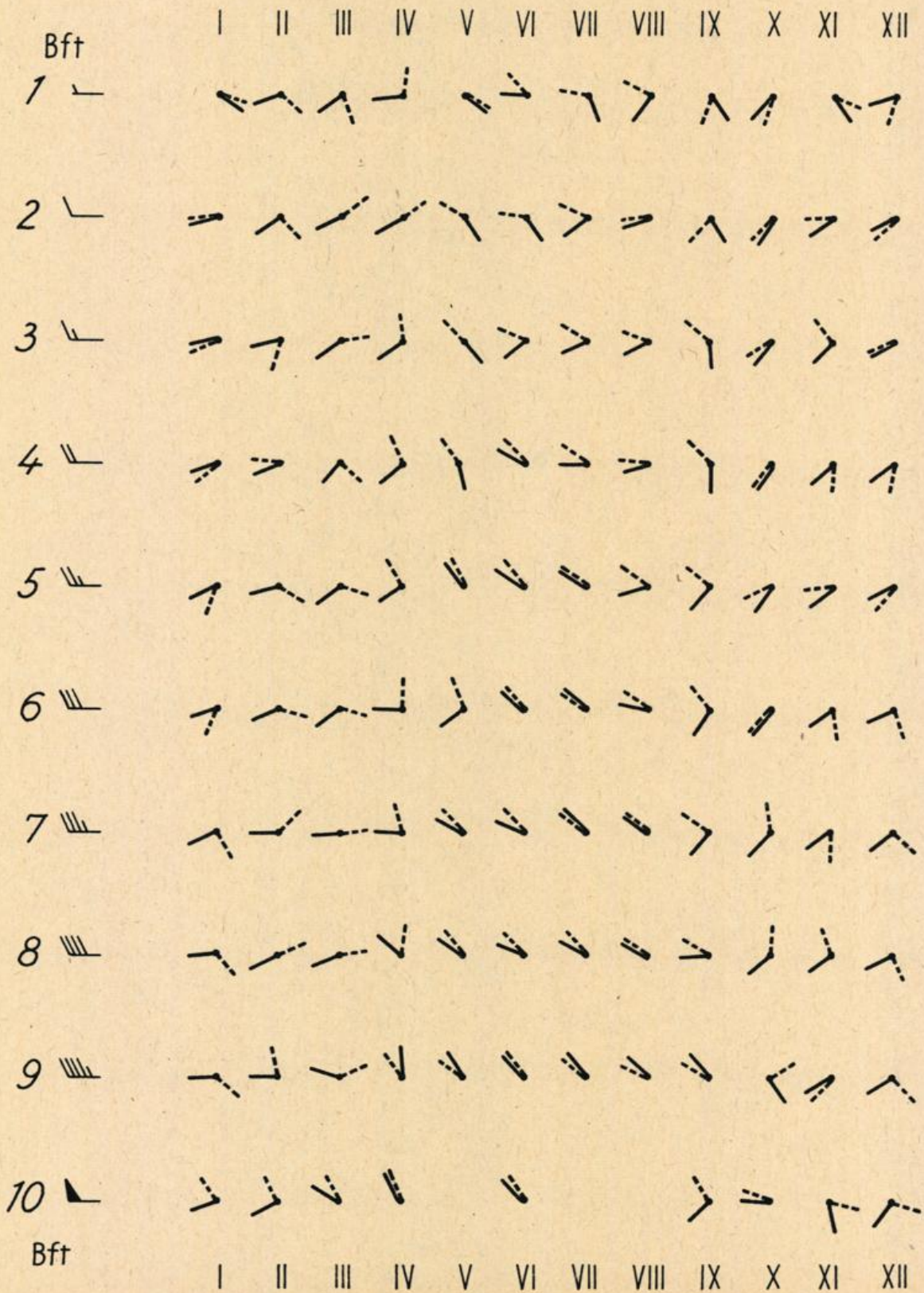


Abb. 10c Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Warmluft und Kaltluft (gestrichelt) nach Monaten

