

ÜBER DIE WINDVERHÄLTNISSE DER UNTEREN TROPOSPHÄRE IN SZEGED

von B. BÉLL

Summary: (*Wind Conditions of the Lower Troposphere at Szeged*) At Szeged, in southern Hungary, in an orographically undisturbed region of the Hungarian Alföld (Lowlands), aerological measurements have been executed since the year 1925: in the period 1925—1931, pilot balloon measurements and aircraft ascents, in the ensuing years, upper wind measurements and since the year 1953 radiosoundings have been carried out. In this paper, the series of data for the periods 1949—1953 and 1954—1963 were selected with the purpose of investigating the vertical extension of some characteristics of the wind field on the Hungarian Alföld and particularly on the southern parts of the region beyond the Tisza river, which are already known to exist, from earlier climatological investigations, in the near-the-ground layers (see References).

In the seasonal distribution of wind direction frequencies, the macroclimatological factors are typically reflected, which are influencing wind conditions in Central Europe: these are the thermal interactions existing between the Atlantic, or the Mediterranean and the continent, as well as the much debated monsoonal or monsunoid character of the climate in Europe and particularly in Central Europe (see the detailed investigation of R. WAGNER on the paths of cyclones over Europe cited among the References).

As the upper wind measurements at Szeged are executed in a region relatively undisturbed by immediate orographical influences, they have been found to be particularly suitable ones for a three-dimensional investigation of the wind structure in the Hungarian Alföld. Wind observations extended to the lower 3 kilometers of the troposphere are indicating that the influences of the there climatical factors recorded at the central part of the Hungarian Alföld, that is, the influences of the Atlantic, of the Mediterranean and the Eurasian mainland are well recognizable ones also in the upper layers. As a consequence of the cyclonal activity which is transmitting the marine influences, and as a consequence of the continental influence, the double maximum recognized in the wind direction frequencies (i. e. the grouping of the most frequent wind directions in winter within the SW quadrant and in summer within the NW quadrant) is with height tending to become more close one to the other and over 3 km they are approaching the main western current of the lesser disturbed upper troposphere.

The so-called characteristic wind directions of the winter and the summer (i. e. wind direction, the frequencies of which are higher in the season in question than in the opposite season) are indicating that, within the climate of the decade investigated, maritime influences are rather prevailing over the much more weakly occurring wintery continental influences, which are even not statistically verified.

Zusammenfassung: In der Stadt Szeged in Südungarn werden in einer orographisch ungestörten Lage (im Flachland) seit 1925 aerologische Messungen durchgeführt: in der Zeit von 1925 bis 1931 waren es Pilotwindmessungen und Zustandsmessungen im Flug-

zeug, dann Höhenwindmessungen und ab 1953 Zustandsmessungen mit der Radiosonde. Aus dem Material der Höhenwindmessungen wurden die Beobachtungsreihen 1949—1953, bzw. 1954—1963 ausgewählt für eine ausführlichere Analyse der Besonderheiten der Windverhältnisse und für eine Untersuchung der vertikalen Erstreckung solcher Besonderheiten auf der Ungarischen Alföld (Tiefebene) und besonders auf dem südlichen Teil des Gebietes jenseits des Tisza Flusses, welche durch die klimatologischen Untersuchungen in den bodennahen Schichten schon früher festgestellt wurden (s. Schrifttum).

In der jahreszeitlichen Verteilung der Windrichtungshäufigkeiten spiegeln sich charakteristisch die grossklimatischen Faktoren, durch welche die Windverhältnisse Mitteleuropas bestimmt werden, namentlich: die gegenseitige thermische Wirkung des Atlantischen Ozeans und des Mittelmeergebietes einerseits und des Festlandes andererseits, dann die viel umstrittenen monsunalen oder monsuntartigen Besonderheiten des europäischen, bzw. mitteleuropäischen Klimas (s. im Schrifttum die eingehenden Untersuchungen von R. WAGNER über die europäischen Zyklonenbahnen).

Die in Szeged ausgeführten Höhenwindmessungen, da sie einem orographische verhältnismässig wenig gestörten Gebiete entstammen, erwiesen sich als besonders geeignet zu einer Untersuchung der dreidimensionalen Windstruktur der Ungarischen Alföld. Aus den sich auf die unterste 3-Kilometer-Schicht der Troposphäre erstreckenden Windbeobachtungen und aus den daraus gezogenen Folgerungen geht es hervor, dass der Einfluss der in der Mitte der Ungarischen Alföld sich geltend machenden klimatischen Faktoren, d. h. die Einflüsse, welche vom Atlantischen Ozean, vom Mittelmeer und von dem eurasiatischen Festlande ausgeübt werden, auch in den höheren Schichten noch gut erkannt werden können. Als eine Folge der zyklonalen Tätigkeit, durch welche die maritimen Einflüsse übermittelt werden, und als eine Folge der kontinentalen Einflüsse, erhält man ein Doppelmaximum in der jährlichen Windrichtungshäufigkeit (die häufigsten Windrichtungen befinden sich im Winter hauptsächlich in SW-Quadranten und im Sommer im NW-Quadranten); in der unteren Troposphäre findet eine Annäherung dieser beiden häufigsten Richtungen gegen einander statt und über 3 km Höhe hat man eine Anschmiegung an die hier schon weniger gestörte westliche Grundrichtung der oberen Troposphäre durch die Ausbildung einer einheitlichen vorherrschenden Windrichtungsgruppe.

Die sogenannten charakteristischen Windrichtungen des Winters und des Sommers (welche eine zunehmende Häufigkeit gegenüber der entgegengesetzten Jahreszeit aufweisen) ergeben für das Klima des vergangenen Jahrzehntes eher das Übergewicht der maritimen Einflüsse gegenüber der kontinentalen Einflüsse, da die letzteren nur im Winter und in viel schwächerer Weise auftreten und im statistischen Sinne nur unsicher belegt werden können.

Neben Budapest ist Szeged die wichtigste Basis der aerologischen Forschungen in Ungarn. Die Ballonsonden-Aufstiege und Höhenwindmessungen der Meteorologischen Zentralanstalt, welche noch in der Vorkriegszeit 1913 durch G. MARCZELL angebahnt wurden, mussten am Ende des Jahres 1914 unterbrochen werden. In den Kriegsjahren und den Nachkriegsjahren wurden zwar in der Zeit 1915—1921 vereinzelt Höhenwindmessungen in Budapest ausgeführt, doch wurden die Ergebnisse nicht veröffentlicht, und die Aufzeichnungen sind nach jeder Wahrscheinlichkeit verloren gegangen. Diese zwar begeisterungsvolle, aber an Ergebnissen ziemlich bescheidene erste Epoche wurde dann noch durch 22 Höhenwindmessungen ergänzt, welche von T. ANGEHRN und J. FÉNYI, beide Direktoren der Sternwarte Kalocsa in Südungarn, an den internationalen Beobachtungstagen dort ausgeführt wurden.

Mit regelmässigen aerologischen Messungen wurde in den Nachkriegsjahren zuerst in Szeged begonnen, und zwar 1925. Vom 14. Mai 1925 hat hier der Privatdozent der Universität Szeged, A. HILLE, Flugzeugaufstiege an den internationalen Beobachtungstagen unternommen mit Hilfe eines Bosch'schen Meteorographen und eines Bristol-Doppeldeckers. Diese Flugzeugaufstiege an den internationalen Beobachtungstagen wurden bis Ende Juni 1931 vortgesetzt. Im Laufe der 6 Jahre wurden 79 Aufstiege durchgeführt. Das gesamte Beobachtungsmaterial wurde in den Jahrbüchern der Meteorologischen Zentralanstalt veröffentlicht. Die meteorologischen Zustandsmessungen wurden durch Pilotballonbeobachtungen ergänzt.

An den aerologischen Messungen in Szeged hat ab 1928 als Vertreter des Geographischen Instituts der Universität Szeged der Universitätsassistent RICHARD WAGNER teilgenommen, und derselbe hat, in Zusammenarbeit mit G. MARCZELL, regelmässige Pilotmessungen eingeführt. Das Beobachtungsmaterial des Jahres 1930 wurde in den Wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Universität Szeged, das Material der Jahre 1931—1932 hingegen im Rahmen der Wetterberichte veröffentlicht, welche durch das Geographische Institut in den Tageszeitungen publiziert wurden.

Nach Beendigung des zweiten Weltkrieges kam es in Ungarn auch in der aerologischen Forschung zu einer bedeutenden Entwicklung. Der Beginn des binnenländischen Flugverkehrs und später die Entwicklung des internationalen Flugverkehrs machte es notwendig, einen Höhenwindbeobachtungsnetz zu schaffen. Die Meteorologische Zentralanstalt organisierte in 1948 tägliche Pilotmessungen in den Städten Debrecen, Szeged und Szombathely. Dieses Höhenwindmessungsnetz wurde in 1949 mit der Station Pécs, in 1950 mit den Stationen Miskolc und Győr, in 1953 mit der Station Nagykanizsa ergänzt und in 1957 wurde die letztere Beobachtungsstelle durch die Station Siófok abgelöst.

In Szeged wurden am Anfang (1948) nur an den internationalen Tagen in April Pilotballonaufstiege ausgeführt. Mit systematischen, täglichen Aufstiegen wurde erst ab 1. September begonnen. Die Aufstiege wurden nach Möglichkeit in den Morgen- bzw. Vormittagsstunden ausgeführt. Die Pilotmessungen sowie die meteorologische Station wurden im Klimatologischen Institut der Universität Szeged untergebracht. Die Ballone liess man aus dem Turm des dreistöckigen Gebäudes Táncsics Mihály út 2 aufsteigen (geographische Koordinaten: 46° 15' N, 20° 09' E, 110 m). Die Aufsicht der Messungen wurde durch Universitätsprofessor RICHARD WAGNER, dem Direktor des Klimatologischen Institutes ausgeübt. Die Messungen wurden in der Mehrzahl durch J. ABONYI, den späteren Leiter des Aerologischen Observatoriums zu Szeged, und Z. RÉPÁSSY ausgeführt, beide sind auch heute noch (1971) tätige Mitarbeiter des aerologischen Dienstes in Szeged.

