

EINE OSTALPINE STRÖMUNGSLAGENKLASSIFIKATION

R. Steinacker

Institut für Meteorologie und Geophysik

Universität Wien, Austria

Zusammenfassung

Eine einfache Wetterlagenklassifikation wird vorgestellt, die auf der Richtung der niedertroposphärischen Strömung im Ostalpenraum basiert. Neben einer statistischen Auswertung werden Anwendungsbeispiele der Strömungslagenklassifikation diskutiert.

1) EINLEITUNG

Obwohl eine exakte Wiederholung einer bestimmten Konfiguration des atmosphärischen Massen- und Windfeldes auch in sehr langen Zeiträumen nicht vorkommt, treten ähnliche Strukturen immer wieder auf. Dies hat mehrfach dazu geführt, Klassifikationen von dominanten Mustern der Zirkulation in der Atmosphäre durchzuführen. Bedingt durch die unerschöpfliche Anzahl von Freiheitsgraden dreidimensionaler Felder, muß man sich dabei auf ein - verglichen mit globalen Dimensionen - eng begrenztes Gebiet beschränken.

Die populärste europäische Wetterlagenklassifikation. von Baur/Hess-Brezowsky (Baur, 1947; Hess u. Brezowsky, 1969) konzentriert sich auf Mitteleuropa mit Schwerpunkt Deutschland. Da der Alpenraum - und besonders der Ostalpenraum - witterungsmäßig ganz wesentlich von Mittelmeer und Südosteuropa beeinflusst wird, ist hier die Verwendung dieser Klassifikation nur beschränkt möglich. Aus diesem Grund wurden mehrere Klassifikationen speziell für den Alpenraum entwickelt. Zu den bekanntesten zählen die ostalpine Wetterlagen-Klassifikation nach Lauscher (Lauscher, 1972) und die Klassifikation der Witterungslagen nach Schüepp (Schüepp, 1968). Während bei den Klassifikationen nach Hess-Brezowsky und Lauscher nur die Bodendruckverteilung betrachtet wird - was den großen Vorteil mit sich bringt, daß weit mehr als 100 Jahre klassifizierbar sind -, verwendet Schüepp als Basisinformation die 500 hPa Fläche. Dadurch kann die Schüepp'sche Klassifikation "nur" für die vergangenen knapp 50 Jahre durchgeführt werden.

Jeder Anwendung von Wetterlagenklassifikationen liegt die Idee zugrunde, daß bei ähnlichen Strömungsmustern auch ähnliche Advektionsverhältnisse (z.B. bezüglich Temperatur) und ähnliche Vertikalbewegungen - und damit auch Bewölkungs- und Niederschlagsverhältnisse auftreten. Für witterungsklimatologische Untersuchungen (z.B. Fliri und Schüepp, 1984) ist dieser Zusammenhang immerhin so gut ausgeprägt, daß signifikante Unterschiede, etwa in der Verteilung der Niederschlagsbereitschaft, der Niederschlagsmenge oder der Bewölkung resultieren. Für Einzelfälle, etwa zu prognostischen Zwecken, ist dieser Zusammenhang jedoch nur beschränkt verwendbar. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, daß Bewölkung

und Niederschlag in unseren Breiten wesentlich von Fronten herrührt, die in ihrer räumlichen Ausdehnung (Breite) und lokalen zeitlichen Auswirkung wesentlich unter - dem zeitlich-räumlichen Gültigkeitsbereich von Wetterlagenklassifikationen liegen ($T = 24\text{h}$, $L \sim 500$ bis 1000 km). Auch die Unterscheidung in Hoch- und Tiefdrucklagen bzw. zyklonale und antizyklonale Lagen (bei Schüepp auch indifferente Lagen) kann nur sehr vage mit der Vertikalbewegung korrelieren, da ein Tief i.a. aus einem Hebungs- und einem Absinkgebiet besteht. Außerdem ist nicht die Zyklonalität (Vorticity), sondern die Vorticity-Advektion (s. Pichler, 1986) als ein bestimmender Faktor für die Vertikalbewegung wirksam. Zudem wird bei den Wetterlagenklassifikationen lediglich die Krümmung der Isohypsen bzw. Isobaren, also nur ein Teil der (geostrophischen) Vorticity betrachtet. Hingegen ist die niedertroposphärische Strömungsrichtung dafür entscheidend, wo im Alpenraum Stau- und Lee-Effekt und damit erzwungenes Aufsteigen oder Absinken auftritt.

