

Die volle Auswirkung seiner vielseitigen Fähigkeiten und Interessen fand LEHMANN in den letzten Jahren in der Hinwendung zur Landschaft, besonders zur klassischen Landschaft Italiens – in Wissenschaft, Kunst und Literatur. Der Künstler in ihm hatte sich schon früher in der Kartographie und im Entwerfen von Blockdiagrammen, in Landschaftsskizzen und in der Darstellung menschlicher Situationen geäußert. Die Landschaft betrachtet LEHMANN mit vielseitigen Beziehungen zur Geschichte, zur Psychologie, zur Literatur und Kunstgeschichte. CARL GUSTAV CARUS' Landschaftsphysiognomik, J. PONTENS Landschaftsdichtung und W. HELLPACHS Geopsychologie haben ihn stark beeinflusst. Die Landschaft des Gardasees schilderte er in ihrem Wechsel der Jahreszeiten. Zu einer Studie über die Abgrenzung von „Kunstlandschaften“ wurde er durch den Kunsthistoriker HARALD KELLER ange-regt. Als historischer Geograph studierte er die Ver-änderung der Küste und der Siedlungen an der Adria seit der Antike, mit E. RODENWANDT die kulturtechnischen Landschaftsveränderungen der Maremmenküste zur Landgewinnung in der Römerzeit.

Seine Vollendung im Erlebnis der Landschaft fand er wohl in zwei seiner letzten Schriften: „Formen landschaftlicher Raumerfahrung im Spiegel der bildenden Kunst“ und „Goethe und Gregorovius vor der italienischen Landschaft“. In der ersten zeigt er nach einer psychologischen Einführung an Hand von 20 künstlerischen Landschaftswiedergaben vom Altertum bis zur Gegenwart, aus dem klassischen Süden und aus Ostasien, wie verschieden sich das Erlebnis von Raum und Landschaft in den einzelnen Kulturepochen und in Kulturreichen darstellt. Er unterscheidet drei Formen landschaftlicher Raumerfahrung durch die Kunst, die er eutopisch, atopisch und metatopisch nennt. In „Goethe und Gregorovius“ schließlich vergleicht er das Landschaftserlebnis und seine literarische Wiedergabe bei dem für alle Seiten des Lebens aufgeschlossenen, die Natur objektiv beobachtenden Goethe und bei dem romantischen Historiker Gregorovius, der hinter dem allgemeinen Erscheinungsbild der Formlandschaft eine zweite, erdachte Geschichtslandschaft erlebt. Daneben steht LEHMANNS eigenes Landschaftserlebnis, das allerdings erst durch seine Schriften, etwa über „Verzau-

berte Städte in Südwesteuropa“ (1970) deutlich wird, das wohl den Gefühlswerten, den geschichtlichen und geistigen Hintergründen gegenüber aufgeschlossen, aber auch durch die Erkenntnisse der geographischen Landschaftsforschung kausal faßbar gemacht ist. H. LEHMANN hat sein Wirken als Forscher, Künstler und Vermittler von Bildung, Kultur und Wissen zu einer fast beneidenswerten Abrundung gebracht, wofür ihm viele Menschen, die ihm als Schüler, Kollegen, Freunde, Bekannte oder Hörer seiner öffentlichen Vorträge begegnet sind, Dank wissen.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen von H. LEHMANN
II. Teil

(I. Teil in ERDKUNDE, Bd. XX, 1966, S. 3–5).

- Kartographische Geländedarstellung. Mitt. Fränk. Geogr. Ges., Bd. 13/14, 1966/67, S. 403–408.
- Morphologie der Mitchell-Plain und Pennyroyal-Plain in Indiana u. Kentucky. Tag. Ber. u. Wiss. Abh., Dt. Geogr. Tag Bad Godesberg, 1967, Wiesbaden 1969, S. 359–366.
- Goethe und Gregorovius vor der italienischen Landschaft. Sitz. Ber. d. Wiss. Ges. a. d. J. W. Goethe-Univ., Bd. 3, Jg. 1964, Nr. 5, Wiesbaden 1967. 32 S.
- Die Karstlandschaften der Erde in vergleichender Sicht. Mitt. d. Verbandes Dt. Höhlen- u. Karstforscher, 13. Jg., Nr. 1, München 1967. S. 21–24.
- Formen landschaftlicher Raumerfahrung im Spiegel der bildenden Kunst. Erlanger Geogr. Arb., H. 22, Erlangen 1968. 24 S.
- Diskussionsbemerkungen zu V. PANOS und STELCEL: Zeitschr. f. Geomorphologie, N. F. Bd. 12. Berlin 1968, S. 171–173.
- HARMS ERDKUNDE, Bd. II, Europa. 20. Auflage, München 1969. 514 S.
- Bau und Formenreichtum der Erde. in: HINRICHS Illustrierte Welt- und Länderkunde in drei Bänden. Zürich 1969. Bd. I: Die Erde als Schöpfung, S. 72–206.
- Über „Verzauberte Städte“ in Carbonatgesteinen Südwesteuropas. Sitz. Ber. Wiss. Ges. a. d. J. W. Goethe-Univ., Bd. 8, Jg. 1969, Nr. 2. Wiesbaden 1970. 24 S.
- Kegelkarst und Tropengrenze. Tübinger Geogr. Studien, H. 34 (Sonderband 3) 1970. S. 107–112.
- Karstphänomene im nordmediterranen Raum. Erscheint im Sammelband über das Frankfurter Karst-Symposium 1971.
- HARMS ERDKUNDE, Bd. IV, Asien. 11. Aufl. München. Erscheint postum. CARL TROLL

DIE HÄUFIGKEIT METEOROLOGISCHER FRONTEN ÜBER EUROPA UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE KLIMATISCHE GLIEDERUNG DES KONTINENTS

– Ein Beitrag zur synoptischen Klimageographie –

Mit 6 Abbildungen, 2 Luftbildern und 2 Tabellen

WOLFGANG ERIKSEN

Summary: The frequency of meteorological fronts over Europe and its significance for the climatic division of the continent

Analysis of the frequency distribution of meteorological fronts in the European area cannot lead to a distinctive cli-

matic division of the area. With, however, the help of this analysis, a satisfactory explanation can be given for general climatic phenomena which have not until now been adequately dealt with, such as the regional distribution of cloud and sunshine duration, or precipitation regime, which often

shows pronounced variations over small areas. The frontal frequency, which is influenced by the major relief forms of the continent, especially barrier mountain ranges, is revealed as a clear climatic influence in its spatial-temporal changes. The analysis was able to contribute to a genetic justification of existing climatic classifications (especially the division based on seasonal climates of the earth, cf. TROLL/PAFFEN 1964) and to provide suggestion for a more detailed differentiation of the main climatic areas which, in almost all classifications, are often very large. The very different regional and seasonal frequencies of fronts (in total and according to type) could be the basis for such a sub-division.

Die Anzahl der Versuche, den europäischen Kontinent klimatisch zu gliedern, ist – unter Einschluß von Klimakarten der ganzen Erde – außerordentlich groß und kaum noch zu überblicken. Die Tatsache, daß es immer wieder zu neuen Analysen und Klassifikationsansätzen gekommen ist, die fast stets zu unterschiedlichen Raumgliederungen führten (vgl. besonders die Kartenbeispiele bei KNOCH/SCHULZE 1952), hat seine tieferen Ursachen nicht zuletzt in der sachlichen und methodischen Problematik des Themas. Zu komplex sind die den regionalen Klimadifferenzierungen zugrunde liegenden atmosphärisch-physikalischen Prozesse und Zusammenhänge, die täglich auf den amtlichen Wetterkarten nur in erster Annäherung zur Darstellung gebracht werden können und die in ihrer klimatischen Relevanz zugleich durch vielfältige Wechselbeziehungen mit der Gliederung und den Formen der Erdoberfläche modifiziert werden. Schon geringfügige, subjektiv begründete Veränderungen der elementaren Schwellenwerte führen bei den einzelnen Autoren zu teilweise völlig unterschiedlichen Begrenzungen der Klimaregionen, deren Realität man durch den Vergleich mit der Vegetation, den Abflußregimen o. ä. nachzuweisen versucht.

Ein noch weitgehend ungelöstes Kernproblem blieb stets die Frage nach den genetischen Ursachen der räumlichen Vielfalt der Klimate. Trotz aller Geschlossenheit einer Klimaregion aufgrund von Schwellenwerten der Temperatur und/oder der Niederschläge stößt man beispielsweise immer wieder auf das Problem, wie man die zu einer bestimmten Zeit regional völlig unterschiedlichen Witterungsverhältnisse innerhalb dieser Zone erklären soll. Oder man fragt sich, wie es zu begründen sei, daß kleinräumige benachbarte Gebiete ohne größere Reliefunterschiede durch zeitlich absolut divergierende Niederschlagsregime (Jahreszeitenmaxima) geprägt werden. Oder – um nur noch ein Problem zu nennen – es bleibt ungeklärt, aus welchem Grunde die großräumige Verteilung von Sonnenscheindauer bzw. Wolkenbedeckung teilweise weder eine direkte Beziehung zur Breitenlage noch zur Land-See-Verteilung oder Reliefgestaltung der Kontinente aufweist.

Nun handelt es sich bei allen hier nur kurz ange deuteten Problemen und Fakten eindeutig um Phänomene, die in einem mehr oder weniger engen direkten

Zusammenhang mit dem Wetter- und Witterungs geschehen der einzelnen Erdräume stehen. Es liegt also nahe, die Frage zu stellen, inwieweit eventuell diese zeitlich-räumlichen Differenzen der Klimaregionen durch regelhaft auftretende wetter- und witterungswirksame dynamische Prozesse bedingt sind. Da diese Wetterwirksamkeit – bezogen auf die meisten Klimatelemente – letztlich in hohem Maße durch das Frontalgeschehen (differenziert nach Arten und Häufigkeiten der Fronten) begründet und gesteuert wird, soll hier die Hypothese aufgestellt werden, daß eine Analyse der den amtlichen Wetterkarten zu entnehmenden Frontenhäufigkeit in ihrem zeitlichen und räumlichen Wechsel neue und tiefere Einblicke in die genetischen Zusammenhänge der Klimate in den verschiedenen Erdräumen zu geben vermag.

Zur Beantwortung der oben skizzierten offenen Fragen sollen im folgenden am Beispiel Europas mit den Methoden der synoptisch-dynamischen Klimatologie (vgl. SCHIRMER 1955, DAMMANN 1960 u. 1963, BLÜTHGEN 1965 u. WEISCHET 1969) klimatologische Zusammenhänge aufgedeckt werden, die zwar in den allgemeinen Grundzügen als Fakten bekannt sind (Abhängigkeit der Klimate von der Gliederung der Erdoberfläche und von der jahreszeitlichen Verlagerung der Frontalzone, vgl. z. B. FLOHN 1951), die jedoch noch nicht ausreichend begründet und quantitativ erfaßt werden konnten¹⁾.

1. Zur Methode und Problematik der Untersuchung

Für einen Zeitraum von 5 Jahren (1958–1962) wurden sämtliche Fronten (gesondert nach Okklusionen, Kalt- und Warmfronten) der Wetterkarte des Seewetteramtes Hamburg ausgezählt und nach monatlichen und jahreszeitlichen Häufigkeiten aufgeschlüsselt. Um erforderliche Umrechnungen zu vermeiden, wurde im Gegensatz zu ähnlichen Untersuchungen (vgl. z. B. DAMMANN 1960) nicht nach Gradfeldern, sondern nach einem auf die Wetterkarte gelegten Quadratgitternetz ausgezählt. Wenn sich auch Gitternetz und Gradnetz in verschiedenen Winkeln schneiden, so zeigen die Auszählungen doch, daß der im Durchschnitt breitenkreisparallele Verlauf der „Isofronten“ (Linien gleicher Frontenhäufigkeit) nicht durch den starren Zählrahmen beeinflusst wird.

