



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Auswertung und Analyse von Strömungslagen anhand der
Ostalpinen Strömungslagenklassifikation

Verfasserin

Natalie Reiter

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 415

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Meteorologie

Betreuerin / Betreuer:

O.Univ.-Prof. Dr. Reinhold Steinacker

Zusammenfassung

Zu Beginn der Arbeit werden verschiedene Klassifikationsmethoden vorgestellt und ihre Eignung für die Anwendung im Ostalpenraum diskutiert. Im Weiteren wird die COST Aktion 733 aufgeführt, deren Ziel es ist, eine einheitliche Wetterlagenklassifikation für ganz Europa mit Hilfe der nationalen Wetterdienste zu erstellen, da es bereits unzählige subjektive Wetterlagenklassifikation für spezielle Regionen in Europa gibt. Für den Ostalpenraum, der in dieser Arbeit betrachtet wird, eignet sich am besten die ostalpine Strömungslagenklassifikation nach Steinacker (Steinacker, 1991: [1]). Mit Hilfe dieser Klassifikation, welche die Grundlage für die Auswertungen ist, hat Steinacker 50 Jahren (1961 bis 2010) jedem Tag eine eindeutige Strömungslage zugeordnet. Die in dieser Arbeit vorgenommenen Auswertungen basieren auf den daraus gewonnenen Daten.

Zuerst werden die Datenreihen der zehn Strömungslagen für den gesamten Zeitraum von 1961 bis 2010 sowie für die vier Jahreszeiten und die zwölf Monate analysiert. Um eine Aussage über die Trendentwicklung treffen zu können, betrachtet man neben der Kurve der Originaldaten, deren Regressionsgerade und deren Polynom 6. Grades sowie die mit Hilfe des Gaußfilters geglättete Kurve. Der Gaußfilter ist ein Tiefpassfilter und bewirkt, dass Schwankungen, die in einem kurzen Zeitraum erfolgen, eliminiert werden, die über längere Zeiträume erfolgenden Messwertänderungen dagegen unberührt bleiben. Um eine endgültige Aussage über die Trendentwicklung treffen zu können, wird mit dem Fisher-Test auf Signifikanz geprüft.

Anschließend erfolgt eine Auszählung der durchschnittlichen und der maximalen Dauer der einzelnen Strömungslagen - wieder im Hinblick auf verschieden lange Zeiträume (Jahre, Jahreszeiten und einzelne Monate). Auch hierbei wird analysiert, ob in den letzten Jahren Veränderungen in der durchschnittlichen Länge einer Strömungslage aufgetreten sind.

Zuletzt wird mit Hilfe einer 10 x 10 Matrix die relative Häufigkeit herausgearbeitet; diese kann man als Maß für die Wahrscheinlichkeit dafür betrachten, dass auf die aktuelle Strömungslage am Folgetag beispielsweise die gleiche oder auch eine andere Strömungslage eintritt. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer gewissen Strömungslage am Folgetag kann für alle zehn Klasseneinteilungen berechnet werden. Auch in umgekehrter Form sind die Ergebnisse von großem Interesse. Man bestimmt deshalb auch die prozentualen relativen Häufigkeiten der Strömungslagen, die einer bestimmten anderen Strömungslage vorausgehen.

Die Auswertungen und graphischen Umsetzungen werden in EXCEL durchgeführt.

Abstract

At first, the reader of this thesis gets a presentation of the different methods of classification whose suitability for the application in the Eastern Alps (the region between Neusiedler Lake and Lake Constance) is discussed. Furthermore, the “COST Action 733” is mentioned aiming at the definition of a consistent classification of the weather situation for the whole European region with the help of several national weather services, since there are already multitudinous subjective classifications for many special regions in Europe. For the Eastern Alps, which is considered in this thesis, the appropriate classification of the Eastern Alpine flow regimes by Steinacker (Steinacker, 1991: [1]) is most suitable; his work is the basis for the analyses, since Steinacker has allocated a distinct flow situation to every day of the rather long period of 50 years (from 1961 until 2010) using this classification. Based on Steinacker’s data my evaluation could be done.

Primarily, the data of the ten flow situations are analysed for the whole period from 1961 until 2010 both for the four seasons and the twelve months. To find out an evidence about the trends among the original curves also its regression line, its polynomial function of order six and the curve abraded with the help of a Gauß cleaner are considered. This cleaner is a low pass filter oppressing deviations of high frequencies (taking place within short periods), but letting pass deviations of low frequencies (taking place within a long period). To find out a final conclusion about the trends the significance is checked by a Fisher-Test.

Subsequently, the average and maximal lengths of the different flow situations are enumerated - again with a view to the periods of the different longitudes such as years, seasons and single months. Changes of the average length of a flow situation during the last years are analysed, too.

Finally, the relative frequency is calculated with the help of a 10 x 10 array; it can be looked at as a measure of probability for the different cases: “The flow situation is still the same as it was the day before.” or “The flow situation has changed compared with the day before.” The probability for the appearance of a special flow situation at the following day can be calculated for all the ten classifications. The converse consideration of the coherences is rather interesting, too. So also the percentaged relative frequencies of the flow situations preceding a special other streaming situation are calculated.

The EXCEL-tool is used for the evaluations and graphical visualisations.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Historisches	2
2.1 Einige Beispiele:	3
2.1.1 Großwetterlagenklassifikation nach Baur/Hess und Brezowsky	3
2.1.2 Klassifikation nach Lamb	3
2.1.3 Klassifikation nach Gressel	3
2.1.4 Klassifikation der Witterungslagen im Alpenland nach Schüepp . . .	3
2.1.5 Klassifikation ostalpiner Wetterlagen nach Lauscher	4
2.1.6 Klassifikation nach Kerschner	5
2.1.7 Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation nach Steinacker	5
2.1.8 Gegenüberstellung bisheriger Klassifikationsmethoden	6
2.2 COST Action 733	8
2.2.1 Was ist COST?	8
2.2.2 Motivation für die COST Action 733	8
2.2.3 Durchführung der COST Action 733	9
3 Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation	11
3.1 Klasseneinteilung	11
3.1.1 Berliner Wetterkarte	13
3.2 Bisherige Ergebnisse	15
4 Aufgabenstellung	17
5 Methoden der Auswertung	18
5.1 Regressionsgerade und Bestimmtheitsmaß	19
5.1.1 Fisher-Test	20
5.2 Polynom 6. Grades	21
5.3 Gaußfilter	22
5.3.1 Funktionsweise des verwendeten Filters	23
5.4 10x10 Matrix	25
5.5 Längste Abfolge	26
6 Resultate	27
6.1 Auswertung verschiedener Strömungsrichtungen	27
6.1.1 Westlagen	27
6.1.2 Nordlagen	34
6.1.3 Gradientschwache Lagen	41
6.1.4 Südwestlagen	46

6.1.5	Zonale Strömungen	55
6.1.6	Meridionale Strömungen	59
6.2	Analyse der Stärke des Westwinds	62
6.3	Auswertung der längsten Dauer einer Strömungslage	66
6.4	Analyse der Wahrscheinlichkeiten von Abfolgen verschiedener Strömungslagen	71
6.4.1	Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer bestimmten Strömungslage am Folgetag	71
6.4.2	Wahrscheinlichkeit für das Vorausgehen einer bestimmten Strömungslage am Vortag	76
7	Conclusio und Ausblick	79
	Literaturverzeichnis	80
	Anhang	82
A	Lebenslauf	82
B	Danksagung	83

Abbildungsverzeichnis

1	Turm der Winde in Athen (Quelle: Wikipedia, April 2012: [2])	2
2	Abgrenzung des zentralen Alpenraumes. Koordinaten des Gebietsmittelpunkts Z: 46.5°N/ 9.0°E (Quelle: Kirchhofer, 1971: [7])	4
3	Klassifikationskreise für SYNOP-Ost und das Schweizer Original (Quelle: Ker- schner, 1989: [6])	5
4	Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften der Wetterlagenklassifikation (Quelle: Salvisberg, 1996: [8])	6
5	Gebietsgrößen der verschiedenen Klassifikationsschemen (Quelle: Salvisberg, 1996: [8])	7
6	Länder, die an COST733 teilnehmen oder Interesse daran zeigen (Quelle: Cost733, April 2012: [9])	8
7	Klasseneinteilung	12
8	Berliner Wetterkarte vom 19.12.1993, Höhenwetterkarte 00 UTC (Quelle: Ber- liner Wetterkarte, 19.12.1993: [13])	13
9	Berliner Wetterkarte vom 19.12.1993, Bodenkarte 12 UTC (Quelle: Berliner Wetterkarte, 19.12.1993: [13])	14
10	Mittlere Verteilung der Strömungslagen im gesamten Jahr (oben) und in den Jahreszeiten (unten) von Steinacker [Angaben in Promille] (Quelle: Steinacker, 1991: [1])	16
11	Schematische Darstellung verschiedener Korrelationskoeffizienten K (im Text r genannt) (Quelle: BGW, August 2012: [16])	20
12	Charakteristische Filterfunktion (spektral, jeweils links) und zugehörige Zeit- funktion (jeweils rechts): oben: Ausgangsdaten bzw. keine Filterung unten: Tiefpassfilterung (Quelle: Schönwiese, 2006: [15])	22
13	Eingabe für die Berechnung	25
14	Tage mit Westströmungslagen von 1961 bis 2010	27
15	Tage mit Westströmungslagen im Winter von 1961 bis 2010	28
16	Tage mit Westströmungslagen im Frühling von 1961 bis 2010	28
17	Tage mit Westströmungslagen im Sommer von 1961 bis 2010	29
18	Tage mit Westströmungslagen im Herbst von 1961 bis 2010	29
19	Tage mit Westströmungslagen (W, NW, SW) von 1961 bis 2010	30
20	NAO-Index 1950 bis September 2012 (Quelle: NOAA, Oktober 2012: [20]) . .	33
21	Tage mit Nordströmungslagen von 1961 bis 2010	34
22	Nordströmungslagen im Winter in den Jahren 1961 bis 2010	35
23	Nordströmungslagen im Frühling in den Jahren 1961 bis 2010	35
24	Nordströmungslagen im Sommer in den Jahren 1961 bis 2010	36
25	Nordströmungslagen im Herbst in den Jahren 1961 bis 2010	36
26	Tage mit Nordströmungslagen (W, NW, SW) von 1961 bis 2010	37
27	Gradientschwache Tage der 4 Jahreszeiten	39
28	Jährliche Verteilung der 10 Strömungsklassen in Prozent geordnet nach Häufigkeit	40
29	Gradientschwache Strömungslagen von 1961 bis 2010	41
30	Gradientschwache Strömungslagen im Winter in den Jahren 1961 bis 2010 .	41
31	Gradientschwache Strömungslagen im Frühling in den Jahren 1961 bis 2010 .	42
32	Gradientschwache Strömungslagen im Sommer in den Jahren 1961 bis 2010 .	43

33	Gradientschwache Strömungslagen im Herbst in den Jahren 1961 bis 2010 . .	43
34	Witterungsverlauf Juni 2003 (Quelle: ZAMG, November 2012: [23])	44
35	Tage mit Südwestströmungslagen von 1961 bis 2010	46
36	Südwestströmungslagen im Winter in den Jahren 1961 bis 2010	47
37	Südwestströmungslagen im Frühling in den Jahren 1961 bis 2010	48
38	Südwestströmungslagen im März in den Jahren 1961 bis 2010	48
39	Südwestströmungslagen im April in den Jahren 1961 bis 2010	49
40	Südwestströmungslagen im Mai in den Jahren 1961 bis 2010	49
41	Südwestströmungslagen im Sommer in den Jahren 1961 bis 2010	50
42	Südwestströmungslagen im Herbst in den Jahren 1961 bis 2010	51
43	Neue Juli-Regenrekorde in der Steiermark und Kärnten (Quelle: ZAMG, No- vember 2012: [26])	53
44	Niederschlagssummenabweichung für Juli 2012 (Quelle: ZAMG, November 2012: [27])	54
45	Zonale Strömung in den Jahren 1961 bis 2010	55
46	Zonale Strömung im Winter (Dezember bis Februar) von 1961 bis 2010 . . .	56
47	NAO-Index von 1864 bis 2012 (Quelle: UCAR; Dezember 2012: [29])	57
48	Korrelation zwischen NAO-Index und Tagen mit zonaler Strömung	57
49	Meridionale Strömungen in den Jahren 1961 bis 2010	59
50	Meridionale Strömung im Winter (Dezember bis Februar) von 1961 bis 2010	60
51	Korrelation zwischen NAO-Index und Tagen mit meridionaler Strömung . . .	61
52	Die Stärke des Westwindes in den Jahren 1961 bis 2010	62
53	Karte des Südpazifik mit Darwin in Australien und der Insel Tahiti (Quel- le: Max Planck Institute for Chemistry Atmospheric Chemistry Department, Dezember 2012: [31])	63
54	SOI von 1950 bis 2007 (Quelle: Max Planck Institute for Chemistry Atmos- pheric Chemistry Department, Dezember 2012: [31])	63
55	Die Stärke der verschiedenen Ereignisse nach El Niño (Quelle: Schultreff, De- zember 2012: [32])	64
56	Korrelation zwischen NAO-Index und der Westwindstärke	65
57	500 hPa Geopotential (gpdm) und Bodendruck (hPa) vom 23.1., 31.1., 6.2. und 8.2.1989 (Quelle: Wetterzentrale, Dezember 2012: [33])	67
58	500 hPa Geopotential (gpsm) und Bodendruckkarte (hPa) vom 10.01.1996 (Quelle: Wetterzentrale, Dezember 2012: [33])	68
59	Maximaltemperaturen am 10.01.1996 (Quelle: Wetterzentrale, Dezember 2012: [33])	69

