

Helmut Pichler

Das Wirken Hans Ertels in Österreich und die Bedeutung seines Wirbelsatzes in der alpinen Meteorologie

Die Beziehungen von Hans Ertel zu Österreich bzw. zu den österreichischen Meteorologen sind recht vielfältig und gestalteten sich besonders herzlich. Hans Ertel hatte das Glück während seiner Studienzeit in Berlin ganz hervorragenden Lehrern zu begegnen. Unter diesen befanden sich auch zwei Österreicher: der Ozeanograph und Meteorologe Albert Defant und der Meteorologe Heinrich von Ficker. Dadurch lernte Ertel die österreichische „Meteorologenschule“ zu Beginn des 20. Jahrhunderts bereits frühzeitig aus erster Hand kennen und schätzen. Als Theoretiker faszinierten Ertel besonders die Arbeiten von F.M.Exner, der bereits im ersten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts als Erster ein einfaches (diabatisches) Atmosphärenmodell entwickelte und dieses auch erfolgreich numerisch integrierte. Durch mehrere Wochen hindurch erstellte damals F.M. Exner zusammen mit A.Defant an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Wien täglich nach dieser Methode Prognosenkarten, die im allgemeinen keine schlechte Übereinstimmung mit der eingetroffenen Wetterlage zeigten, wenngleich mitunter wirkliche Fehlprognosen nicht vermeidbar waren (siehe F.M. Exner, 1908). Von Exners Lehrbuch „Dynamische Meteorologie“ (1. Auflage 1917, 2. Auflage 1925) war Ertel derart angetan, dass er sich mit dem Gedanken trug, es neu zu bearbeiten und herauszugeben (H.Fortak, 2001). Leider verwirklichte er dieses Vorhaben nicht. Die Beziehungen Hans Ertels zu Heinrich von Ficker gestalteten sich besonders herzlich. Die Beschäftigung Fickers mit dem Einfluss der unteren Stratosphäre auf das Wettergeschehen weckte auch bei Hans Ertel das Interesse für dieses Phänomen. H. v. Ficker entwickelte das Bild von der „zusammengesetzten“ Zyklone. Demnach entsteht eine außertropische Zyklone aus dem Zusammenspiel einer oberen primären Druckwelle (stratosphärische Druckschwankungen) und einer unteren sekundären Druckwelle (troposphärische Druckschwankungen). Im Alpenbereich führt die Phasenverzögerung der primären gegenüber der sekundären Druckwelle um eine viertel Wellenlänge nach Ficker zu einer Vb-Zyklone im

Golf von Genua. In moderner Sicht kann das Zusammenspiel zwischen den stratosphärischen und troposphärischen Luftschichten im Zuge einer ausser-tropischen Zyklogenese mit Hilfe des Konzepts isentropen potentielle Vorticity, das im Ertel'schen Wirbelsatz voll enthalten ist, recht gut verstanden werden. Bei Albert Defant interessierten Ertel besonders die Arbeiten über die Periodenverhältnisse von Luftdruckwellen.

H. v. Ficker
1881 -1957



Innsbruck: 1908 -1910
Graz: 1911 - 1923
Berlin: 1923 - 1937
Wien 1937 - 1953

A. Defant
1884 - 1974



Wien-ZAMG: 1907 - 1918
Innsbruck: 1916 - 1926
Berlin: 1927 - 1945
Innsbruck: 1945 - 1955

H. Ertel
1904 - 1971



Berlin: 1934 - 1942
Wien-ZAMG: 1942 -1943 (zugesamt)
Innsbruck: 1943 - 1945
Berlin: 1946 - 1969

Personalrochaden
Innsbruck – Berlin – Wien

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts drehte sich das Personalkarussell zwischen dem Städtedreieck Innsbruck – Berlin – Wien recht häufig. Diese Personalrochaden werden in der vorstehenden Graphik dokumentiert.