Die Pilotballonmessungen wurden fünf Jahre lang im Gebäude der Universität Szeged vorgenommen. Ab 1. Januar 1953 wurden die Messungen am Flughafen Szeged weitergeführt (geographische Koordinaten: 46° 15' N, 20° 26' E, 85 m). Ab April dieses Jahres wurden, den Ansprüchen des Luftverkehrs angepasst, womöglich zwei Aufstiege täglich ausgeführt, am Frühhmorgen und in den Mittagsstunden.

1962 wurde in der Nähe des Flughafens das zweite aerologische Observatorium unseres Landes fertiggestellt, wo im Rahmen der Meteorologischen Zentralanstalt ab 1. Januar 1962 täglich zweimal (00^h und 12^h GMT) Luft-

druck-, Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen mittels Radiosonde vorgenommen werden, und durch einen dritten Aufstieg Höhenwindmessungen stattfinden.

Die im Laufe des vergangenen Jahrzehntes gesammelten Höhenwindangaben können dazu verwendet werden, um die vertikale Erstreckung derjenigen Strömungsbesonderheiten zu beurteilen, welche in Bodennähe im Laufe der klimatologischen Verarbeitungen festgestellt werden konnten, bzw. festzustellen, welche Modifikationen derselben mit der Höhe auftreten. Freilich müssen die örtlichen Besonderheiten der Windverhältnisse so aufgefasst werden, dass sie einen Ausdruck der Strömungsverhältnisse eines grösseren natürlichen Gebietes bilden. Dadurch wird es erforderlich, auch die Angaben der übrigen ungarischen Höhenwindbeobachtungsstellen zu berücksichtigen. Unter diesen Stationen erfreut sich Szeged, infolge der tiefländischen Umgebung, der freiesten Lage. Bei der Verwendung der ungarischen Pilotmessungen werden wir innerhalb dieses Aufsatzes, in unserer Bestrebung nach Homogenität, die Ergebnisse der Pilotmessungen in Szeged verwenden. Die Bearbeitung einer zumindest zehnjährigen Reihe der Radiosondenbeobachtungen kann erst in einigen Jahren verwirklicht werden, und sie wird zweifellos dazu führen, dass die aus den Pilotballonbeobachtungen gezogenen Folgerungen noch mit weiteren wertvollen Ergebnissen ergänzt werden können.

Infolge der Beschränkungen der Pilotballonmessungen (Abnahme der Zahl der vorhandenen Aufstiege mit der Höhe. Überwiegen der sogenannten Schönwetter-Aufstiege) haben wir uns bei deren Verarbeitung auf die unteren 3 Kilometer der Troposphäre beschränkt. In einer grösseren Höhe treten schon bedeutende Abweichungen auf zwischen den Ergebnissen der Pilotballonaufstiege und der Radiosondenaufstiege (BUCSY 1964).

Vor allem sollen die Besonderheiten zusammengefasst werden, welche betreffend der Windverhältnisse von Szeged in der bodennahen Schicht erkannt werden konnten. Die klimatologischen Karten und Monographien, welche in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts über die Windverhältnisse Mitteleuropas veröffentlicht wurden (RIKATCHEFF, KÖPPEN, SUPAN, VOEIKOF, HANN) waren bestrebt, eine Erklärung für das angebliche Auftreten eines allgemeinen Nordwestwindes in Ungarn, gleichwohl für das Sommerhalbjahr als auch für das Winterhalbjahr, zu finden. Diese Voraussetzung stützte sich nach der Ansicht von RÓNA (1909) auf die alten Beobachtungen in Buda und kann durch die geringe Zahl der zuverlässigen Windbeobachtungen erklärt werden. Die erste grundlegende Arbeit, welche über die Windverteilung in Ungarn veröffentlicht wurde, war die Monographie von K. HEGYFOKY (1894), welche in 1894 veröffentlicht wurde und sich auf die Beobachtungsreihe des Jahrzehntes 1876—1885 stützte.

Der grösste Teil der in dieser Arbeit enthaltenen Feststellungen ist heute noch stichhaltig. Die Windverhältnisse der von Gebirgen umgebenen ungarischen Alföld (Tiefebene) kann durchwegs dadurch gekennzeichnet werden, dass „der Wind, ebenso wie das Wasser, eine Strömung besitzt, welche nach den niedriger gelegenen Gebieten, d. h. von den Bergen nach der Ebene gerichtet ist“. Diese Betrachtung wurde auf Grund zuverlässiger Beobachtungen aufgestellt doch erscheint die in ihr enthaltene Begründung als fraglich. Diese Auffassung, welche in der späteren Arbeit durch D. BERÉNYI (1932) eine richtige Bewertung erfuhr, bestand somit darin, dass nach der Beurteilung von HEGYFOKY, das Theissgebiet (somit sozusagen der Mittelpunkt der

Alföld) wäre das Zentrum, wohin die Luftströmungen meistens gerichtet sind. Das Landesgebiet wurde durch HEGYFOKY auf Grund der Besonderheiten der Windrichtungen auf 11 Teilgebiete aufgeteilt. Für den mittleren Teil der Alföld (wozu auch die Gegend von Szeged gerechnet werden soll) wird festgestellt, dass die häufigste Windrichtung die südliche ist und die zweithäufigste Richtung ist die nördliche. Bei einer Verarbeitung nach Jahreszeiten fand HEGYFOKY, dass der Südwind im Winter, im Frühjahr und im Herbst die erste Stelle und der Nordwind die zweite Stelle einnimmt. Im Sommer hingegen ist auf der gesamten Alföld der Nordwind vorherrschend und der Südwind wird auf den zweiten Platz zurückgedrängt.

Zs. RÓNA (1909) teilt unter Anderem auch die Windrichtungshäufigkeit in Szeged für den Zeitraum 1891—1900 mit. Im Durchschnitt des ganzen Jahres wurden für die Richtungen NW (25,6%) und SE (20,1%) die grössten Häufigkeiten gefunden (bei einer Gruppierung nach 8 Haupt- und Nebenrichtungen und Windstille). Auch in einzelnen Jahreszeiten waren diese beiden Richtungen vorwiegend. Die Überlegenheit des NW über SE war am grössten im Sommer (31,7: 12,9) und im Winter am geringsten (23,4: 19,8), doch wurde die Reihenfolge im Herbst umgekehrt und SE nimmt die erste Stelle ein mit einem Verhältnis von 26,2 : 19,4. Durch RÓNA wird festgestellt, dass in Szeged von Herbst durch den Winter bis zum Frühjahr eine Häufigkeitsabnahme der Richtung SE und eine Häufigkeitszunahme der Richtung NW auftritt. Die Feststellungen von RÓNA, welche sich auf Windverhältnisse Mitteleuropas beziehen und hier etwas abgekürzt mitgeteilt werden sollen, weisen auf das

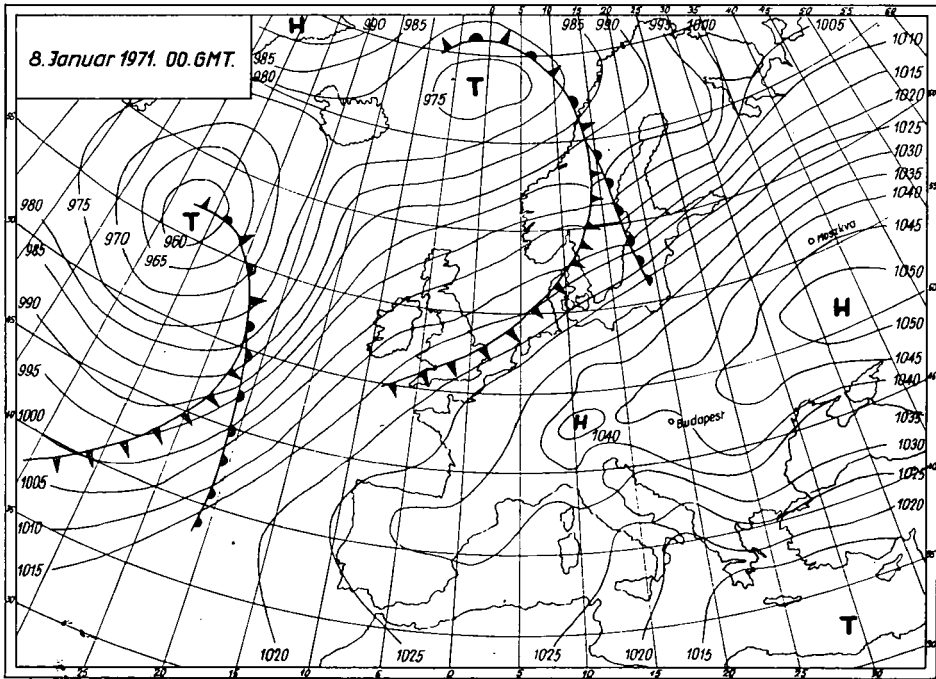


Abb. 1. Typische winterliche antizyklonale Wetterlage über Mittel- und Osteuropa

Wesen der verwickelten Windverteilung in Ungarn hin. Róna schreibt: wie bekannt, sind in Mitteleuropa die westlichen Winde vorherrschend, und zwar besitzen im Winter mehr die südwestlichen und im Sommer die nordwestlichen Winde das Übergewicht. Das mitteleuropäische Windsystem wird namentlich vornehmlich durch die Zyklonen, welche auf den nördlichen Teilen des Atlantischen Ozeans erscheinen, gesteuert, in erster Reihe in der kalten Jahreszeit (atlantisches Windsystem). Die Winde in Ungarn werden aber auch durch die mediterranen Zyklonen beeinflusst, welche sich über dem Mittelmeer bilden, und demzufolge gibt es hierzulande eigentlich eine Trennungslinie zwischen den atlantischen und mediterranen Windsystem. Nach Róna ist diese Trennungslinie mit der „kontinentalen Achse“ von VOEIKOF identisch, welche sich in der Winterzeit oft über Ungarn mit einer WSW — ENE Richtung erstreckt und als eine Trennungslinie zwischen den Gebieten mit Nord- und Südströmung gelten kann (ein typischer Fall wird an Abb. 1 angeführt). Die Feststellungen von Róna wurden dann in Einzelheiten ergänzt durch die ausführlichen Verarbeitungen von DEFANT (1924), R. WAGNER (1931), KAKAS (1947) und BACSÓ (1959), sowie durch das Werk „Klimaatlas von Ungarn“ (Red. KAKAS 1960, 1967).