Feld 3



Abb. 10d Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Warmluft und Kaltluft (gestrichelt) nach Monaten

Feld 4

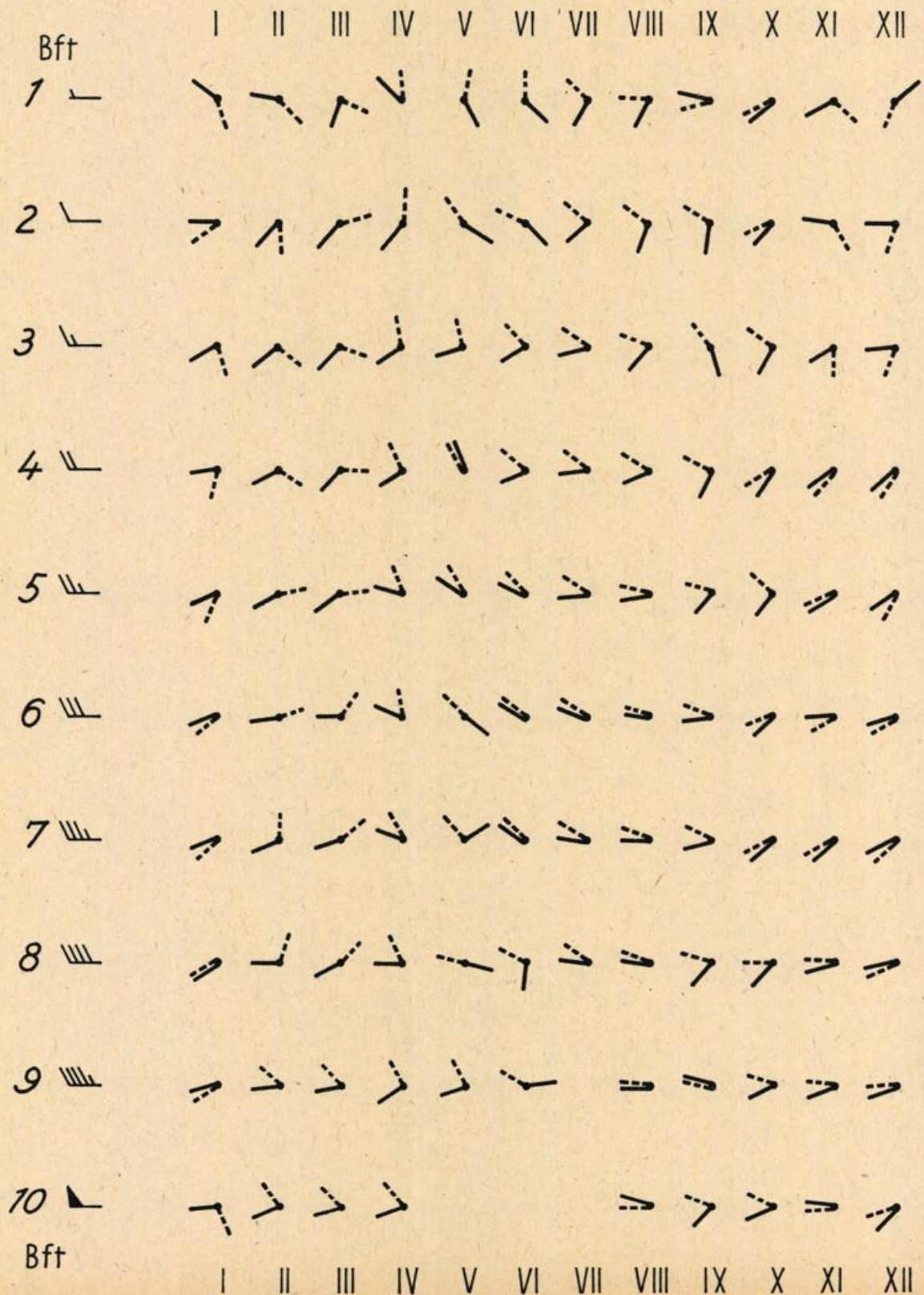