Heinrich von Ficker, zunächst in Innsbruck tätig, später als Professor in Graz, wurde 1923 nach Berlin als Professor für Meteorologie und Direktor des Preussisch-Meteorologischen Instituts berufen. 1937 ging er an die Universität Wien und wurde gleichzeitig Direktor der dortigen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Albert Defant nahm von Innsbruck aus 1927 einen Ruf an die Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin (Nachfolge von Alfred Merz) an und wurde gleichzeitig Direktor des Instituts und Museums für Meereskunde. Er kehrte 1945 nach Innsbruck zurück. Hans Ertel, in Berlin tätig, wurde (vermutlich auf Vorschlag von Heinrich von Ficker) zum Hauptobservator und Professor an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Wien ernannt (siehe Archiv ZAMG Wien, Zl .451/REM). Er konnte aber (zunächst) seinen Dienst in Wien nicht antreten, da er wegen der Meteorologenausbildung an der Universität Berlin kriegsbedingt von Berlin unabhkömmlich war. Er legte aber Wert darauf, dem Personalkörper der ZAMG anzugehören, die damals – wie bereits erwähnt – H. v. Ficker leitete. Seinen Wirbelsatz, der ihn später weltberühmt machen sollte – enthält er doch alle bisher bekannten Wirbel- und Zirkulationssätze der Hydrodynamik (siehe z.B.: H.Pichler, 1997a) – veröffentlichte er 1942 in der „Meteorologischen Zeitschrift“ als Mitglied der ZAMG in Wien (siehe H. Ertel 1942). Mit dem Ableben von Prof. Dr. A. Wagner 1942 in Innsbruck wurde dessen Lehrkanzel vakant. Der Wunschkandidat der Universität Innsbruck in der Nachfolge von A.Wagner war A.Defant, der aber zu dieser Zeit von Berlin nicht abkömmlich war. Auf Vorschlag von A. Defant und H. v. Ficker erstellte daher die naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Innsbruck folgenden Besetzungsvorschlag (siehe Archiv Univ.Ibk., Zl.1816/1- ND):

An 1. Stelle: Professor Dr. H. Ertel, Berlin

An 2. Stelle: Professor Dr. H. Lettau, Königsberg

An 3. Stelle: Professor Dr. E. Ekhardt, Innsbruck

Hans Ertel erhielt den Ruf und wurde mit Wirkung vom 1.April 1943 zum ordentlichen Universitätsprofessor für Meteorologie und Geophysik und zum Direktor des gleichnamigen Instituts an der Universität Innsbruck ernannt. Er hielt in Innsbruck Vorlesungen, Übungen und Seminare über meteorologische und geophysikalische Themenkreise, sowie Anleitungen zu wissenschaftlichen Arbeiten auf diesen Gebieten. Mit Ende des 2.Weltkiesges erfolgte ein Wechsel zwischen Berlin und Innsbruck. Albert Defant kehrte –

wie bereits erwähnt – nach Innsbruck zurück und Hans Ertel, der im Zuge der Liquidation der Alpenuniversität Innsbruck als reichsdeutsche Einrichtung 1945 entlassen wurde, ging nach Berlin und übernahm die Vertretung des Ordinariats für Meteorologie und Ozeanographie in Verbindung mit der Leitung des Instituts und Museums für Meereskunde. 1946 wurde er an die (spätere) Humboldt-Universität berufen (s. G. Oberkofler und P. Goller, 1990).

Auch nach dem 2. Weltkrieg sind – trotz aller politischen Wirren – die Beziehungen zwischen den österreichischen Meteorologen und Hans Ertel nicht abgebrochen. 1951 nahm Hans Ertel an der 100 Jahr Feier der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien teil. Dem Ansehen von Hans Ertel in der wissenschaftlichen Welt entsprechend wurde er 1953 nach der Emeritierung von Professor Heinrich von Ficker an erster Stelle für das frei gewordene Ordinariat für Meteorologie und Geophysik an der Universität Wien vorgeschlagen. Leider kam es nicht zu einem Wechsel von Ertel von Berlin nach Wien. 1956 wurde Hans Ertel auf Antrag von Heinrich von Ficker und Kollegen auf Grund seiner hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen zum „korrespondierenden Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Ausland“ gewählt. Im diesbezüglichen Antrag heißt es: „Seine enge Verbindung mit österreichischen Forschern und seine große Aktivität lassen seine Wahl zum k.M. der ÖAW im Ausland besonders empfehlenswert erscheinen“ (siehe Archiv der ÖAW, Zl. 402/56). Hans Ertel war sichtlich erfreut und gerührt über diese Ehrung. In seiner Antwort an den damaligen Präsidenten der ÖAW Prof. Dr. Richard Meister heißt es u.a.: „Mit dem Gefühl tiefer Dankbarkeit für das mir von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften entgegengebrachte Vertrauen nehme ich die Wahl an, hochgeehrter Herr Präsident, und verbinde hiermit die Zusicherung, dass mir die Mitarbeit an den großen Aufgaben und edlen Zielen dieser ruhmreichen Akademie stets eine Angelegenheit des Intellekts und des Herzens zugleich sein wird“ (siehe Archiv der ÖAW, Zl. 872/56). Wie sehr Hans Ertel seinen Förderer und Lehrer Heinrich von Ficker schätzte, geht aus dem Gedenkheft der „Zeitschrift für Meteorologie“ (1957) anlässlich des Ablebens von Heinrich von Ficker hervor.