Jedenfalls besteht die Tatsache, dass in den Windverhältnissen des Karpatenbeckens die regionalen Windsysteme von Mitteleuropa und die orographischen Wirkungen gleichzeitig widerspiegelt werden. Die ersteren können erfolgreich untersucht werden mit Hilfe der synoptisch darstellenden Methoden der Beschreibung der zyklonalen und antizyklonalen Tätigkeit, und die letzteren mit Hilfe einer lokalen, auch auf die Einzelheiten eingehenden Analyse der Windverhältnisse mehr statistischen Charakters.

Es wurde schon durch Róna erkannt, dass die jahreszeitlich sich wechselnde Windrichtungshäufigkeit der Alföld und somit auch von Szeged mit den häufigsten Zugstrassen der Mitteleuropa überquerenden Zyklonen erklärt werden kann. Die klassischen Bearbeitungen durch VAN BEBBER (1891) gründeten sich auf die Angaben aus den Jahren 1876—1880 und bestimmten in grossen Zügen die häufigsten Zugstrassen der Zyklonen über Europa. R. WAGNER hat in den 1930-er Jahren aus einem mehr reichhaltigen Material des Zeitraumes 1926—1930 unter Verwendung zeitgemässere synoptischen Methoden den Versuch von VAN BEBBER fortgeführt und konstruierte die bedeutendsten Zugstrassen der angeführten Periode (WAGNER 1935—1936, 1937).

Ein bedeutender Teil der Zyklonen, durch welche die Windverhältnisse Mitteleuropas am meisten beeinflusst werden, trat in Island auf, permanenten Aktionszentrum der Nordhalbkugel, etwa 40% aller während der Untersuchungsperiode über Europa hinwegziehenden Zyklonen. Die zweite Stelle wird von den für Ungarn ebenfalls wichtigen Zyklonenbahnen eingenommen, welche aus dem westlichen Becken des Mittelmeeres ausgehen (hierher gehören 25% der Zyklonen). Die dritte Gruppe der Zyklonenbahnen (mit rund 15% aller Zyklonen) verlief von Irland nach Osten und Nordosten (Abb. 2.).

Die durch WAGNER konstruierten Zyklonenbahnen verlaufen, im westatlantischen Raume beginnend, entsprechend der west-östlichen Richtung der allgemeinen Zirkulation, nach dem Inneren des Festlandes. Ihre meridionale Komponente ist verhältnismässig gering, doch ist eine nördliche oder südliche Ablenkung der west-östlichen Bahnen für einige Länder, unter ihnen auch für Ungarn, von entscheidender Bedeutung (z. B. die Bahnen V/b und III/a).

WAGNER fand einen kennzeichnenden jahreszeitlichen Unterschied in der Gestaltung der Zyklonenbahnen. In der Winterzeit war der Rumpf des Kontinentes verhältnismässig zyklonenarm (Fig. 3a) im Vergleich zu den Meeren die reicher an Tiefdruckgebilden sind. Hauptsächlich gilt dies vom warmen Mittelmeer. Die Zyklonen, welche aus dem Raume von Island und Irland stammen, schlugen Zugbahnen ein, welche weit nördlich von Ungarn verlaufen. Im Vergleich zur jährlichen Zahl und besonders zur sommerlichen Zahl hat die Zahl der mediterranen Zyklonen im Winter kräftig zugenommen, welche dort in einer westöstlichen Richtung wandern.

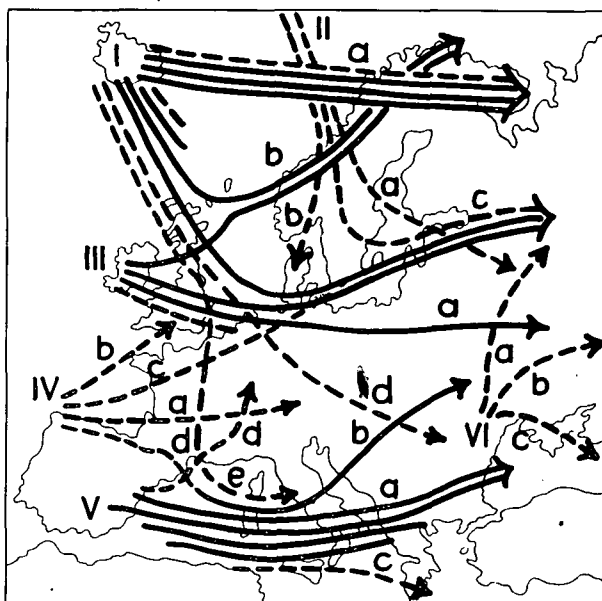


Abb. 2. Mittlere jährlichen Zugstrassen der Zyklonen über Europa (1926—1930). Ausgezogene Linien: rel. Häufigkeit von 5%, gestrichelte Linien: rel. Häufigkeit von 2,5%. (nach Wagner, R. 1935—36).

Zwischen der nördlichen und südlichen Zone befindet sich das zyklonenarme Gebiet der Voeikof'schen kontinentalen Achse, was auf ein häufiges Auftreten der gut ausgebildeten winterlichen Antizyklonen hinweist. Somit kam in Mitteleuropa und somit auch in Ungarn, für den untersuchten Zeitraum im Winter ein kräftiger kontinentaler Einfluss (eine wohl ausgebildete thermische Antizyklone) und ein gewaltiger mediterraner Einfluss (eine lebhaftige Zyklonentätigkeit im Mediterranbecken) zur Geltung.

Eine Besonderheit der bezeichnenden und während des fraglichen Zeitraumes häufigen Luftdruckverteilung und Windverteilung wird durch die an Abb. 1 dargestellte europäische Wetterlage angedeutet: Zyklonen wandern entlang von Zugstrassen, die weit nördlich des Rumpfes des Festlandes verlaufen, und dem Mediterranraum gegenüber durch ein Hochdruckgrat getrennt werden, der ziemlich genau mit der Kontinentalachse zusammenfällt. Diese Wetterkarte bietet eine gute Darstellung über die im Winter im mittleren Teil der Alföld, somit auch in Szeged häufig auftretenden südlichen und südöstlichen Luftströmungen sowie über deren Eingliederung in das mitteleuropäische antizyklonale Strömungssystem. Nun ist die Frage, wie weit nach oben bei der ziemlich geringen vertikalen Erstreckung der thermischen Antizyklone diese südlichen Winde des Alföld zur Geltung kommen.

Die in der winterlichen Windrichtungsverteilung gefundenen häufig auftretenden südlichen Komponenten sind natürlich nicht nur an die besprochene antizyklonale Lage gebunden, sondern sie treten in Erscheinung auch innerhalb der ziemlich langwierig auftretenden Stromsystemen der nach

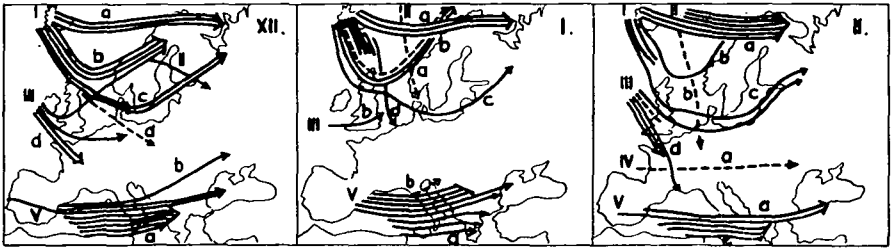
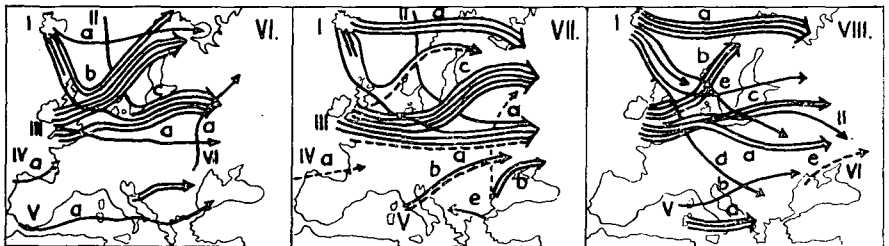


Abb. 3. Mittlere jahreszeitlichen Zugstrassen der Zyklonen über Europa (1926—1930).
Ausgezogene Linien: rel. Häufigkeit von 5%, gestrichelte Linien: rel. Häufigkeit von 2,5%. (Nach Wagner, R. 1937.)

a) Winter

Süden abbiegenden nordatlantischen Zyklonen und der nach Norden abbiegenden mediterranen Zyklonen.

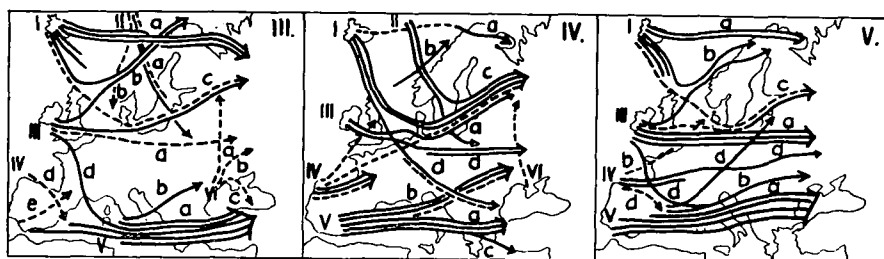
Im Sommer treten in der nördlichen Hälfte Europas, etwa nördlich des 50.-sten Breitengrades, die vom Atlantischen Ozean heranziehenden Zyklonen bedeutend häufiger auf, als im Winter. Hingegen werden im Raume des Mittelmeeres mit der Nordwärtsverschiebung des Hochdruckgürtels die Zyklonen seltener. Die sommerliche Witterung wird in Mitteleuropa durch den in der Belebung der Zyklonentätigkeit sich ausdrückenden ozeanischen Einfluss gekennzeichnet (Abb. 3b); in Ungarn erstrecken sich noch oft die Kaltfronten bis zur Alföld und sind mit nordwestlichen Winden verbunden.