2) STRÖMUNGSLAGENKLASSIFIKATION

Die lokalen Windverhältnisse im Alpenraum sind in extremem Maße von der Topographie geprägt. Während thermisch angeregte Zirkulationssysteme - Hangwind, Talwind, gesamtalpine thermische Zirkulation - von der großräumigen Strömung moduliert werden, sind Paßwinde, Föhn, Bora, Bise, Mistral, etc. direkt von der großräumigen Druckverteilung und Strömung in der Atmosphäre verursacht.

Eine synoptisch-klimatologische Erfassung von Lokalwindsystemen, z.B. in Hinblick auf lufthygienische Auswirkungen, sollte daher durch eine Strömungslagenklassifikation der untersten Troposphäre besser gewährleistet sein, als durch die alleinige Beschreibung von Hoch- und Tiefdruckgebieten. Die Lage der Druckzentren ist nur recht lose mit der lokalen Strömungsrichtung bzw. -intensität verknüpft. Die Schüepp'sche Klassifikation, die zwar eine Strömungslagenklassifikation darstellt, ist aufgrund der verwendeten 500 hPa-Analyse dafür nicht optimal geeignet. Die Windrichtung unterscheidet sich nämlich zwischen der 500 und z.B. 850 hPa-Fläche z.T. beträchtlich. So ist etwa im Zeitraum 1946-1979 (Fliri und Schüepp, 1984) Südföhn in Innsbruck bei 30 von den 32 Schüepp'schen Witterungslagen aufgetreten nur bei antizyklonaler Nord-Lage und interessanterweise bei zyklonaler Südostlage nie), obwohl man bei einer Strömung aus dem nördlichen Sektor Südföhn für schwer möglich halten würde.

Der Vorteil einer reinen Strömungslagenklassifikation liegt in der geringen Anzahl von Lagen, nämlich 10, entsprechend den 8 Haupt- und Nebenwindrichtungen, einer gradientschwachen Lage und einer Lage, wo sich z.B. durch eine Frontpassage die Strömungsrichtung im Tagesverlauf markant ändert ("variabel"). An "gradientschwachen" Tagen sollten die thermisch induzierten tagesperiodischen Windsysteme im Alpenraum dominieren.

Die Klasse "variabel" ist wohl der größte Nachteil einer Strömungslagenklassifikation, vor allem, weil diese verhältnismäßig oft auftritt. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß sich an einem Tag mit Frontdurchgang die Strömungsverhältnisse in Alpentälern meist dramatisch ändern (z. B. Föhnzusammenbruch) und es daher eben nicht möglich ist, nur ein charakteristisches Muster für diesen Tag anzugeben. Hier wird die Grenze von Wetterlagenklassifikationen deutlich vor Augen geführt.

3) PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG DER KLASSIFIZIERUNG

Der gesamte Alpenbogen liegt selten in einer einheitlichen niedertroposphärischen Strömung. Deshalb ist es sinnvoll, die Klassifikation auf den Ostalpenraum (vom Bodensee bis zum Neusiedlersee) zu beschränken. Der zeitliche Geltungsbereich wird wie üblich auf die 24 Stunden eines Kalendertages bezogen. Die Bestimmung der Lage wird am besten an Hand der Strömungs- bzw. Druckverteilung einer 850hPa-Fläche erfolgen. Obgleich diese Fläche vom Alpenhauptkamm weit überragt wird, ist sie besser geeignet als die im Kammniveau liegende 700hPa Fläche, weil diese von der Bodenströmung schon weitgehend entkoppelt sein kann. Die Bodenkarte allein ist deshalb nicht so gut zu verwenden, weil dort der direkte Zusammenhang zwischen Druck und Windfeld wesentlich schlechter ausgeprägt ist (starke Ageostrophie) als in 850 hPa.