Dort schreibt „In memoriam – HEINRICH FICKER“ Ertel u.a.: „Im Abendglanze eines wirkungsreichen Lebens ist Heinrich Ficker am 29. April 1957 von uns geschieden. Mit tiefem Schmerz empfinden wir Meteorologen den Verlust dieses Mannes, in dessen ganzen Wesen die Eigenschaften eines klar blickenden Forschers mit der warmen menschlichen Herzengüte eines edlen Charakters harmonisch zusammenklangen. Heinrich Fickers For-

schungen, in Methodik und Darstellung stets meisterhaft, wurzeln in seiner Liebe zur Bergwelt und steigen auf in die wettersteuernde Stratosphäre. In allen seinen Arbeiten atmet die Ehrfurcht vor den Gesetzmäßigkeiten der Natur“. Auch nach dem Tode von H. v. Ficker rissen die Verbindungen von Ertel zu Österreich nicht ab. So nahm er z.B. 1965 an einem internationalen Symposium über „Probleme der Wettervorhersage“ anlässlich der 100 jährigen Wiederkehr der Gründung der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie und der Herausgabe der ersten österreichischen Wetterkarte in Wien teil.

Die österreichische Gelehrten-gesellschaft war tief betroffen als sie 1971 von der Nachricht vom Tode von Prof. Dr. Hans Ertel erfuhr, genoss er doch eine besonders hohe Wertschätzung unter Österreichs Gelehrten und Wissenschaftlern. Im Kondolenzschreiben des damaligen Präsidenten der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Prof. Dr. E. Schmid an Frau Johanna Ertel (siehe Archiv der ÖAW, Zl. 1616/71) heißt es u.a.: „Prof. Dr. Hans Ertel war der Österreichischen Akademie der Wissenschaften nicht allein durch seine Mitgliedschaft, sondern auch durch den Umstand verbunden, dass eine von allen Akademiemitgliedern verehrte Persönlichkeit, der ehemalige Direktor des Preußischen Meteorologischen Instituts und weiland Präsident der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Heinrich von Ficker ihn außerordentlich hochgeschätzt hat. Die Österreichische Akademie der Wissenschaften hatte es aufrichtig bedauert, dass eine seinerzeit von Präsident Ficker näher angestrebte Verbindung Prof.Ertel's mit Österreich nicht zustande kam. Ertel's hervorragende theoretische Leistungen auf dem Gebiete der Meteorologie werden seinen Namen in den Annalen der Meteorologiegeschichte für alle Zeiten lebendig erhalten“.

Im Folgenden soll noch in knapper Form auf die Bedeutung des Ertel'schen Wirbelsatzes in der alpinen Meteorologie eingegangen werden (siehe u.a. H. Pichler (1997b)). Zum tieferen Verständnis der großräumigen Wetterentwicklung dominierte in der synoptischen Analyse in den letzten Jahrzehnten zweifellos das Konzept der potentiellen Vorticity, das in ganz allgemeiner Form im Ertel'schen Wirbelsatz grundgelegt ist. In einer reibungsfreien Flüssigkeit unter der Annahme von Adiabasie vereinfacht sich der Wirbelsatz von Ertel in einem isentropen Koordinatensystem zu einem Erhaltungssatz der isentropen potentiellen Vorticity