Insgesamt wurden die Frontendurchgänge von 1825 Tagen ausgezählt, d. h. es wurden bei durchschnittlich mehr als 10 Einzelfronten je Tageskarte rd. 19–20 000 Fronten erfaßt. Wenn auch prinzipiell ein längerer Untersuchungszeitraum wünschenswert wäre (vgl. dazu SCULTETUS 1969), so wird dieses Gesamtkollektiv doch als ausreichend groß angesehen,

¹⁾ Erste Ergebnisse einer derartigen synoptisch-klimatologischen Untersuchung wurden vom Verf. auf dem Geographentag in Kiel 1969 vorgetragen (vgl. ERIKSEN 1970).

um zu statistisch signifikanten Ergebnissen in der Aussage zu gelangen. Für einen Einzelbearbeiter ist eine Ausweitung des Untersuchungszeitraumes auf Grund der Fülle des Materials kaum möglich. Auch eine detailliertere Frontenanalyse – etwa in Anlehnung an die von FAUST (1951) klassifizierten Untertypen der Kaltfronten – muß einer Spezialuntersuchung überlassen bleiben, da die verwendete Wetterkarte zwar für die Zwecke der Auszählung sehr übersichtlich gestaltet ist, eine weitergehende Frontenklassifizierung jedoch nicht zuläßt.

Ein viel gewichtigeres Problem könnte die Frage aufwerfen, inwieweit die auf der Wetterkarte erfaßten Fronten überhaupt reale und damit einer Analyse zugängliche Gebilde sind. Nachdem man in der Meteorologie erkannt hatte, daß eine klare, d. h. objektive Bestimmung und Begrenzung von Luftkörpern und Luftmassen kaum möglich ist und daß die atmosphärischen Prozesse in größeren Höhen (Strahlströme!) die eigentlichen wetterbestimmenden und -steuernden Faktoren sind, hat man auch an der meteorologischen Relevanz der Fronten und an der Auffassung, die diskontinuierlichen Grenzflächen zwischen den Luftmassen räumlich exakt fixieren zu können, wesentliche Abstriche vornehmen müssen (vgl. FLOHN 1958). Zu dieser kritischeren Einstellung gelangte man sowohl durch neuere aerologische Messungen und vielfältige Untersuchungen über den Aufbau und die Typen von Fronten (vgl. z. B. SCHWERDTFEGER 1948 u. FAUST 1951), wie auch auf Grund der Erkenntnis, daß das vorhandene Stationsnetz insbesondere auf den Ozeanen und in den Hochgebirgen generell zu weitmaschig ist, um zu einer präzisen und an meßbaren Daten orientierten objektiven Fixierung von Fronten zu gelangen.

Trotz dieser grundlegenden und sehr ernst zu nehmenden Bedenken und Einschränkungen hat nun allerdings die Front als wichtigstes atmosphärisches Strukturelement im Rahmen der Synoptik noch keineswegs ihre Bedeutung verloren. Die in neuester Zeit vorliegenden Satellitenfotos beweisen vielmehr in sehr eindringlicher Weise, wie richtig die Grundzüge des Zyklonen- und Frontenschemas bisher von der Erdoberfläche aus erkannt worden sind (vgl. BUSCHNER 1967, SCHERHAG 1968), wenn auch im einzelnen aufgrund der Wolkenfotografien Korrekturen an den früheren Auffassungen vorgenommen werden müssen. Die Wolkenfelder veranschaulichen die Wetterwirksamkeit der Fronten sehr einprägsam, ohne jedoch exakte Daten (z. B. zur Niederschlagsmenge oder Sonnenscheindauer) liefern zu können und ohne die wirklich exakte Lage der Diskontinuitätsfläche zu markieren. Die daraus auch weiterhin resultierenden Schwierigkeiten der räumlichen Fixierung werden bei der vorliegenden Untersuchung durch die Größe der Zählrahmen (Seitenlänge 1,5 cm) weitgehend ausgeglichen.

Wenn auch für die Praxis der – bezogen auf Konti-

nente – großräumigen Wetteranalyse und -vorhersage die Höhenströmungen inzwischen eine größere Bedeutung erlangt haben, so bleiben doch die Fronten für kleinräumige Analysen – bezogen auf Länder und Landesteile – nach wie vor die wichtigsten Strukturelemente der Wetterkarten. Daß ihrer Verwendung als Arbeitsgrundlage der vorliegenden Untersuchung keine prinzipiellen Einschränkungen entgegenstehen (insbesondere im Hinblick auf die unten genauer zu analysierenden Niederschlags- und Bewölkungsverhältnisse), bestätigen schließlich auch klar FLOHNS Bemerkungen in der schon oben zitierten Arbeit (1958, S. 12): „Auf der anderen Seite dürfen wir gerade für die Vorhersage des Wetters die diskontinuierliche Struktur der Atmosphäre (mindestens in mittlräumigem Maßstab: Mesometeorologie) nicht immer vernachlässigen, auch wenn sie für die großräumigen Entwicklungsvorgänge in erster Näherung ohne Bedeutung sind. Die Windsprünge im Bereich einer Strahlströmung sind für ihre Aufrechterhaltung ebenso wichtig, wie die auf relativ schmale Frontbereiche innerhalb der baroklinen Frontalzonen beschränkten Hebungsvorgänge, die den größten Teil der atmosphärischen Niederschläge wie der mächtigen und hochreichenden Wolkensysteme verursachen.“

II. Untersuchungsergebnisse

1. Die jährliche Frontenhäufigkeit über Europa

Als wichtigstes Ergebnis einer Auszählung der jährlichen Frontenhäufigkeit über Europa muß die Tatsache herausgestellt werden, daß sich eine *Maximumzone* mit über 110 Frontdurchgängen bogenförmig von den nördlichen Britischen Inseln über Dänemark, Norddeutschland und die nord-westliche Sowjetunion bis in den Bereich des Weißen Meeres erstreckt (Abb. 1). Von einem absoluten Kernraum über der östlichen Nordsee, Dänemark und der deutschen Nord- und Ostseeküste (mit über 120 Durchgängen) verringert sich die Frontenzahl relativ kontinuierlich nach Norden und Süden bis zu Werten unter 20 über der Sahara und unter 10 über dem zentralen und nördlichen Grönland.

Diese Frontenverteilung steht in einem bemerkenswerten Kontrast zur mittleren Druck- und Zyklonenverteilung über Europa. DAMMANN (1960 u. 1963) konnte nachweisen, daß das atmosphärische Druckfeld ebenso wie die Tiefdruckzentren in ihrer mittleren Verteilung umfassenden terrestrischen Einflüssen ausgesetzt sind (vgl. auch MAEDE 1954), so daß z. B. die maximalen Häufigkeiten von Zyklonenzentren über den Randmeeren des Kontinents (Nord- und Ostsee, Ligurisches und Adriatisches Meer) auftreten. Minimalwerte wurden für die räumlich dazwischen liegenden Kontinentalbereiche ermittelt. Die Maximumzone der Frontenhäufigkeit auf der einen Seite und der Zyklonenzen-

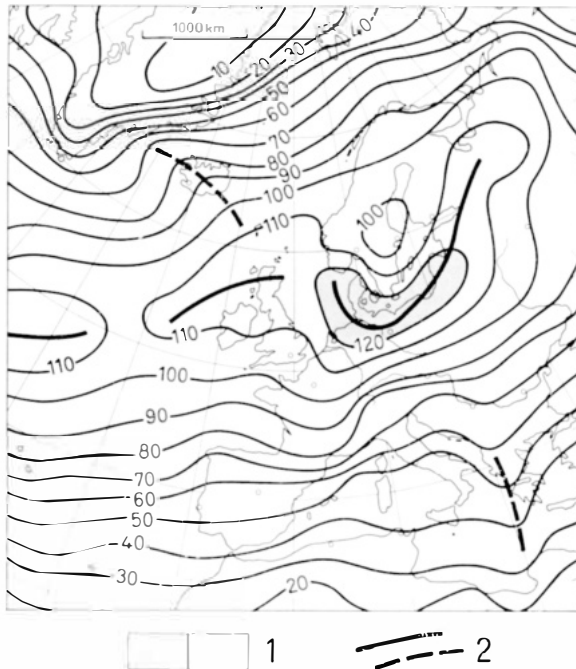


Abb. 1: Mittlere Anzahl der Fronten im Jahr (Okklusionen, Kalt- und Warmfronten)
 1 Gebiete mit maximaler Frontenhäufigkeit; 2 Primäre und sekundäre Kammlinie der Frontenhäufigkeit
 Average number of fronts in a year (occlusions, cold and warm fronts)
 1 areas with maximum front frequency; 2 primary and secondary ridge lines of front frequency

tren auf der anderen Seite schließen sich also in gewisser Weise gegenseitig aus – ein Kontrast, der durch den Aufbau einer außertropischen Zyklone im Grunde leicht verständlich ist (die Störungsausläufer erstrecken sich meist über viele 100 km südlich der Depressionszentren), der aber auch nachhaltig davor warnen muß, die Häufungsgebiete der Zyklonenzentren und die von bevorzugten Zugstraßen der Zyklonen berührten Gebiete als solche Teilräume des Kontinents herauszustellen, in denen die zyklonale Beeinflussung des Wettergeschehens (ablesbar etwa an der Wechselhaftigkeit des Wetters) besonders stark oder sogar am intensivsten sei. Das Beispiel des nördlichen Mittelmeergebietes mit Maximalwerten atmosphärischer Störungen widerspricht dieser Auffassung unmittelbar.

Andererseits bestehen natürlich auch echte strukturelle Beziehungen und genetische Zusammenhänge. So ist etwa die mitteleuropäische Maximumzone der Frontenhäufigkeit in ihrem geschwungenen Verlauf um die südliche Nord- und Ostsee herum eindeutig mit als eine Fernwirkung der Häufung von Zyklonenzentren und -zugstraßen über dem südlichen Skandinavien und über der Nord- und Ostsee zu erklären (vgl. KÖPPEN 1882, BEBBER 1891, SCHRÖDER

1929, MÜLLER-ANNEN 1950, KLEIN 1957). Eine Deutung der regionalen Klimaverhältnisse allein unter Berücksichtigung der mittleren Verteilung der Druckgebilde (einschließlich der Antizyklonen, vgl. REINEL 1960) ist also auf der Basis dieser Überlegungen nicht möglich. Ebenso genügt jedoch für diesen Zweck natürlich auch keine Auszählung der mittleren jährlichen Häufigkeit von Frontendurchgängen, da sie alle bekannten Mängel der Mittelwertdarstellung aufweist (vgl. SCULTEUS 1969), gehen doch Daten recht gegensätzlicher Jahreszeiten und strukturell differenzierter Frontarten mit bekanntlich sehr unterschiedlicher Wetterwirksamkeit (vgl. z. B. FLOHN 1954 u. SCHERHAG 1948) in das Gesamtkollektiv ein. Aus diesen Überlegungen resultiert für die vorliegende Untersuchung eindeutig der Zwang zur Auflösung des Mittelwertes in sinnvoll gewählte Teilkollektive, wobei im Hinblick auf die später zu analysierende klimageographische Relevanz der Frontendurchgänge eine Aufgliederung der Jahressumme nach den vier Jahreszeiten unmittelbar naheliegend ist.

2. Frontenhäufigkeit nach Jahreszeiten

Abb. 2 veranschaulicht die mittlere Frontenhäufigkeit in den einzelnen Jahreszeiten. Bei mehr oder weniger starken Abweichungen im einzelnen treten doch in allen vier Jahreszeiten auffällige Übereinstimmungen der räumlichen Verteilung auf.