Abb. 11a Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Warmluft, pro Monat

Feld 1

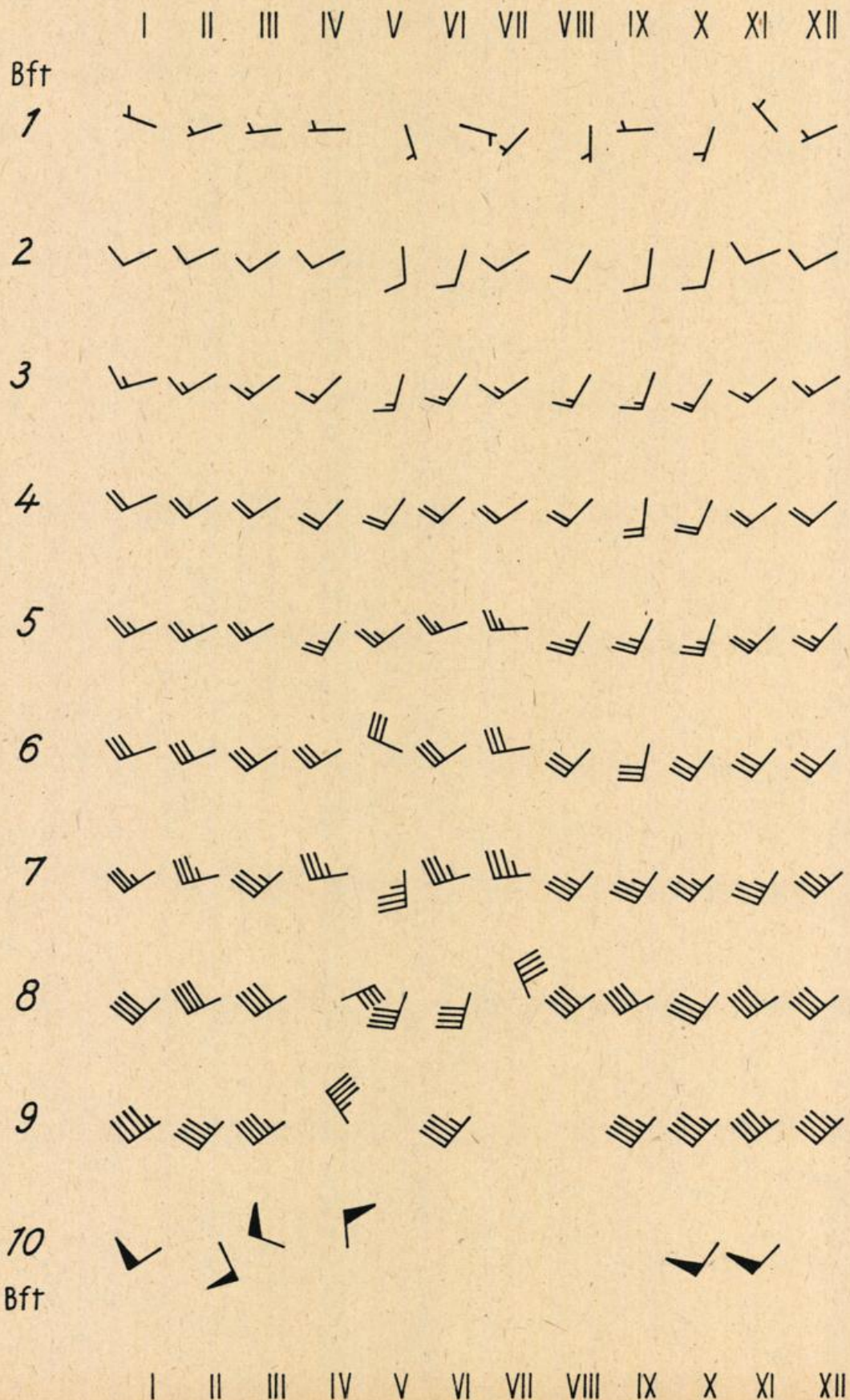


Abb. 116
zu Abschn. 4.3

Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