Am besten geeignet für die praktische Bestimmung wäre eine 12 Uhr UTC 850 hPa Analyse. Da eine solche jedoch in publizierter Form nicht vorliegt, müssen die 00 Uhr UTC Analysen des zu klassifizierenden Tages und des Folgetages verwendet werden. Für die vorliegende Bearbeitung wurde die Berliner Wetterkarte herangezogen, wobei neben den 00 Uhr UTC 850 hPa Analysen auch die 12 Uhr UTC Bodenanalyse (Frontenlage und Druckverteilung) mit in Betracht gezogen wurde.

Als "gradientschwach" kommen nur Tage in Frage, an denen die Windgeschwindigkeit in 850 hPa unabhängig von der Richtung rund 15 Knoten nicht übersteigt. Als nicht klassifizierbar ("variabel") werden Tage mit Frontdurchgang gekennzeichnet, wobei eine in den ersten Stunden eines Tages aus dem betrachteten Gebiet abziehende Front oder eine in den letzten Stunden eines Tages in das Gebiet eindringende Front keine Berücksichtigung findet. Als Kriterium für einen Strömungstag kann daher gelten, daß der größte Teil der Ostalpen zum überwiegenden Teil des Tages in einer einheitlichen Strömung mit einer Geschwindigkeit in 850 hPa von zumindest 15 kt liegen muß. Die Grenzgesewindigkeit 15 kt ergibt sich aus der Beobachtung, daß unterhalb dieser Schwelle meist die thermischen Druckgebilde (Hitzetief, Kältehoch) im Alpenraum dominieren, oberhalb die dynamischen (Staukeil, Leetrog).

Die Strömungsrichtung wird nicht direkt aus der analysierten Richtung der Isohypsen über den Ostalpen in 850 hPa oder aus dem beobachteten (Radiosonden-) Wind, sondern aus der Richtung des geglätteten Feldes genommen (vgl. Abb. 1). Durch diese Glättung und die Notwendigkeit einer zeitlichen Interpolation ist in Grenzfällen eine subjektive Beurteilung unvermeidlich, was allerdings auch bei anderen Wetterlagenklassifikationen der Fall ist. Typische Beispiele für die 8 Strömungslagen sind in Abb. 1 wiedergegeben.

4) STATISTISCHE AUSWERTUNG

Mit der Klassifizierung der ostalpinen Strömungslagen wurde im Jahre 1978 im Rahmen des Talwindprojektes (Vergeiner, 1983) begonnen. Eine Häufigkeitsverteilung für den dreizehnjährigen Zeitraum 1978-1990 ist in graphischer Form in Abb. 2 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß die westlichen Strömungslagen (SW, W, NW), wie zu erwarten, am häufigsten auftreten. Erstaunlich ist, daß die östlichen Strömungslagen (NE, E, SE) häufiger vorkommen als N und S. Dies mag damit zusammenhängen, daß länger anhaltende Strömungen in den gemäßigten Breiten vorwiegend zonal orientiert sind, während die meridionalen Richtungen meist nur kurzfristig im Zusammenhang mit Frontdurchgängen auftreten und daher in die Klasse "variabel" fallen. Ein gutes Viertel aller Tage ist als "gradientschwach" klassifiziert, wobei zu betonen ist, daß hier nicht nur die eigentlichen Hochdrucklagen, sondern ganz

generell Tage mit geringen Druckgradienten (auch bei tiefem Druck) zusammengefaßt sind. An rund 2 von 7 Tagen ist im Ostalpenraum mit einer Front zu rechnen. Diese 104 Tage pro Jahr sind etwas mehr als die von Hoinka (Hoinka, 1985) angegebenen 75 Tage mit Frontdurchgang in München; es ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei der vorliegenden Klassifikation eine langsam ziehende Front durchaus an 2 aufeinanderfolgenden Tagen den Ostalpenraum maßgeblich beeinflussen kann und dann doppelt gezählt wird.