Die jeweiligen Maximumzonen liegen fast durchgängig in jener Breitenlage, die schon für die mittlere Jahresverteilung herausgestellt wurde, d. h. in jenem Bereiche, der sich leicht bogenförmig von den nördlichen Britischen Inseln über den südlichen Küstenraum von Nord- und Ostsee bis in den westrussischen Raum hinein erstreckt. Dabei werden mit rd. 30 Frontendurchgängen in fast allen Jahreszeiten ähnliche Gipfelwerte erreicht, so daß die jahreszeitliche Variabilität der Werte hier außerordentlich gering ist (vgl. Tab. 1). Die mittlere Abweichung (mean deviation, bezogen auf den Jahreszeitendurchschnitt) bzw. die Spannweite (range, bezogen auf die Jahreszeiten mit extremen Werten) der einzelnen Jahreszeitenwerte betragen für die nördlichen Britischen Inseln 1,75 (bzw. 5), für Nord- und Mitteldeutschland 2,0 (bzw. 6), dagegen für Nordschweden 3,5 (bzw. 10) und für Mittelitalien 3,75 (bzw. 11). Das bedeutet, daß mit abnehmender Gesamtfrontenzahl in nördlicher und südlicher Richtung von der Maximumzone aus die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahreszeiten durchschnittlich zunehmen. Dabei ist es bemerkenswert, daß die Variabilität nicht so sehr durch starke Abweichungen aller Jahreszeiten untereinander oder einer Jahreszeit mit herausragendem Maximum hervorgerufen wird, als vielmehr durch die Jahreszeit mit minimaler Frontenhäufigkeit (im Mittelmeerbereich insbesondere der Sommer, in Skandinavien der Winter). Sie prägt daher durch die auffällig redu-

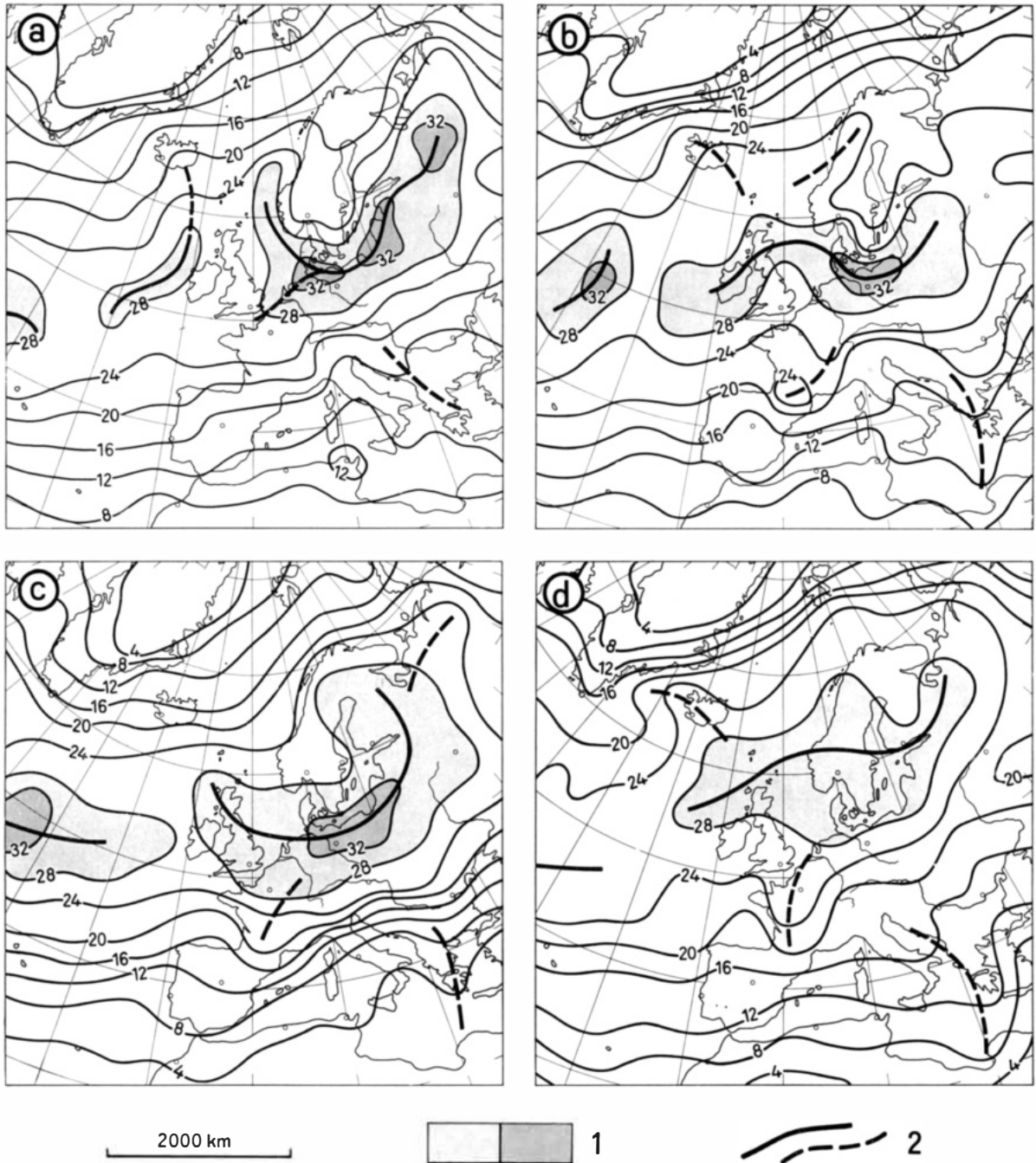


Abb. 2: Anzahl der Fronten a) im Winter (Dez.–Febr.); b) im Frühjahr (März–Mai); c) im Sommer (Juni–Aug.); d) im Herbst (Sept.–Nov.)

Number of fronts a) in winter (Dec.–Feb.), b) in spring (March–May), c) in summer (June–August), d) in Autumn (Sept.–Nov.)

zierte Zahl von Störungsausläufern das regional-typische Witterungsgeschehen dieser Teilräume im Jahresgang viel stärker als die anderen Jahreszeiten. –

Die Kammlinien der Maximumzonen liegen in den einzelnen Jahreszeiten durchgängig in einer Breiten-

lage von $50\text{--}60^\circ$, wobei sie sich nach Osten über dem Kontinent leicht auffächern, während sie nach Westen – mit räumlicher Unterbrechung – ihre unmittelbare Fortsetzung in einem „stationären“ Häufungsgebiet über dem Atlantischen Ozean (in $40\text{--}50^\circ$ nrl.

Tabelle 1: Mittlere Anzahl der Frontendurchgänge in ausgewählten Teilräumen Europas (nach Jahreszeiten) (Maxima unterstrichen)

	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Spitzbergen	6	9	<u>10</u>	6	31
Nordschweden	24	<u>29</u>	<u>28</u>	19	100
Südnorwegen	26	25	<u>31</u>	22	104
Südisland	26	21	<u>28</u>	21	96
Schottland/ Nordirland	<u>30</u>	<u>30</u>	28	25	113
Nord- und Mitteldeutschland	<u>34</u>	<u>33</u>	28	31	126
Süddeutschland	27	<u>29</u>	20	27	103
Mittelitalien	14	5	<u>16</u>	14	49
Südfrankreich/ Pyrenäen	<u>25</u>	20	20	16	81
Griechenland	<u>17</u>	7	13	<u>16</u>	53
Südspanien/ Nordmarokko	<u>13</u>	8	10	<u>12</u>	43
Sizilien	<u>14</u>	3	<u>14</u>	12	43
Kreta	11	3	7	<u>14</u>	35

Breite) haben. Dies entspricht in sehr starker Annäherung der jahreszeitlichen Lage der nach CHROMOW (1950) als „klimatische Front“ (= Hauptluftmassengrenze) bezeichneten Polarfront über dem Atlantik und westlichen Europa. Man gewinnt hieraus die klimatologisch wichtige Erkenntnis, daß es trotz der durch den Sonnengang bedingten jahreszeitlichen Verschiebungen innerhalb der atmosphärischen Zirkulation zu keiner grundsätzlichen oder auch nur auffälligen saisonalen Verlagerung der zentralen Frontenhäufungsgebiete über Europa kommt. Selbst sekundäre Häufungszonen in den Bereichen Griechenland/Adria, Island oder Südfrankreich behalten ihre Lage im Verlaufe des Jahres bei. Ähnliches gilt für die Minimumgebiete, die in jedem Falle ihren tiefsten Wert über dem Kern und der östlichen Hälfte Grönlands haben. Südlich der Hochgebirgsachse von Pyrenäen und Alpen nimmt die Zahl der Fronten meist sprunghaft ab, um über Nordafrika Minimalwerte zu erreichen.

Wie sehen nun die Verhältnisse in den einzelnen Jahreszeiten aus und welche Ursachen lassen sich für die regionalen und zeitlichen Differenzierungen erkennen?

Auffälligstes Phänomen während des Winters (Dez.-Febr.) ist das weite zungenförmige Ausbuchen einer Minimumzone über der skandinavischen Halbinsel, die halbkreisförmig von einer Kammlinie umschlossen wird (vgl. Abb. 2a). Es liegt nahe, diese

Verteilung als eine Auswirkung der langanhaltenden Schneebedeckung und der Ausbildung einer stationären Hochdruckkalotte über der Halbinsel zu deuten. Nach dem Katalog der Großwetterlagen (vgl. HESS/BREZOWSKY 1969) erreichen tatsächlich die Großwetterlagen „Hoch Fennoskandien“ (HFA, HFZ) in den Wintermonaten Maximalwerte (vgl. auch KLINKER 1970). Damit wäre für Skandinavien eine ähnliche Erklärung gegeben, wie sie auch für die ganzjährige Frontenarmut über Grönland mit der häufigen Ausbildung einer flachen glazialen Antizyklone über der Eiskappe der Insel angenommen werden muß (vgl. DAMMANN 1952, WALDEN 1959). Das fennoskandische Hoch blockiert die in der Westdrift wandernden Zyklonen und steuert sie südlich um die Halbinsel herum, so daß sich hier die Isofronten auffällig verdichten und in der schon mehrfach zitierten Zone am südlichen Ostseerand ihre Gipfelwerte erreichen. Diese Extremwerte (mit regional bis zu 35 Frontendurchgängen), die höher liegen als die Vergleichswerte des Sommers, scheinen sogar eher durch die auf dem thermischen Land-Seeerand beruhende Zusammendrängung aus nördlicher Richtung verursacht zu werden als durch die winterliche Lage der Frontalzone. Somit stellt sich die große winterliche Frontenhäufigkeit über dem nördlichen Mitteleuropa als eine Auswirkung der Depressions- und Frontensperrung über Skandinavien dar.

Nach den allgemeinen Kenntnissen über die Verlagerung der planetarischen Frontalzone muß über dem südlichen Europa mit winterlichen Maximalwerten der Frontenhäufigkeit gerechnet werden. In der Tat werden diese Höchstwerte an manchen Stellen erreicht (z. B. über der westlichen Iberischen Halbinsel, an der nordafrikanischen Küste und im Bereich der Ägäis). Sie liegen jedoch nicht wesentlich über den Werten von Herbst und Frühjahr, so daß auch in diesen Übergangsjahreszeiten regional Jahresmaxima der absoluten Frontenhäufigkeit möglich sind (vgl. u.).

Auffälligste Erscheinung im mediterranen Bereich ist ohne Frage die auch im Winter – wie letztlich in allen Jahreszeiten – deutlich erkennbare sperrende Wirkung der großen, zumeist zonal verlaufenden Massenerhebungen von Pyrenäen und Alpen, die sich als markante Schranken erweisen, auf deren Südseite die Frontenhäufigkeit teilweise bis 50% reduziert ist. Nur das regionale Zyklonenmaximum über der Adria (vgl. DAMMANN 1960) bedingt eine schwach ausgebildete sekundäre Maximumzone der Fronten entlang der Westküste der Balkanhalbinsel. Aber auch hier lassen die – absolut gesehen – relativ geringen Frontenzahlen deutlich die abschirmende Wirkung der Hochgebirge erkennen, die sich auf den gesamten europäischen Mittelmeerraum erstreckt! Umgekehrt führt der Stau auf der Vorderseite, d. h. Nordabdachung der Hochgebirge zu einer beträchtlichen Verdichtung der Isofronten, so daß die hohe Frontenhäufigkeit über dem mitteleuropäischen Raum offen-

bar durch eine *orographisch induzierte Zusammendrängung der Frontenbahnen* sowohl aus Norden (Skandinavien) wie aus Süden (alpine Hochgebirge) verursacht wird.