in Warmluft, pro Monat

Feld 2

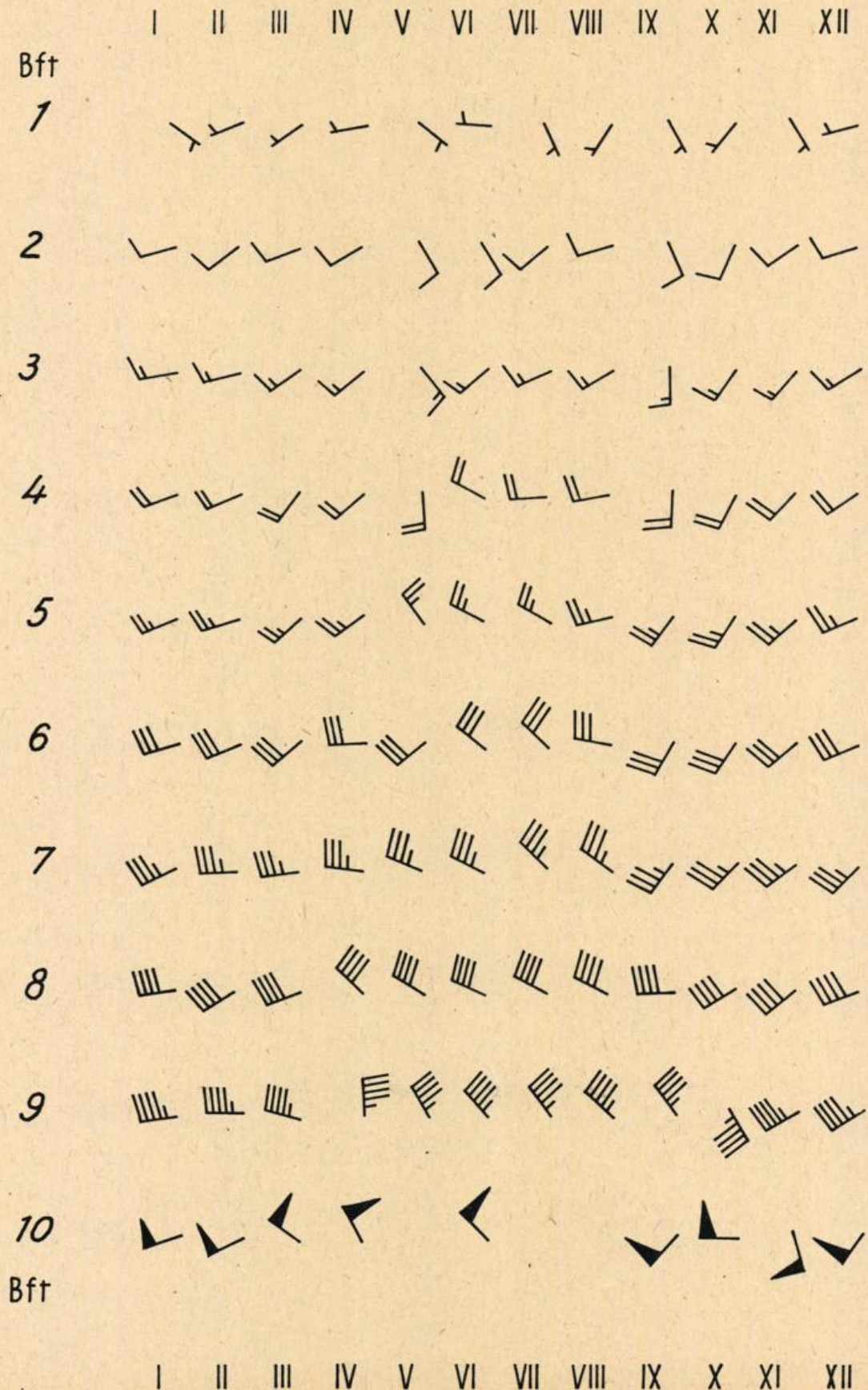


Abb. 11c *Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft*
 zu Abschn. 4.3 *in Warmluft, pro Monat*

