5. Zusammenfassende Schlussbetrachtungen und Ausblick

Ziel der vorliegenden Untersuchung war, einen quantifizierten Überblick über die Häufigkeitsverteilung von Luftmassen in Europa auf dem 850 hPa-Niveau (in rund 1500 m Höhe über NN) zu geben. Dazu diente die ursprünglich von BERGERON aufgestellte und von GEB modifizierte Luftmassenklassifikation als Grundlage und zusätzlich wurde mit der Einführung der abgesunkenen Luftmassen auch die vertikale Dynamik berücksichtigt.
Dabei stellte sich heraus, dass im Zeitraum von 1979 bis 2000 rein kontinentale Luftmassen in Europa relativ selten waren und mit den vorherrschenden Westwinden überwiegend maritime Luftmassen sowie ihre 1.Modifikationen über dem Festland vorherrschten.
Im Mittelmeerraum konnten maritimen Luftmassen in den Sommermonaten nur sehr selten bis auf das 850 hPa-Niveau gelangen.
Zudem konnte gezeigt werden, wie häufig extrem temperierte Luftmassen aus ihren jeweils meist weit entfernten Ursprungsgebieten wie oft nach Europa gelangten.

Gleichzeitig wurde in dem untersuchten 22-jährigen Zeitraum ein Vergleich der ersten (1979 bis 1989) mit der zweiten Hälfte (1990 bis 2000) durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass vor allem in den Hauptjahreszeiten Winter und Sommer die Häufigkeitsverteilung von Luftmassen in den neunziger Jahren im Vergleich mit den achtziger Jahren nach Norden bzw. Nordosten verschoben waren, in der Weise, dass die obere Westwindzone im Zeitraum von 1990 bis 2000 den Mittelmeerraum seltener erreichte als durchschnittlich in den elf Jahren zuvor. Als Konsequenz daraus traten in den neunziger Jahren in Südeuropa zahlreiche heiße und trockene Sommer auf. Auch in den Wintermonaten blieb der in der sonst üblichen Regenzeit dringend benötigte Niederschlag aus bzw. fiel sehr spärlich aus. Daher wurden dort die Wasserspeicher nicht mehr in jedem Jahr ausreichend gefüllt, was für die in diesen subtropischen Gebieten zu erwartenden niederschlagsarmen Sommermonate z.B. Beeinträchtigungen für die Landwirtschaft bedeutete. Die Desertifikation konnte auf der Iberischen Halbinsel nordwärts an Raum gewinnen.
Auch weiter nördlich zwischen 45°N und 65°N traten in den neunziger Jahren gehäuft warme und relativ trockene Sommer auf. Dies korreliert gut mit der nordwärts verschobenen Häufigkeitsverteilung der subpolaren Meeresluft mP. Stattdessen wurden dort vermehrt die eher kontinentalisierten wärmeren Luftmassen cSp und xSp, aber auch die subtropischen cS und xS beobachtet (s. Kapitel 4.3.). Von der Häufigkeitsabnahme der kühlen mP und Häufigkeitszunahme der wärmeren Luftmassen in Mitteleuropa profitierten u.a. die Getränkeindustrie und Tourismusbranche an Nord- und Ostsee.

Besonders deutlich zeigte sich die Luftmassenfluktuation im Winter. Kalte Luftmassen aus Nord- und Osteuropa konnten in den neunziger Jahren erheblich seltener nach Mitteleuropa gelangen als durchschnittlich in den elf Jahren zuvor. Stattdessen wurden mit einer kontinuierlicheren Westwinddrift vermehrt mildere Meeresluftmassen beobachtet. Dies hatte nicht nur im Tiefland, sondern auch in den Mittelgebirgen und Alpen Konsequenzen bezüglich der Schneedeckenhäufigkeit und – mächtigkeit (s. Kapitel 4.1.).
Von Ende Dezember bis Mitte März liegt die Tauwettergrenze (oberhalb derer Schneefälle auch zu einer bleibenden Schneedecke führen) in einer mP-Luftmassen etwa bei 500 m Höhe über NN, in der milderen mPs-/mSp-Luftmasse bei rund 1200 bis 1400 m Höhe über NN, in subtropischer Meeresluft mS oberhalb von 2000 m Höhe über NN.
Mit Hilfe der aufgetretenen Häufigkeiten von maritimen Luftmassen kann in etwa die durchschnittlich zu erwartende Höhengrenze der Schneesicherheit in den Bergen angegeben werden.
Die Häufigkeitszunahme der mSp-/mPs- und mS-Luftmassen hat dazu geführt, dass in den Mittelgebirgen Westdeutschlands (z.B. Eifel, Hunsrück, Taunus und Sauerland) selbst im Hochwinter der neunziger Jahre zumeist keine wintersporttaugliche Schneedecke anzutreffen war. Auch die Wintersporttourismusbranche im Schwarzwald sowie in den tieferen Lagen der Alpen bemängelten die Schneearmut und die damit ausgebliebenen Winter-Urlauber.
Gerade dort zum südwestlichen Mitteleuropa kann subtropische Meeresluft häufiger heranwehen als beispielsweise zu den östlicher gelegenen Gebirgszügen wie Böhmerwald und Riesengebirge, die selbst in den milden Wintern der neunziger Jahre noch eine ausreichende Schneedecke aufweisen konnten. Denn dorthin gelangten die Zyklonen bzw. Warmsektoren schon meist okkludiert, so dass die Tauwetterperiode kürzer und schwächer ausfiel.