wobei η die absolute Vorticity (im isentropen Koordinatensystem) und Θ die potentielle Temperatur darstellt. Demnach bleibt die isentrope potentielle Vorticity längs ihrer Trajektorie erhalten. E.Kleinschmidt hat bereits frühzeitig die Bedeutung des Konzepts der potentiellen Vorticity zur Erklärung zyklologenetischer Entwicklungen (siehe E.Kleinschmidt, 1950) erkannt. Durch eine eingehende synoptische Analyse hat er herausgefunden, dass extratropische zyklologenetische Prozesse am Boden immer mit „isolierten“ Luftpörpern von hoher potentieller Vorticity in den oberen Luftschichten verbunden sind. Unter Vorgabe entsprechender Randbedingungen kann allein aus der Verteilung der potentiellen Vorticity das dazugehörige Wind- und Druckfeld bestimmt werden. B. J. Hoskins et al. (1985) haben dieses Konzept weiterentwickelt. Sie konnten zeigen, dass die extratropische Zyklologese als Phasenkoppelung zwischen positiven Anomalien isentroper potentieller Vorticity der oberen und unteren Luftschichten zu verstehen ist, wobei die Anomalie in den oberen Luftschichten von Ausbrüchen von Luftpörpern aus der polaren Stratosphäre, die sehr stabil geschichtet ist und daher eine hohe potentielle Vorticity besitzt, herührt. Mit diesem Konzept wird auch klar, dass Heinrich von Ficker bereits frühzeitig mit seiner Vorstellung der „zusammengesetzten“ Zyklone auf dem richtigen Weg war.

Das PV-Konzept kann auch mit Erfolg auf orographisch induzierten Zyklologesen, z.B. auf Zyklologesen im westlichen Mittelmeer zufolge des Einflusses der Alpen (Vb-Zyklologese) angewendet werden. Analysen des ALPEX-Datensatzes bzw. numerische Simulationen (siehe A. Tafferer, 1990; H. Pichler et al., 1990; A. Lanzinger et al., 1991; A. Lanzinger, 1992; M. Staller, 1993; H. Pichler et al., 1995) zeigen dies sehr eindeutig. Zuzolge der blockierenden Wirkung der Alpen kommt es nämlich bei einer kalten Nordwestanströmung in den unteren Luftschichten zu einem „flow splitting“, wobei ein Ast nördlich der Alpen um den Alpenbogen herum nach Südosten geführt wird, während ein anderer Teil kanalisiert durch das Rhonetal ins westliche Mittelmeer gelangt und dabei eine erhebliche Scherungsvorticity erhält. Durch diesen Kaltluftvorstoß wird eine barokline Zone im westlichen Mittelmeerraum gebildet, was zu einer Wellenbildung Anlass gibt und somit zu einer Bildung einer positiven PV Anomalie südlich der Alpen führt. Gelangt nun weiter in den oberen Luftschichten durch einen Ausbruch von polarer potentieller Vorticity aus der Stratosphäre eine positive PV Anomalie auf ihrem Weg in die mittleren Breiten entlang der nach Süden geneigten isentropen Flächen in den Golf von Genua, so kommt es zu einer Koppelung der positiven PV Anomalien zwischen oben und unten (siehe Abb. 1).

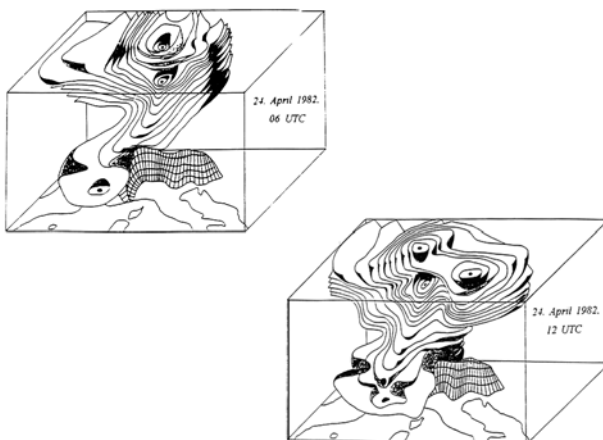


Abb.1: PV-Koppelung zwischen den oberen und unteren Luftschichten im Zuge einer durch die Orographie der Alpen induzierten Zyklognese im Golf von Genua am 24.4.1982 (nach M.Stalter, 1993).