Die Tatsache, daß sich Hochgebirge als Sperrern oder zumindest verzögernde Hemmnisse für Luftmassentransporte und damit auch für Fronten auswirken können, ist durch zahlreiche Untersuchungen erwiesen (vgl. z. B. FICKER 1906, SCHERHAG 1948, PETKOVSEK 1958, KLETTER 1965, REUTER 1965). Immer noch hat folgende Formulierung FICKERS (1906) Gültigkeit: „Die Alpen sind nicht nur eine geologische, sondern auch eine überaus wichtige meteorologische Störungslinie. Nie wird dies deutlicher offenbar, als wenn wir eine in den Nordalpen einbrechende kalte Luftmasse auf ihrem Wege über die Alpen begleiten...“ (zit. nach KLETTER 1965).

Die stauende Wirkung der Gebirge, die sich unabhängig von der Anströmrichtung der Luftmassen stets in einer antizyklonalen Krümmung im Grundfeld und nicht selten in einer Deformation (Rückbiegung) des Frontenverlaufs auf den Wetterkarten ausdrückt, wird in ihrer klimatischen Bedeutung in keiner Weise dadurch abgeschwächt, daß es im Lee der Hochgebirge vielfach erneut zu einem starken Druckfall und damit zur Neubildung oder Regeneration von Zyklonen kommt (vgl. z. B. FICKER 1920, DINIES 1938, SCHERHAG 1948, ROEDIGER 1962, KLETTER 1965 u. REUTER 1965). Ihre Fronten sind jedoch in der Regel weniger markant ausgebildet und verlagern sich relativ rasch. –

Die Frontenhäufigkeit im *Frühjahr* (März-Mai) unterscheidet sich prinzipiell nur wenig von derjenigen des Winters (Abb. 2b). Immerhin ist als Folge der Abnahme des antizyklonalen Einflusses bereits deutlich ein Anstieg der Frontenzahlen über Skandinavien sowie über den Britischen Inseln zu konstatieren, so daß das nördliche Mitteleuropa geringfügig „entlastet“ wird, obwohl die Sperrung durch das skandinavische Gebirge immer noch durch eine sekundäre Maximumzone an der Westflanke der Halbinsel erkennbar ist. Die absolute Maximumzone bleibt auch in dieser Zeit über dem Raum Dänemark, Norddeutschland und Polen liegen.

Im südeuropäischen Raum erreichen einzelne Teilgebiete erst im Frühjahr ihr Jahresmaximum (östliche und nördliche Iberische Halbinsel, Norditalien und Balkanhalbinsel).

Was sich im Frühjahr bereits anbahnte, setzt sich im *Sommer* (Juni-Aug.) verstärkt fort: der blockierende Hochdruckeinfluß über Skandinavien und den Britischen Inseln wird weiter abgebaut, so daß in diesen Bereichen die Frontenzahlen erneut ansteigen (Abb. 2c).

In ihrem westlichen Teil biegt die Maximumzone auffällig nach Nordwesten um, so daß die Verbindung mit der westlich Irlands über dem Atlantik ge-

legenen Kernzone abreißt. Diese NW-Biegung kennzeichnet sehr anschaulich die „monsunale“ Beeinflussung des mitteleuropäischen Raumes, der im Sommer wellenartig vordringenden Kaltluft einbrüchen aus nordwestlicher Richtung ausgesetzt ist (VOIGTS 1951), so daß die absolute Frontenzahl über Mitteleuropa auch im Sommer nur unwesentlich von der Zahl in anderen Jahreszeiten unterschieden ist. Im süddeutschen Raum werden sogar Jahresmaximalwerte der Frontendurchgänge erreicht! Die starke zyklonale Beeinflussung übergreift in dieser Jahreszeit selbst den sperrenden Wall der Alpen, so daß auch unmittelbar am Südrand des Hochgebirges Maximalwerte im Jahresgang registriert werden. Verstärkt wird diese Erscheinung vermutlich durch die oben erwähnte Tatsache, daß Kaltluftvorstöße aus nördlicher Richtung häufig die Bildung neuer Zyklonenkerne südlich der Gebirge zur Folge haben („Genuazyklone“). Da diese im Lee der Alpen entstehenden sekundären Depressionen jedoch nur selten ausgeprägte Frontensysteme entwickeln, nimmt die Frontenzahl rasch in südlicher Richtung ab, so daß schon über dem mittleren Italien und Balkan sommerliche Minimumwerte im Jahresgang erreicht werden.

Ein ähnlicher Lee-Effekt scheint im Sommer über dem skandinavischen Raum vorzuliegen, wo die Höchstwerte – in Verlängerung der Achse über dem nördlichen Mitteleuropa – am östlichen Rande der Ostsee gezählt werden. Zyklonenetische Prozesse und die geringere Reibung über den Wasserflächen der Ostsee lassen dieses Binnenmeer im Sommer als bevorzugte Zyklonenstraße hervortreten (SCHRÖDER 1929).

Der *Herbst* (Sept.-Nov.) unterscheidet sich von allen anderen Jahreszeiten insbesondere durch die relativ weite Verlagerung der Maximumzone nach Norden (Abb. 2d). Die Kammlinie verläuft erstmals nicht mehr über dem nördlichen Mitteleuropa, so daß hier im Jahresgang Minimalwerte erreicht werden, sondern in einem leicht geschwungenen Bogen von den nördlichen Britischen Inseln quer über Skandinavien bis in das nordwestliche Rußland. Der noch im Sommer deutlich zu erkennende monsunale Einfluß über Mitteleuropa wird abgebaut. Dafür werden die Frontensysteme offenbar durch stärkeren Hochdruckeinfluß über Mitteleuropa (insbesondere im September) weit nach Norden abgedrängt (vgl. ERIKSEN 1970, Karte 4).

Auffällige Deformationen erleiden die Isofronten im Herbst nur noch vor dem Westrand des oben erwähnten Gebirgswalles sowie im Raume Island (Zyklonenzentrum) und südlich der Adria, wo sich das Depressionszentrum über dem nördlichen Mittelmeer durch die zugehörigen Frontensysteme bis in den nordafrikanischen Raum hinein auswirkt.

Zusammenfassend gilt es festzustellen, daß die jahreszeitliche räumliche Verlagerung der Frontenhäufigkeit und hier insbesondere der Maximum-

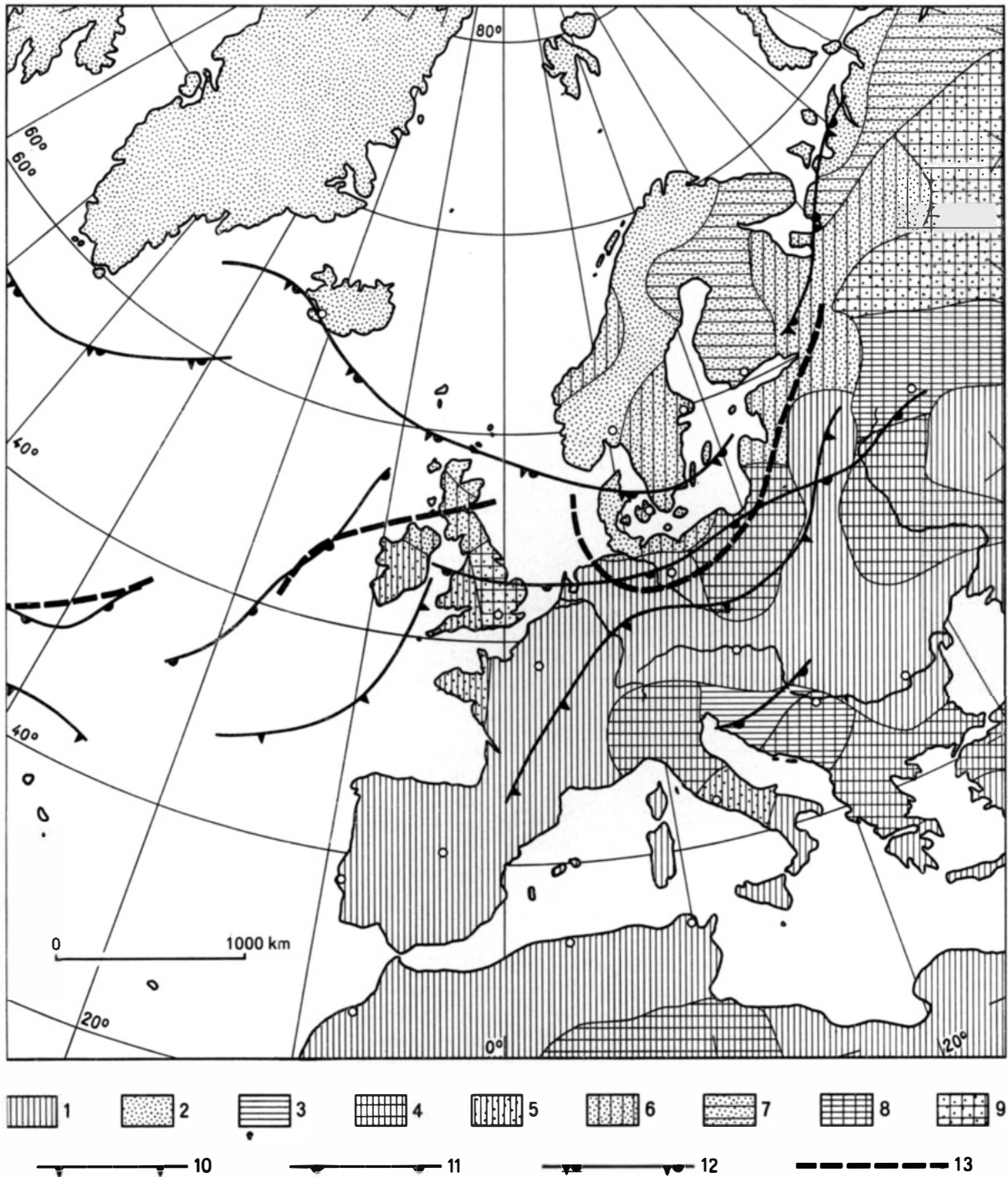


Abb. 3: Häufigste Frontart in den Jahreszeiten und Kammlinien der Maximumzonen einzelner Frontarten im Jahr
 Häufigste Frontart: 1 Kaltfront in allen Jahreszeiten; 2 Okklusion in allen Jahreszeiten; 3 Warmfront in allen Jahreszeiten; 4 Kaltfront mit Warmfront in mind. einer Jahreszeit; 5 Kaltfront mit Okklusion in mind. einer Jahreszeit; 6 Okklusion mit Kaltfront in mind. einer Jahreszeit; 7 Okklusion mit Warmfront in mind. einer Jahreszeit; 8 Warmfront mit Kaltfront in mind. einer Jahreszeit; 9 gemischt: Kalt-, Warmfront u. Okklusion in verschiedenen Jahreszeiten.
 Kammlinien der Maximumzonen: 10 Kaltfront; 11 Warmfront; 12 Okklusion; 13 alle Fronten.

zone – abgesehen vom Herbst – nur relativ gering ist. Unmittelbare Einflüsse der Orographie (insbesondere sperrende Gebirgswälle) und die Land-Wasser-Verteilung verhindern offenbar eine großräumige Verschiebung der Frontensysteme, wie sie aufgrund des Sonnenganges zu erwarten wäre. Unter dem Einfluß der Erdoberfläche sind die Deformationen der Isofronten teilweise beträchtlich, so daß *regionale Besonderheiten der Frontenhäufigkeit als Auswirkung von Stau- oder Auflösungserscheinungen in weit entfernt gelegenen Gebieten zu deuten sind.*

3. Häufigkeit der Frontarten im jahreszeitlichen Wechsel

Die bisherige Analyse bezog sich stets auf die Gesamtheit der Frontendurchgänge, ohne Unterscheidung von Okklusionen, Kalt- und Warmfronten. Für die Bewertung der Frontenhäufigkeit im Hinblick auf ihre klimatische Bedeutung ist diese weitergehende Differenzierung unerlässlich.