Feld 3

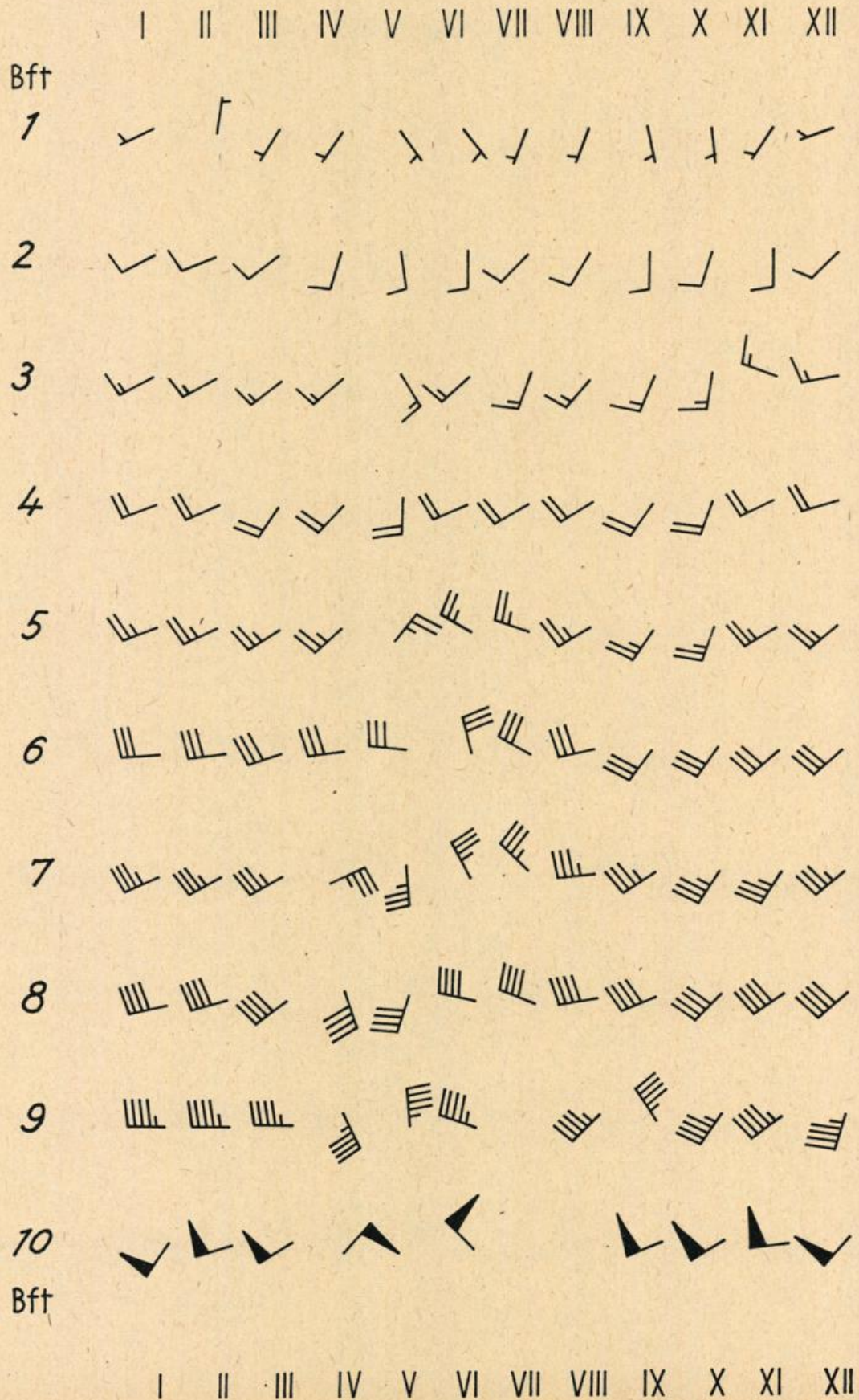


Abb. 11d Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Warmluft, pro Monat