Eine Aufschlüsselung der Auszählung für die einzelnen Jahreszeiten ist in Fig. 3 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß im Winter die Anzahl der "Strömungstage" deutlich höher ist als im Sommer, was durch die mittlere Lage der Polarfront leicht verständlich ist. Kompensierend sind dafür im Sommer mehr gradientschwache Lagen. Erstaunlich ist hingegen, daß im Sommer die höchste Anzahl von "variablen" Tagen auftritt. Dies kann nur so verstanden werden, daß sommerliche Fronten i.a. am langsamsten ziehen und häufig eine komplexe Struktur in Form von prä- und postfrontalen Konvergenzlinien (Gewitterfronten) aufweisen. Auch wenn die Strömung vor und hinter einer Front relativ schwach ist, so ist dabei die Klassifizierung "variabel" sinnvoller als "gradientschwach". Im Frühling ist die ausgeglichene Verteilung aller Strömungsrichtungen, was gut mit der Beobachtung übereinstimmt, daß in dieser Jahreszeit am häufigsten Low-Index Lagen (Blocking-Lagen, starke Mäanderung der Frontalzone) auftreten. Das fast vollständige Fehlen der Strömungsrichtungen S bis E im Sommer steht mit der Tatsache im Einklang, daß es in dieser Jahreszeit kaum Tiefdruckentwicklungen im Mittelmeer gibt, welche eine entsprechende Anströmung der Alpen bewirken.

5) ANWENDUNGSBEISPIELE

Die vorgestellte Strömungslagenklassifikation hat sich in der Praxis in vielerlei Hinsicht bewährt. Durch die geringe Anzahl von Klassen genügt bereits ein recht kleines Kollektiv, um eine statistische Aussage machen zu können.

Im Rahmen von Talwindstudien (Vergeiner, 1983) zeigte sich, daß an gradientschwachen Tagen das tagesperiodische Windsystem besonders deutlich zum Vorschein kommt. Strömungen aus dem Sektor N bis E verstärken im Inntal den Taleinwind beträchtlich, während die Richtungen SE bis W meist eine Abschwächung bis völlige Unterdrückung des Taleinwindes verursachen.

Die Auswertung von günstigem Flugwetter für Hängegleiter (Schmalzl, 1989) erbrachte als ein Ergebnis, daß bestimmte Folgen von Strömungslagen gut mit der Entwicklung der Thermikstruktur korreliert sind. Damit ist die Strömungslagenklassifikation in diesem Zusammenhang auch prognostisch anwendbar. Weiters ist die Ausbildung von Hochnebel im Inntal mit der Strömungslage korreliert, wobei eine Strömung aus N bis SE eine deutliche Begünstigung der Hochnebelbildung bewirkt (Huntrieser, 1991).

Neuere Untersuchungen zur Schadstoffbelastung im Inntal zeigen ein z.T. charakteristisches Verhalten der Tagesgänge bzw. Vertikalprofile von Spurengasen bei einzelnen Strömungslagen (Dreiseitl, 1991). Dadurch kann auf typische Transportvorgänge in der Atmosphäre rückgeschlossen werden.