Die Auszählung ergibt, daß alle drei Frontarten jeweils ihre eigene Minimumzone haben, die sich mehr oder weniger stark von der Kammlinie der Gesamtfrenten entfernt (vgl. Abb. 3). Generell ist eine Nord-Süd-Abfolge der Kammlinien von Okklusionen, Warm- und Kaltfronten zu beobachten. Nur über dem nordwestlichen Balkan liegt noch isoliert ein Warmfrontgipfel. Während die Kammlinien über dem Atlantik und dem westlichen Europa räumlich weit voneinander getrennt liegen, drängen sie sich östlich der Nordsee stärker zusammen und verlaufen relativ parallel zur Gesamtkurve. Auch hierin ist ohne Frage ein Einfluß der Erdoberfläche zu sehen. Sowohl von Norden wie von Süden werden die Frontensysteme in einer Zone über dem nördlichen Mitteleuropa zusammengedrängt, so daß sie hier ihre größte Häufigkeit erreichen.

Die nach absoluten Werten ermittelten Kammlinien besagen nun allerdings nicht, daß die entsprechende Frontart in allen vier Jahreszeiten zahlenmäßig dominieren muß. Abb. 3 zeigt vielmehr, daß nach relativen Werten z. T. beträchtliche Abweichungen von der Maximumzone möglich sind. Flächenmäßig beherrschende Frontart ist die Kaltfront, die der Zahl nach in allen Jahreszeiten über Nordafrika, Süditalien und -griechenland, über der Iberischen Halbinsel, Frankreich, Deutschland bis in den osteuropäischen

Raum hinein dominiert (zu den Relativwerten vgl. ERIKSEN, 1970, Karte 5). Eine ähnliche, über das gesamte Jahr hin bewahrte Dominanz weist nur noch die Okklusion über Grönland, Island und großen Teilen Skandinaviens auf. Bemerkenswert ist, daß der starke Okklusionseinfluß bis in den norddeutschen Raum hinein wirksam ist. Ein reines Warmfrontgebiet gibt es nur über dem jugoslawischen Raum, über dem in allen Jahreszeiten die nach Nordosten abgelenkten Warmfronten der Zyklonen des nördlichen Mittelmeeres liegen, wie es auf vielen Wetterkarten zu beobachten ist. Alle anderen Teilräume sind eindeutig Mischgebiete, meist mit Dominanz der Kaltfront (im Süden) oder der Okklusion (im Norden).

4. Frontenhäufigkeit und regionale klimatische Differenzierung

Aus einsichtigen Gründen ist es prinzipiell nicht möglich, unmittelbar aus der jeweiligen Frontenhäufigkeit auf das Klima eines Raumes zu schließen. Die Wetterwirksamkeit der Fronten ist sowohl in zeitlicher Abfolge an einem Ort wie in räumlicher Hinsicht entlang der von den Störungsausläufern berührten Regionen sehr unterschiedlich (vgl. SCHERHAG 1948). Es kommt hinzu, daß das nicht an einen Frontendurchgang gebundene, luftmasseneigene Wetter- und Witterungsgeschehen keineswegs in den Zusammenhang eingehen würde. Dennoch kann kein Zweifel daran bestehen, daß der nach Zahl und Art außerordentlich starke Wechsel der Frontendurchgänge eine direkte und nachhaltige Rückwirkung auf das Klima eines Raumes haben muß, da die Mehrzahl aller Fronten mit stets wiederkehrenden, charakteristischen Wettererscheinungen verbunden ist.

Der allgemeinste Zusammenhang, in den zugleich die außerordentliche Komplexität des jeweiligen Klimas eingeht, ist sicherlich derjenige zwischen der Frontenhäufigkeit einerseits und der allgemeinen Witterungsveränderlichkeit eines Klimas andererseits (vgl. HENDL 1963, S. 33). Daß der in der Maximumzone der Frontendurchgänge gelegene Norden Mitteleuropas mit „Regen in allen Jahreszeiten“ im Gegensatz zu südlicheren und auch nördlicheren Breiten durch sehr häufigen Wetterwechsel und damit nur relativ kurzfristige Schönwetterlagen geprägt ist, wird besonders im modernen Erholungs- und Reiseverkehr als nachteilig empfunden. Verreg-

Most frequent types of front in each season and ridge lines of the maximum zones of individual frontal type in the year

Most frequent frontal type: 1 cold front at all seasons; 2 occlusion at all seasons; 3 warm front at all seasons; 4 cold front with warm front in at least one season; 5 cold front with occlusion in at least one season; 6 occlusion with cold front in at least one season; 7 occlusion with warm front in at least one season; 8 warm front with cold front in at least one season; 9 mixed: cold-warm front and occlusion at various seasons.

Ridge lines of the maximum zones: 10 cold front; 11 warm front; 12 occlusion; 13 all fronts.

nete Sommer und unsichere Schneeverhältnisse im Winter kennzeichnen diese nördliche mitteleuropäische Zone, innerhalb der allerdings schon in dem vergleichsweise kleinen Teilraum der Bundesrepublik in der Mehrzahl der Jahre – entsprechend der quantitativen Abnahme der Frontendurchgänge – die Stabilität der Witterungen nach Süden zunimmt. Immer wieder begegnet man in den Vorhersagen des Deutschen Wetterdienstes der Prognose, daß der Norden Deutschlands noch von den Schlechtwettergebieten nördlich vorbeiziehender Störungsausläufer berührt werde, während schon der Mittelgebirgsraum unter stärkerem Hochdruckeinfluß stehe (vgl. ERIKSEN 1964, S. 20).

Daß auch das allgemeine Witterungsgeschehen im Mittelmeergebiet wesentlich durch die zunehmende Frontenhäufigkeit in den kühleren Jahreszeiten geprägt wird, bedarf kaum besonderer Erwähnung (vgl. HENDLS „Kernpassat – Wechselklima mit winterlicher Zyklonalwitterung“ (1963, S. 30)).

Zwei Klimaelemente sind es im wesentlichen, die die relativ vage zu umschreibende Wechselhaftigkeit eines Klimas quantitativ erfassen lassen: die Bewölkung (und damit in Annäherung auch die Sonnenscheindauer) sowie der Niederschlag. Beide sind in ihrer Erscheinung und Intensität meist unmittelbar an das Frontalgeschehen gebunden, wenn auch z. T. als „Fernwirkungen“ der Störungsausläufer (z. B. durch weiträumige Aufgleitvorgänge oder postfron-

tale Aufheiterung). Eine Gleichsetzung von großer Wechselhaftigkeit einerseits und starker Bewölkung bzw. hohen Niederschlagsmengen andererseits ist aus einsichtigen Gründen selbstverständlich nicht zulässig. Dennoch ist der atmosphärisch-physikalische Zusammenhang zwischen den beiden Klimaelementen und dem Frontalgeschehen eng genug, um ihn im folgenden einer genaueren Analyse unterziehen zu können und um eine Beantwortung der einleitend aufgeworfenen Fragen zu versuchen.

a. Frontenhäufigkeit und Bewölkung (resp. Sonnenscheindauer)

Vergleicht man die mittlere jährliche Verteilung der (z. T. aus der Bewölkung errechneten) Sonnenscheindauer über dem europäischen Raum (Abb. 4) mit der Karte der mittleren Frontenhäufigkeit im Jahr (Abb. 1), so zeigen sich verblüffende Übereinstimmungen. Gebiete mit minimaler Sonnenscheindauer auf einer von LANDSBERG (1963) entworfenen Karte der „Sonnenscheindauer im Jahr“ entsprechen sehr exakt jenen Bereichen, für die die größten Frontendurchgangszahlen ermittelt wurden. Gleiches gilt für den umgekehrten Zusammenhang – und das selbst in so kleinen, scheinbar herausfallenden Sondergebieten wie etwa im sonnenreicheren Mittelschweden. Südlich der Pyrenäen und der Alpen nimmt die Sonnenscheindauer besonders stark zu – eine Erscheinung, die

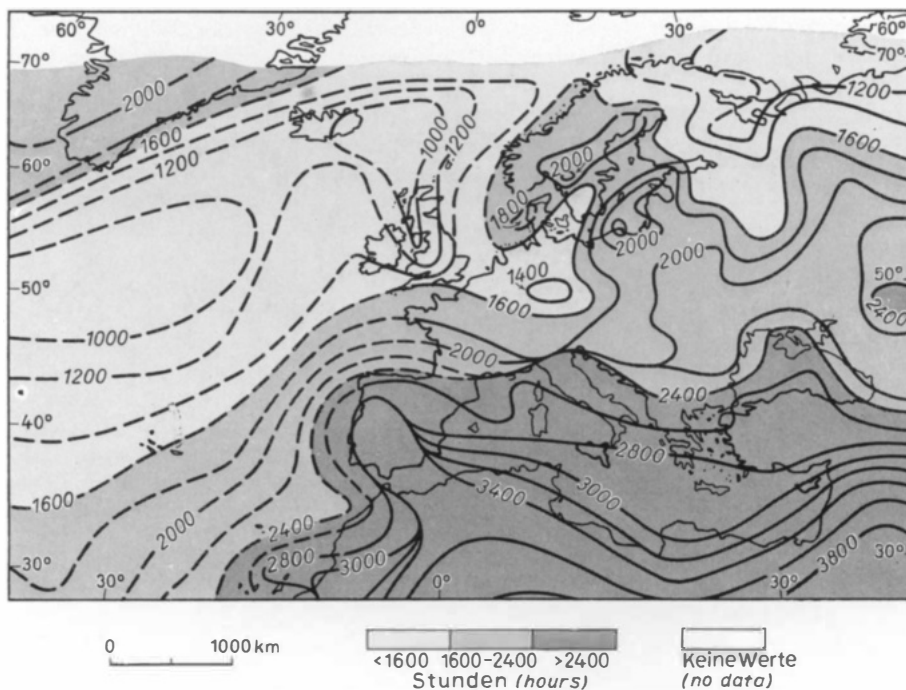


Abb. 4: Sonnenscheindauer im Jahr (Stunden), nach H. E. LANDSBERG 1963

Die unterbrochenen Isohel-Linien basieren auf Berechnungen aus Mittelwerten der Bewölkung.

Sunshine duration (hours) after H. E. LANDSBERG 1963.

The interrupted isohel lines are based on calculations from mean values of cloudiness.