Feld 4

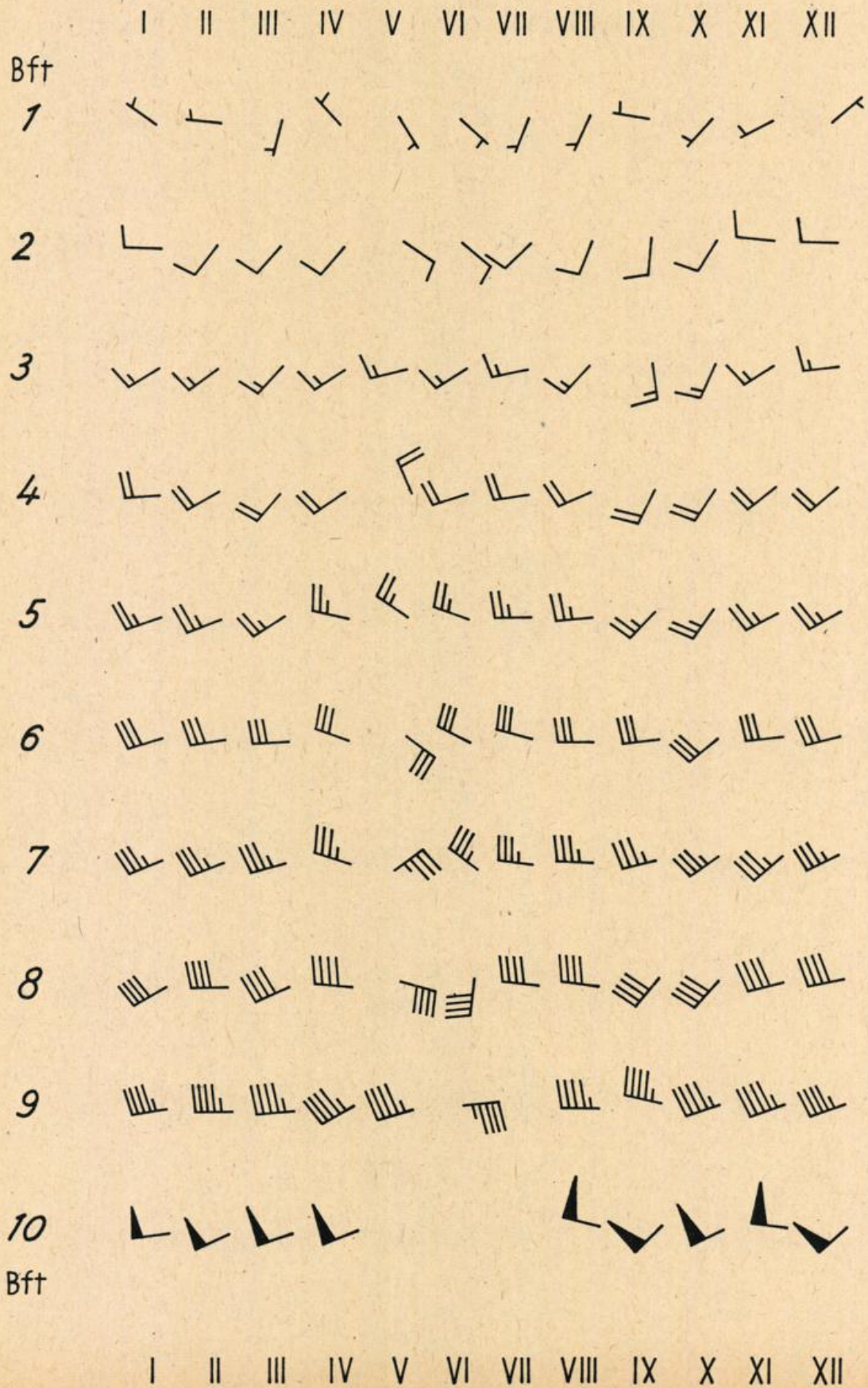


Abb. 12a Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Kaltluft, pro Monat