Eine Zyklognese im Golf von Genua ist die Folge einer derartigen Koppelung. Die blockierende Wirkung der Alpen bestimmen somit Ort und Zeitpunkt der orographisch induzierten Tiefdruckentwicklung. Das Zusammenspiel zwischen den oberen und unteren Luftschichten kann auf diese Weise recht anschaulich beschrieben werden. Die bereits erwähnte blockierende Wirkung der Alpen und das in diesem Zusammenhang auftretende „flow splitting“ in den unteren Luftschichten wird in der Abb. 2 dokumentiert.

Man sieht recht deutlich wie eine kreisförmige isentrope materielle Fläche in 290 K auf ihren Weg von Nordwesten in Richtung der Alpen, deren gesamte absolute Vorticity (bezogen auf die ganze Kreisfläche) auf Grund des Erhaltungssatzes der potentiellen Vorticity konserviert wird, in der weiteren Folge eine erhebliche Deformation erleidet. Der nördliche Teil umrundet den Alpenbogen im Osten und landet in der Gegend von Triest, während der südliche Teil westlich der Alpen in einem weiten Bogen über dem Mittelmeer und Sardinien ausholend nach Umbrien geführt wird.

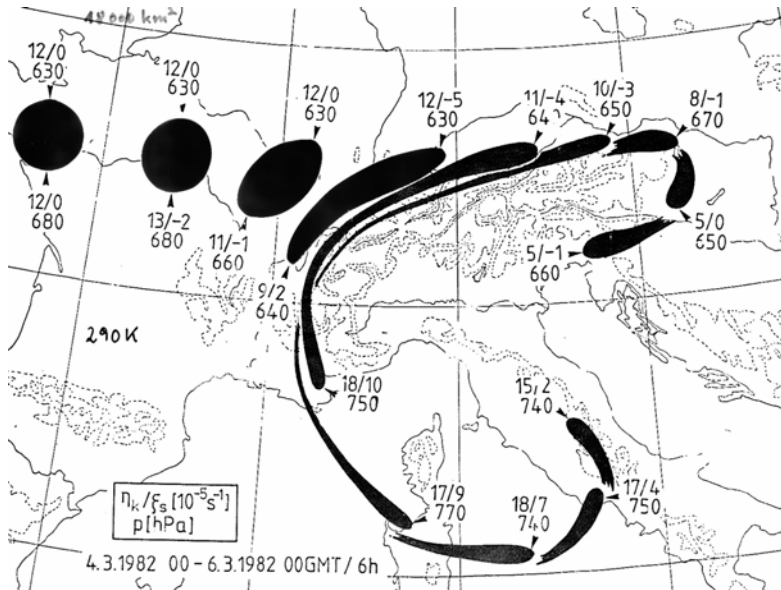


Abb. 2: „Flow Splitting“ zufolge der blockierenden Wirkung der Alpen bei einer Nordwestanströmung, dargestellt durch die Verformung einer kreisförmigen isentropen materiellen Fläche in 290 K während der Zeitspanne vom 4.3.1982, 00 Uhr UTC bis 6.3.1982, 00 Uhr UTC (nach H. Pichler und R. Steinacker, 1987).

Weiter kann mit Hilfe des Erhaltungssatzes der potentiellen Vorticity bei einer Überströmung eines Gebirges dessen antizyklonaler Einfluss auf eine Strömung und somit eine Rechtsablenkung einer Partikel auf der Nordhalbkugel demonstriert werden. Der bekannte Leeseitentrog östlich der Rocky Mountains bei einer Westanströmung ist in Verbindung mit dem β -Effekt u.a. eine Folge dieses Effekts. Auch im Alpenbereich ist dieser Effekt klar nachzuweisen.