Eine Bearbeitung der Tage mit Südföhn in Innsbruck in Abhängigkeit von der Strömungslage zeigt ein recht scharfes Trennverhalten. Während bei Richtungen SW bis SE je nach Jahreszeit eine z.T. weit mehr als 50-prozentige Föhnwahrscheinlichkeit gegeben ist, kommt

es bei N und NE Strömung tatsächlich nie zu Südföhn. Eine Aufschlüsselung der Statistik in Herbst/Winter (hohe statische Stabilität) und Frühling/Sommer (geringe Stabilität) zeigt die Rolle der Temperaturschichtung (Stabilität) sehr deutlich (vgl. Tab. 1). Bei sonst gleichen Bedingungen erreicht die Föhnströmung die Talsohle Innsbrucks im Sommer erheblich leichter als im Winter. Es genügen im Sommer auch kurzzeitige Strömungsperioden bzw. geringere Druckgegensätze über die Alpen hinweg um Föhn zu erzeugen, was durch die wesentlich höhere Föhnwahrscheinlichkeit bei den gradientschwachen und variablen (präfrontaler Föhn) Lagen zum Ausdruck kommt. Die relativ hohe Föhnwahrscheinlichkeit bei W und die Möglichkeit von Südföhn sogar bei NW zeigt sehr deutlich, daß der Innsbrucker Südföhn nicht nur von einer Alpenüberströmung aus südlicher Richtung herrührt, sondern daß das nach Horden gerichtete Druckgefälle (äquivalent zur Westkomponente der Strömung) eine lokale Südströmung (seichter Föhn) über die Brennersenke generiert (vgl. Seibert, 1985). Die beiden Fälle (14 Promille) von "Südföhn" bei N sind bei näherer Untersuchung eindeutig als Nordföhn zu klassifizieren. Ähnlich wie bei Südföhn, wo über längere Zeit in Innsbruck Nordwind herrschen kann (Rotorbildung), so dürfte auch beim viel selteneren Nordföhn gelegentlich Südwind auftreten. An beiden besagten Tagen zeigen Brennerpaß, Patscherkofel und Zugspitze durchgehend kräftigen Nordwind, sodaß man Südföhn tatsächlich ausschließen kann. Die Innsbrucker Föhnstatistik basiert auf der alleinigen Auswertung von Thermohygrogrammen und Anemogrammen der Klimastation, wodurch es in seltenen Fällen zu einer Fehlinterpretation der Föhnrichtung kommen kann. Die Strömungslagenklassifikation könnte hierbei als zusätzliche Entscheidungshilfe dienen.

Nicht zuletzt verspricht die vorliegende Klassifikation auch bei medizinmeteorologischen Fragestellungen von Nutzen zu sein. Diesbezügliche Untersuchungen sind an der Universitätsklinik in Innsbruck im Gange.

6) SCHLUSS

Durch die vielseitige Anwendbarkeit der Strömungslagenklassifikation ist ein laufende Fortführung geplant. Außerdem erscheint auch eine Erweiterung in die Vergangenheit sinnvoll, um auf diese Weise langzeitige Trends oder Schwankungen der Zirkulation im Alpenbereich untersuchen zu können. Als zusätzliche Erweiterung ist geplant, die variablen Tage (Frontdurchgänge) weiter zu spezifizieren und zwar in Hinblick auf die dabei auftretende Änderung der Strömungsrichtung. Auf diese Weise könnte gezielt die lokale Auswirkung von Frontdurchgängen (Niederschlag, Bewölkung etc.) in Abhängigkeit von der Frontrichtung untersucht werden.

LITERATURZITATE

Baur, F., 1947: Musterbeispiele europäischer Großwetterlagen. Dietrich, Wiesbaden.

- Berliner Wetterkarte, 1978-1990, Inst. Meteor. FU Berlin

Dreiseitl, E., 1991: Pers. Mitt. Inst. Meteor. Innsbruck.

- Europäischer Wetterbericht, DWD Offenbach a.M.

Fliri, F., M. Schüepp, 1984: Synoptische Klimatographie der Alpen zwischen Mont Blanc und Hohen Tauern und alpine Witterungslagen und europäische Luftdruckverteilung. Wiss. Alpenver. Heft 29.

Hess, P., H. Brezowsky, 1969: Katalog der Großwetterlagen Europas. Ber. DWD 15, Offenbach a.M.

Hoinka, K.P., 1985: On fronts in central Europe. Beitr. Phys. Atmos. 58.