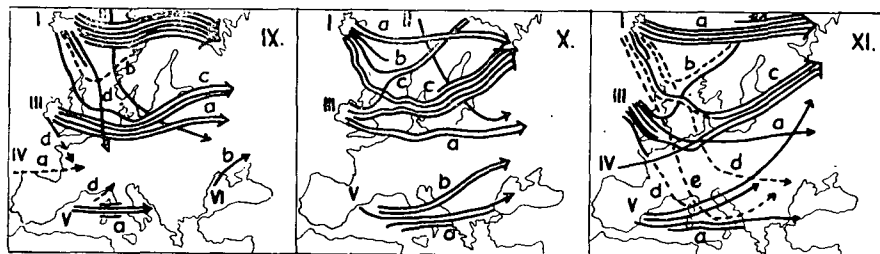
b) Sommer:

Von den Übergangsjahreszeiten wird der Frühling, nach der Verarbeitung von WAGNER, durch eine zunehmende kontinentale Zyklonentätigkeit gekennzeichnet (Abb. 3c), gleichzeitig werden die Zyklonenbahnen aus dem Mediterranbecken immer mehr in der Richtung des Inneren des Festlandes verschoben (d. h. die Zugstrasse „Vb“ wird immer häufiger befolgt). Im Meditteranraum beginnt nach der verhältnismässigen Ruhe des Sommers erst im Oktober die für den Herbst charakteristische südosteuropäische Zyklonentätigkeit und sie nimmt gegen den Winter stetig zu (Abb. 3d).

Bei der ausführlicheren Beschreibung der grossräumigen Windsysteme, durch welche die Windverhältnisse des Alföld beeinflusst werden, können entschiedene jahreszeitliche Besonderheiten der Strömung erkannt werden, welche in einem Zusammenhang mit der jahreszeitlichen Veränderung der allgemeinen Luftzirkulation stehen, und innerhalb derselben mit den thermischen



c) Frühling



d) Herbst.

Gegensätzen zwischen Land und Meer und mit dem viel umstrittenen Monsunalcharakter des europäischen und insbesondere des mitteleuropäischen Klimas verbunden sind.

Die Windverhältnisse der Alföld und insbesondere der Umgebung von Szeged werden in der klimatischen Monographie von R. WAGNER ausführlich behandelt (WAGNER 1941). Darin werden die Windbeobachtungen eines längeren Zeitraumes als bei HEGYFÖKY und RÓNA verarbeitet (1896—1915). Unter der Verwendung von Windrichtungsergebnissen wurden Strömungslinien gezeichnet und es wurde nachgewiesen, dass die Strömungskonvergenz, die von HEGYFÖKY vorausgesetzt wurde, tatsächlich im permanenten Strömungssystem von Ungarn auftritt und zwar in der Form einer Konvergenzlinie, die im Osten des Flusses Tisza (Theiss) in einer nord-südlichen Richtung verläuft. Die jährliche resultierende Windrichtung ist westlich der Konvergenzlinie WNW, wogegen östlich davon eine resultierende Windrichtung von SE bis E vorliegt. Innerhalb dieses Windsystems, das in den verschiedenen Jahreszeiten eine besondere Ausgestaltung erfährt, können die Windrichtungsverteilungen von Szeged im Winter- und Sommerhalbjahr charakteristisch unterschieden werden (in Übereinstimmung mit den schon behandelten Veränderungen der Zyklonen-Zugstrassen). Auf das ganze Jahr bezogen sind die häufigsten Windrichtungen: NW (19,8%) und S (19,1%). Im Sommerhalbjahr behält die Richtung NW noch ihre Überhand gegenüber der Richtung S und in der Zeit von April bis Juli steigt ihre Häufigkeit von 18,8% auf 37,5%, dann nimmt sie bis September auf 15,9% ab. Im Winterhalbjahr, hauptsächlich in den Monaten Oktober—Dezember steht die Richtung S an erster Stelle, und NW an der zweiten. Letzten Endes stellt WAGNER fest, dass „die Windverhältnisse der Alföld nicht nur einen lokalen Charakter besitzen, sondern auch den grossräumigen Windsystemen angehören, welche in Europa durch

Tabelle 1

Die relative Häufigkeit der Windrichtung (%) Jähr. Szeged 1941—1953

Meter	h	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
500	1595	8,3	6,5	7,4	3,6	3,1	3,4	5,5	9,4	10,2	5,3	5,3	5,3	3,4	5,2	9,4	8,7
1000	1526	7,7	7,9	4,7	2,8	3,0	4,5	5,6	6,4	9,2	5,9	5,4	5,9	6,0	6,0	10,0	9,0
1500	1453	7,5	7,0	4,6	3,2	3,2	2,8	4,5	5,2	7,1	6,9	7,3	6,0	7,1	6,8	10,1	10,7
2000	1348	7,6	5,5	4,1	3,1	4,0	3,0	3,8	4,3	5,4	6,9	7,8	8,6	7,6	7,2	11,1	10,0
2500	1215	8,0	4,7	4,6	3,0	4,0	2,5	2,9	3,8	4,7	7,5	8,4	8,2	7,2	8,3	13,3	8,9
3000	1130	7,8	4,5	5,0	3,0	3,6	2,5	2,1	3,2	5,0	7,1	8,3	8,5	7,8	9,1	11,9	10,5
Poden (100 m)		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C							
1891—1900 (Róna)	7,1	6,1	4,7	20,1	15,0	6,5	9,2	25,6	5,5								
1896—1915 (Wagner)	15,3	6,5	5,0	12,1	19,1	8,8	10,1	19,8	3,3								
1901—1950 (Kakas)	15,0	8,0	6,1	11,3	16,5	9,5	11,4	16,2	5,3								

Zyklonaleinflüsse und Monsunalinflüsse hervorgerufen werden." In diesem Sinne müssen die sommerlichen nördlichen Komponenten und die winterlichen südlichen Komponenten der allgemeinen Westströmung, sowie auch die winterliche Verstärkung der Voekof'schen Kontinentalachse der monsonalen Beschaffenheit unserer Winde zugeschrieben werden. Nun ist es die Frage, bis nach welcher Höhe dieser monsonale Charakter in der Windrichtungsverteilung sich erstreckt.

Nun soll es untersucht werden, welche Widerspiegelung die beschriebenen Besonderheiten des Strömungsfeldes bei der Analyse der Pilotballonmessungen in Szeged finden. Das zur Verfügung stehende Beobachtungsmaterial wollen wir in zwei Teilespalten. Im Zeitraum 1949—1953 wurden die Pilotaufstiege am Turm der Universität allgemein einmal täglich durchgeführt. Im Laufe des Jahrzehntes 1954—1963 wurden am Flughafen, der in freiem Gelände und von Stadtstörungen unbeeinflusst liegt, allgemein täglich zwei Pilotballonaufstiege, bzw. (in 1962—1963) täglich zwei Rawindmessungen vorgenommen. Die zweite Beobachtungsreihe ist mehr für eine eingehende Bearbeitung geeignet. Die erste werden wir vorzüglich zum Vergleich der beiden Zeitabschnitte verwenden.

Die erste aeroklimatologische Zusammenfassung wurde auf Grund der fünfjährigen Beobachtungen in Szeged in 1954 veröffentlicht (BÉLL 1954) und enthält die Häufigkeitswerte der Windrichtungen, sowie die Jahresmittel der Windgeschwin-

digkeit. Die Zahl der verwendeten Messungen betrug in einer Höhe von 500 m noch 1595, jedoch in 10 km Höhe war sie nur mehr 407 (dies ist die höchste Zahl unter den Höhenwindmessungen in der Provinz). Die Zahl der Pilotballonmessungen nahm in Abhängigkeit von der Witterung (Bewölkung) ab 4000 m Höhe stark ab, doch konnte in einer Höhe von 3000 m noch in 71% der in 500 m ausgeführten Messungen ein Ergebnis erhalten werden. Für die Beobachtungsreihe 1954—1963 ist dieses Verhältnis noch günstiger: 86%.

Die mittlerer Häufigkeit der Windrichtungen für den Zeitraum 1949—1953 und für das Höhenintervall 500—3000 m wird in *Tabelle 1* mitgeteilt.

Die aerologischen Angaben wurden in der bodennahen Schicht durch Angaben aus 3 verschiedenen Zeitabschnitten ergänzt (die letzteren wurden auf Grund von 8 Windrichtungen und Windstille gruppiert). Die Beobachtungsreihen der bodennahen Windrichtungen stimmen miteinander darin Überein, dass die häufigsten Windrichtungen des Jahres NW und S sind (bei Róna SE), und dies kann so aufgefasst werden, dass es für die mittleren Teilen des Alföld eine permanente klimatische Erscheinung bildet, welche in Zusammenhang mit der Zyklontätigkeit steht und auch ein gewisses monsunales Gepräge besitzt.

Von der Oberfläche nach der Höhe fortschreitend, bewahrt die Richtung NW ihren vorherrschenden Charakter und es besteht sogar eine Zunahme der Häufigkeit der NW-Winde mit der Höhe. Hingegen nimmt die Häufigkeit des Südwindes ab und schon in 1500 m verliert der Südwind seinen vorherrschenden Charakter.

Um eine eingehendere Untersuchung der Häufigkeiten der Windrichtungen zu erzielen und eine Veranschaulichung derselben zu verwirklichen, haben wir an *Abb. 4* die Angaben der *Tabelle 1* für Bodennähe (100 m), sowie 500, 1000, 2000 und 3000 m Höhe dargestellt. Die Darstellung erfolgt nicht in der üblichen Weise, nach der Windrose, sondern die relativen Häufigkeiten der Windrichtungen werden in einem rechtwinkligen Koordinatensystem eingetragen, was geeigneter ist für die Veranschaulichung der Häufigkeitsmaxima und für die Beurteilung der Realitäten dieser Maxima.