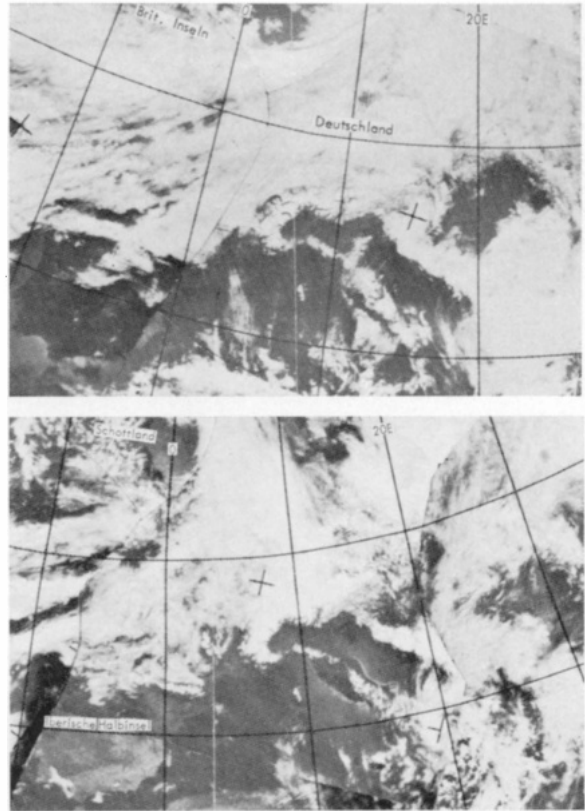
vollkommen der erheblich verminderten Frontenzahl südlich der Gebirgswälle entspricht. –

Eine einsichtige Begründung für die regional z. T. stark differenzierte Verteilung der Bewölkung bzw. des Sonnenscheins hat es – mit Ausnahme der Minimumzone nördlich des Polarkreises – bisher nicht gegeben. Auch LANDSBERG (1963) erwähnt nur den groben Zusammenhang mit dem jahreszeitlich wechselnden Sonnenstand und den zirkulationsbedingten Hauptbewölkungszentren.

Es soll nun hier die These vertreten werden, daß diese für den Strahlungs- und Wärmehaushalt Europas so entscheidende regionale Verteilung des Klimaelementes im wesentlichen durch die unterschiedliche Frontenhäufigkeit bedingt ist. Zwar gehen bekanntlich auch regionale Besonderheiten wie häufige Nebellagen an der Küste oder Luv- und Lee-Effekte in den Bergländern in die Bewölkungs- und Sonnenscheinwerte ein, doch treten sie nach Ausdehnung, Häufigkeit und Gewicht weit hinter den frontgebundenen Wolkenaufzug zurück. Die täglichen Satellitenaufnahmen zeigen in Verbindung mit den zugehörigen Wetterkarten immer wieder sehr eindrucksvoll, daß der Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Fronten und der Verbreitung der großen wetterbestimmenden Wolkensysteme trotz regionaler Differenzierungen außerordentlich eng ist. Dabei gilt es zu berücksichtigen, daß die Grundzüge der Wetterkarten wie schon seit Jahren vorwiegend aufgrund terrestrischer und aerologischer Messungen festgelegt werden und durch das Satellitenbild nur eine Bestätigung oder geringe Modifikation erfahren.

Im Zusammenhang dieser Studie verdienen besonders jene Satellitenaufnahmen Beachtung, die durch die Wolkenverteilung die sperrende Wirkung der Pyrenäen und Alpen in sehr eindrucksvoller Weise belegen (z. B. Aufnahmen vom 17. 3., 18. 3. u. 20. 3. 1970; vgl. Luftbilder 1a + b) und die somit nochmals mit Nachdruck jene für das Klima der Mittelmeerländer außerordentlich bedeutsame Stauwirkung des großen alpinen Gebirgssystems demonstrieren, die bereits durch die Frontenausählung nachgewiesen werden konnte (vgl. oben). Ähnliches gilt für den skandinavischen Gebirgswall.

Wenn auf den Satellitenfotos auch über Nordafrika nicht selten große Wolkenfelder erscheinen, so widerspricht diese Tatsache durchaus nicht dem Befund einer relativen Frontenarmut über diesem Gebiet. Ebenso wie etwa Grönland wird auch Nordafrika von Zyklonen oder ihren Ausläufern gestreift, übers Jahr gesehen jedoch in viel geringerer Häufigkeit als die übrigen auf der Karte erfaßten Gebiete. Erstaunlich und neu sind die Erkenntnisse in bezug auf den nordafrikanischen Raum nur insofern, als die Satellitenbilder durch die Wolkenverteilung immer wieder auf den unmittelbaren Zusammenhang des Wettergeschehens in diesem Raume mit der innertropischen Zirkulation hinweisen, so daß gelegentlich, wie etwa bei



Luftbilder 1a und b: Satellitenaufnahmen vom 17. und 20. 3. 70 (nach „Das europäische Wetterbild“ Inst. f. Met. u. Geophys. d. FU Berlin)

Während eines Zeitraumes von mehreren Tagen wirken Pyrenäen und Alpen als markante Sperrmauern für die Wolkenfelder nördlich vorbeiziehender Fronten.

Air photos 1a and b: Satellite pictures taken on 17th and 20th March 1970 (after 'The European Weather Picture' Inst. f. Met. u. Geophys. d. FU Berlin)

Over a period of several days the Pyrenees and Alps function as a striking barrier to the fronts skirting north of the cloud fields.

dem katastrophalen Unwetter über Tunesien im Herbst 1969 (vgl. MENSCHING u. a. 1970), selbst Zyklonen des tropischen Typs (mit starker Verwirbelung und wolkenlosem „Auge“) im Mittelmeerraum beobachtet werden können.

Aufgrund der bisherigen Ausführungen muß der Versuch, einen mathematisch-statistischen Zusammenhang zwischen der Zahl der Frontendurchgänge und der Sonnenscheindauer zu ermitteln, durchaus als sinnvoll erscheinen. Für einen N-S-Profilschnitt von Spitzbergen über Mitteleuropa bis Tunesien werden in Tab. 2 jeweils die entsprechenden Werte einander gegenübergestellt. Es zeigt sich dabei, wie vermutet, daß südlich des Polarkreises (Nordschweden) eine numerische Abhängigkeit der Sonnenscheindauer von der Zahl der Frontendurchgänge unbestreitbar ist: höhere Werte auf der einen Seite ste-

hen niedrigeren auf der anderen Seite gegenüber. Dies gilt sowohl für das Gesamtkollektiv aller Fronten wie für die Warmfronten im speziellen. Tab. 2 scheint dabei sogar anzudeuten, daß der *statistische Zusammenhang zwischen der Sonnenscheindauer einerseits und der Warmfronthäufigkeit andererseits besonders eng ist* und daß Okklusionen und Kaltfronten trotz absolut größerer Werte nur eine modifizierende Rolle spielen.

Tabelle 2: Sonnenscheindauer und mittlere jährliche Anzahl der Okklusionen, Kalt- und Warmfronten auf einem N-S-Profil durch Europa

	Sonnenscheindauer im Jahr (Std.) ¹	Okklusionen	Kaltfronten	Warmfronten	Fronten insges.
Spitzbergen	1200	24	3	4	31
Bäreninsel	1300	37	11	15	63
Nordnorwegen	1400	38	24	29	91
Nordschweden	1600	36	31	33	100
Mittelschweden	1800	42	31	30	103
Raum Stockholm/Oslo	2000	39	33	27	99
Schonen/Dän. Inseln	1600	42	41	33	116
Nord- und Mitteldeutschland	1400	32	57	37	126
Süddeutschland	1600	21	53	29	103
Norditalien	2200	18	35	26	79
Korsika	2600	17	28	13	58
Sardinien	2700	7	26	11	44
Tunesien/Nordostalgerien	3200	3	23	11	37

¹) Nach LANDSBERG 1963.

Eine Regressionsanalyse der Beziehung zwischen mittlerer jährlicher Sonnenscheindauer (in Std.) und mittlerer Zahl der Gesamtfrenten (a) bzw. der Warmfronten (b) ergibt für den Profilschnitt Nordschweden – Sardinien (vgl. Tab. 2) folgende Gleichungen:

$$(a) S_o = 3471 - 17 F_g$$

$$(b) S_o = 3297 - 51 F_w$$

wobei „So“ für die Sonnenscheindauer im Jahr (Std.), „F_g“ für die Gesamtzahl aller Fronten, „F_w“ für die Anzahl der Warmfronten stehen.

Abb. 5 zeigt, daß die Abweichung der Sonnenscheindaten von der Regressions-Geraden im Falle (b) besonders gering ist, so daß hier tatsächlich ein enger Zusammenhang zwischen den Variablen zu bestehen scheint. Dies ist verständlich, wenn man etwa an die sehr ausgedehnte Aufzugsbewölkung an den Warmfronten denkt. Die Wolkenfelder an den Kalt-

fronten und – außerhalb des inneren Spiralbereiches – an den Okklusionen sind wesentlich schmalere und verlagern sich schneller, so daß die Sonnenscheindauer durch sie weniger eingeschränkt wird. Entlang dem Profilschnitt steht einem Plus von 10 Warmfrontdurchgängen im Jahr ein Minus von etwa 500 Stunden Sonnenschein gegenüber.

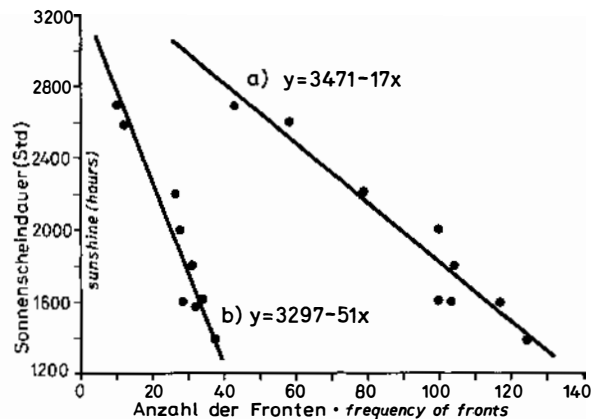


Abb. 5: Die Sonnenscheindauer als Funktion der Frontenhäufigkeit

Mittlere Jahreswerte für den Profilschnitt Nordschweden – Sardinien (vgl. Tab. 2)

Regressionsgeraden: a) Fronten insgesamt;

b) Warmfronten.

Sunshine duration as a function of a frontal frequency

Mean annual values for the profile North Sweden – Sardinia (cf. tab. 2)

Regression lines: a) fronts in total b) warm fronts.

Wenn der statistische Zusammenhang zwischen Bewölkung und Frontenhäufigkeit über Nordafrika in Tab. 2 weniger deutlich zu sein scheint, so beruht dies nicht zuletzt auf der relativ geringen Wetterwirksamkeit der südlichsten Ausläufer aller Fronten. Die folgende Analyse der Niederschlagsregime beweist jedoch, daß auch hier die regionale Differenzierung der Frontenhäufigkeit eine entscheidende klimageographische Bedeutung hat.

b. Frontenhäufigkeit und Niederschlagsregime

Die Verteilung der Niederschläge in ihrem jahreszeitlichen Gang ist bei fast allen Versuchen einer Klimaklassifikation größerer Erdräume eines der wichtigsten Kriterien zur Abgrenzung von Teilbereichen. Dies gilt sowohl für die „genetischen“ wie für die „effektiven“ Klassifikationen. Gerade für die letztere Gruppe spielt der Jahresgang der Niederschläge im Hinblick auf die Vegetationsentwicklung eine entscheidende Rolle.