In der Abb. 3 ist eine Trajektorie auf einer isentropen Fläche in 290 K, die die Alpen überquert, dargestellt. Zuzufolge der Querschnittsverengung der Strömung bei einer Alpenüberquerung werden die isentropen Flächen zusammengedrückt, was eine Erhöhung der statischen Stabilität zur Folge hat. Auf Grund der Erhaltung der potentiellen Vorticity nimmt aber bei einer Erhöhung der statischen Stabilität (=Stauchung der Wirbelröhre) die absolute Vorticity ab, d.h. ein antizyklonaler Einfluss beginnt zu wirken. Damit verbunden ist demnach auf der Nordhalbkugel eine Rechtsablenkung.

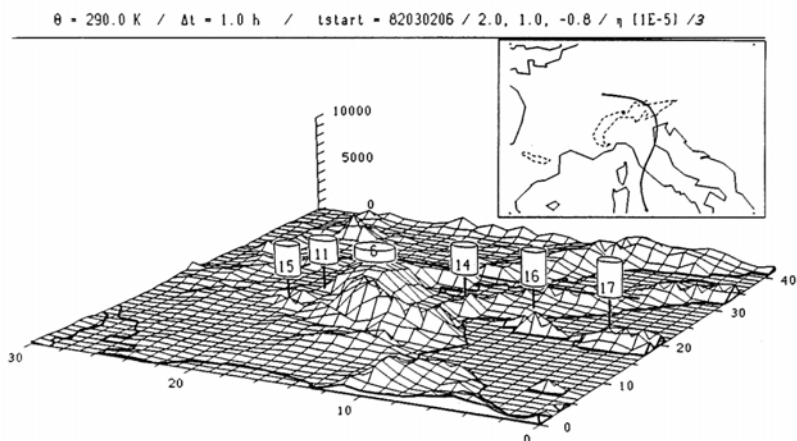


Abb.3: Alpenüberquerung eines Luftpaketes in 290 K am 2.3.1982. Die Zylinderkonfiguration in 3-stündiger Abfolge (Start 6 Uhr UTC) markiert die statische Stabilität, die über den Alpen deutlich erhöht ist (nach A.Jäger, 1992).

Im mesoskaligen Bereich treten ferner z.B. bei einer Nordwestanströmung der Alpen auf Grund von „flow splitting“ bzw. „flow separation“ und/oder zufolge der Brechung von Schwerewellen südlich der Alpen klar strukturierte PV-Muster auf, die sogenannten „PV-Banner“ (siehe Abb. 4).

Auf nähere Details kann hier nicht eingegangen werden. Es muss in diesem Zusammenhang auf die Spezialliteratur (siehe z.B. Ch. Schär et al., 2003) verwiesen werden.

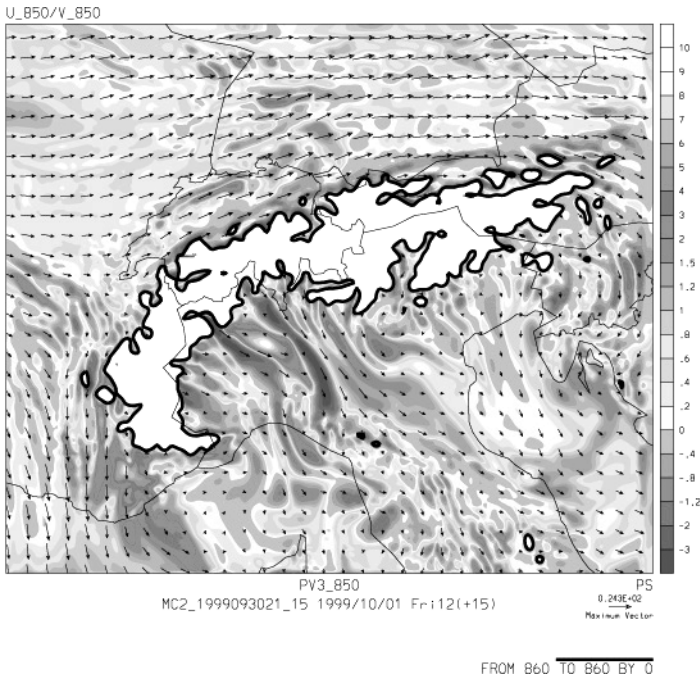


Abb.4: „PV-Banner“ südlich der Alpen bei einer Nordwestanströmung auf Grund von „flow splitting“ bzw. „flow separation“ und/oder Brechung von Schwerwellen vor 8,5m 1.10.1999, 12 Uhr UTC im 850 hPa Niveau (nach Ch.Schär et al., 2003).