Nun soll die Frage aufgeworfen werden, ob die einzelnen Züge der erhaltenen Häufigkeitsverteilung, die grösseren oder kleineren Häufigkeiten der einzelnen Windrichtungen, statistisch begründete Eigenschaften des Luftraumes über Szeged bilden, oder sind sie nur die nicht-permanenten Folgen der Auswahl des verwendeten Zeitabschnittes als ein statistisches Muster.

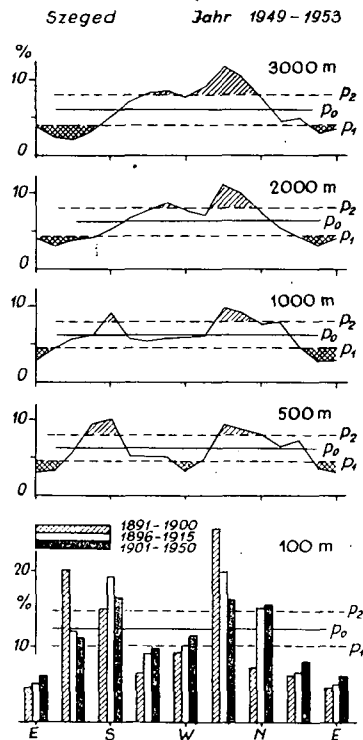


Abb. 4. Jährliche Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über Szeged

Bei der Verarbeitung der aerologischen Angaben wurden die Windrichtungen in 16 Richtungsintervalle eingeteilt. Wenn sich die beobachteten Fälle gleichmässig auf die Richtungsintervalle verteilen würden, d. h. in der Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Windrichtungen keinerlei Unterschiede vorhanden wären (Null-Hypothese), dann wäre die relative Häufigkeit für eine jede Windrichtung gleich $100/16 = 6,25\%$. Nun schwanken aber die aus dem 5-jährigen Zeitabschnitt errechneten Häufigkeitswerte der Windrichtungen um den Wert dieser Grundwahrscheinlichkeit (in Abb. 4 mit p_0 bezeichnet). Da fragt man sich, wie hoch eine Abweichung der errechneten Häufigkeiten von der Grundwahrscheinlichkeit sein darf, um die Abweichungen dem Zufall zuschreiben zu können, d. h. wo liegen die unteren und oberen Grenzen des Zufallspielraumes? Bezeichnen wir diese Grenzen mit p_1 und p_2 .

Die Auswahl der unteren und oberen Grenze kann auf Grund einer Vereinbarung vorgenommen werden, welche der Natur der Aufgabe entspricht. In meteorologischen Untersuchungen wird allgemein ein Kriterium des 0,27%igen Überschreitens empfohlen (BAUR 1953), d. h., dass eine Abweichung solcher Werte, welche ausserhalb der unteren und der oberen Grenze des Wahrscheinlichkeitsspielraumes liegen, auf einem Signifikanz-Niveau von 99,73% nicht mehr durch den Zufall, sondern z. B. im Falle einer Beurteilung der Windrichtungen durch das häufige oder seltene Auftreten der betreffenden Windrichtungsintervalle erklärt werden soll. Die unteren und oberen Grenzen des Zufallspielraumes, welche der vorgeschlagenen Übertrittswahrscheinlichkeit von 0,27% entsprechen, sind für den Fall der Grundwahrscheinlichkeit $p_0 = 6,25\%$ (d. h., 16 Richtungsintervalle) leicht der Abb. 5 zu entnehmen. Die Abb. wurde auf Grund einer Tabelle von Linke angefertigt. Es ist offensichtlich, dass bei der Zunahme der Anzahl der Fälle (N) der Zufallspielraum enger wird und das Angabenmaterial, als statistisches Muster, wertvoller wird.

An Abb. 4 haben wir die Linie der den einzelnen Häufigkeitsverteilungen entsprechenden Grundwahrscheinlichkeiten (p_0) angedeutet, sowie die untere und obere Grenzen des Zufallspielraumes (p_1 und p_2). Nach den obigen Ausführungen sind die Häufigkeitswerte, welche in das Intervall $p_2 - p_1$ fallen, nicht kennzeichnend für die einzelnen Windrichtungen, da ihre Schwankung um den Wert p_0 durch den Zufall erklärt werden kann. Die schwarz belegten Gebiete unterhalb von p_1 enthalten die seltenen Windrichtungen und die schraffierten Gebiete oberhalb p_2 enthalten die häufigen Windrichtungen. Diese Unterscheidung kann auf dem allgemein angenommenen Wahrscheinlichkeitsniveau als ein Ausdruck der permanenten klimatischen Züge der Windrichtungen angesehen werden.

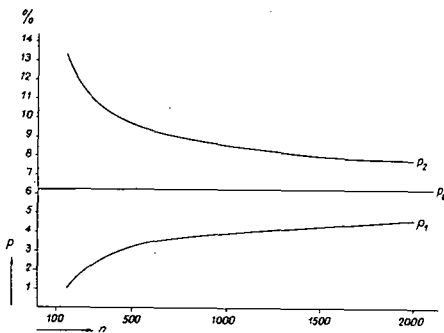


Abb. 5. Grenzen des Zufallspielraums der relativen Häufigkeit in einer Stichprobe (Grundwahrscheinlichkeit $p_0 = 0,0625$)

Folglich geht in Bodennähe aus allen den drei Beobachtungsreihen das auch statistisch begründete Übergewicht der Windrichtungen S und NW

hervor und deswegen dürfen wir dieselben unter der Verwendung eines üblichen Ausdruckes als „vorherrschende Windrichtungen“ bezeichnen. In der Umgebung von Szeged sind selten vorkommende Windrichtungen: E und NE. Etwas häufiger treten die SW—Winde auf, doch fallen dieselben noch immer in ein statistisch seltenes Richtungsintervall. Diese Feststellung steht in Übereinstimmung mit den bekannten klimatischen Zügen von Szeged in Bodennähe.

Nach oben hin fortschreitend steht in 500 m Höhe das häufige Auftreten der S—SSE und NW—N Richtungsintervalle noch in Übereinstimmung mit den in Bodennähe gefundenen vorherrschenden Winden. Die selten auftretenden Richtungen gruppieren sich eng um W und etwas breiter zwischen ENE und ESE. Nach grösseren Höhen fortschreitend findet man, dass die häufigen Windrichtungen sich unter einer Überschreitung der Quadranten SW und NW sich an die Richtung W annähern, der seltene Charakter des W-Windes geht allmählich verloren und in 3000 m Höhe erfüllt schon diese Windrichtung das statistische Kriterium für eine häufige Windrichtung.

Die zusammendrängung der häufigen Windrichtungen um die Richtung W kann mit Hilfe des verwendeten Pilotwindmessungs-Materials nach den höheren Schichten nicht weiter verfolgt werden, da die Windangaben der bedeckten Tage immer mehr gegenüber den „Schönwetter-Piloten“ zurücktreten. Auf die Windrichtungshäufigkeiten der höheren Schichten der Troposphäre kann mit Hilfe der in Budapest unter Verwendung eines Radiotheodoliten gewonnenen 5-jährigen Beobachtungsreihe geschlossen werden (Abb. 6). Über Budapest findet man ebenso wie über Szeged in den untersten 3 Kilometern der Troposphäre zwei statistisch reelle häufig auftretende Windrichtungsintervalle, welche sich aus den Quadranten SW und NW nach oben an die Richtung W annähern, die selbst sich mit der Höhe von einer seltenen zu einer häufigen Richtung umwandelt, und man findet zwischen 3 und 4 km eine Verschmälzung der in Frage stehenden beiden Richtungen mit der vorherrschenden Westströmung der oberen Troposphäre. Die um W sich gruppierenden häufigen Windrichtungen enthalten in der Höhe von 5 km schon bereits 70% aller Winde, wogegen z. B. in einer Höhe von 1 km die gesamte relative Häufigkeit der Winde aus dem NW-Quadranten geringer als 30% war.

Der Umstand, dass die Windrichtungen sich oberhalb von 3 km in der Troposphäre um die Richtung W sich zusammendrängen, bildet eine bekannte Erscheinung der allgemeinen Luftzirkulation und dieselbe kann in den Windangaben aller 8 Pilot-

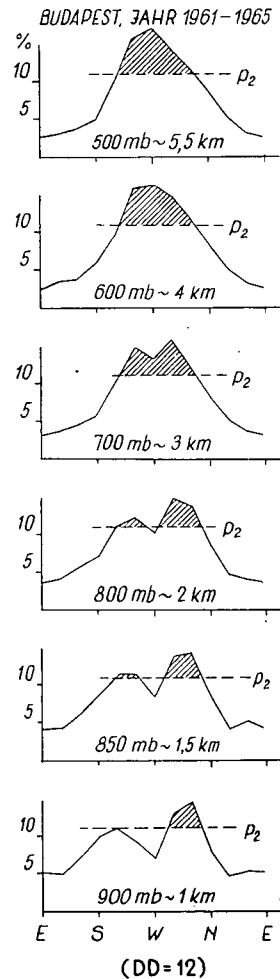


Abb. 6. Jährliche Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über Budapest