Huntrieser, H., 1991: Untersuchung von Nebel und Hochnebel im Inntal, Dipl. Arb. Inst. Meteor. Innsbruck.

Lauscher, F., 1972: 25 Jahre mit täglicher Klassifikation der Wetterlage in den Ostalpenländern. Wetter u. Leben 24.

Pichler, H., 1986: Dynamik der Atmosphäre. BI Verl. Mannheim.

Schmalzl, J., 1989: Meteorologische Untersuchungen von Hängegleiter-Streckenflügen im Raum Nordtirol. Dipl. Arb. Inst. Meteor. Innsbruck.

Schüepp, M., 1968: Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967 im zentralen Alpengebiet. Veröff. SMA Zürich 11.

Seibert, P., 1985: Fallstudien und statistische Untersuchungen zum Südföhn im Raum Tirol. Diss. Inst. Meteor. Innsbruck.

Vergeiner, I., 1983: Dynamik alpiner Windsysteme. Bericht FWF Proj. Nr 3556, Inst. Meteor. Innsbruck.

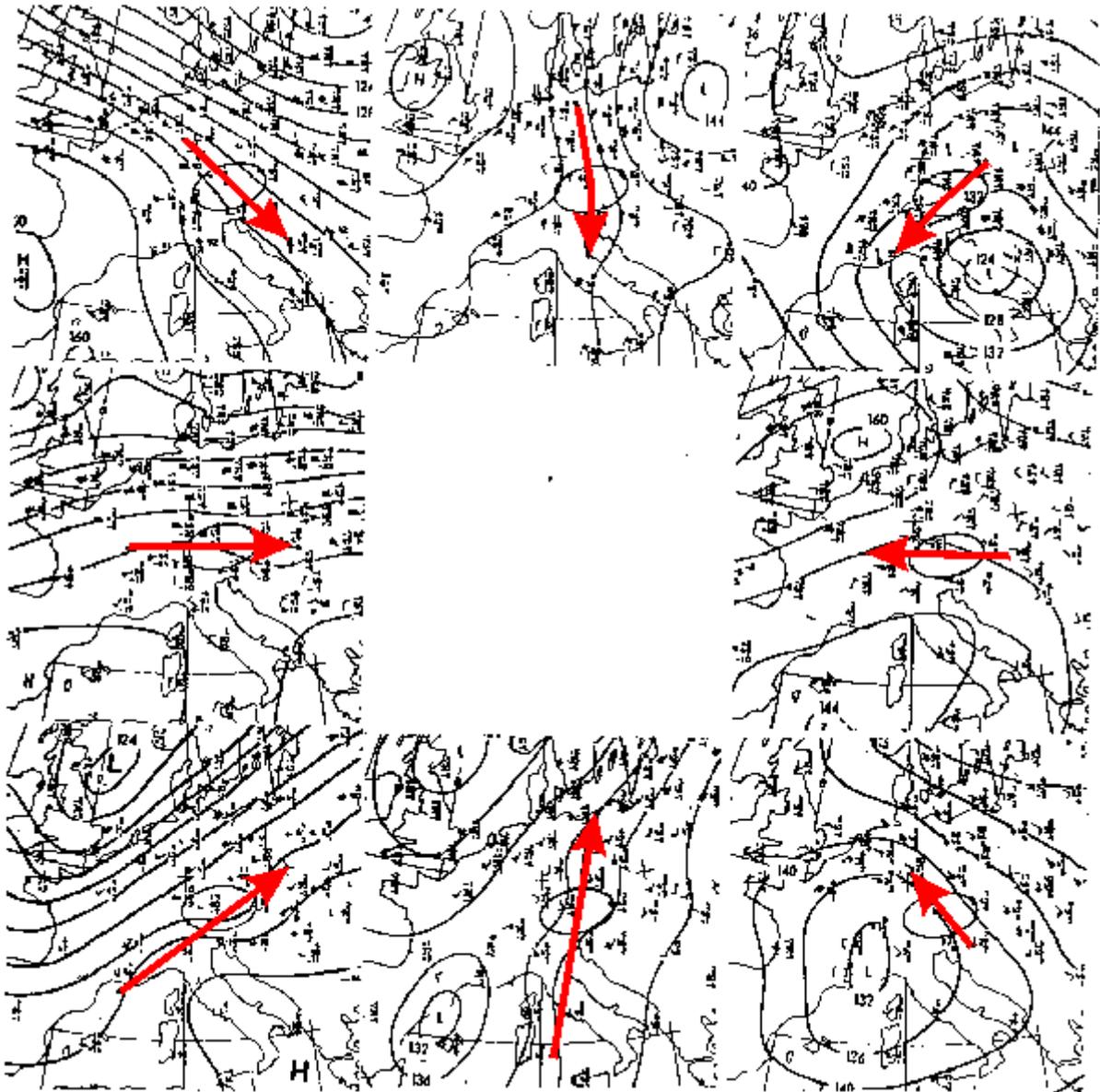