Quellennachweis: Archiv Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien, Archiv Universität Innsbruck, Archiv Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien.

Literatur

- Exner, F.M., 1908 : Über eine erste Annäherung zur Vorausberechnung synoptischer Wetterkarten. Meteorol.Z., 25, 57–67.
- Exner, F.M., 1917: Dynamische Meteorologie, 1.Auflage, Teubner, Berlin – Leipzig, 308pp.
- Exner, F.M., 1925: Dynamische Meteorologie, 2.Auflage, Springer. Wien, 421pp.
- Ertel, H., 1942: Ein neuer hydrodynamischer Wirbelsatz, Meteorol.Z., 57,227–281.
- Ertel, H., 1957: Dem Gedenken Heinrich Fickers . Gedenkheft der Z. f. Meteorologie .
- Fortak, H., 2001: Persönliche Mitteilung.

- Hoskins, B.J., M.E. McIntyre and A.W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps, *Q.J.R.Meteorol.Soc.*, 111, 877–946.
- Jäger, A., 1992: Isentrope Trajektorien und ihre Anwendung auf das Konzept der potentiellen Vorticity bei orographisch induzierten Zyklongenese, Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 73pp.
- Kleinschmidt, E., 1950: Über Aufbau und Entstehung von Zyklonen, I. Teil, *Meteorol. Rundschau*, 3, 1–6.
- Lanzinger, A., H. Pichler and R. Steinacker, 1991: APEX Atlas – Case studies of ALPEX - SOP cyclones in the western Mediterranean, *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Heft 4, 234pp, ZAMG – Wien.
- Lanzinger, A., 1992: Upper and lower PV-coupling associated with Alpine lee cyclogenesis, *Meteorol.Z. Neue Folge*, 1, 173–181.
- Oberkofler, G. und P. Goller, 1990: Von der Lehrkanzel für kosmische Physik zur Lehrkanzel für Meteorologie und Geophysik: Von Josef Maria Pernter bis Herfried Hoinkes (1890–1975). In *Veröffentlichungen der Universität Innsbruck*, Nr. 178: 100 Jahre Inst. f. Meteorologie u. Geophysik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck 1890–1990. Kommissionsverlag der Wagner'schen Universitätsbuchhandlung Innsbruck, S. 11–95.
- Pichler, H. and R. Steinacker, 1987: On the synoptics and dynamics of orographically induced cyclogenesis in the Mediterranean, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 36, 108–117.
- Pichler, H., R. Steinacker and A. Lanzinger, 1990: Cyclogenesis induced by the Alps, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 43, 21–29; Special issue: „Mountain Meteorology and ALPEX“.
- Pichler, H., R. Steinacker, E. Hagenauer and A.Jäger, 1995: Alpex Simulation. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 57, 197–208.
- Pichler, H., 1997a: *Dynamik der Atmosphäre*, 3.Auflage, „Spektrum“ Akademischer Verlag, Heidelberg – Berlin – Oxford, Hochschultaschenbuch, 572pp.
- Pichler, H., 1997b: Die Bedeutung des Ertel'schen Wirbelsatzes in der synoptischen Meteorologie, In „Ertel's Potential Vorticity“, *Interdiv.Com. on History of IAGA and Hist.Com.of Germany Geoph. Soc. Ed.*, W.Schröder, 100–106.
- Schär, Ch., M. Sprenger, D. Lüth, Q.Jiang, R. Smith and R.Benott, 2003: Structure and dynamics of Alpine potential vorticity banner, *Q.J.R.Meteorol.Soc.* 129, 825–855.
- Staller, M., 1993: Untersuchungen von Zyklongenese im westlichen Mittelmeer mit Hilfe des Konzepts der potentiellen Vorticity, Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 75pp.
- Tafferner, A., 1990: Leecyclogenesis resulting from combined outbreak of cold air and potential vorticity against Alps, *Meteorol.Atmos.Phys.* 43, 31–47; Special issue: „Mountain Meteorology and ALPEX“.