Tabelle 2

Die relative Häufigkeit der Windrichtung (%) in der Höhe von 3000 m über Ungarn

Station	n	1954—1963															
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SESE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Szombathely	1 098	6,7	5,6	3,7	2,4	2,3	2,2	2,1	2,4	4,7	6,3	9,8	9,1	9,7	12,2	11,4	9,4
Győr	483	5,5	5,1	4,1	2,5	2,7	3,1	2,4	3,2	4,0	7,9	10,7	8,7	9,0	13,3	10,0	7,8
Siófok	434	4,6	4,8	3,5	5,5	4,2	3,0	4,2	5,3	3,7	8,1	5,5	10,2	10,3	12,1	6,9	7,9
Pécs	1 197	7,4	5,1	4,7	3,7	3,4	2,8	3,0	3,4	4,1	5,4	9,6	11,4	9,9	8,2	9,9	8,0
Budapest	4 489	6,0	3,9	3,5	2,9	3,0	2,9	3,3	3,7	4,7	6,1	10,2	10,3	10,1	12,0	10,0	7,4
Szeged	1 486	5,6	4,0	3,5	3,0	3,1	2,5	2,9	3,5	4,8	5,7	10,1	11,6	11,3	10,3	10,5	7,5
Miskolc	747	7,4	4,6	4,8	4,6	3,9	3,8	4,1	3,0	5,1	5,9	8,9	8,2	9,6	9,8	9,4	6,7
Debrecen	1 165	6,1	4,2	4,8	4,0	2,8	3,3	3,2	3,7	4,9	7,1	8,5	9,6	10,7	11,5	9,1	6,5
Ungarn	11 099	6,2	5,0	4,1	3,6	3,2	3,1	3,2	3,7	4,8	6,8	8,6	9,7	10,4	10,3	9,5	7,8

ballonstationen von Ungarn wiedergefunden werden. Es kann vorausgesetzt werden, dass oberhalb von 3 km die durchschnittlichen Windverhältnisse keine wesentlichen Abweichungen innerhalb des Luftraumes von Ungarn mehr ausweisen. Zur Rechtfertigung dieser Annahme bringen wir in Tabelle 2 die jährliche Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen an 8 ungarischen Pilotstationen für 3000 m Höhe, errechnet aus dem Zeitabschnitt 1954—1963. In der Tabelle wurden die seltenen und die häufigen Windrichtungen in abweichenden Satze gedruckt. Es wird ersichtlich, dass die 8 Beobachtungsreihen darin übereinstimmen, dass die häufigen Windrichtungen sich um W und die seltenen Windrichtungen sich um E gruppieren und die häufigen Windrichtungen insgesamt 50% aller Fälle ausmachen. In der letzten Zeile der Tabelle befinden sich die durchschnittlichen jährlichen Windrichtungshäufigkeiten, welche aus den 8 Beobachtungsreihen mit dreifacher übergreifenden Mittelbildung und Glättung für den gesamten Luftraum von Ungarn errechnet wurden, ein Verfahren, das infolge der repräsentativen Unterbringung der Stationen als erlaubt bezeichnet werden kann.

In der gewonnenen Windrichtungsverteilung kommt ein bekannter Zug der Zirkulation in der gemäßigten Breitenzone anschaulich zum Ausdruck: derselbe besteht in der grossen Häufigkeit der permanenten Westströmung und der darauf sich überlagernden turbulenten Zirkulation. Die wellenartige Schwankungen der letzteren werden über Ungarn in 50% aller Fälle durch die statistisch noch als häufig zu betrachtenden Windrichtungen SW und NW begrenzt. Es kann vorausgesetzt werden, dass

mit dem Aufhören der Wellen der Grundströmung die Höhenströmung gegen der für ein dynamisches Gleichgewicht kennzeichnenden westlichen Richtung verschoben wird und diese Richtung auch erreicht.

Wie man an Abb. 6 für Budapest und an Abb. 4 für Szeged feststellen konnte, nimmt nach unten hin die Häufigkeit der Grundströmung ab und unterhalb von 3 km, in einer Höhe von 2—2,5 km verliert schon die westliche Richtung ihren statistisch nachweisbaren vorherrschenden Charakter. Die häufigen Windrichtungen gruppieren sich in den Quadranten SW und NW zwei Hauptrichtungen, und nach unten entfernen sich diese Hauptrichtungen von einander und von der dazwischen liegenden westlichen Richtung. Diese Doppelgruppierung der Windrichtungen ist nach den früheren Ausführungen in erster Reihe eine Folge der Zyklontätigkeit. In der unteren Troposphäre wird namentlich die turbulente Zirkulation nicht so sehr durch Wellen der Grundströmung, sondern durch das Auftreten geschlossener Wirbel, d. h. durch die Zyklontätigkeit gekennzeichnet. An der Ostseite der mit der Grundströmung vorzüglich nach Osten wandernden Zyklonen kommen mit grösster Häufigkeit die SW-Winde vor, welche zwar nur von mässiger Stärke sind, aber verhältnismässig lange anhalten. An der Rückseite der abziehenden Zyklone hingegen ereignen sich heftigere, aber weniger lange dauernde Nordwest-Einbrüche. Eine bedeutende Abweichung gegenüber der über 3—5 km liegenden Schichten besteht darin, dass in der Zwischenzeit zwischen den einander nachfolgenden Störungen die westliche Gleichgewichtsströmung verhältnismässig selten zur Geltung kommt.

Mit der Annäherung an die Erdoberfläche werden die Einflüsse der Zyklontätigkeit immer mehr und mehr durch orographische Einflüsse überlagert. Als Endresultat sind die zwei Hauptrichtungen der bodennahen Winde infolge der wechselvollen Orographie des Karpatenbeckens von Ort zu Ort sehr verschieden. Im Szeged, wie oben dargelegt, gruppieren sich die häufigsten Windrichtungen in Bodennähe um S und NW.

Nun fragt man sich, ob die Gruppierung der häufigen Windrichtungen im SW- und NW-Quadrant eine charakteristische Abweichung in den verschiedenen Jahreszeiten aufweist, wie dies auf Grund der bekannten jahreszeitlichen Veränderung der Zyklontätigkeit zu erwarten wäre. Dazu verwenden wir die zehnjährige Beobachtungsreihe der Pilotmessungen in Szeged 1954—1963. In Tabelle 3 werden die jährlichen Häufigkeitswerte der Windrichtungen in der Schicht zwischen dem Boden und 3000 m mitgeteilt.

Zunächst kann es festgestellt werden, dass durch diese umfangreichere Beobachtungsreihe eine Bekräftigung für die Folgerungen geliefert wird, welche wir von der vorherigen 5-jährigen Beobachtungsreihe abgeleitet haben. In der untersten 1000 m-Schicht gruppieren sich die häufigsten Windrichtungen (mit besonderem Satze gedruckt) um zwei Hauptrichtungen, namentlich S und NW. In der Gruppe um S hat man, bei Annäherung an den Boden, eine häufigste

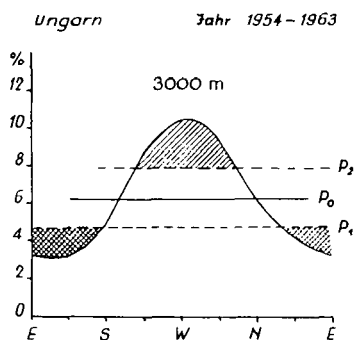


Abb. 7. Mittlere jährliche Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über Ungarn in der Höhe von 3000 m

Tabelle 3
Relative Häufigkeit der Windrichtungen (%) 1954—1963

SZEGED	Jahr								
Meter	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000
N	7,3	7,2	7,3	6,9	7,1	6,4	6,0	6,6	5,6
NNE	7,1	7,3	6,7	7,2	6,7	5,1	4,8	4,3	4,0
NE	5,7	6,6	6,6	6,8	5,6	4,3	3,4	3,3	3,5
ENE	3,5	4,0	3,8	3,2	3,1	3,4	2,9	2,5	3,0
E	2,2	3,1	3,3	3,7	3,9	3,2	3,4	3,0	3,1
ESE	3,0	3,5	3,6	3,5	3,4	3,0	3,0	2,4	2,5
SE	9,3	5,3	5,2	5,1	5,0	5,0	3,3	3,3	2,9
SSE	11,6	9,7	8,2	7,6	6,7	5,0	5,0	4,7	3,5
S	7,4	8,9	8,6	8,2	7,9	7,5	6,6	5,4	4,8
SSW	3,8	6,1	6,3	6,3	5,6	5,9	5,7	6,2	5,7
SW	4,8	4,7	6,8	7,0	7,5	8,1	9,3	9,5	10,1
WSW	3,9	4,6	4,8	5,8	7,2	8,6	10,0	11,1	11,6
W	5,4	4,5	5,1	5,0	6,1	8,2	9,1	9,7	11,3
WNW	6,4	6,2	5,4	5,7	5,9	6,5	8,0	9,8	10,3
NW	9,6	10,0	9,8	9,3	9,5	11,2	11,2	10,5	10,5
NNW	7,0	8,1	8,2	8,5	8,6	8,5	8,2	7,5	7,5
C	2,0	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
n	3478	3478	3466	3434	3394	3316	3212	3082	2972

Windrichtung, welche von S in SSE übergeht, worin die richtungsablenkende Wirkung der Oberflächenreibung erkannt werden kann. In den höheren Schichten, oberhalb von 1000 m, nähern sich die häufigsten Windrichtungen aus den Quadranten SW und NW der Richtung W, welche in den Schichten über 1500 m zu einer häufigen Windrichtung und oberhalb 3000 m zu einer der WSW ebenbürtigen Richtung wird.

Aus der Tabelle ist es auch ersichtlich, dass die Häufigkeit der Winde mit einer Ostkomponente mit der Höhe durchwegs abnimmt und diese Winde oberhalb von 700 m den statistischen Schwellenwert für häufige Windrichtungen (7,9%) nicht mehr erreichen. Hingegen ist oberhalb von 2500 m die Häufigkeit aller Winde mit einer Ostkomponente geringer als der Schwellenwert für seltene Windrichtungen (4,7%). Demgegenüber nimmt die Häufigkeit der Winde mit einer Westkomponente mit der Höhe stetig zu und oberhalb 1500 m gehören alle Windrichtungen des Quadranten SW—NW der Gruppe der häufigen Windrichtungen an.

Die Häufigkeiten der um S und NW sich gruppierenden Windrichtungen weist typische jahreszeitliche Abweichungen auf (Tabelle 4.)