Tabellenverzeichnis

1	Berechnete Gaußgewichte w_k	24
2	Strömungslagen	27
3	Streuung und Mittelwert der Westlagen	31
4	Verteilung der Strömungslagen während Orkan Anatol, Lothar und Kyrill . .	31
5	Berechnete F-Werte für Westlagen	32
6	Berechnete F-Werte für Nordlagen	37
7	Streuung und Mittelwert der Nordlagen	37
8	Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit verschiedenen Strömungslagen für alle Jahre und alle Jahre reduziert auf die 4 Hauptrichtungen sortiert nach Häufigkeiten	38
9	Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit verschiedenen Strömungslagen für Winter und Frühling sortiert nach Häufigkeiten	38
10	Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit verschiedenen Strömungslagen für Sommer und Herbst sortiert nach Häufigkeiten	39
11	Berechnete F-Werte für gradientschwache Lagen	44
12	Streuung und Mittelwert der gradientschwachen Lagen	45
13	Berechnete F-Werte für Südwestlagen	51
14	Streuung und Mittelwert der Südwestlagen	52
15	Maximale, minimale und mittlere Werte der zonalen Strömung von 1961 bis 2010	55
16	Maximale, minimale und mittlere Werte der meridionalen Strömung von 1961 bis 2010	60
17	Zusammenfassung El Niño, SOI und Westwinddominanz	64
18	Längste Abfolge der zehn Strömungslagen von 1961 bis 2010	66
19	Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) von 1961 bis 2010 auftraten	71
20	Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) von 1961 bis 2010 auftraten [%]	71
21	Relative Wahrscheinlichkeit	73
22	Zufallswahrscheinlichkeit [%]	73
23	Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) 1961 auf- traten [%]	73
24	Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) 1985 auf- traten [%]	74
25	Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) 2010 auf- traten [%]	74
26	Auszählung mit welcher Wahrscheinlichkeit Strömungen einer bestimmten Klas- se (0-9) vorausgehen [%]	76
27	Relative Wahrscheinlichkeit	76
28	Zufallswahrscheinlichkeit [%]	77
29	Wahrscheinlichkeiten [%] für das Vorausgehen einer gewissen Klasse (0-9) im Jahr 1961	77
30	Wahrscheinlichkeiten [%] für das Vorausgehen einer gewissen Klasse (0-9) im Jahr 1985	77

31	Wahrscheinlichkeiten [%] für das Vorausgehen einer gewissen Klasse (0-9) im Jahr 2010	78
----	--	----

Abkürzungsverzeichnis

α	Irrtumswahrscheinlichkeit
μ	Mittelwert
σ	Standardabweichung
COST	European Cooperation in Science and Technology
df_e	Fehlerfreiheitsgrad
df_h	Hypothesenfreiheitsgrad
E	Ost
ECMWF	European Centre for Medium- Range Weather Forecasts
ERA 40	Europäische Reanalyse
F_{krit}	kritischer Fisher-Wert
F-Wert	Fisher-Wert
H	Gradientschwache Strömung
H_0	Nullhypothese
H_1	Alternativhypothese
Index meridional, zonal, Himmelsrichtung	kategorisiert welche Anzahl von Strömungstagen betrachtet wird
Index reduziert	Die Haupthimmelsrichtung wird mit ihren zwei benachbarten Nebenhimmelsrichtungen (welche nur zur Hälfte gewichtet werden) zusammengefasst (addiert)
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
MEZ	Mitteleuropäische Zeit
N	Nord
n	Anzahl der Strömungstage
NAO-Index	Nordatlantischen Oszillationsindex
NE	Nordost
NW	Nordwest
r	Korrelationskoeffizient

R^2	Bestimmtheitsmaß
S	Süd
SE	Südost
SW	Südwest
UTC	Universal Time Coordinated
V	Variabele Strömungsrichtung
W	West
w_0	Zentralgewicht
w_k	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
WG	Working group
$x_{Gauß}$	mit Gaußfilter berechnete Werte
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1 Einleitung

Seit jeher wird das Leben der Menschen durch das Wetter beeinflusst; deshalb versuchen diese, die oftmals komplexen und chaotischen Wettersysteme in irgendeiner Form zu ordnen, um die Zusammenhänge besser verstehen und studieren zu können. Jedoch erweist sich das bei der Wetterlagenklassifikation als schwierig, denn jede Wetterlage und Wetterkarte ist einzigartig; somit gibt es keine Wetterlagen, die komplett identisch sind. Typische Wetterabläufe und -strukturen lassen sich aber in den meteorologischen Feldern erkennen, die gehäuft auftreten und große Ähnlichkeiten aufweisen. Daher führte man verschiedene Klassifikationen von dominanten Mustern der Zirkulation in der Atmosphäre ein. Teilweise Übereinstimmungen - wie beispielsweise im Druckmuster - spiegeln sich darin wider, dass ähnliche Bewölkungs- und Niederschlagsverhältnisse auftreten. Je nach Autor basieren die Klassifikationen auf der Bodendruckkarte sowie der 500 hPa- oder 850 hPa-Fläche des Geopotentials.

Das Ziel jeder Wetterlagenklassifikation ist es, einen Katalog mit einer möglichst geringen Anzahl von Klassen mit höchstmöglicher Abdeckung von Eigenschaften verschiedener Wetterparameter zu erstellen. Um die Anzahl der Klassen möglichst gering zu halten, ist es sinnvoll, eine reine Strömungslagenklassifikation (Steinacker, 1991: [1]) einzuführen, deren Einteilung nur auf Strömungsmustern basiert und somit die Wettererscheinungen der jeweiligen Lage vernachlässigt, wodurch zur vollständigen Erfassung der Geschehnisse der Atmosphäre nur wenige Klassen benötigt werden. Die Betrachtung von Strömungsrichtungen scheint insbesondere bei Gebirgen wie den Alpen zielführend, weil dort das Wettergeschehen von Stau- und Lee-Effekten, also abhängig von der Anströmrichtung, geprägt ist.

Wetterlagenklassifikationen bringen auch Probleme mit sich, denn das atmosphärische Druckmuster verändert sich nicht komplett von heute auf morgen, sondern durch einen kontinuierlichen Prozess. Um diese Tatsache zu berücksichtigen und eine aussagekräftige Klassifikation durchführen zu können, benötigt man mehrere Klassen, die sich teilweise auch überlagern. Die Drucksysteme sind saisonal abhängig und weisen unterschiedliche Intensitäten auf; daher ist es notwendig, Grenzwerte zu bestimmen, die festlegen, welche Signale bei der Klassifikation berücksichtigt werden und welche schon zu schwach sind, um eindeutig einer bestimmten Klasse zugeordnet werden zu können. Bei der subjektiven Strömungslagenklassifikation tritt ein weiteres Problem auf: Man erhält keine einheitliche Datenreihe, selbst wenn stets der gleiche Beobachter die Auswertung vornimmt. Im Laufe der Jahre können sich die Einschätzungen und die Grenzen des Beobachters verändern beziehungsweise anpassen. Um dennoch eine einheitliche Datenreihe zu erhalten, ist es sinnvoll, nach einer längeren Periode - etwa jedes Jahrzehnt - die Daten zu überarbeiten und erneut in Klassen einzuordnen. Dadurch wird gewährleistet, dass der gesamte Datensatz unter den gleichen Kriterien des Beobachters eingeteilt wurde. Wie man sieht, ist es bereits schwer, bei einem Beobachter einen einheitlichen Datensatz zu erhalten; daher kann man sich vorstellen, was für Probleme es mit sich bringt, wenn mehrere Personen die Auswertungen vornehmen.

2 Historisches

Die Strömungslagenklassifikation fand ihre Anfänge bereits bei den Griechen: In Athen entwarf 100 v. Chr. ein Astronom einen 13 Meter hohen Turm, der als “Turm der Winde” bezeichnet wurde. Dieser diente als Uhrenpavillon und Wetterstation und war das erste Observatorium für Meteorologie. An jeder der acht Seiten (stehend für die vier Haupt- und die vier Nebenhimmelsrichtungen) des Turms befand sich eine Sonnenuhr. Das sich darüber befindende Relief zeigt jeweils einen Wettergott mit einem Attribut, das den Witterungscharakter der jeweiligen Windrichtung symbolisieren soll. Für den produktiven Ackerbau waren dieses Erkenntnisse von großer Bedeutung. Auf dem Dach stand eine Figur, die als Wetterfahne diente und zur Bestimmung der vorherrschenden Windrichtung benötigt wurde. Im Inneren des Turmes befand sich eine Wasseruhr (nach Wikipedia, April 2012: [2]).

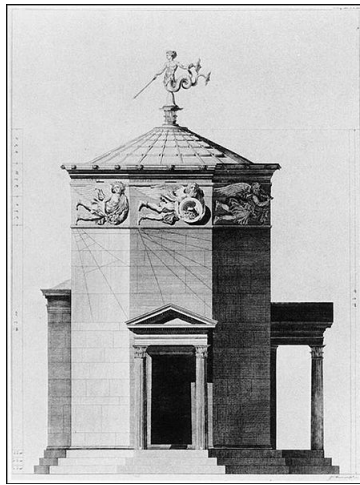


Abbildung 1: Turm der Winde in Athen (Quelle: Wikipedia, April 2012: [2])

Für verschiedene Gebiete der Erde existieren bereits diverse synoptische Kataloge. Dadurch kommt die Frage auf, weshalb man eine Klassifikation speziell für den Alpenraum sucht. Dafür gibt es zwei Hauptbedürfnisse: Zum einen benötigt die Klimatologie neben der rein formalen Einteilung in Monate oder Pentaden eine Ergänzung über Witterungsklimatologie, welche die vorherrschende Wetterlage genauer charakterisiert. Zum anderen zeigt die Synoptik - speziell die Mittelfristprognose - ein Bedürfnis nach einer Wetterlagenklassifikation, denn in den gezeichneten Wetterkarten wird das Wetter nicht mit eingeschrieben. Der Meteorologe muss sich auf seine Erfahrung verlassen, um eine Prognose zu erstellen. Durch einen Katalog, der ähnliche Fälle zusammenfasst, soll es dem Meteorologen ermöglicht werden, Analog-Fälle zu studieren und dieses Wissen für seine Prognose einzusetzen. (Schüepp, 1965:[5]) Im folgenden werden einige Klassifikationen vorgestellt, die für den Alpenraum von Bedeutung sind oder als Grundlage für Klassifikationen für den Alpenraum dienen.

2.1 Einige Beispiele:

2.1.1 Großwetterlagenklassifikation nach Baur/Hess und Brezowsky

Für Mitteleuropa erstellte Baur auf der Basis von Großwetterlagen eine Klassifikation, die er nach ähnlichen Witterungsverhältnissen einteilte. Hess und Brezowsky modifizierten Baur's Methode, die noch heute vom Deutschen Wetterdienst angewandt wird. Die Aufzeichnungen reichen bis 1881 zurück und die Klasseneinteilung erfolgt anhand der Betrachtung des Bodendruckfeldes. Hierbei erfolgt die Einteilung nach Zirkulationstyp (zonal, gemischt, meridional), Großwetterlage (Strömungsrichtung) und Witterung (zyklonal oder antizyklonal). Daraus ergeben sich 29 Klassen. Das Anwendungsgebiet umfasst den Bereich zwischen 45 und 65 Grad nördlicher Breite; somit wird der Alpenraum als Randgebiet kaum berücksichtigt und diese Klassifikation eignet sich nicht besonders gut für die Erstellung einer Alpenwetterstatistik (Grunow, 1965: [3]).

2.1.2 Klassifikation nach Lamb

1972 publizierte Lamb eine Klassifikation für die Britischen Inseln. Die Einteilung erfolgt nach ähnlichen Horizontal- und Vertikalbewegungen, die nach Annahme von Lamb auch ähnliche Witterungsverhältnisse mit sich bringen. Daraus ergeben sich 11 Klassen: 8 Richtungsklassen, eine undefinierte Klasse, eine antizyklonale sowie eine zyklonale Klasse. Eine Klasse wird als "undefiniert" bezeichnet, wenn ein schwach ausgeprägtes Druckmuster oder chaotische Verhältnisse vorliegen und somit eine Zuordnung in eine andere Klasse nicht möglich ist (Biermaier, 2006: [4]). Hiermit ist die Grundlage für die Klassifikation nach Steinacker (Steinacker, 1991: [1]) gelegt.

2.1.3 Klassifikation nach Gressel

Nach Gressel sollte man eine Klassifikation anhand einer Wetterkartenfolge durchführen, da bei Betrachtung der Bodenkartenanalyse die Wetterentwicklung nicht genug berücksichtigt und einbezogen wird. Durch Betrachtung des zentralen Alpenraums und der Miteinbeziehung der Wettergeschehnisse in den Randgebieten entstehen 65 Klassen. Um eine statistische Auswertung zu erleichtern, reduzierte Gressel die Anzahl der Typen auf 24, die auf der Isobarenkonfiguration und deren Veränderung beruhen (Grunow, 1965: [3]).