In der Phänologie führte im Tiefland zudem die seltenere Anzahl von Frosttagen und nur relativ geringe Kältesummen zu einer Verkürzung der winterlichen Vegetationsruhe. Damit stieg die Gefahr von Spätfrostschäden wegen der schon frühzeitig weit vorangeschrittenen Vegetationsentwicklung in der Natur, die von der Landwirtschaft teilweise auch beklagt wurden.
In Nordeuropa sorgte der Häufigkeitsrückgang von sehr kalten Luftmassen beispielsweise für eine meist geringe Meereisausdehnung bzw. Meereisdicke.

Die Häufigkeit von Luftmassen hat zudem direkt Einfluss auf die Luftbeimengungen. Nach PELZ (1994) ist die Staub- und Schwefeldioxidkonzentration in kontinentalen Luftmassen deutlich höher als in maritimen Luftmassen. Die häufigeren Westwindwetterlagen mit der verstärkten Zufuhr von maritimer Luft haben demnach in den Wintern der neunziger Jahre zu geringeren Luftbeimengungen als im Zeitraum von 1979 bis 1989 beigetragen. In den Sommermonaten - mit dem vermehrten Vorkommen von

kontinentalisierten Luftmassen - war dies nicht der Fall.

Was sind die möglichen Gründe für die Verstärkung und längere Andauer der mittleren Westwindzirkulation bei gleichzeitiger Verschiebung nach Norden? Ein Grund ist die Zunahme der Temperaturgegensätze zwischen dem Polargebiet und den Subtropen. Dies führt zu einer Verstärkung der Baroklinität sowie des thermischen Westwindes und beides bietet damit gute Voraussetzungen zur Entwicklung intensiver Zyklonen. Diese Annahme würde jedoch nicht zwingend die festgestellte Nordverlagerung der Hauptfrontalzone (und die damit einhergehende Verschiebung der Häufigkeitsverteilung von Luftmassen nach Norden) begründen.

Eine Erhöhung der mittleren Meeresoberflächentemperaturen tropischer Meere um 0,5 bis 1 K im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt reicht aus, um eine Verstärkung der Hadley-Zirkulation herbeizuführen (Abb. 5.1.1-1 und 5.1.1-2). Damit verbunden ist ein verstärkter Transport von Drehimpuls von den Tropen zu den Subtropen. Der zusätzliche polwärts gerichtete Transport von Westwind-Drehimpuls ist zugleich der Hauptlieferant für die Beschleunigung des subtropischen Strahlstroms. Innerhalb der Troposphäre findet der polwärtige Transport des Westwind-Drehimpulses im oberen Bereich der Hadley-Zelle statt. Der Transport von Drehimpuls kann sowohl durch eine mittlere, meridionale Zirkulation als auch durch Wirbelaustausch vonstatten gehen. In mittleren und höheren Breiten wird der meridionale Drehimpulstransport vorwiegend durch meridionalen Wirbelaustausch bewerkstelligt. Typisch dabei sind Wetterlagen mit großräumig südwestlicher Strömung, wobei dies sowohl durch einen Trog als auch durch eine Antizyklone mit einer von Südwesten nach Nordosten gerichteten Achse bewerkstelligt werden kann.
Sollte häufig gerade über Europa der polwärts gerichtete Transport von Drehimpuls stattfinden, dann verschiebt sich mit der baroklinen Polarfrontalzone auch die Häufigkeitsverteilung der Luftmassen nach Norden bis Nordosten.
Der in den neunziger Jahren vor allem im Sommer und Winter im Durchschnitt festgestellte Fall mit übernormal hohem Geopotential über Südwesteuropa korrelierend mit stabilen, eher kontinentalisierten warmen Luftmassen und eine Häufigkeitsabnahme von kalten Luftmassen in Mittel-, Nord- und Osteuropa sprechen für den erläuterten Vorgang.