Zur Veranschaulichung der jahreszeitlichen Richtungsverschiebung führen wir auf der Abb. 8 die Windrichtungshäufigkeiten im Winter (ausgezogene Linie) und dieselbe im Sommer (unterbrochene Linie) an. Die Windrichtungen, deren Häufigkeit vom Winter zum Sommer zunimmt, bezeichnen wir (mit einem in der Klimakunde üblichen Ausdruck) als die charakteristischen Winde des Sommers, und in gleicher Weise definieren wir die charakteristischen Winde des Winters. Das schraffierte Gebiet zwischen den beiden Kurven bedeutet die

Tabelle 4
Relative Häufigkeit der Windrichtungen (%) 1954—1963

SZEGED Meter	a)									Frühling	
	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000		
N	8,8	8,9	8,2	8,0	8,2	7,0	6,9	7,3	7,6		
NNE	7,6	6,8	7,5	7,8	6,8	6,5	6,2	5,2	4,1		
NE	6,1	7,7	7,4	7,5	6,1	4,1	3,4	2,7	3,8		
ENE	2,5	3,7	3,6	3,9	3,0	3,8	2,9	3,2	3,5		
E	2,5	2,8	3,0	3,0	3,4	3,8	3,3	3,6	3,3		
ESE	3,6	4,2	5,2	4,9	4,6	4,1	3,8	2,7	3,8		
SE	9,5	6,7	5,8	5,4	6,0	6,4	4,2	3,9	2,5		
SSE	11,6	9,4	7,4	6,9	6,5	5,3	6,5	6,9	4,6		
S	6,4	7,1	7,0	7,5	7,5	6,2	5,5	4,3	4,1		
SSW	3,7	5,0	6,0	5,5	4,7	4,5	4,8	5,9	6,3		
SW	4,0	2,8	5,6	6,3	6,2	7,0	9,3	8,2	8,9		
WSW	3,7	4,9	4,1	4,8	5,9	8,0	6,9	7,6	8,7		
W	5,8	5,0	5,5	5,8	6,4	6,9	7,9	9,3	10,2		
WNW	5,4	6,0	4,3	4,0	5,3	6,8	8,7	9,7	10,4		
NW	10,8	10,6	10,5	9,4	10,1	10,6	11,1	10,8	10,3		
NNW	6,8	8,3	8,8	9,3	9,1	8,9	8,3	8,5	7,9		
C	1,2	0,1	0,1	—	0,2	0,1	0,3	0,2	—		
n	453	453	452	449	445	438	418	393	377		

	b)									Sommer	
N	7,1	7,6	9,0	8,5	7,8	7,3	5,9	7,2	5,9		
NNE	4,9	7,5	6,8	6,4	6,4	4,5	4,4	3,6	3,2		
NE	5,0	4,9	4,9	5,9	4,8	4,1	3,9	2,9	3,1		
ENE	5,1	3,9	3,6	3,3	2,5	3,6	3,0	1,8	2,1		
E	2,0	2,9	3,3	3,9	4,8	1,7	3,0	2,6	1,9		
ESE	1,5	2,6	2,9	3,0	2,5	2,7	2,6	1,8	1,8		
SE	6,8	4,0	4,6	3,9	3,8	3,3	2,1	2,1	2,3		
SSE	7,2	7,4	6,1	5,4	4,8	3,7	3,8	4,2	2,9		
S	7,1	8,0	8,1	8,0	7,8	8,6	6,9	4,7	4,6		
SSW	3,8	5,9	5,6	5,9	5,7	5,4	5,1	7,0	4,5		
SW	5,8	4,6	5,1	5,6	6,7	8,8	9,4	8,0	10,1		
WSW	4,3	4,4	4,1	4,5	5,2	6,4	8,6	12,1	12,2		
W	6,4	4,3	5,4	4,4	5,8	8,5	10,6	11,1	13,6		
WNW	8,9	8,1	7,5	8,8	8,4	7,3	8,3	10,8	11,1		
NW	12,8	13,2	12,6	12,1	12,9	14,3	13,8	12,5	12,2		
NNW	6,8	10,2	9,8	9,8	9,7	9,7	8,5	7,3	8,2		
C	4,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,1	0,1	0,3	0,3		
n	435	435	435	435	434	431	422	414	398		

Meter	c)									Herbst	
	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000		
N	6,0	6,4	6,6	5,7	5,7	5,0	4,7	5,7	4,2		
NNE	6,8	6,8	5,8	6,7	5,6	3,2	3,7	3,5	3,0		
NE	5,2	5,9	7,0	7,9	6,8	5,0	3,2	2,9	3,2		
ENE	4,2	3,9	4,1	2,4	4,1	3,3	2,4	2,9	3,6		
E	2,5	3,8	3,5	4,1	3,5	4,2	4,0	3,2	3,4		
ESE	4,6	4,1	2,8	3,2	3,4	3,3	3,3	3,7	3,2		
SE	11,4	6,4	6,4	5,7	6,4	6,3	4,3	4,0	4,3		
SSE	14,2	12,8	11,7	12,1	9,9	7,4	6,5	5,2	3,7		
S	8,5	11,0	10,4	8,5	8,6	8,7	8,3	7,2	5,9		
SSW	4,7	7,5	6,8	7,7	6,6	7,4	7,3	7,6	8,2		
SW	4,7	4,8	7,7	7,1	8,0	7,8	8,9	11,2	11,5		
WSW	3,5	5,1	5,8	6,4	8,3	10,0	11,9	10,8	12,1		
W	4,5	3,8	4,5	5,1	5,5	8,2	8,1	8,5	10,2		
WNW	5,2	4,3	4,2	4,3	4,9	5,7	7,5	8,5	8,5		
NW	6,8	6,8	7,0	7,1	5,7	8,2	8,8	8,4	9,3		
NNW	6,8	6,4	5,5	5,9	7,0	6,3	7,0	6,7	5,7		
C	0,4	0,2	0,2	0,1	—	—	0,1	—	—		
n	438	438	436	432	428	419	413	400	391		

Meter	d)									Winter	
	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000		
N	7,4	5,7	5,0	5,0	6,8	6,2	6,4	6,0	4,6		
NNE	9,5	8,3	6,8	8,0	7,9	6,7	5,1	5,4	6,4		
NE	6,5	8,0	7,4	5,9	4,5	4,0	3,2	5,4	4,2		
ENE	2,3	4,8	3,8	3,0	2,6	2,8	3,4	2,7	2,6		
E	1,9	3,0	3,4	4,1	3,7	3,4	3,4	2,9	3,9		
ESE	2,4	2,8	3,4	2,8	3,1	2,2	2,7	1,3	0,7		
SE	9,5	4,1	3,9	5,5	3,7	3,8	2,6	3,1	2,3		
SSE	13,7	9,2	7,6	5,6	5,2	3,5	2,8	1,5	2,4		
S	7,8	9,8	9,0	8,8	8,1	6,2	5,3	5,2	4,6		
SSW	3,0	6,0	6,8	6,4	5,5	6,8	5,6	3,3	3,3		
SW	4,7	7,1	9,1	9,3	9,7	9,0	9,4	11,5	9,7		
WSW	4,2	3,8	5,4	8,1	10,0	10,6	13,7	15,1	14,1		
W	4,7	5,0	5,0	4,7	6,6	9,4	9,9	9,7	11,0		
WNW	5,9	6,3	5,5	5,5	4,8	6,2	6,8	9,5	11,9		
NW	7,5	8,9	8,9	8,3	9,1	10,0	10,9	9,8	9,7		
NNW	7,5	7,1	8,8	9,0	8,5	9,0	8,8	7,4	8,6		
C	1,5	0,1	0,2	—	0,2	0,2	—	0,2	—		
n	413	413	410	401	390	370	353	334	320		

charakteristischen Windrichtungen des Winters und das frei gelassene Gebiet bedeutet die charakteristischen Windrichtungen des Sommers. Zunächst ersieht man aus Abb. 8, dass im Winter die häufigsten Windrichtungen sich um die Richtung S (in der bodennahen Schicht um die Richtung SSE) gruppieren und enthalten die vorherrschenden Winde; dagegen erreicht die Gruppe N—NW kaum den Schwellenwert für häufige Winde. Im Sommer hingegen kann das Vorherrschen der Richtung NW entschieden erkannt werden, und die Gruppe S tritt nur mit einer geringeren Häufigkeit auf. Dieses Erkenntnis steht in voller Übereinstimmung mit dem jahreszeitlichen Verhalten der Zyklonenbahnen nach WAGNER.

Auch die charakteristischen Windrichtungen des Winters und des Sommers unterscheiden sich ausgesprochen. In der Sommerzeit fallen die charakteristischen Winde entschieden und von der Höhenlage fast unabhängig in den Quadranten W—N, d. h., die Häufigkeit der Windrichtungen aus dem Quadranten W—N nimmt vom Winter über dem Frühling bis zum Sommer zu (Tabelle 5), hingegen gibt es vom Sommer auf den Herbst eine bedeutende Abnahme.

In den charakteristischen Windrichtungen des Sommers ist das Geltendwerden des ozeanischen Einflusses zu erkennen, welcher durch die sommerliche Belebung der Zyklonenaktivität vermittelt wird. Die relative Zunahme der Winde aus dem Quadranten W—N vom Winter auf den Sommer kann man bis zu einer Höhe von 3000 m, wenn auch in abgeschwächter Weise, auffinden.

Die charakteristischen Windrichtungen des Winters fallen teilweise in den Quadranten N—E und teilweise zwischen die Richtungen SE und W, bzw. in Bodennähe zwischen E und S (Tabelle 6.). Offenbar ist die erstere eine kontinentale Wirkung des Winters, wogegen die zweite Gruppe überwiegend eine Folge der am warmen Mittelmeer sich ausbildenden, in Herbst sich belebenden und im Winter auch wirksame Zyklonentätigkeit ist.