2.1.4 Klassifikation der Witterungslagen im Alpenland nach Schüepp

Schüepp baute seit den 50er Jahren an der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt eine Alpenwetterstatistik auf (Schüepp 1957, 1959, 1968). Diese Klassifikation dient als Basis für die Klassifikation von Witterungslagen. Seit 1955 wurden in die Alpenwetterstatistik sowohl Boden- als auch Höhendruckkarten aufgenommen. "Dabei hat sich gezeigt, dass weder Boden noch Höhe für sich allein zu befriedigen vermögen, sondern beide Druckverteilungen zu berücksichtigen sind" (Schüepp, 1965: [5]). Deshalb verwendete Schüepp für seine Klassifikation neben der Bodendruckanalyse auch die Karte der 500 hPa-Fläche, wodurch er den "upper Airflow" sowie den "lower Airflow" in seiner Klasseneinteilung berücksichtigte. Im Gegensatz zu "Großwetterlagen" liegt diese Klassifikation im Mesoscale, wo der synoptische und der kleinräumige Scale miteinander in Wechselwirkung stehen. Somit können orographisch

bedingte Besonderheiten des Wetters und deren Entwicklung, wie sie im Alpenraum auftreten, besser erfasst werden. “Ein Versuch, durch Mehrfachkombination von Elementen der Alpenwetterstatistik zu einer auf den Einzeltag bezogenen Klassifikation zu kommen, führte in den 70er Jahren in der Schweiz zur Entwicklung des SYNOP-Schemas (Schüepp, 1979), das Objektivität und Anschaulichkeit verbindet” (Kerschner, 1989: [6]). Das Ziel war dabei, für den Zentral-, West- und Ostalpenraum ein SYNOP-Schema zu erstellen. Man betrachtete ein Gebiet mit dem Radius von zwei Breitengraden (entspricht 222 km). Das SYNOP-Schema für den zentralen Alpenraum ist in 40 Klassen eingeteilt. (Schüepp, 1965:[5, 6])

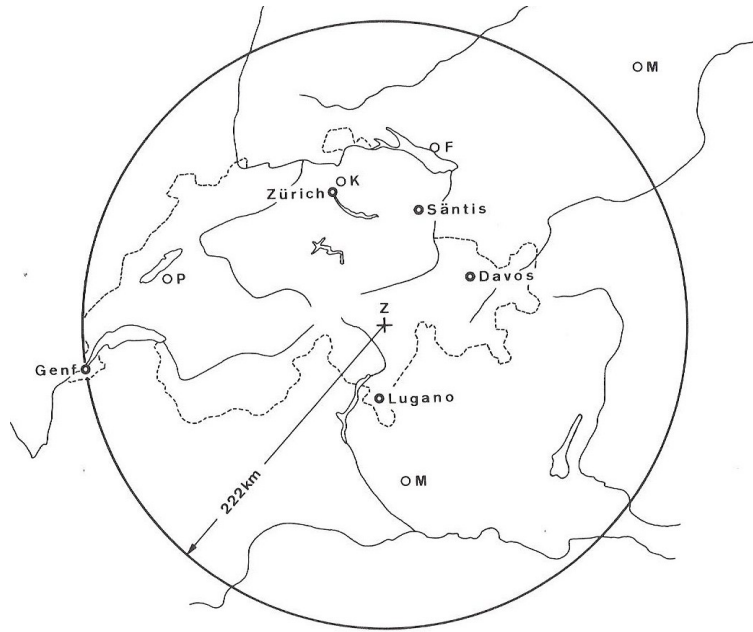


Abbildung 2: Abgrenzung des zentralen Alpenraumes. Koordinaten des Gebietsmittelpunkts Z: 46.5°N/ 9.0°E (Quelle: Kirchhofer, 1971: [7])

2.1.5 Klassifikation ostalpinen Wetterlagen nach Lauscher

Nach dem Zweiten Weltkrieg entwickelte Lauscher für den Ostalpenraum das System der “Ostalpinen Wetterlagen”, da das vom Deutschen Wetterdienst verwendete System, das auf Hess-Brezowsky zurückgeht, den Mittelmeerraum kaum berücksichtigt und somit für die Anwendung im Ostalpenraum ungeeignet ist, dessen Wettergeschehen vom Mittelmeer sowie von Osteuropa beeinflusst wird. Lauscher adaptierte das Prinzip der Großwetterlagen, damit sich dieses System auch in dem kleinen Bereich der Ostalpen anwenden lässt (Lauscher, 1972; 1976). Die Bodendruckkarte diente als Grundlage für seine Klasseneinteilung. In vielfach umgeänderter Form wird das System der “Ostalpinen Wetterlagen” von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien erstellt. Die Daten gehen bis 1948 zurück; im Laufe der Jahre kam es zu einigen kleinen Abänderungen, die Inhomogenitäten in die Datenreihe brachten, was mittlerweile zum Teil behoben wurde. (Kerschner, 1989: [6])

2.1.6 Klassifikation nach Kerschner

Da das Originalschema der Witterungslagen, das in den Jahrbüchern der Schweizerischen Zentralanstalt veröffentlicht ist, nur bis in den Raum Salzburg-Salzkammergut gut anwendbar ist (Weyer 1983), adaptierte Kerschner das Schema vom Schüepp, damit es auch für die Ostalpen verwendet werden konnte. Die Klasseneinteilung erfolgte anhand der Daten der mitteltägigen Bodenkarte und der Karte der 500 hPa-Fläche um 0 UTC der Berliner Wetterkarte. Das Ziel war es, eine Wetterlagenklassifikation nach dem synoptischen Schema des Schweizer Originals zu erstellen und somit Vergleiche zwischen dem Ost- und dem Zentralalpenraum anstellen zu können. Es wurde die Mehrfachkombination der Parameter von Höhen- und Bodenströmung, die Beziehung zwischen beiden Strömungsarten sowie die Abweichung der 500 hPa-Fläche vom Normalwert betrachtet, um eine Einteilung vornehmen zu können. Das SYNOP-Ost-Schema teilt in 34 verschiedene Wetterlagen ein - vier weniger als das Schweizer Originalschema. Durch weitere Bearbeitung ließen sich die Witterungslagen auf 30 Klassen reduzieren. Die seltenen Lagen H und +X wurden zu +H sowie X und -X zu X zusammengefasst; L wurde zu -L hinzugefügt (Kerschner, 1989: [6]).

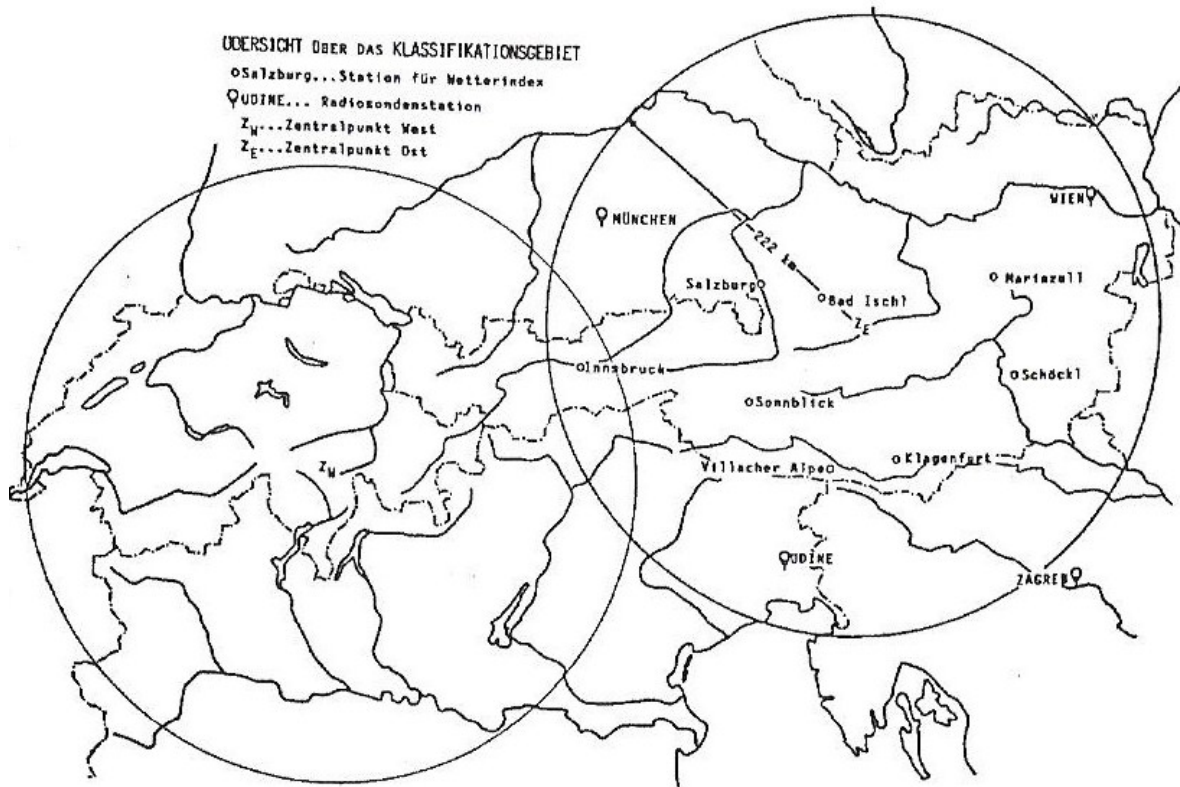


Abbildung 3: Klassifikationskreise für SYNOP-Ost und das Schweizer Original (Quelle: Kerschner, 1989: [6])

2.1.7 Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation nach Steinacker

Diese Strömungslagenklassifikation dient als Grundlage für diese Diplomarbeit und wird deshalb im dritten Kapitel genauer betrachtet und erläutert.

2.1.8 Gegenüberstellung bisheriger Klassifikationsmethoden

Die Alpen erstrecken sich über 11 Längen - und 4 Breitengrade. Durch ihre Hörnchenform stellen sie ein beachtliches Hindernis im Strömungsfeld der Atmosphäre dar. Bisher wurde eine Vielzahl von Wetterlagenklassifikationen vorgestellt, von denen sich einige auf den Alpenraum spezialisiert haben. Diese Spezialisierung ist von großer Bedeutung, denn die Alpen modifizieren die mesoskalige Strömung thermisch sowie dynamisch und benötigen daher eine genauere Betrachtung. Um detailliertere Aussagen über die Veränderung der Wetterlagen im Alpenraum machen zu können, benötigt man Daten, die

- das Klima des Alpenraums repräsentieren oder Rückschlüsse darauf zulassen,
- eine lange Zeitreihe aufweisen, damit man möglichst weit in die Vergangenheit zurückblicken kann, und
- auf einem klar definierten Bereich erhoben worden sind, damit die lokalen Wettererscheinungen berücksichtigt werden.

Die bereits vorgestellten Klassifikationstechniken berücksichtigen nur teilweise die oben genannte Datengrundlage. In der folgenden Abbildungen werden die verschiedenen Methoden zusammengefasst und gegenübergestellt.

	HESS-BREZOWSKY	GRESSEL	LAUSCHER	LAMB	SCHÜEPP
Entstehungsjahr	1943	1954	1947	1950	seit 1954
Skala	Macro β	Macro β - Meso α	Meso α	Meso α	Meso α - Meso β
Perimeter (räumliche Ausdehnung)	Nordatlantik bis Ural und Grönland bis Nordafrika (~30° N - 80° N / ~20° W - 60° E)	Alpenraum (keine Präzisierung)	Ostalpen (kein präziseren Angaben)	Britische Inseln (50° - 60° N / 10° W - 2° E)	Schweiz mit angrenzenden Gebieten (222 km-Radius um den Zentralpunkt 46.5° N / 9° E)
Grundlage der Definition (z.B. Luftmasse, Druckfeld, Strömung, etc.)	Lage der steuernden Zentren (Höhenhoch- und Höhentiefdruckgebiet), Erstreckung der Frontalzone	grossräumige Strömungsverhältnisse am Boden und in der Höhe in Bezug auf den Alpenraum	für die Ostalpen wetterbestimmende Druckgebilde im Meeresniveau (ergänzend auch Höhenströmung)	Position und Zugbahn der Bodendruckzentren mit Einbezug der Höhenströmung	Wetterelemente: Bodendruck, Wind, Höhenlage der Druckfläche im 500 hPa-Niveau
definierte Dauer	mindestens 3 Tage	1 Tag mit Einbezug des vorangehenden und nachfolgenden Tages	1 Tag	Sequenz von ca. 3 - 5 Tagen	1 Tag
mögliche Zusammenfassungen der einzelnen Lagen	3 Zirkulationsformen 10 Grosswettertypen 1 Lage für unklassierbare Tage	6 Haupttypen (19 Typen in der vereinfachten Klassifikation)	5 Gruppen	7 Haupttypen + 19 Mischtypen + 1 für unklassierbar	3 Hauptklassen 8 Grundtypen
Anzahl Lagen	30	75	16	27	40
Klassifikationszeitraum	1881 - ➤	1920 - 1975 ²	1946 - ➤	1861 - ➤	1945 - ➤

Abbildung 4: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften der Wetterlagenklassifikation (Quelle: Salvisberg, 1996: [8])

Bis auf die Klassifikation von Gressel, deren Aufdatierung nur bis 1975 bekannt ist, werden die übrigen Klassifikationsmethoden bis heute fortgeführt, was der Pfeil symbolisiert.