Selbst in Zeiten der aktuellen Diskussionen über regionale und globale Klimaveränderungen, kann aus den in dieser Diplomarbeit untersuchten und diskutierten Ergebnissen noch nicht auf einen allgemeinen Klimatrend zu einer signifikanten Erwärmung geschlossen werden. Bei dem besonders in den Hauptjahreszeiten (Sommer und Winter) verstärkt aufgetretene Transport von Drehimpuls nach Norden, müsste man sich sicher sein, dass er weiter anhält. Daher sollte man vorsichtshalber von einer Fluktuation der Temperaturen und

Luftmassen sprechen als von einem Trend.

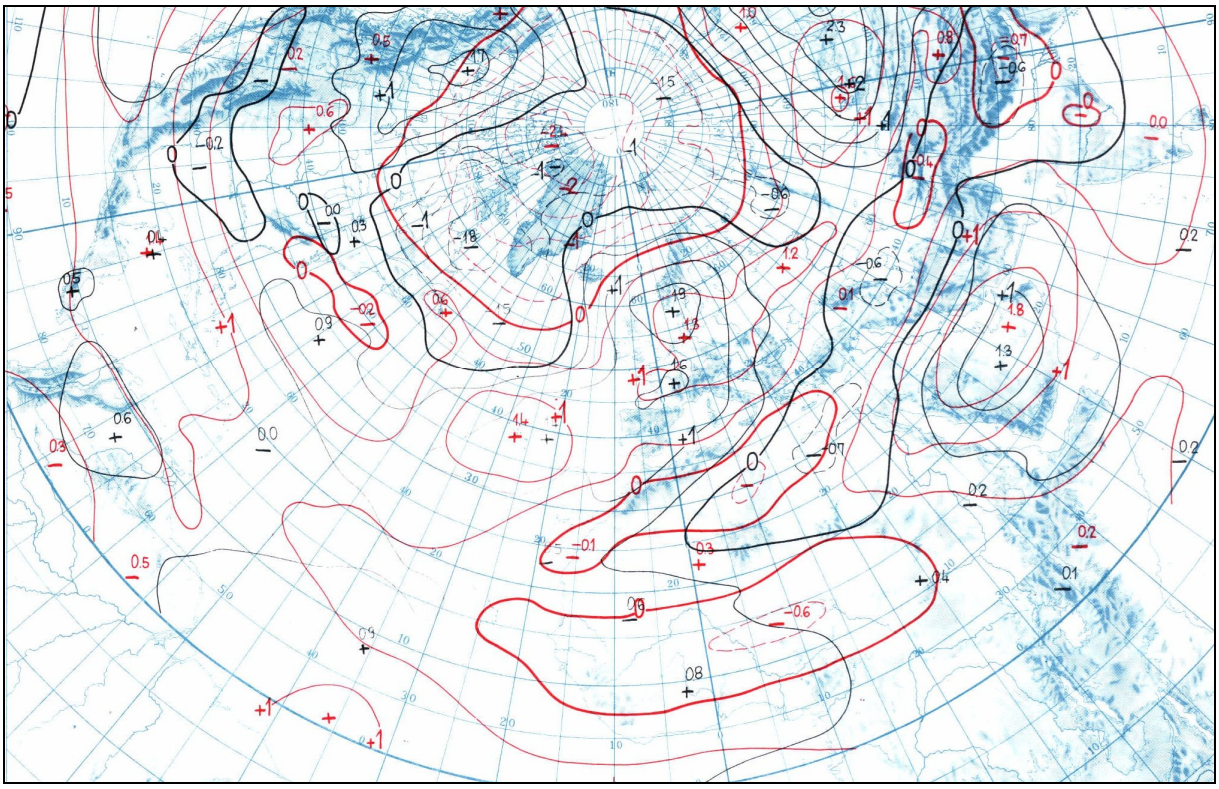


Abb. 5.1.1-1 (Geb, 2002): Temperaturanomalie (K) der Schicht 1000 bis 300 hPa (schwarze Isolinien) und im Höhenniveau von 300 hPa (rote Isolinien) im Winter (Dezember, Januar, Februar) von 1991-2000 bezogen auf die Periode 1951-1960. Temperaturanomalien in Abständen von 0,5 K. In weiten Teilen der tropischen Regionen lag die mittleren Temperatur der Schicht zwischen 1000 und 300 hPa über den durchschnittlich zu erwartenden Werten.