In der charakteristischen Windgruppe N—E ist die Zunahme der relativen Vorkommen vom Sommer auf den Winter (und noch weiter auf das Frühjahr) nicht so entschieden als bei der anderen charakteristischen Gruppe (SE—W),

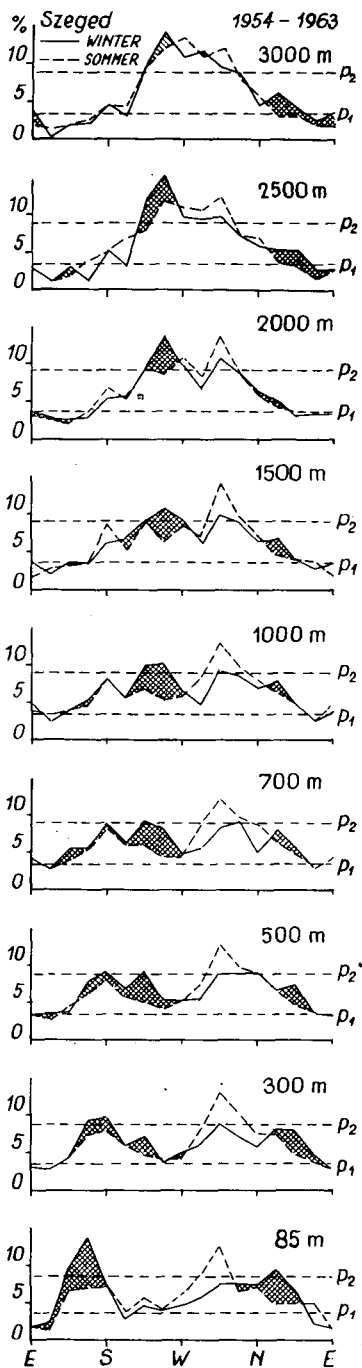


Abb. 8. Winterliche und sommerliche Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über Szeged

Tabelle 5
Relative Häufigkeit der Windrichtung in der charakteristischen Windrichtungsgruppe des Sommers (%)

Szeged	West-Nord								1954—1963
Höhe m	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000
Winter	33,0	33,0	33,2	32,5	35,8	40,8	42,8	42,4	45,8
Frühling	37,6	38,8	37,3	36,5	39,1	40,2	42,9	45,6	46,4
Sommer	42,0	43,4	39,3	43,6	44,6	47,1	47,1	48,9	51,0
Herbst	29,3	27,7	27,8	28,1	28,8	33,4	36,1	37,8	37,9

Tabelle 6
Relative Häufigkeit der Windrichtung in den charakteristischen Windrichtungsgruppen des Winters (%)

Szeged	Nord—Ost								1954—1963
Höhe m	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000
Sommer	24,1	28,8	27,6	28,0	26,3	21,2	20,2	18,1	16,2
Herbst	24,7	26,8	27,0	26,8	25,7	20,7	18,0	18,2	17,4
Winter	27,6	29,8	26,4	26,0	25,5	23,1	21,5	22,4	21,7
Frühling	27,5	29,9	29,7	30,2	27,5	25,2	22,7	22,0	22,3

Südost—West									
Höhe m	85	300	500	700	1000	1500	2000	2500	3000
Sommer	41,5	38,6	39,0	37,7	39,8	44,7	46,5	49,2	50,2
Herbst	50,5	51,4	53,3	52,6	53,3	55,8	55,3	54,5	55,9
Winter	47,6	45,0	46,8	48,4	48,8	49,3	49,3	49,4	47,4
Frühling	44,7	40,9	41,4	42,2	43,2	44,3	45,1	46,1	45,3

oder als bei der Häufigkeitszunahme der charakteristischen Winde des Sommers nach Tabelle 5.

Die jahreszeitliche Veränderung der Häufigkeiten der Windrichtungen weist darauf hin, dass im Laufe des untersuchten zehnjährigen Zeitabschnittes der ozeanische und mediterrane Einfluss gewaltiger war als der kontinentale Einfluss, der vorzüglich im Winter vermutet, aber statistisch nicht belegt werden kann. Auf einen besonders starken mediterranen Einfluss weist die gewaltige Zunahme der Windgruppe SE—W von Sommer auf dem Herbst hin. Es kann auch beobachtet werden, dass gleichzeitig ein Rückfall der N—E Windgruppe eingetreten ist. Daraus kann gefolgert werden, dass die herbstliche Zunahme der mediterranen Zyklonentätigkeit nach der zyklonenarmen Sommerzeit ein charakteristischer Zug des untersuchten Zeitabschnittes war. Vom Herbst zum Winter aber war der zweifellos schwächere kontinentale Einfluss noch genügend dazu, dass derselbe den Einfluss der mediterranen Zyklonentätigkeit abschwächen und die Relativzahl des Vorkommens der Wind-

gruppe SE—W herabsetzen konnte. Der intensive mediterrane Einfluss im Herbst kann auch in der herbstlichen advektiven Wärmeaufnahme der troposphärischen Schichten über Ungarn nachgewiesen werden über der wir in einer früheren Arbeit (BÉLL 1969) Folgerungen auf Grund der Veränderung des Windvektors mit der Höhe über Budapest aufstellen konnten.

Die Tabellen 5 und 6 weisen auf den Einfluss hin, der durch Meere und Festländer auf die jahreszeitliche Veränderung der Luftströmung ausgeübt wird. Diese monsunartige Einflüsse widerspiegeln für den untersuchten Zeitraum eine kräftigere Wirkung der Meere als der Festländer. Die in den charakteristischen Windrichtungen des Winters und des Sommers sich ausdrückende monsunale Wirkung kann, wie oben erwiesen wurde, über Szeged bis zu einer Höhe von 3000 m, wenn auch in einer mit der Höhe sich abschwächender Weise, erkannt werden. Diese Feststellung wird noch ergänzt durch unsere erste Untersuchung, welche wir betreffs der auf den eigenen Breitenkreis bezogenen Temperaturanomale von Budapest ausgeführt haben (BÉLL 1969), woraus darauf geschlossen werden konnte, dass der überwiegende ozeanische Einfluss des letzten Jahrzehntes in Budapest und wahrscheinlich auch in ganz Ungarn sich auf die gesamte Troposphäre erstreckendürfte. Jedenfalls befindet sich die Grenzzone der Kontinentalität und Ozeanität allgemein in der Nähe von Ungarn und konnte in der Untersuchungsperiode östlich von Ungarn festgelegt werden (im Sommer auf der südrumänischen Tiefebene, im Winter auf der turanischen Tiefebene). Somit kann in Ungarn der ozeanische oder kontinentale Charakter der einzelnen Jahreszeiten, besonders aber des Sommers, in den verschiedenen Zeitabschnitten sehr wechselvoll ausfallen, was sicherlich in einer Veränderlichkeit der charakteristischen Winde der Jahreszeiten einen Ausdruck finden dürfte.

Letzten Endes gliedern sich die in Szeged ausgeführten Höhenwindmessungen recht gut in die Forschungen ein, welche unsere Vorgänger betreffend der Windverhältnisse Ungarns ausgeführt haben und liefern eine Ergänzung derselben durch eine Beleuchtung der vertikalen Windstruktur. Die auf die unterste 3-km-Schicht erweiterte Windbeobachtungen und die daraus abgeleiteten Folgerungen beweisen, dass die in der Mitte der Alföld geltend werdenden klimatischen Faktoren, namentlich der Einfluss des Atlantischen Ozeans, des Mittelmeeres und des eurasiatischen Kontinentes auch in den höheren Schichten noch erkennbar sind. Als eine Folge des durch die Zyklontätigkeit vermittelten ozeanischen Einflusses und des kontinentalen Einflusses findet man in der unteren Troposphäre mit der Höhe eine Annäherung der beiden Glieder des gefundenen Doppelmaximums und in einer Höhe von 3 km hat man nur mehr ein Häufigkeitsmaximum entsprechend der Grundströmung der weniger gestörten oberen Troposphäre. Die charakteristischen Windrichtungen belegen für das vergangene Jahrzehnt mehr das Auftreten maritimer Einflüsse gegenüber der im Winter viel schwächer zur Geltung kommenden und statistisch nicht gesicherten kontinentalen Einflüssen. Die in Szeged ausgeführten Höhenwindmessungen sind, da sie aus einer orographisch unmittelbar relativ weniger gestörten Zone stammen, sehr geeignet für eine Untersuchung der dreidimensionalen Windstruktur von Ungarn. Durch eine Verarbeitung der Rawind-Messungen, welche auch in bedeutenderen Höhen noch representative Werte liefern, könnte die gegenwärtige Untersuchung, sobald eine genügende Zahl von Angaben zur Verfügung stehen wird, mit wertvollen neuen Erkenntnissen ergänzt werden.

LITERATUR

- BACSÓ, N. (1959): Magyarország Éghajlata. Budapest.
- BAUR, F. (1953): Rechnerische und mathematische Hilfsmittel des Meteorologen. Linkes Met. Taschenbuch. Neue Ausgabe, B. II.
- BEBBER, W. J. VAN (1891): Die Zugstrassen der barometrischen Minima. Met. Zs. 8, 361.
- BERÉNYI, D. (1932): Hegyi-völgyi szelek a Tiszántúlon. Időjárás 36. 81—89.
- BÉLL, B. (1954): A troposzféra éghajlata Magyarország fölött. OMI Kisebb Kiadv. No. 28.
- BÉLL, B. (1969): Die Bedeutung des advektiven Wärmetransportes in der Energiebilanz des Luftraumes des Karpatenbeckens. Acta Climat. (Univ. Szegediensis). Tom. VIII. Fasc. 1—4. 3—31.
- BÉLL, B. (1969): Kontinentalität und Ozeanität in der freien Atmosphäre über Ungarn. Időjárás 73. 193—206.
- BUCSY, J. (1964): Az optikai és rádióteodolittal mért szélesebségek összehasonlítása. OMI Hiv. Kiadv. XXVII/I. 21—31.
- DEFANT, A. (1924): Die Windverhältnisse im Gebiete der ehemaligen Österreich—Ung. Monarchie. Wien.
- HEGYFOKI, K. (1894): A szél iránya a magyar szent korona országaiban. K. M. Term. Tud. Társ. Budapest.
- KAKAS, J. (1947): Repülőtereink szélirány gyakorisága. Időjárás 51. 58—68.
- KAKAS, J. (1960): Magyarország Éghajlati Atlasza I. Budapest.
- KAKAS, J. (1967): Magyarország Éghajlati Atlasza II. Budapest.
- RÓNA, ZS. (1909): Éghajlat II. K. M. Term. Tud. Társ. Budapest.
- WAGNER, R. (1931): A Magyar Alföld szélviszonyai. Szeged.
- WAGNER, R. (1935—36): Barométeres minimumok Európában. Földrajzi Szeminárium No. 5, No. 7—10. 143—145. 237—245. Szeged.
- WAGNER, R. (1937): A ciklonok útvonalai. Búvár III. 617—619.