Das Gebiet der Alpen wird am besten bei den Klassifikationen von Gressel, Lauscher und Schüepp berücksichtigt. Hess und Brezowsky decken in ihrem Schema ganz Europa ab, wobei

sie sich auf der Makro β -Skala bewegen und die Alpen daher nur am Rand betrachten. Die Lamb-Klassifikation stellt einen Spezialfall für die Britischen Inseln dar, wodurch die Alpen deutlich außerhalb des zu klassifizierenden Gebiets liegen. Lamb bewegt sich jedoch auf einem Skalenniveau, das auch auf den Alpenraum angewendet werden könnte.

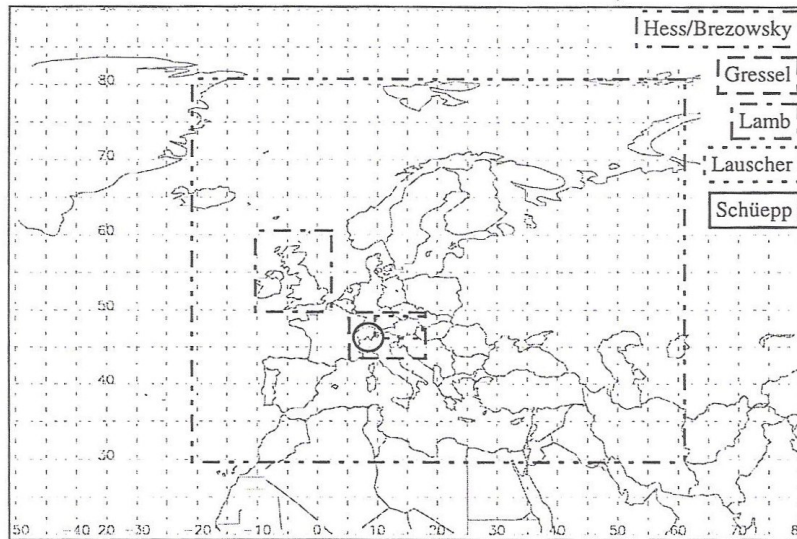


Abbildung 5: Gebietsgrößen der verschiedenen Klassifikationsschemen (Quelle: Salvisberg, 1996: [8])

Die längste homogene Datenreihe geht aus der Klassifikation nach Lamb hervor. Schüepp und Lauscher, die für die Alpen die größte Bedeutung haben, weisen die kürzesten Datenreihen auf; das liegt mitunter daran, dass die beiden neben der Bodenströmung bei ihrem Schema auch die 500 hPa-Druckfläche berücksichtigen, die erst seit 1935 regelmäßig erstellt wird.

Man stellt fest, dass keines der vorgestellten Klassifikationsschemen alle oben aufgeführten Anforderungen erfüllt. Deshalb wird weiterhin nach einem passenden Schema für die Alpen gesucht.

2.2 COST Action 733

2.2.1 Was ist COST?

COST ist eine europäische Forschungsinitiative, deren Ziel die internationale Koordination und Vernetzung nationaler Forschungsaktivitäten ist. 35 Staaten gehören COST an; seit 1989 ist es auch Institutionen aus Nicht-COST-Mitgliedstaaten möglich, an Forschungsprojekten mitzuwirken. Die Finanzierung der Projekte erfolgt durch die EU. Seitdem verschiedene Wissenschaftler und Institute ihre eigene Wetterlagenklassifikation veröffentlicht haben, ist COST eine gute Plattform, um Erfahrungen auszutauschen, aber auch um die Zusammenarbeit zu fördern.

2.2.2 Motivation für die COST Action 733

Die COST Action 733 ist ein Forschungsprogramm zur Harmonisierung und Anwendung von Wetterlagenklassifikationen in Europa unter Beteiligung der nationalen Wetterdienste und einiger weniger Universitäten aus 19 Europäischen Staaten über eine Laufzeit von fünf Jahren. Folgende Länder haben sich aktiv an der Vorbereitung und Verwirklichung dieses Projekts beteiligt oder zumindest ihr Interesse daran bekundet:

Austria	Czech Republic	Estonia	Finland	France	Germany
Greece	Hungary	Italy	Latvia	Lithuania	Norway
Poland	Serbia and Montenegro	Slovenia	Spain	Switzerland	United Kingdom

Abbildung 6: Länder, die an COST733 teilnehmen oder Interesse daran zeigen (Quelle: Cost733, April 2012: [9])

Es wurde bereits in einigen Beispielen gezeigt, dass es unzählige subjektive Wetterlagenklassifikation für spezielle Regionen in Europa gibt. 2002 schrieb Sheridan in seinem Paper, warum dennoch nach neuen Methoden der Klassifikation gesucht wird: “Synoptic weather-typing, or the classification of weather conditions or patterns into categories, continues to be popular, and numerous methods have been developed over the past century. The recent increased interest in the procedure is attributed to its utility in solving a wide array of applied climatological problems. Concern over the impacts of weather, especially for the purpose of understanding possible implications of climate change, has driven the search for more, and better, weather-typing schemes.” (Sheridan, 2002: [9]) {Die synoptische, also auf Erfahrungswerten basierende Wettervorhersage sowie die Klassifizierung von Wetterbedingungen oder Musterabläufen zu Gruppen ist nach wie vor aktuell und im vergangenen Jahrhundert wurden zahlreiche Methoden dazu entwickelt. Das erst kürzlich gewachsene Interesse an dieser Vorgehensweise resultiert aus seiner Anwendbarkeit für die Analyse einer großen Menge anwendungsbezogener meteorologischer Ziele. Der Wunsch, die Auswirkungen auf das Wetter, insbesondere unter dem Aspekt, mögliche Begleiterscheinungen beim Klimawandel zu verstehen, hat weitere Forschungsaktivitäten in Gang gesetzt, um Quantität und Qualität der Verhersagetechniken zu verbessern.} Das COST Projekt 733 wurde ins Leben gerufen, um eine objektive Wetterlagenklassifikation beziehungsweise einige Standards zu erstellen, die für ganz Europa anwendbar sind und auf einem numerischen Modell basieren. Durch das Erstellen einer Europaweiten einheitlichen Klassifikation sollen bisherige Probleme gelöst

werden. Bei der Klasseneinteilung wird darauf geachtet, dass es genug Klassen gibt, um Unterscheidungen treffen zu können, aber man versucht, die Anzahl so gering wie möglich zu halten, damit statistische Auswertungen aussagekräftige Resultate liefern und nicht durch seltene und somit wenig besetzte Klassen verfälscht werden. Die meisten bisher bestehenden Klassifikationen beschränken sich auf eine bestimmte Region und sind so ausgelegt, dass die jeweilige Klassifikation anhand von Kriterien ausgeführt wird, die nur für diesen speziellen Raum relevant sind. Somit kann diese Methodik oft auf keine andere Region übertragen werden. Des weiteren beschränken sich einige Klassifikationen oft auf eine bestimmte (Umwelt-) Problematik, auf die speziell die räumliche und zeitliche Skala ausgelegt wird und somit die Anwendung für eine andere Region erschwert.

Das Ziel ist es, eine Wetterlagenklassifikation zu erstellen, die auf verschiedene Regionen übertragbar ist und dadurch das Vergleichen der unterschiedlichen europäischen Gebiete untereinander ermöglicht. Sie soll auch anwendbar sein für:

- Häufigkeitsanalysen im Zusammenhang mit Extremereignissen
- lokale Klimaabschätzung (Human-/Biometeorologie, Luftreinhaltungsstrategien und Abschätzungen von Einflüssen auf Ökosysteme)
- Klima-Monitoring
- Meteorologische Mittelfristvorhersage
- Validierung von Vorhersagemodellen

Es ist durchaus möglich, dass am Ende der Forschungsarbeit zwischen mehreren Alternativmethoden ausgewählt werden kann. Beispielsweise wäre eine Unterscheidung zwischen Nord-, Zentral- und Südeuropa denkbar. Die Anzahl der Alternativen soll auf ein Minimum beschränkt werden.

2.2.3 Durchführung der COST Action 733

Das Projekt startete im September 2005 und seine Laufzeit betrug fünf Jahre. Die Skalen wurden so gewählt, dass es für europäische Regionen und Subregionen anwendbar war. Die räumliche Auflösung lag zwischen 200 und 2000 km; bei der zeitlichen Auflösung einigte man sich auf 12 Stunden bis drei Tage. Für das Projekt wurden die ERA 40 Reanalysen von ECMWF verwendet; dadurch war eine homogene Datenreihe gewährleistet, denn es wurde immer das gleiche Modell mit der gleichen räumliche Auflösung verwendet und die Daten reichten mehr als 40 Jahre zurück. Vier Arbeitsgruppen waren an dem Projekt beteiligt:

- WG 1 war für das Zusammentragen der bisher existierenden Methoden und deren Anwendbarkeit zuständig, da jede Wetterlagenklassifikation ihre Vorteile, aber auch ihre Nachteile hat.
- WG 2 war verantwortlich für die Einführung und Entwicklung der einheitlichen Wetterlagenklassifikation für Europa.
- WG 3 verglich die neue Methode mit anderen Klassifikationen und wertete diese Vergleiche statistisch aus.

- Für die Testphase der neu eingeführten Wetterlagenklassifikation auf verschiedene Anwendungen war WG 4 zuständig.

Im Rahmen dieses Projektes wurde mit anderen COST Actions (719, 722, 725, 727) zusammengearbeitet. Zum einen tauschten sich die Experten in den drei Workshops der COST Action 733 mit Mitarbeitern aus anderen Projekten aus, zum anderen besuchten sie selbst Workshops anderer COST Actions (Cost733, April 2012: [9]).

3 Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation

Im Rahmen des Forschungsprojektes “Dynamik alpiner Windsysteme” (Vergreiner, 1981: [10]) im Jahre 1978 begann die Klassifizierung ostalpiner Strömungslagen. 1991 wurde das Paper “Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation” nach Steinacker (Steinacker, 1991: [1]) publiziert, welches den Grundstein für diese Diplomarbeit legt. Darin wird eine Wetterlagenklassifikation vorgestellt, die nicht aufgrund von ähnlichen Advektionsverhältnissen (z.B. bezüglich der Temperatur) sowie ähnlichen Vertikalbewegungen und damit verbundenen Bewölkungs- und Niederschlagsverhältnissen, sondern anhand der Strömungsrichtung zwischen verschiedenen Klassen unterscheidet. Da in unseren Breiten Bewölkung und Niederschlag meist aus Fronten resultieren, ist die Klassifikation von Fliri und Schüepp (Fliri; Schüepp, 1984: [11]), die sich gut für witterungsklimatologische Untersuchungen eignet, für prognostische Zwecke nicht aussagekräftig genug; deshalb entwickelte Steinacker eine neue Methode, die im Unterschied zu anderen Klassifikationsmethoden niedertroposphärische Strömungen betrachtet. Ein Vorteil dabei ist, dass anhand dieser Strömungen Prognosen über die Ausbreitung von Schadstoffen erstellt werden können und somit die lufthygienischen Auswirkungen besser einschätzbar sind als bei der Betrachtung von Hoch- und Tiefdruckgebieten auf Bodenkarten oder 500 hPa-Karten des Geopotentials. Da sich der gesamte Alpenbogen sehr selten in einer einheitlichen Strömung befindet, beschränkt man sich bei den Beobachtungen auf den Ostalpenraum; dieser bezeichnet das Gebiet zwischen Bodensee und Neusiedlersee. Aus Erfahrung weiß man, dass die 700 hPa-Fläche oft schon komplett von der Bodenströmung entkoppelt ist, weshalb als Grundlage für die Klassifikation die geglättete Strömungs- und Druckverteilung der 850 hPa-Fläche der Berliner Wetterkarte gewählt wird; obwohl diese weit von den Alpenhauptkämmen überragt wird, eignet sie sich für die Untersuchungen am besten. Ein weiterer Grund für die Wahl der 850 hPa-Fläche ist, dass die Betrachtung der Bodenkarte alleine nicht ausreicht, da aufgrund des großen Anteils des ageostophischen Windes in Bodennähe ein direkter Zusammenhang mit dem Druck am Boden oft nicht stark genug ausgeprägt ist.

Die lokalen Windsysteme im Alpenraum werden zum einen stark von der Topographie geprägt, wodurch es zur Anregung einer thermischen Zirkulation kommt, zu der Hang- und Talwinde, sowie die allgemeine alpine thermische Zirkulation zählen. Zum anderen beeinflusst die großräumige Druckverteilung die Windverhältnisse im Alpenbereich, was das Auftreten von Passwinden, dem Föhn und der Bora bewirkt.

3.1 Klasseneinteilung

Für die Auswertungen wird der Ostalpenraum betrachtet, welcher das Gebiet vom Bodensee bis zum Neusiedlersee umfasst. Jedem Kalendertag wird eine Klasse zugeordnet, d.h. die zeitliche Auflösung beträgt 24 Stunden. Demnach würde sich anbieten, die Klassifizierung anhand der 12 UTC Analyse der 850 hPa-Fläche durchzuführen. Zu dieser Zeit ist keine Analyse der 850 hPa-Fläche der Berliner Wetterkarte verfügbar, weshalb man auf die Betrachtung der 00 UTC Analyse des Vor- und Folgetages des zu kategorisierenden Tages ausweicht. Zusätzlich wird die Bodendruckanalyse um 12 UTC des zu betrachtenden Tages herangezogen.