Feld 1

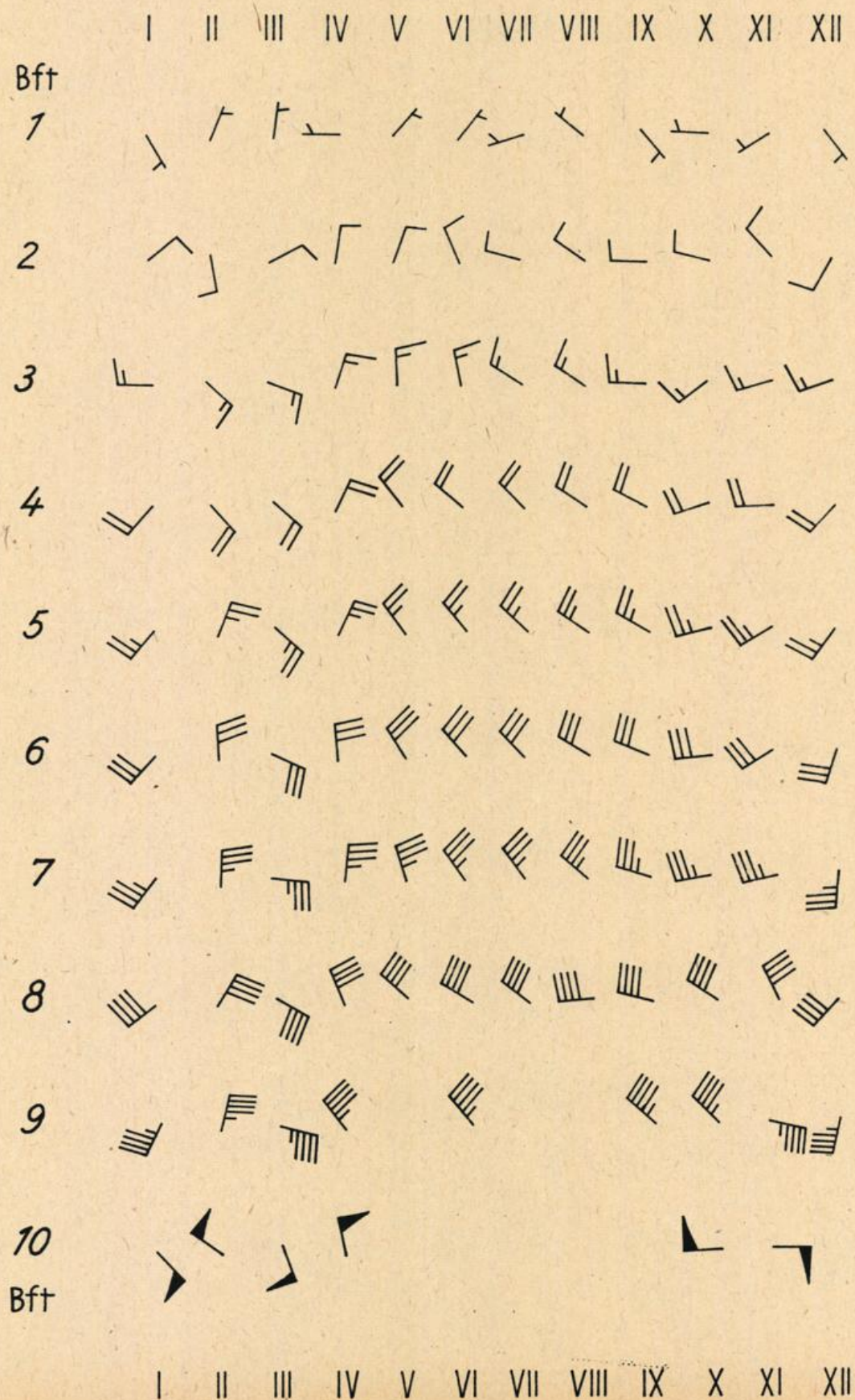


Abb. 126 Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Kaltluft, pro Monat