Der methodische Ansatz zu dieser Art klimatischer Raumgliederung basiert auf der Beobachtung, daß die Niederschlagsverteilung im Jahresgang nicht einmal für einen relativ so kleinen Raum wie Europa einheitlich

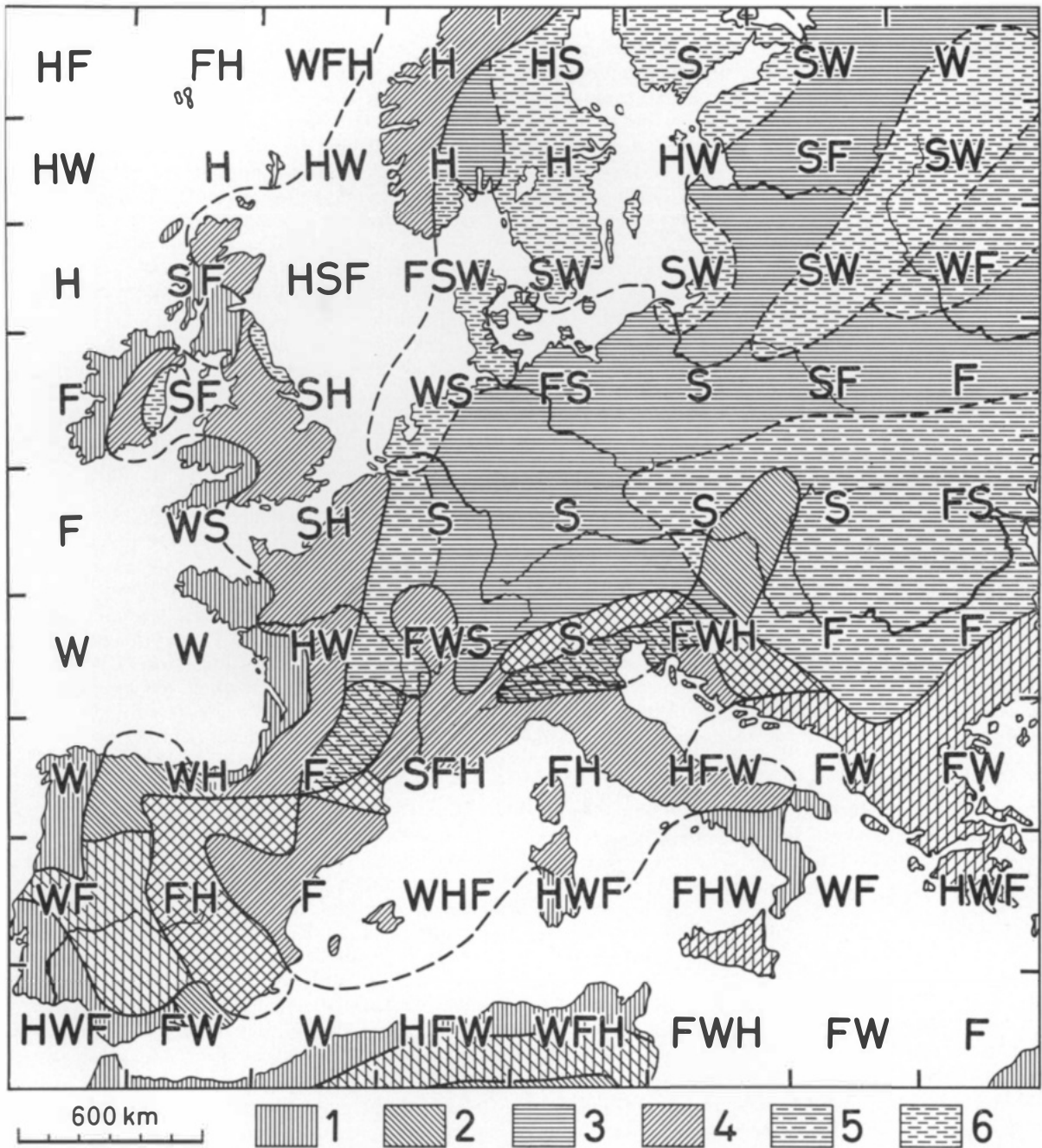


Abb. 6: Niederschlagsregime und Frontenhäufigkeit über Europa

Die Niederschlagsregime (schraffiert, z. T. Mischung) werden bestimmt durch die Jahreszeit bzw. den Monat mit maximaler Niederschlagsmenge im Jahresgang (nach Agro-climatic Atlas of Europe, 1965). Die Angabe der Jahreszeit mit maximaler Frontenhäufigkeit (W=Winter, F=Frühjahr, S=Sommer, H=Herbst) basiert auf der Gitternetzauszählung der Fronten für die 5 Untersuchungsjahre. Bei Angabe mehrerer Buchstaben in einem Gitterquadrat überwiegt die zuerst genannte Jahreszeit (z. B. das Frühjahr bei FH)

Jahreszeit bzw. Monat im Niederschlagsmaximum: 1 Winter; 2 Frühjahr; 3 Sommer; 4 Herbst; 5 Juni; 6 Spätsommer.

Precipitation regimes and frontal frequency over Europe

The precipitation regimes (hatched, partly mixed) are determined by the season or the month with maximum amount of precipitation during the year (after the Agro-Climatic Atlas of Europe, 1965). The definition of the season with maximum front frequency (W = winter, F = spring, S = summer, H = autumn) is based on the quadrat totals of fronts for the 5 study years. Where more than one letter is given in a quadrat, the first mentioned season is most important (e.g. spring, where FH)

Season or month with precipitation maximum 1 winter; 2 spring; 3 summer; 4 autumn; 5 June; 6 late summer.

ist. Vielmehr ergeben die langjährigen Meßreihen ein außerordentlich differenziertes Bild der saisonalen Verteilung, wie es in vielen Spezialkarten zum Ausdruck gebracht wird. Die im Agro-climatic Atlas of Europe (1965) wiedergegebene Karte der „main rainy seasons“ (Karte 503) gliedert z. B. für Frankreich 6 Untergebiete aus, in denen die Niederschlagsmaxima in unterschiedlichen Jahreszeiten fallen (Abb. 6). Ähnliches gilt für die Britischen Inseln oder für die Iberische Halbinsel. Eine ganz Europa erfassende Regelmäßigkeit ist nur in dem Sinne gegeben, daß sich die Zeit des Maximums vom Winter im südlichen Mittelmeergebiet, über Frühjahr und Herbst im nördlichen mediterranen Bereich, über den Sommer im mittel- und osteuropäischen Raum bis zum Spätsommer, Herbst und z. T. auch Winter über Skandinavien und Westeuropa verschiebt.

Eine genetische Erklärung für diese großräumige Verteilung wird schon seit langem in der jahreszeitlichen Verschiebung der Zirkulationsgürtel, insbesondere der Westwindzone, gesehen. Vor allem der Winterregen im Mittelmeergebiet findet durch den Tatbestand einer Südverlagerung der Zyklonenbahnen in der kalten Jahreszeit eine relativ einfache Deutung. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird diese Erklärung durch die Auszählung der Fronten durchaus gestützt, indem für die kühleren Jahreszeiten, regional auch allein für den Winter, Maximalwerte der Frontendurchgänge im mediterranen Raum ermittelt werden.

Schwieriger als die Deutung der oben skizzierten großräumigen Gliederung des europäischen Raumes in Gebiete mit jahreszeitlichen Niederschlagsmaxima ist allerdings die Erklärung der *k l e i n r ä u m i g e n* Differenzierung, wie sie etwa schon für Frankreich erwähnt wurde, jedoch mehr oder weniger für alle Teilräume Europas gilt. Auch REICHEL (1948) geht in seiner Studie über die Faktoren der Niederschlagsverteilung in Europa und im Mittelmeergebiet auf das Problem des unterschiedlichen jährlichen Ganges der Niederschläge nicht ein. So läßt er etwa die Frage unbeantwortet, warum die Westküste Frankreichs Winterregen, ein zentraler N-S-Streifen und der Südosten Herbstregen, der Osten Sommerregen, der Süden Frühjahrs- und Herbstregen erhält oder warum die Iberische Halbinsel allein in 8 Gebiete mit unterschiedlichen Niederschlagsregimen aufgeteilt ist (Abb. 7). Es wäre zunächst zu vermuten, daß diese Gliederung möglicherweise durch das Relief der Gebiete vorgezeichnet ist. Der Verlauf der Grenzlinien läßt jedoch keinerlei Beziehungen dieser Art erkennen. *Vielmehr übergreifen die Gebiete mit einheitlichem Regenregime die ihrer Reliefgestaltung nach unterschiedlichsten Teilräume.* Die regionale Differenzierung muß also im wesentlichen durch großräumige, reliefübergreifende atmosphärische Einflüsse bedingt sein, wie es schon HUTTARY (1950) für das Mittelmeergebiet nachzuweisen versuchte. Abgesehen von

den dort untersuchten Temperatur- und Stömungsverhältnissen, von den Zugstraßen der Zyklonen und von der Einwirkung maritimer und kontinentaler Faktoren als Ursachen der relativen Niederschlagsverteilung, soll hier die sich aus dem Zusammenhang der vorliegenden Studie unmittelbar ergebende Frage geprüft werden, ob die regionale Verteilung der jahreszeitlichen Niederschlagsregime nicht vor allem eine Auswirkung der wechselnden saisonalen Frontenhäufigkeit ist!

Tatsächlich zeigt eine schematische Aufgliederung des europäischen Raumes in Gebiete mit maximaler Frontenhäufigkeit in unterschiedlichen Jahreszeiten eine sehr ähnliche regionale Differenzierung, wenn auch insgesamt mehr „Mischungsgebiete“ (Maxima in 2 oder 3 Jahreszeiten) auftreten (Abb. 7, vgl. ERIKSEN 1970, Karte 5). Die oben erwähnte großräumige N-S-Gliederung Europas in Gebiete mit Winter-, Frühjahrs- bzw. Herbst-, Sommer- und wieder Herbstregen findet ihr unmittelbares Spiegelbild und damit in erster Annäherung ihre Erklärung in der jahreszeitlichen Frontenhäufigkeit. Viel interessanter ist jedoch die Feststellung, daß auch die oben hervorgehobene und noch kaum ausreichend begründete kleinräumige Differenzierung der Niederschlagsregime in der Regel eine außerordentlich starke Übereinstimmung mit der saisonalen Häufung von Frontendurchgängen aufweist. Besonders eindrucksvoll läßt sich die weitgehende Deckungsgleichheit an den bereits hervorgehobenen Bereichen Frankreichs und der Iberischen Halbinsel ablesen. Für diesen Raum vermag die Frontenausählung die regionale Differenzierung der Niederschlagsregime in ähnlicher Weise zu begründen, wie sie etwa eine Deutungsmöglichkeit für den anders kaum verständlichen Herbstregen Skandinaviens oder für den „Regen in allen Jahreszeiten mit schwachem Sommermaximum“ in Mitteleuropa bietet. Gerade für das letztere Gebiet muß aufgrund dieser Sachlage von der einfachen Erklärung abgegangen werden, daß das bekannte Sommermaximum im Jahresgang der Niederschläge allein oder vor allem durch nichtfrontgebundene Konvektionsregen zustande käme. –

Natürlich gibt es auch große Gebiete, für die eine Übereinstimmung des Niederschlagsregimes mit der Frontenhäufigkeit nicht unmittelbar gegeben ist. Dies ist einmal dadurch begründet, daß im Gegensatz zur Niederschlagskarte bei der Frontenausählung notgedrungen nur eine relativ kurze zeitliche Periode erfaßt werden konnte; zum anderen sind durchaus starke regional modifizierende Einflüsse auf die Niederschlagsmenge (z. B. häufige sommerliche Gewitterregen über Beckenlagen, Luv- und Lee-Erscheinungen an den Hoch- und Mittelgebirgen) in die Betrachtung einzubeziehen. Es kommt hinzu, daß für die extremen nördlichen und südlichen Gebiete des untersuchten Raumes meist nur sehr kleine Frontenkollektive vorliegen. Sowohl Warm- wie Kaltfronten werden zu-

dem in südlichen Bereichen zunehmend diffus und machen sich oft nur noch im Durchzug höherer Wolkenfelder bemerkbar (REICHEL 1948).

Auch die Häufigkeit der einzelnen Frontarten ist örtlich jahreszeitlichen Schwankungen unterlegen (Abb. 3), so daß das Maximum der (Gesamt-)Frontenhäufigkeit wegen der unterschiedlichen Niederschlagsregime der einzelnen Frontarten modifiziert zu bewerten ist. Die engste Relation zwischen Niederschlagsregime und Frontenhäufigkeit scheint in jedem Falle in jenen Gebieten zu bestehen, in denen die regenintensiven Kaltfronten in allen Jahreszeiten der Häufigkeit nach dominieren.