Steinacker definiert 10 Klassen: 4 Haupthimmelsrichtungen (N, E, S, W), 4 Nebenhimmelsrichtungen (NE, SE, SW, NW), gradientschwach (H) sowie variabel (V), anhand welcher er seine Daten einteilt und auswertet.

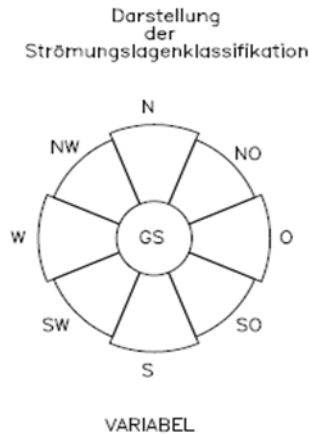


Abbildung 7: Klasseneinteilung

In die Kategorie “gradientschwach” fallen alle Tage, bei denen zum Großteil in der 850 hPa-Schicht die Geschwindigkeit von 15 Knoten nicht überschritten wird. In diesen Fällen dominiert meist die thermisch induzierte Zirkulation, oberhalb der 15 Knotenschwelle dagegen das dynamische Druckgebilde im Alpenraum (Staukeil, Leetrog). Die Richtung der Strömung ist hierbei nicht relevant.

Wird ein Tag der Klasse “variabel” zugeordnet, weist er überwiegend keine einheitliche Windrichtung auf. Meistens ist das Auftreten variabler Tage mit Frontdurchgängen verbunden, da sich mit der Front das Strömungsverhalten ändert und der Wind dreht. Die in den ersten beziehungsweise letzten Stunden eines Tages in das Gebiet abziehenden bzw. einziehenden Fronten werden bei der Klasseneinteilung vernachlässigt und finden keine Berücksichtigung.

Um einen Tag einer Richtungsklasse zuordnen zu können, muss ein Strömungstag vorliegen. Unter Strömungstagen versteht man Tage, die überwiegend eine Geschwindigkeit von mindestens 15 Knoten aufweisen. Diese Grenze ergibt sich aus Beobachtungen.

3.1.1 Berliner Wetterkarte

Die Berliner Wetterkarte, auf der die Ostalpine Strömungslagenklassifikation nach Steinacker basiert, erscheint seit 1952 täglich in Druckausgabe und seit 1998 wird sie auch im Internet publiziert. In der Berliner Wetterkarte werden täglich Wetterinformationen von Berlin, Deutschland und der Welt zusammengestellt. Die Druckausgabe besteht aus vier DIN A4 Seiten; die Höhenwetterkarte 00 UTC auf Seite 2 und die Bodenwetterkarte 12 UTC auf Seite 4, die man beide für die Klasseneinteilung braucht, sind in den folgenden zwei Abbildungen dargestellt. (Quelle: Meteorologie FU-Berlin, August 2012: [12])

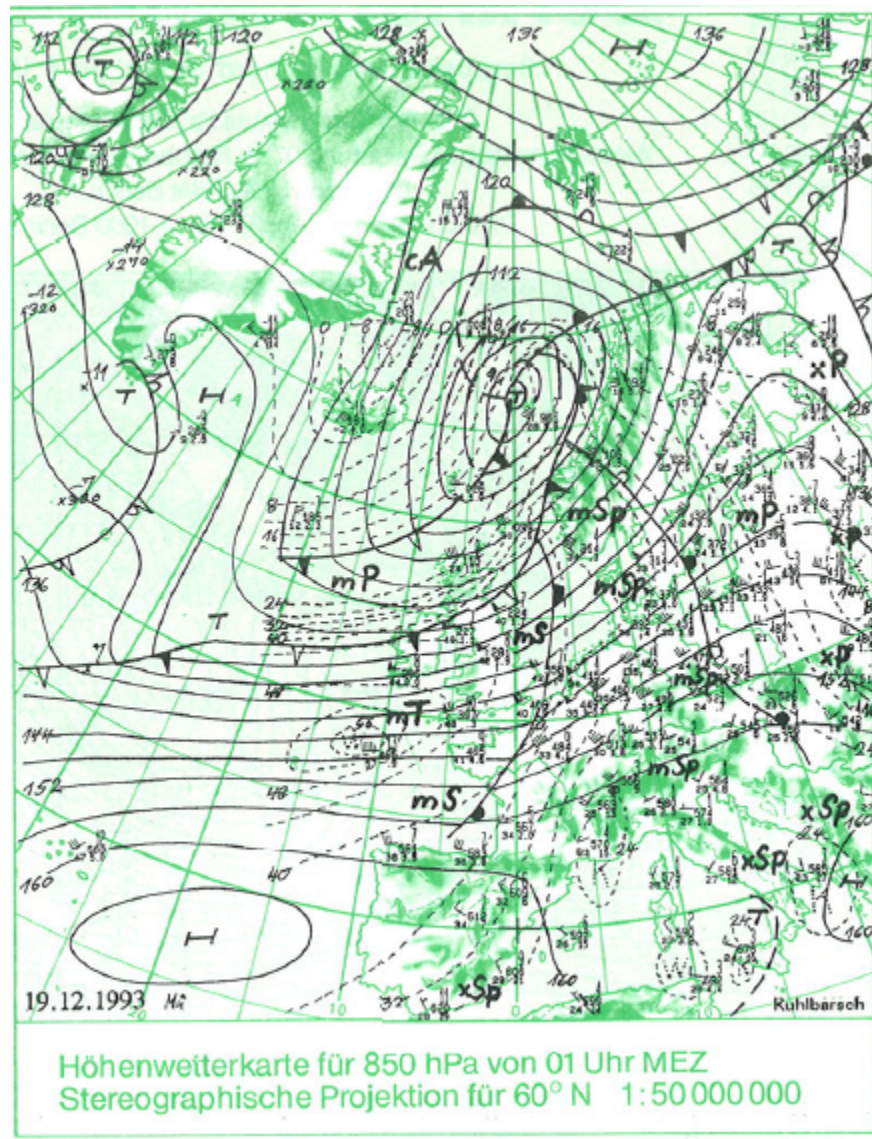


Abbildung 8: Berliner Wetterkarte vom 19.12.1993, Höhenwetterkarte 00 UTC (Quelle: Berliner Wetterkarte, 19.12.1993: [13])

Der Abschnitt 3.1 handelt davon, dass die Höhenkarte für die 850 hPa-Schicht am Vor- sowie am Folgetag des zu klassifizierenden Tages um 00 UTC zu betrachten ist. In der obigen Abbildung ist dagegen die Rede von 01 MEZ. Während der Winterzeit gilt: $MEZ = UTC +$

01 h; somit wird die geforderte Karte um 00 UTC betrachtet. Während der Sommerzeit gilt: $MESZ = UTC + 02 h$.

Bei der Bodenwetterkarte muss der Beobachter natürlich auch die Umrechnung von MEZ auf UTC beachten. (Quelle: Arcor, August 2012: [14])

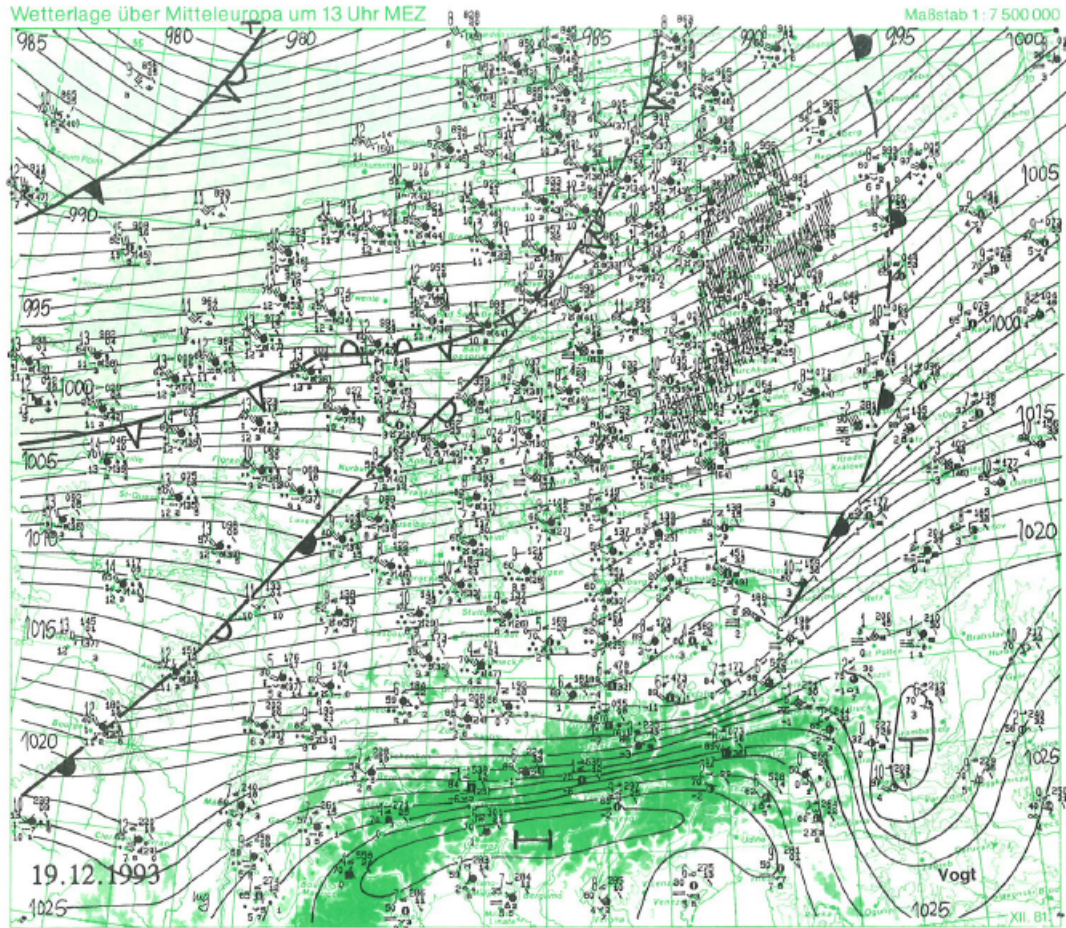


Abbildung 9: Berliner Wetterkarte vom 19.12.1993, Bodenkarte 12 UTC (Quelle: Berliner Wetterkarte, 19.12.1993: [13])

Steinacker hat den 19.12.1993 der Klasse “6” zugeordnet, was einer Westlage entspricht. Betrachtet man die Höhenwetterkarte in 850 hPa sowie die Bodenkarte des 19.12.1993, kann die Einteilung nachvollzogen werden, da auf beiden Karten eindeutig eine Westströmung vorliegt. Für die Klasseneinteilung wurde noch die 850 hPa-Karte vom 20.12.1993 hinzugezogen, die in dieser Arbeit jedoch nicht aufgeführt wird.

3.2 Bisherige Ergebnisse

In Abb. 10 sind die Ergebnisse von Steinackers dreizehnjährigen Untersuchungen, die im Zusammenhang mit dem Talwindprojekt von Vergreiner (1978) begonnen wurden, im Zeitraum von 1978 bis 1990 graphisch dargestellt.

Der Ostalpenraum befindet sich in der Westwindzone. Deshalb treten die westlichen Strömungslagen (NE, W, SW) erwartungsgemäß am häufigsten auf. Am zweithäufigsten findet man die östlichen Strömungslagen (NE, E, SE). Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass in den gemäßigten Breiten, in denen der Ostalpenraum liegt, länger anhaltende Strömungen zonal beeinflusst werden. Meridional orientierte Strömungen treten meist nur kurzfristig in Verbindung mit Frontdurchgängen auf. Da mit dem Durchzug einer Front ein Windsprung verbunden ist, werden die meridionalen Strömungen oft der Klasse “variabel” zugeordnet. Ein knappes Drittel aller Tage wird als variabel klassifiziert. Statistisch gesehen ist im Ostalpenraum an zwei von sieben Tagen - also im Durchschnitt 104 Mal im Jahr - mit dem Durchzug einer Front zu rechnen. Die eigentliche Anzahl der Fronten kann durchaus weniger als 104 betragen, da sich langsam ziehende Fronten oft mehrere Tage lang über einem Gebiet befinden und somit doppelt gezählt werden. Gradientschwache Tage machen ein Viertel der gesamten Zeit aus, wobei man unter gradientschwach nicht nur Tage mit Hochdrucklagen versteht, sondern auch Strömungslagen bei tiefen Druck, die aber einen schwachen Druckgradienten aufweisen.

Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, sollte man die einzelnen Jahreszeiten getrennt voneinander betrachten. Es fällt auf, dass im Winter wesentlich mehr Strömungstage als im Sommer auftreten. Strömungstage, sind Tage, die weder der Klasse “gradientschwach” noch “variabel” zugeordnet werden können. Dies ist durch die mittlere Lage der Polarfront leicht verständlich. Im Sommer verzeichnet man dafür mehr gradientschwache Lagen. Es zeigt sich, dass dann die größte Anzahl “variabler” Tage verzeichnet wird. Wenn man beachtet, dass sommerliche Fronten in der Regel langsamer ziehen als zu anderen Jahreszeiten und somit auch zwei oder drei Tage hintereinander der Klasse “variabel” zugeordnet werden können, kann man die hohe Anzahl der Tage verstehen. Im Sommer treten kaum Strömungen der Richtung E bis S auf. In dieser Jahreszeit kommt es nur ganz selten zu Tiefdruckentwicklungen im Mittelmeer, welche diese Anströmung der Alpen verursachen würde. Die ausgeglichene Verteilung der Strömungsrichtungen tritt im Frühling auf, was man mit den zu dieser Zeit häufigen Low-Index-Lagen erklären kann, die Blockinglagen mit sich bringen.

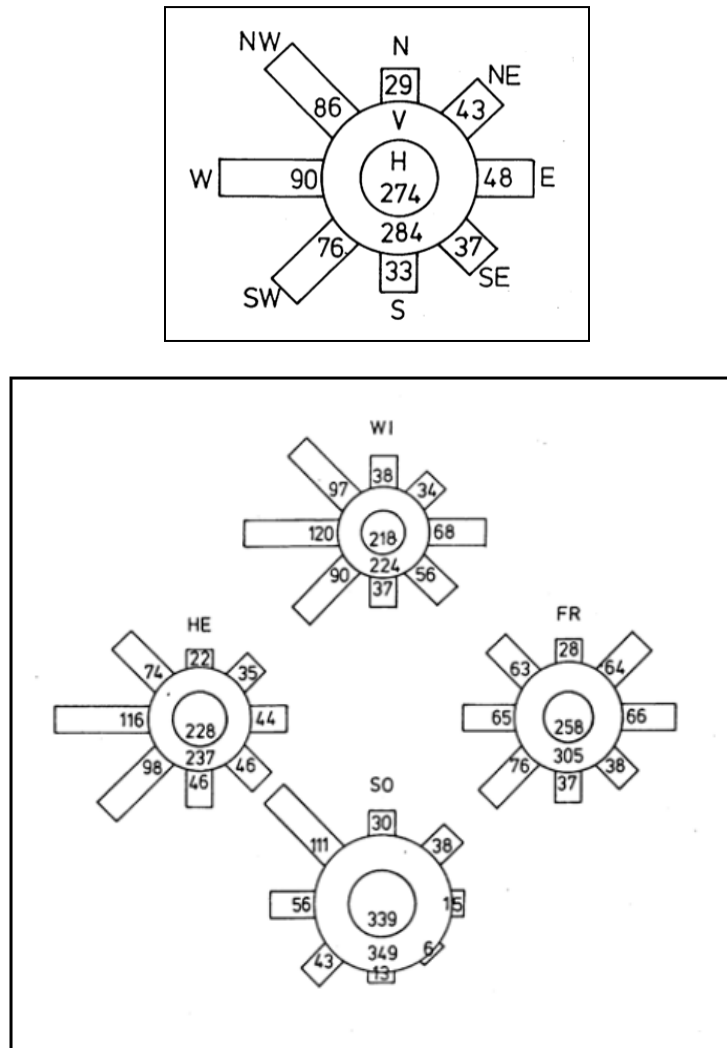


Abbildung 10: Mittlere Verteilung der Strömungslagen im gesamten Jahr (oben) und in den Jahreszeiten (unten) von Steinacker [Angaben in Promille] (Quelle: Steinacker, 1991: [1])

4 Aufgabenstellung

Die täglich klassifizierten Strömungslagen, die anhand Steinackers “Ostalpiner Strömungslagenklassifikation” ermittelt wurden, sollen für den Zeitraum von 1961 bis 2010 ausgewertet und analysiert werden. Neben der Betrachtung der Daten als gesamten Datensatz für diese 50 Jahre werden auch Analysen pro Monat, Jahreszeit, und Jahr erstellt. Darüber hinaus reduziert man den Datensatz aller Strömungstage auf die vier Hauptrichtungen und betrachtet dann die meridionalen und zyklonalen Strömungstage sowie die Stärke des Westwinds. Zuerst werden allgemeine statistische Auswertungen durchgeführt, wie die Berechnung von Mittelwert und Streuungsmaß der Daten. Weiterhin soll die durchschnittliche Dauer der einzelnen Strömungslagen untersucht werden und ob diesbezüglich in den letzten Jahren Veränderungen auftraten. Es werden auch Untersuchungen über die Abfolge der verschiedenen Strömungslagen durchgeführt, um festzustellen, ob gewisse Regelmäßigkeiten zu erkennen sind. Um dies anschaulich darzustellen, wird eine 10 x 10 Matrix erstellt und anhand dieser die Berechnung der relativen Häufigkeiten durchgeführt, die eine Aussage darüber zulassen, wie oft bestimmte Strömungslagenfolgen auftreten. Zum Schluss sollen Trenduntersuchungen erfolgen, um sicherzustellen, dass es sich bei den beobachteten Schwankungen nicht nur um zufällige Veränderungen handelt, sondern um Veränderungen, die durch einen systematischen Trend verursacht worden sind. Anhand eines Signifikanztests wird die Aussagefähigkeit des vermuteten Trends überprüft.

Nach den statistischen Untersuchungen wird festgestellt, ob die gewonnenen Resultate in Zusammenhang mit dem Klimawandel der letzten Jahre stehen und somit auf eventuell zukünftige Entwicklungen geschlossen werden kann.

5 Methoden der Auswertung

Die auszuwertenden Daten werden in einer EXCEL-Tabelle überliefert, in der jedes Jahr von 1961 bis 2010 in die zwölf Monate und seine Tage unterteilt ist. Jedem einzelnen Tag wird genau eine Strömungslage (von 0 bis 9) zugeordnet. Die Originaldaten befinden sich auf der beigelegten CD.

Zuerst werden die Jahressummen der zehn einzelnen Strömungslagen berechnet und anschließend wird für jede ein Diagramm geplottet, in dem der Verlauf der Anzahl der Strömungstage in den Jahren von 1961 bis 2010 erkennbar ist. Auf der Abszisse sind die Jahre und auf der Ordinate die Anzahlen der Tage aufgetragen, bei denen eine bestimmte Windrichtung festgestellt wurde. Die Beschriftung der Achsen bleibt für die verschieden betrachteten Zeiträume (Jahr, Jahreszeit, Monat...) jeweils gleich.

Nach dem gleichen Schema wird für jeden Monat ein Diagramm pro Strömungslage erstellt; zusätzlich gibt es Zusammenfassungen, in denen jeweils drei Monate zu der entsprechenden Jahreszeit vereint werden. Eine Unterteilung in meteorologischen Sommer (April mit September) und meteorologischen Winter (Oktober mit März) wurde außerdem realisiert. Die Jahreszeiten sind in Winter (Dezember, Jänner, Februar), Frühling (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August) und Herbst (September, Oktober, November) unterteilt.

Man betrachtet auch, wie sich die Anzahl der Tage der verschiedenen Strömungslagen im meteorologischen Sommer bzw. Winter verhalten.

Für die Auswertung betrachtet man die Anzahl der Strömungstage der vier Haupthimmelsrichtungen (N, W, S, E). Mit nachstehender Formel lassen sich die acht Himmelsrichtungen (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) auf die vier Haupthimmelsrichtungen (N, E, S, W) reduzieren. Dies wird in folgenden vier Formeln veranschaulicht:

$$n_{N_{\text{reduziert}}} = n_N + 0,5 * (n_{NW} + n_{NE}) \quad (1)$$

$$n_{E_{\text{reduziert}}} = n_E + 0,5 * (n_{NE} + n_{SE}) \quad (2)$$

$$n_{S_{\text{reduziert}}} = n_S + 0,5 * (n_{SE} + n_{SW}) \quad (3)$$

$$n_{W_{\text{reduziert}}} = n_W + 0,5 * (n_{SW} + n_{NW}) \quad (4)$$

n ist die Anzahl der Strömungstage pro Jahr für die in Tiefstellung angegebene Strömungsrichtung.

Die beiden Nebenrichtungen, welche die zu betrachtende Hauptrichtung auf der Windrose umschließen, werden nur zur Hälfte gezählt; ihre anderen Hälften werden zu der zweiten benachbarten Hauptrichtung addiert.

In den Auswertungen wird dargestellt, wie sich die zonalen und meridionalen Strömungstage in den letzten 50 Jahren verändert haben. Fasst man die Formeln 1 und 3 sowie 2 und 4 weiter zusammen, erhält man:

$$n_{\text{meridional}} = n_{N_{\text{reduziert}}} + n_{S_{\text{reduziert}}} \quad (5)$$

und

$$n_{zonal} = n_{W_{reduziert}} + n_{E_{reduziert}} \quad (6)$$

Des weiteren möchte man über die Stärke des Westwindes in den letzten 50 Jahren eine Aussage treffen; diese berechnet sich wie folgt:

$$Westwindstärke = n_{W_{reduziert}} - n_{E_{reduziert}} \quad (7)$$

Erhält man als Jahreswert einen positiven Zahlenwert, haben die Westwinde dominiert. Erhält man ein negatives Ergebnis, war das Jahr überwiegend durch Ostwinde geprägt, wobei man bei der Interpretation beachten muss, wie stark positiv bzw. negativ der Zahlenwert der Differenz ist. Bewegt sich die Differenz nahe bei Null, waren die West- und Ostwinde relativ gleichmäßig vertreten.

Analog dazu lässt sich die Südwindstärke berechnen:

$$Südwindstärke = n_{S_{reduziert}} - n_{N_{reduziert}} \quad (8)$$

Mitteleuropa wird größtenteils von West- und Nordwinden beeinflusst, da auf der Nordhemisphäre die Nordwinde mit einem negativen Vorzeichen versehen sind, berechnet man in Gleichung 8 die Stärke der Südwinde um wie in Gleichung 7 von einem positiven Wert ausgehen zu können. Die Interpretation ist wie bei der Westwindstärke zu verstehen: ein positiver Wert deutet darauf hin, dass überwiegend Südwinde vorgeherrscht haben, negative Differenzen sprechen für die Dominanz von Nordwinden und ein Ergebnis nahe bei Null spricht für ausgeglichene Verhältnisse.

5.1 Regressionsgerade und Bestimmtheitsmaß

Der Sinn einer Regressionsgerade besteht im einfachsten Fall darin, Punkte in der zweidimensionalen Zahlenebene (x/y) einer Geradengleichung der Form $y = ax + b$ unterzuordnen. Legt man so eine Gerade zunächst intuitiv an, wählt man instinktiv eine Lage, bei der etwa ebenso viele Punkte über der Gerade wie unter der Gerade liegen. Bei der mathematischen Ermittlung dieser Regressionsgerade werden somit die y-Abweichungen der einzelnen Punkte von der (zunächst allgemein) angesetzten Geradengleichung minimiert, was als “Methode der kleinsten Quadrate” bekannt ist, da sich ein Abstand im zweidimensionalen Raum letztlich nach dem Satz des Pythagoras berechnet, der über den Weg der Quadrate führt. Die für dieses Optimierungsverfahren relativ langwierigen Summenberechnungen gehören heute formelmäßig zum mathematischen Standard und sind somit auch beispielsweise im Softwaretool “EXCEL” hinterlegt. Die gesuchten Geradenparameter lassen sich also aus den vorliegenden Wertepaaren (x_i/y_i) mit $i \in [1; n]$ und $n \in \mathbb{N}$ mithilfe des EXCEL-Tools direkt gewinnen. Die Regressionsgerade entsteht dabei in jedem Fall - unabhängig davon, ob die vorliegenden Punkte fast oder keineswegs auf einer Gerade zu finden sind.

Es erscheint daher wichtig, einen konkreten Zahlenwert zu finden, der angibt, inwiefern die ermittelte Regressionsgerade sinnvoll ist. Diesen Zahlenwert hat man als das Bestimmtheitsmaß R^2 festgelegt, das in EXCEL ebenfalls hinterlegt ist; dabei gilt: $0 \leq R^2 \leq 1$, wobei $R^2 = 0$ (0%) einem “wildem” Punktehaufen ohne jede Assoziation zu einer Gerade entspricht und $R^2 = 1$ (100%) auf eine Punktmenge schließen lässt, von der jedes Element direkt auf der Gerade liegt und daher ein perfekter linearer Zusammenhang vorherrscht. Der R^2 -Wert

gibt noch keine Information über das Vorzeichen der Geradensteigung. Um dieses zu gewinnen, nutzt man den r - Wert mit $-1 \leq r \leq 1$ als Korrelationskoeffizient, der für negative Werte eine streng monoton fallende und für positive Werte eine streng monoton steigende Gerade anzeigt.