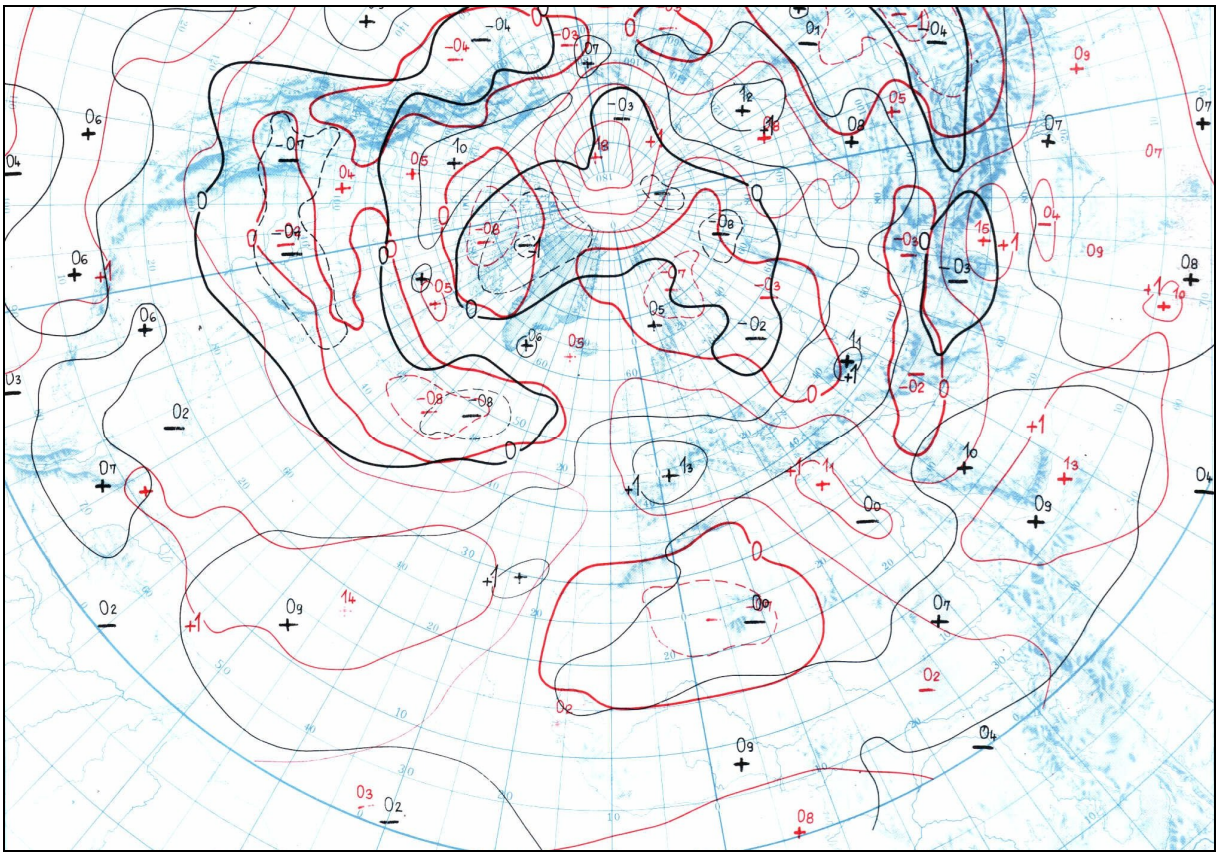


Abb. 5.1.1-2 (Geb, 2002): Temperaturanomalie (K) der Schicht 1000 bis 300 hPa (schwarze Isolinien) und im Höhenniveau von 300 hPa (rote Isolinien) im Sommer (Juni, Juli und August) von 1991-2000 bezogen auf die Periode 1951-1960. Temperaturanomalien in Abständen von 0,5 K. In weiten Teilen der tropischen Regionen lag die mittleren Temperatur der Schicht zwischen 1000 und 300 hPa über den durchschnittlich zu erwartenden Werten.