Trotz der hier vorgetragenen Einschränkungen bleibt die generelle Übereinstimmung von Frontenhäufigkeit und Niederschlagsregime (orientiert an der Jahreszeit mit größter Regenmenge) erstaunlich groß und es liegt nahe, hier einen Kausalzusammenhang anzunehmen, der allerdings durch die von HUTTARY (1950) analysierten Faktoren ergänzt und regional modifiziert werden kann. Offen bleibt jedoch zunächst noch die einen Schritt weiter zurückgreifende Frage, wie es denn zu der kleinräumigen Differenzierung der Frontenhäufigkeit kommt, die hier als Ursache der unterschiedlichen jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung angesehen wird. Um diese Kernfrage zu beantworten, müssen nunmehr die vorangehenden allgemeinen Ausführungen zur Häufigkeit der Fronten in den einzelnen Jahreszeiten wieder aufgegriffen werden. Wurde oben noch behauptet, daß die regionale Gliederung der Frontenhäufigkeit (und damit auch der Niederschlagsregime) keinerlei Beziehungen zum Relief erkennen ließe, so muß diese Feststellung mit Blick auf die allgemeine Gesetzmäßigkeit der Frontenhäufigkeit über Europa entscheidend modifiziert werden. Es ist zwar richtig, daß offenbar keine kleinräumige Beeinflussung durch das Relief oder allgemein durch die Erdoberfläche vorliegt, über Gesamteuropa gesehen haben jedoch – wie oben gezeigt werden konnte – die Verteilung von Land und Meer und die großen sperrenden Hochgebirge eine grundlegende Bedeutung für die z. T. sehr unterschiedliche Frontenhäufigkeit in den einzelnen Jahreszeiten. So konnten die Daten einzelner Regionen nur durch die „Fernwirkung“ bestimmter Stau- oder Regenerationsgebiete gedeutet werden. Alle ausgezählten Daten sind also in ihrer Größe mehr oder weniger abhängig von den Großformen der Erdoberfläche, und die gegebenen kleinräumigen Differenzierungen können nur als das Ergebnis einer regional sehr unterschiedlichen integralen Überlagerung der Frontenhäufigkeiten aller vier Jahreszeiten verstanden werden. Das räumliche Nebeneinander von Gebieten mit unterschiedlichen Niederschlagsregimen erweist sich somit weniger als eine Auswirkung örtlicher Reliefunterschiede, als vielmehr ebenfalls als das Resultat großräumiger, durch das Makrorelief „ferngesteuerter“ atmosphärischer Prozesse.

III. Zusammenfassung und Ausblick

Als wichtigstes Ergebnis der Untersuchung kann zusammenfassend die Tatsache herausgestellt werden, daß die Analyse der Häufigkeitsverteilung von meteorologischen Fronten im europäischen Bereich zwar nicht zu einer eigenen klimatischen Gliederung des Raumes führen kann, daß jedoch mit ihrer Hilfe für allgemeine, bisher noch nicht ausreichend begründete klimatische Erscheinungen, wie etwa für die regionale Verteilung von Bewölkung und Sonnenscheindauer oder für die z. T. auf engem Raum stark voneinander abweichenden Niederschlagsregime, eine befriedigende Erklärung gegeben werden kann. Die durch das Großrelief des Kontinents, insbesondere durch sperrende Hochgebirgswälle, beeinflusste Frontenhäufigkeit erweist sich hier in ihrem zeitlich-räumlichen Wechsel als überaus klimawirksam. Die Analyse könnte somit dazu beitragen, bereits existierende Klimaklassifikationen (insbesondere Gliederungen nach den Jahreszeiten-Klimaten der Erde, vgl. TROLL/PAFFEN 1964) genetisch zu begründen und Anregungen für eine weitergehende Differenzierung der bei fast allen Klassifikationen z. T. sehr großen klimatischen Teilräume zu geben. Grundlage einer derartigen Untergliederung würden dabei die regional und jahreszeitlich sehr unterschiedlichen Häufigkeiten der Fronten (insgesamt und aufgegliedert nach ihren Arten) sein können.

Literatur

- BEBBER, J. v.: Die Zugstraßen der barometrischen Minima. In: Met. Zschr. 1891, 361–366.
- BLÜTHGEN, J.: Synoptische Klimageographie. In: Geogr. Zschr. 53. 1965, 10–51.
- BUSCHNER, W.: TIROS-Aufnahmen und Frontenanalyse. Ann. d. Met., NF. 3. 1967, 32–36.
- CHROMOW, S. P.: Die geographische Anordnung der klimatischen Fronten. In: Sowjetwissenschaft., Naturwiss. Abt. 1950, H. 2, 29–43.
- DAMMANN, W.: Klimatologie der Tiefdruckgebiete und Fronten. In: Ann. d. Met., 5. Jg., 1952, 395–402.
- : Klimatologie der atmosphärischen Störungen über Europa. In: Erdkunde XIV, 1960, 204–221.
- : Terrestrische Einflüsse auf das atmosphärische Druckfeld über Europa. In: Erdkunde XVII, 1963, 129–148.
- DINIES, E.: Die Entstehung der Genuazyklone am 11. Febr. 1938. In: Ann. Hydr., 66, 1938.
- ERIKSEN, W.: Beiträge zum Stadtklima von Kiel. Schr. d. Geogr. Inst. d. Univ. Kiel. XXII. 1. 1964.
- : Zur Klimageographie der Fronten über Europa. Verh. Dt. Geogr.-tag, Kiel 1969, Bd. 37. Wiesbaden 1970, 248–261.
- FAUST, H.: Über Kaltfronten und ihre Einteilung. Ber. d. Dt. Wett. in der US-Zone, 24. 1951, 3–24.
- FICKER, H. v.: Der Transport kalter Luftmassen über die Alpen. Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss., Math.-Nat. Kl. Wien 1906.

- : Der Einfluß der Alpen auf die Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer. In: Met. Zschr. 1920.
- FLOHN, H.: Grundzüge der atmosphärischen Zirkulation und Klimagürtel. In: Wiss. Abh. Dt. Geogr.-tag Frankfurt 1951, 105–118.
- : Witterung und Klima in Mitteleuropa. Forsch. dt. Ldk. 78. 1954.
- : Luftmassen, Fronten und Strahlströme. In: Met. Rdsch. 11. Jg. H. 1. 1958, S. 7–13.
- GENSLER, G. A.: Die Klassifikation der Fronten. In: Météorologie. 1957, 301–303.
- HENDL, M.: Systematische Klimatologie. Berlin 1963.
- HESS, P. u. H. BREZOWSKY: Katalog der Großwetterlagen Europas. 2. Aufl. Ber. d. Dt. Wetterdienstes Nr. 113. Bd. 15, 1969.
- HUTTARY, J.: Die Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten im Mittelmeergebiet. In: Met. Rdsch. 1950, 111–119.
- KLEIN, W. H.: Principal tracks and mean frequencies of cyclones and anticyclones in the Northern Hemisphere. US-Weather-Bureau. Res. Paper 40. Washington DC. 1957.
- KLETTER, L.: Der Transport kalter Luftmassen über die Alpen – beobachtet durch TIROS IV. In: CARINTHIA II. 24. Sonderheft. Wien 1965, 67–77.
- KLINKER, E.: Skandinavische Antizyklonen im Winter. Beil. z. Berliner Wetterkarte 49/70. v. 4. 3. 1970.
- KNOCH, K. u. A. SCHULZE: Methoden der Klimaklassifikation. Pet. Mitt. Erg.-H. 249, 1952.
- KÖPPEN, W.: Erläuterungen zur Karte der Häufigkeit und der mittleren Zugstraßen barometrischer Minima zwischen Felsengebirge und Ural. In: Zschr. Osterr. Ges. Met., 17, 1882, 257–267.
- LANDSBERG, H. E.: Die Verteilung der Sonnen- und Himmelsstrahlung auf der Erde. In: Weltkarten zur Klimakunde. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1963, 5–6.
- MAEDE, H.: Der Einfluß der Land-See-Verteilung in Mitteleuropa auf das Verhalten von Tiefdruckgebieten verschiedener Typen. Z. f. Met. 8, 1954, 161–174.
- MENSCHING, H., K. GIESSNER u. G. STUCKMANN: Die Hochwasserkatastrophe in Tunesien im Herbst 1969. In: Geogr. Zschr. 1970, 81–94.
- MÜLLER-ANNEN, H.: Zur Prognose der Zugbahnen von Tiefdruckgebieten. Ann. d. Met., 3. Jg., 1950, 341–351.
- PETKOVSEK, Z.: Verspätung der Kaltfront an orographischen Hindernissen. In: Met. Rdsch., 11. Jg., 1958, 123–127.
- REICHEL, E.: Über die Faktoren der Niederschlagsverteilung in Europa und im Mittelmeergebiet. In: Met. Rdsch. 1948, 414–416.
- REINEL, H.: Die Zugbahnen der Hochdruckgebiete über Europa als klimatologisches Problem. Erlanger Geogr. Arb. 10. 1960.
- REUTER, H.: Probleme der alpinen Synoptik. In: CARINTHIA II. 24. Sonderheft. 1965, 1–6.
- ROEDIGER, G.: Schlechtwetterhoch und Schönwettertief. In: Wetterkarte d. Seewetteramtes v. 28. Juli 1962.
- SCHERHAG, R.: Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1948.
- : Luftbild: Wettersatellitenbild Atlantischer Ozean – Europa. In: Die Erde, 99. Jg., 1968, 109–114.
- SCHIRMER, H.: Die räumliche Struktur der Niederschlagsverteilung in Mittelfranken. Forsch. z. dt. Ldk. 81. 1955.
- SCHRÖDER, R.: Die Regeneration einer Zyklone über Nord- und Ostsee. Veröff. d. Geophys. Inst. d. Univ. Leipz., 2. Ser. IV. 2. 1929.
- SCHWERDTFEGER, W.: Untersuchungen über den Aufbau von Fronten und Kaltlufttropfen. Ber. d. Dt. Wett. in der US-Zone, 3. 1948.
- SCULTETUS, H. R.: Klimatologie. Praktische Arbeitsweisen. Das Geogr. Seminar. Braunschweig 1969.
- THRAN-BROEKHUIZEN: Agro-climatic Atlas of Europe. Wageningen-Amsterdam 1965.
- TROLL, C. u. KH. PAFFEN: Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. In: Erdkunde Bd. XVIII. 1964, 5–28.
- VOIGTS, H.: Der europäische Sommermonsum und seine Auswirkung in Mitteleuropa. In: Pet. Mitt. 95, 1951, 231–238.
- WALDEN, H.: Statistisch-synoptische Untersuchung über das Verhalten von Tiefdruckgebieten im Bereich von Grönland. Dt. Wett., Seewetteramt, Einzelveröff. 20. Heidelberg 1959.
- WEISCHET, W.: Kann und soll noch klimatologische Forschung im Rahmen der Geographie betrieben werden? Verh. Dt. Geogr.-tag. Bd. 36. Wiesbaden 1969, 428–440.

DER EINFLUSS DER OROGRAPHISCHEN SITUATION AUF DIE WINDVERHÄLTNISSE IM SPIEGEL DER VEGETATION

dargestellt an Beispielen aus dem Val Maroz (Bergell), aus dem Oberengadin
und vom Pru del Vent (Puschlav)¹⁾

Mit 5 Abbildungen, 12 Photos und 1 Tabelle

FRIEDRICH-KARL HOLTMEIER

Summary: The influence of orography on wind conditions derived from the physiognomy of the vegetation

Windshaped trees and – in high-mountain areas with a cold winter climate – the pattern of the bottom layer of the vegetation, which is mainly formed by the windinfluenced distribution of the snow-cover in winter, can be used as

fairly good indicators of the prevailing and most effective winds. The map published in this paper is based on observations, which were chiefly obtained during fieldwork on the

¹⁾ Die Beobachtungen fielen während der Geländearbeiten zu einer vergleichenden geökologischen Studie der