Abb. 1 Typische Beispiele für die 8 ostalpinen Strömungslagen (Ausschnitt aus 850 hPa Analysen des Europäischen Wetterberichts). Der Geltungsbereich ist durch die Ellipse angedeutet. Die dicke Linie mit Pfeil zeigt die geglättete Strömungsrichtung.

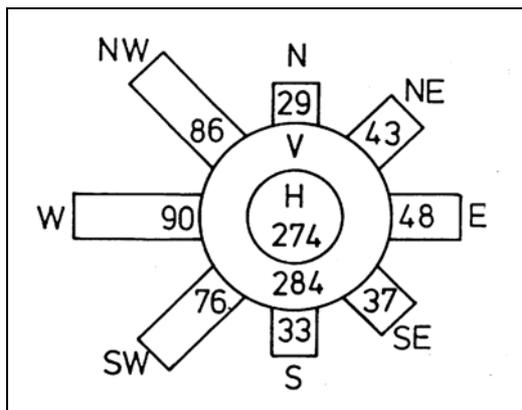


Abb. 2 Verteilung der Strömungslagen im Mittel der Jahre 1978 bis 1990. H...gradientschwach, V...variabel. Angaben in Promille.

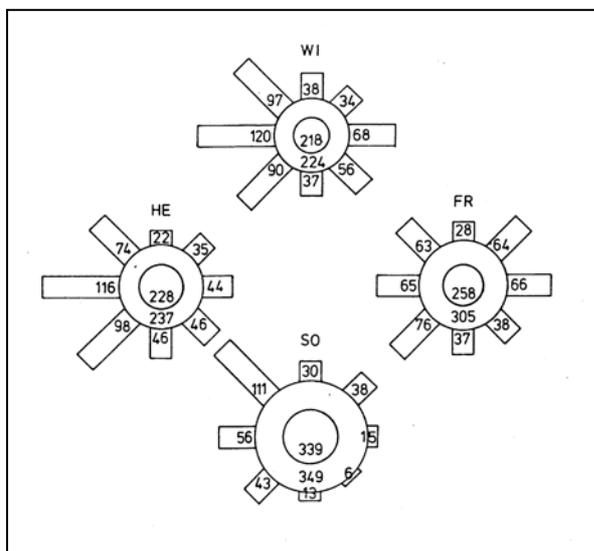


Abb. 3 Wie Abb. 2) jedoch für die einzelnen meteorologischen Jahreszeiten, Winter = Dez., Jan., Feb., usw..

TABELLE 1

Häufigkeit (Promille) von Südföhn in Innsbruck in Abhängigkeit von der ostalpinen Strömungslage

STRÖMUNGSLAGE	JAHR	HERBST/WINTER	FRÜHLING/SOMMER
H (gradientschwach)	28	3	48
NE	.	.	.
E	9	.	21
SE	264	140	547
S	599	500	763
SW	543	434	711
W	82	65	115
NW	20	10	.
N	(14) (Nordföhn)	(29)	.
V (variabel)	142	90	172