Sollten die Wertepaare um die errechnete Regressionsgerade auffallend stark streuen, kann das daran liegen, dass zwischen diesen gar kein linearer Zusammenhang besteht. In so einem Fall kann es immer noch sein, dass eine ganz-rationale Funktion höheren Grades - beispielsweise ein Polynom 6. Grades - den Anforderungen besser genügt. (nach Schönwiese, 2006: [15])

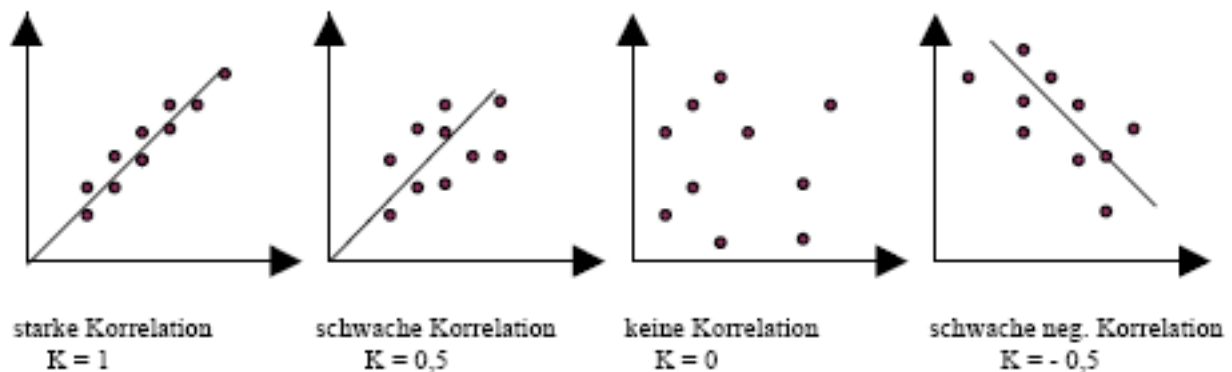


Abbildung 11: Schematische Darstellung verschiedener Korrelationskoeffizienten K (im Text r genannt) (Quelle: BGW, August 2012: [16])

5.1.1 Fisher-Test

In der Mathematik sollen Bewertungen von getätigten Arbeitsschritten nach Möglichkeit immer durch klar vergleichbare Zahlenwerte ausdrückbar sein. Für den Hypothesentest hat man dazu das Signifikanzniveau α entwickelt, wobei eine so genannte Nullhypothese H_0 festgelegt wird und dazu die Alternativhypothese H_1 . Ein Test gilt dabei als “signifikant”, wenn die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine richtige Hypothese H_0 zu Unrecht abgelehnt wird, bei höchstens 5% liegt ($\alpha = 0,05$); entsprechend gilt ein Test als “hoch signifikant”, wenn die Wahrscheinlichkeit für die fälschliche Ablehnung der Nullhypothese nur höchstens 1% ($\alpha = 0,01$) beträgt. Die Prüfverfahren sind auch bei jedem anderen Zahlenwert für das Signifikanzniveau α möglich.

Bei dem hier interessierenden Regressionstest hat man als Nullhypothese H_0 den Fall “ $R^2 = 0$ ” - also die zufällige Punktwolke festgelegt. Bereits 1925 verallgemeinerte der amerikanische Mathematiker Sir Ronald Fisher die Prüfmethode und entwickelte den nach ihm benannten “Fisher-Test” (auch F-Test). Dabei wird ein errechneter F-Wert mit dem “kritischen” F-Wert F_{krit} aus der im Anhang gezeigten Tabelle verglichen, wobei gilt:

$$F < F_{krit} \rightarrow H_0 \Rightarrow \text{nicht signifikant} \Rightarrow \text{Regressionsgerade wenig befriedigend} \quad (9)$$

und

$$F \geq F_{krit} \rightarrow H_1 \Rightarrow \text{signifikant} \Rightarrow \text{Regressionsgerade auf Signifikanzniveau brauchbar} \quad (10)$$

(Moosbrugger, 2011: [17]) Auch die Berechnung der F-Werte ist im EXCEL-Tool bereits als FISHER(x) hinterlegt, wobei die Formel

$$F(r) = 0,5 \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (11)$$

zugrunde liegt. (nach Microsoft Office, August 2012:[18])

Um den kritischen F-Wert (F_{krit}) zu ermitteln, benötigt man neben dem Stichprobenumfang (im vorliegenden Fall $n = 50$) noch die beiden Freiheitsgrade Hypothesenfreiheitsgrad df_h und Fehlerfreiheitsgrad df_e . Nimmt man $df_h = 1$ und $df_e = n - 1 = 50 - 1 = 49$, so ergibt sich für $\alpha = 0,05$ nach Interpolation aus der Tabelle der Zahlenwert $F_{krit} = 4,035$.

Dabei gilt für die beiden Freiheitsgrade:

df_h = Hypothesenfreiheitsgrade (Anzahl der Freiheitsgrade, die durch die Parameterrestriktionen in der Nullhypothese gewonnen werden = Anzahl der Teilhypothesen)

Da im vorliegenden Fall nur eine (einfache) lineare Regression im zweidimensionalen Raum betrachtet wird, kann $df_h = 1$ angenommen werden.

df_e = Fehlerfreiheitsgrade = Stichprobenumfang n - Anzahl der Hilfsgrößen, die bestimmt werden müssen, damit die Fehlerquadratsumme berechnet werden kann.

Da im vorliegenden Fall nur eine (einfache) lineare Regression im zweidimensionalen Raum betrachtet wird, kann $df_e = n - 1 = 50 - 1 = 49$ angenommen werden.

5.2 Polynom 6. Grades

Eine Polynomfunktion ist eine ganz-rationale Funktion, bei der die unabhängige Variable x ausschließlich mit ganzzahligen und nicht negativen Exponenten auftritt. Ein Polynom 6. Grad hat dabei den Aufbau $y = f(x) = a_6x^6 + a_5x^5 + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0$ mit $a_6, a_5, \dots, a_0 \in \mathbb{R}$ und spiegelt längerfristige Trends wider; es kann maximal sechs Nullstellen und fünf Extrema enthalten. Ähnlich der Regressionsgerade (Kapitel 5.1), die einem Polynom ersten Grades entspricht, soll die Polynomfunktion den Verlauf einer mathematischen Funktion verkörpern, welche den Zusammenhang zwischen den vorliegenden Wertepaaren näherungsweise wiedergibt. Je höher der Grad des Polynoms ist, desto besser gelingt die angestrebte Annäherung - desto größer ist allerdings auch der mathematischer Realisierungsaufwand. Im vorliegenden Fall ist dieser bereits in dem verwendeten EXCEL-Tool hinterlegt, so dass die Berechnung der Polynomfunktion und deren zeichnerische Darstellung relativ leicht zu verwirklichen sind.

5.3 Gaußfilter

Um die Datenreihe zu glätten, verwendet man den Gaußfilter; dieser ist ein Tiefpassfilter, der also niedrige Frequenzen fast ungehindert passieren lässt, hohe Frequenzen dagegen unterdrückt. Mit Frequenzen sind im vorliegenden Fall Schwankungen der Messwerte gemeint. Der Filter bewirkt somit, dass Schwankungen, die in einem kurzen Zeitraum erfolgen, eliminiert werden, die über längere Zeiträume erfolgenden Messwertänderungen dagegen unberührt bleiben.

Ein typisches Praxisbeispiel für einen hardwaremäßigen Gaußfilter ist die Dämpfungselektronik des Kraftstoffanzeigers im Auto: Fährt man über eine Unebenheit, wobei die Nadel eines ungedämpften Anzeigers wegen der heftigen Schwimmerschwankungen stark zittern würde, wird diese Zitterbewegung durch den Filter unterdrückt; wird dagegen nach längerer Fahrt die Kraftstoffmenge im Tank geringer, kommt die dieses ausdrückende Änderung der Zeigerstellung ungehindert über den Filter.

In dem uns vorliegenden Problem benötigen wir keine Hardwarekonstruktion mit Filterwirkung, sondern simulieren das besagte Filterverhalten durch eine mathematische Formel, mit deren Hilfe aus den teilweise heftig schwankenden Messwerten errechnete Werte entstehen (Gauß-Werte), die nur noch die langfristigen Änderungen der Originalwerte in Erscheinung treten lassen.

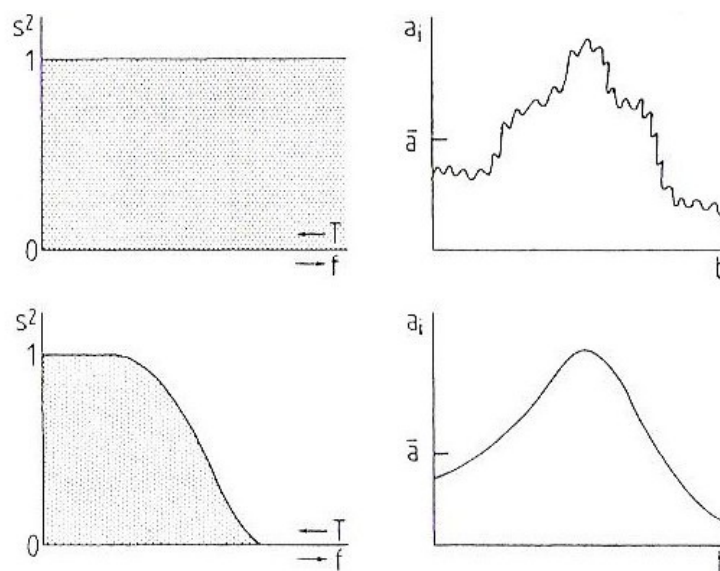


Abbildung 12: Charakteristische Filterfunktion (spektral, jeweils links) und zugehörige Zeitfunktion (jeweils rechts): oben: Ausgangsdaten bzw. keine Filterung unten: Tiefpassfilterung (Quelle: Schönwiese, 2006: [15])

In Abbildung 12 wird die Funktion eines Gaußfilters bildlich veranschaulicht: Die grau schattierten Bilder zeigen, dass ungedämpft (links oben) sämtliche Frequenzen ungehindert passieren können, während beim Einsatz des Filters nur noch die niedrigen “durch kommen”, die hohen dagegen unterdrückt werden, wobei der Übergang von niedrig zu hoch kontinuierlich und stufenlos erfolgt. Die rechts gezeichneten Grafiken zeigen ein Beispiel, in dem das oben erkennbare Zittern des Funktionwertes durch den Filtereinsatz unten verschwunden ist.

5.3.1 Funktionsweise des verwendeten Filters

Der Gaußfilter ist eine normierte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion. Die normale Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion lautet

$$w_k(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

Für die Berechnungen in dieser Arbeit wird für μ das Jahr eingesetzt, um das gemittelt werden soll. x ist dagegen das jeweilige Vergleichsjahr. Außerdem wird $\sigma = 3$ angenommen; σ kann frei gewählt werden, man sollte allerdings beachten, dass die Glättungswirkung der Zeitreihe umso schwächer wird, je kleiner man den Wert von σ wählt. Somit durchläuft beispielsweise für $\mu = 1971$ der Wert von x die Jahreszahlen von 1961 bis einschließlich 1981; dies ist der Fall der zweiseitigen Mittelung.

Soll um Jahre gemittelt werden, für die weniger als zehn Vergleichsjahre davor bekannt sind, kommen nur soviel Jahre, wie davor verfügbar sind und die zehn Jahre danach zur Anwendung; entsprechend werden bei Jahren, bei denen nicht die Daten aller zehn Folgejahre bekannt sind, lediglich die der zehn vorausgehenden Vergleichsjahre und die verfügbaren Folgejahre berücksichtigt.

Somit werden zu jedem Jahr μ , um das gemittelt werden soll, bei der Mittelung $21w_k$ -Werte errechnet, wobei jeweils gilt: $k = x - \mu$ mit $k \in [-10; +10]$ und $k \in \mathbb{Z}$. Bei nicht symmetrischer Mittelung sind es nur zwischen 11 und 20 w_k -Werte mit $k \in [-10; 0]$ bzw. $k \in [0; +10]$ und $k \in \mathbb{Z}$.

Nachdem die notwendigen Filtergewichte w_k ermittelt wurden, ist die mathematische Durchführung der Filterung sehr einfach: Der Gaußfilter arbeitet mit zeitlicher Verschiebung, was auch als "Faltung" der betreffenden Zeitreihe mit der Reihe der Filtergewichte bezeichnet wird. Um zu vermeiden, dass bei der Filterung eine Phasenverschiebung auftritt, filtert man symmetrisch d.h. die Werte sind um das "Zentralgewicht" w_0 symmetrisch angeordnet. Mit der Formel

$$x_{Gau\beta} = \frac{\sum (w_k x_{Jahreswert})}{\sum w_k} \quad (13)$$

lässt sich zu jedem vorliegenden Praxiswert $x_{Jahreswert}$ ein neuer Wert $x_{Gau\beta}$ berechnen, wobei die Gesamtheit aller $x_{Gau\beta}$ -Werte die geglättete Kurve ergibt. Aufsummiert werden jeweils die 21 Werte von $k = -10$ bis $k = +10$. Danach wird der Filterbereich als laufendes Fenster um einen Zeitschritt (Phase) zum nächsten Wert verschoben. (nach Schönwiese, 2006 [15])

Die folgende Tabelle zeigt die errechneten 21 w_k -Werte, die für sämtliche zu mittelnden Jahre ganz oder teilweise verwendet werden können.