Feld 2

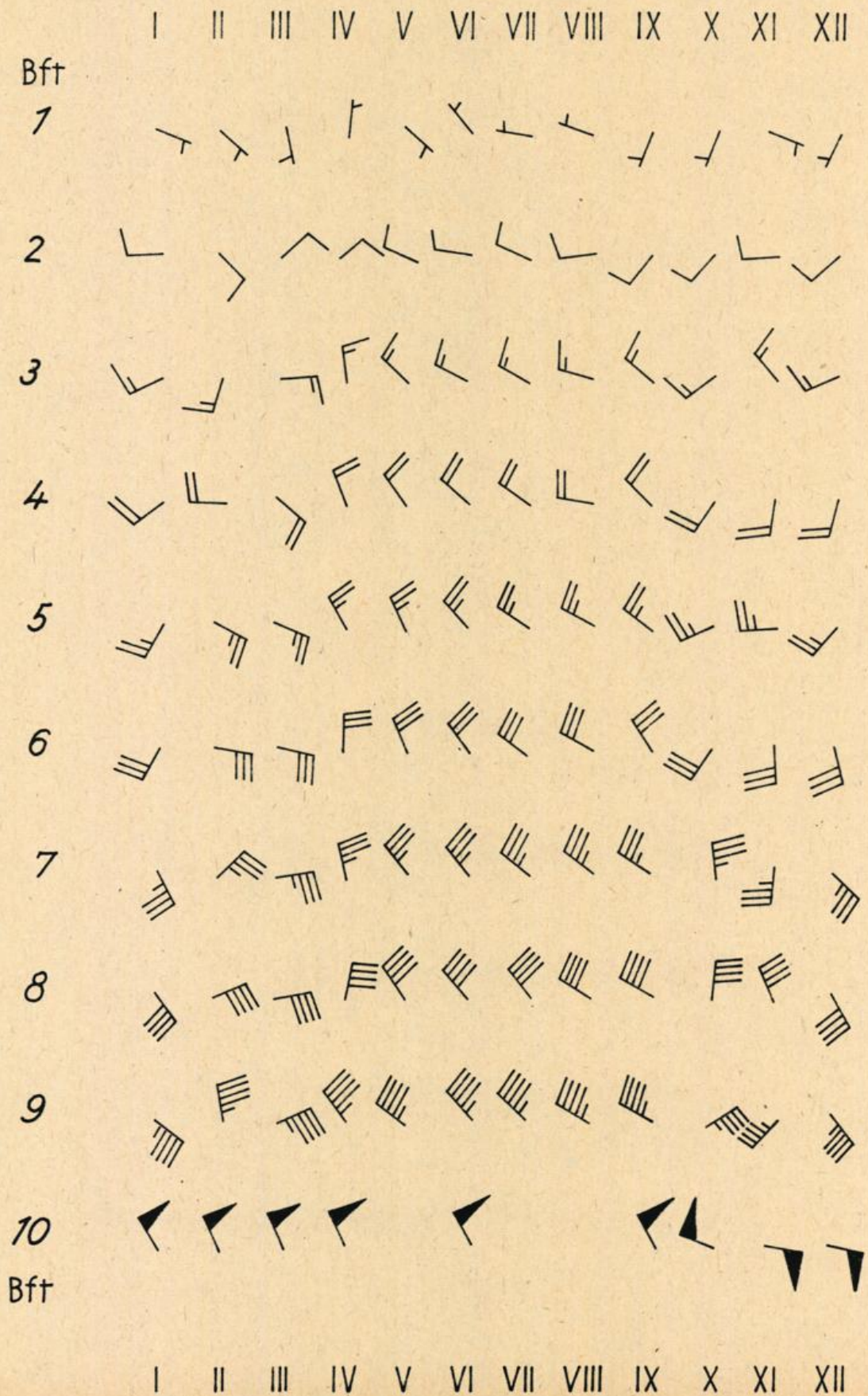


Abb. 12c Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
 zu Abschn. 4.3 in Kaltluft, pro Monat

Feld 3



Abb. 12d Mittlere Windrichtung für Windstärken 1-10 Bft
zu Abschn. 4.3 in Kaltluft, pro Monat

Feld 4