Jahresdifferenz	w_k
-10	0,00051409
-9	0,00147728
-8	0,00379866
-7	0,00874063
-6	0,01799699
-5	0,03315905
-4	0,05467002
-3	0,08065691
-2	0,10648267
-1	0,12579441
0	0,13298076
1	0,12579441
2	0,10648267
3	0,08065691
4	0,05467002
5	0,03315905
6	0,01799699
7	0,00874063
8	0,00379866
9	0,00147728
10	0,00051409
Summe w_k (alle 21 Werte)	0,99956219
Summe w_k bei Randeffect (11 Werte)	0,56627147
Summe w_k bei Randeffect (12 Werte)	0,69206588
Summe w_k bei Randeffect (13 Werte)	0,79854855
Summe w_k bei Randeffect (14 Werte)	0,87920546
Summe w_k bei Randeffect (15 Werte)	0,93387548
Summe w_k bei Randeffect (16 Werte)	0,96703453
Summe w_k bei Randeffect (17 Werte)	0,98503152
Summe w_k bei Randeffect (18 Werte)	0,99377215
Summe w_k bei Randeffect (19 Werte)	0,99757081
Summe w_k bei Randeffect (20 Werte)	0,99904809

Tabelle 1: Berechnete Gaußgewichte w_k

5.4 10x10 Matrix

Um eine Aussage über die Abfolge verschiedener Strömungslagen treffen zu können und mit welcher Wahrscheinlichkeit diese auftreten, muss man die Spalten- und Zeilensummen der durch ein Programm erstellten 10x10 Matrix betrachten. Das Prinzip des hierfür verwendeten Programms wird nachfolgend kurz beschrieben und erläutert:

Das Programm erwartet die Eingabe der Daten monatsweise in Zeilen, mit einem fixen Abstand zwischen den Jahren. Vor der Auswertung eines Jahres erstellt das Programm einen Rahmen und eine 0 – 9 auf 0 – 9 Matrix neben dem betreffenden Jahr, welches es auswertet. Die Zellen werden alle mit 0 vorbelegt, damit anschließend hochgezählt werden kann. Die erste Auswertung erfasst dabei zunächst, wie viele Tage der betreffende Monat hat. Da die Matrix in x und y von 0 bis 9 geht, gilt es zunächst festzustellen, welche Position in der Matrix um 1 hochgezählt werden muss. Hierzu wird zunächst eine verschachtelte Schleife mit diesen Werten gestartet, um den Wert der k -ten Zelle und den Wert der $k + 1$ -ten Stelle mit den beiden Laufvariablen abzugleichen. Die Laufvariable l ist dabei mit dem k -ten Wert zu vergleichen, die Laufvariable m mit dem $k + 1$ -ten Wert. Wenn beide gleichzeitig übereinstimmen, so ist die Zelle, welche hochgezählt werden soll gefunden. In der Abtragung der Tabelle entspricht die y -Achse so dem Wert des k -ten Wert, der Wert des $k + 1$ -ten Wert den der x -Achse. Im Falle des Monatsendes werden die gleichen Berechnungen unternommen, lediglich hört die Zählung bei Monatslänge -1 auf, damit in einer gesonderten Abhandlung der Zeilenwechsel berücksichtigt werden kann. Genauer wird im Falle der letzten Ausführung in der Zeile dies vom Programm erkannt und über eine Wenn-Verschachtelung der letzte Wert des Monats mit dem ersten des Folgemonats verglichen. Die gleiche Technik wird beim Jahreswechsel angewendet, hier setzt es aber voraus, dass der Haken in der graphischen Oberfläche gesetzt ist. Zum Abgleich werden die Summen in der Auswertungen unter jede Auswertung dargestellt und können überprüft werden. Nach unten wird der aktuelle Strömungstag und nach rechts der Folgetag aufgetragen.

The image shows a web-based calculator interface titled "Rechner". It contains the following elements:

- Anzahl der Jahre:** Input field with the value 50.
- Startzeile:** Input field with the value 4.
- Startspalte:** Input field with the value 2.
- Farbcode für die Rahmen:** Input field with the value 8.
- Sollen die Jahresenden berücksichtigt werden?:** A checkbox that is currently checked.
- SCHLIESSEN:** A button located at the bottom left.
- START:** A button located at the bottom right.

Abbildung 13: Eingabe für die Berechnung

In Abbildung 13 wird dem Leser gezeigt, welche Angaben er vor der Berechnung treffen muss. Startzeile ist immer vier, Startspalte ist zwei (Spalte B), nachdem alle Jahre ausgewertet werden sollen ist 50 einzutragen und um die Jahresübergänge zu berücksichtigen wird der Haken gesetzt. Beim Farbcode kann je nach persönlichem Gefallen frei gewählt werden, die Farbpalette wird in der Quelle (David McRitchie, Dezember 2012: [19]) aufgeführt.

5.5 Längste Abfolge

Des Weiteren ist von großem Interesse, wie lange die längste Abfolge einer Strömungslage gedauert hat. Das für die Auszählung verwendete Programm wird anschließend beschrieben:

Die Methode “Längste Abfolge” dient der Ermittlung der längsten zusammenhängenden Periode einer der zehn vorher festgelegten Wetterlagen innerhalb eines Kalenderjahres. Die Methode bedient sich der dabei bereits vorher in eine 2. Tabelle hinterlegten Daten aus der Methode “Calculate”. Idee der Methode “Längste Abfolge” ist, die in Spalten abgetragenen Jahre iterativ vom ersten bis zum letzten Tag tageweise miteinander zu vergleichen. Zum Vergleich der zehn festgelegten Wetterlagen wird für jede Wetterlage innerhalb eines 2-dimensionalen Arrays ein Feld reserviert, um die jeweiligen Endpunkte der derzeitigen längsten Periode der jeweiligen Wetterlage abzuspeichern. Dies ist notwendig, da es durchaus denkbar ist, dass eine Wetterlage mehrmals innerhalb eines Jahres mit der gleichen Länge an aufeinanderfolgenden Tagen vorkommen kann. Des Weiteren wird in einem separaten eindimensionalen Array die derzeit längste Periode der Wetterlage hinterlegt. Als letzter noch benötigter Wert wird noch ein temporärer Zeigerwert in einem Array hinterlegt, damit bei Gleichheit der Länge der aufeinanderfolgenden Wetterlagen, die aktuelle erste freie Stelle im Array der Wetterlagen mit der Endposition befüllt werden kann. Nach diesen grundsätzlichen Erklärungen zur Datenstruktur folgt nun eine kurze Erklärung des Iterationsprogramms. Das Programm bedient sich zunächst der Eingabe der betrachteten Jahre. Da im Voraus die gleiche Anzahl bereits in der Methode “Calculate” genutzt wurde, ist die Anzahl der in Tabelle 2 hinterlegten Spalten identisch. Nach der Überprüfung der Spaltenlänge wird zunächst untersucht, ob die i -te Zelle gleich der $i+1$ und die $i+1$ Zelle keine leere Zelle ist. Wenn dies zutrifft, wird der einfache Längenzähler um eins hochgezählt. Im Falle dessen, dass für die aktuell untersuchte Wetterlage die Länge nunmehr länger ist, werden alle Werte aus dem Feld gelöscht und an die erste Stelle die nunmehr längste Position der längsten Wetterlage hinterlegt. Im Falle einer gleichen Länge mit einer bereits vorher festgestellten Länge einer Wetterlage wird die Position der Wetterlage an das betreffende Arrayfeld angehängt. Auf diesen Weg sind die beiden grundsätzlich möglichen Situationen, eine Wetterlage ist gleichlang zu einer bereits und eine Wetterlage wird zur neuen längsten Wetterlage betrachtet. Die Ausgabe erfolgt im Anschluss an die Untersuchung eines Jahres. Sie erfolgt durch die Markierung der entsprechenden Felder mit einer Farbe, abhängig der Wetterlage. Zusätzlich werden im unteren Teil die Länge der längsten Periode einer Wetterlage und die dazugehörigen Endzeitpunkte und die genutzte Farbe ausgegeben. Durch die Angabe des Endpunktes und der Länge der Periode kann der Anfangszeitpunkt bestimmt werden und passend markiert werden und ein direkter Überblick über alle Jahre ist möglich.

6 Resultate

6.1 Auswertung verschiedener Strömungsrichtungen

6.1.1 Westlagen

Da sich Österreich in der Westwindzone befindet und somit oft von Westlagen beeinflusst wird, ist es von großem Interesse zu untersuchen, ob sich in den letzten 50 Jahren ein Trend abzeichnet. Für die zehn betrachteten Strömungslagen gelten folgende Abkürzungen:

Klasse	Strömungslage
0	gradientschwach H
1	NE
2	E
3	SE
4	S
5	SW
6	W
7	NW
8	N
9	variabel V

Tabelle 2: Strömungslagen

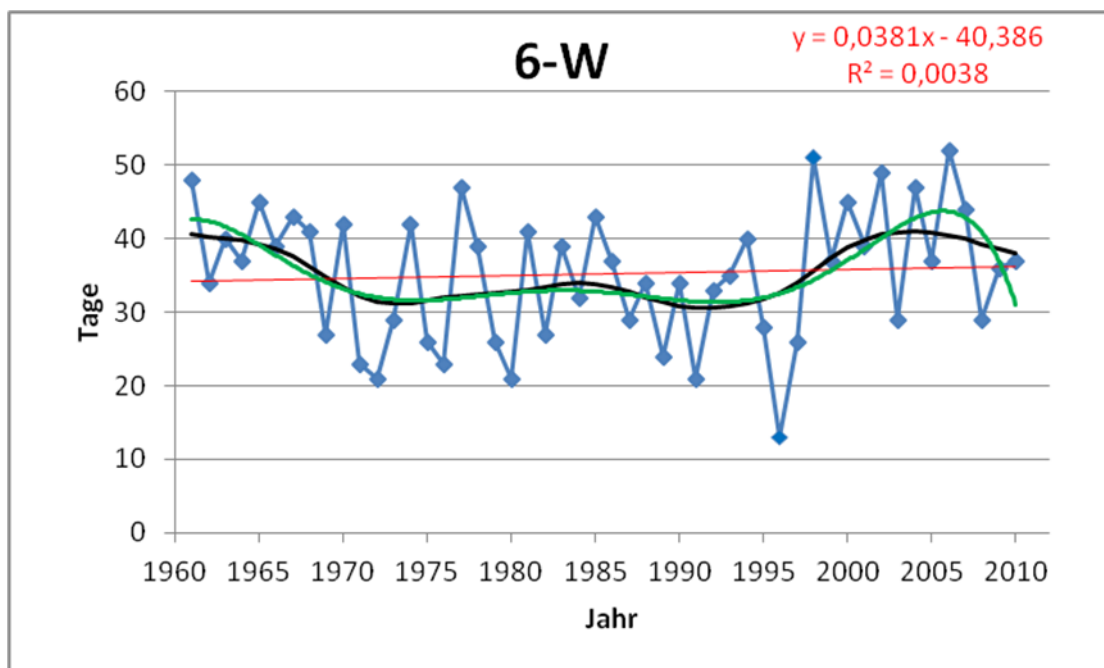


Abbildung 14: Tage mit Westströmungslagen von 1961 bis 2010

In der Graphik werden in blau die Originaldaten und in schwarz die mit Hilfe des Gaußfilters geglätteten Werte dargestellt. Die rote Gerade ist die lineare Regressionsgerade und

die grüne Kurve stellt das Polynom 6.Grads dar. Das Bestimmtheitsmaß, sowie die Gleichung der Regressionsgerade erscheinen in derselben Farbe wie die Gerade selbst. In allen nachfolgenden Graphiken werden die Kurven nach dem gleichen Schema dargestellt.

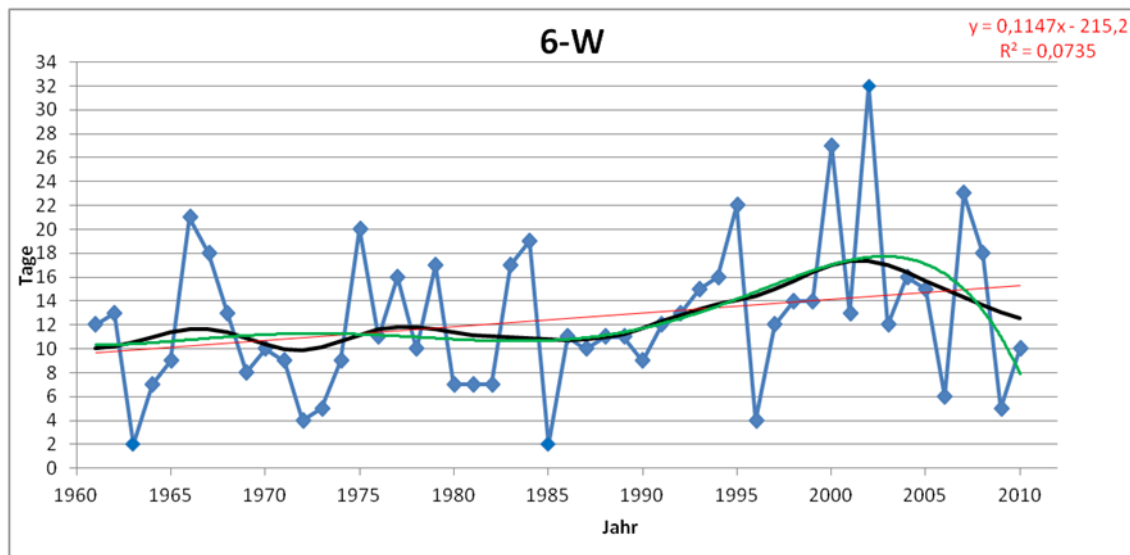


Abbildung 15: Tage mit Westströmungslagen im Winter von 1961 bis 2010

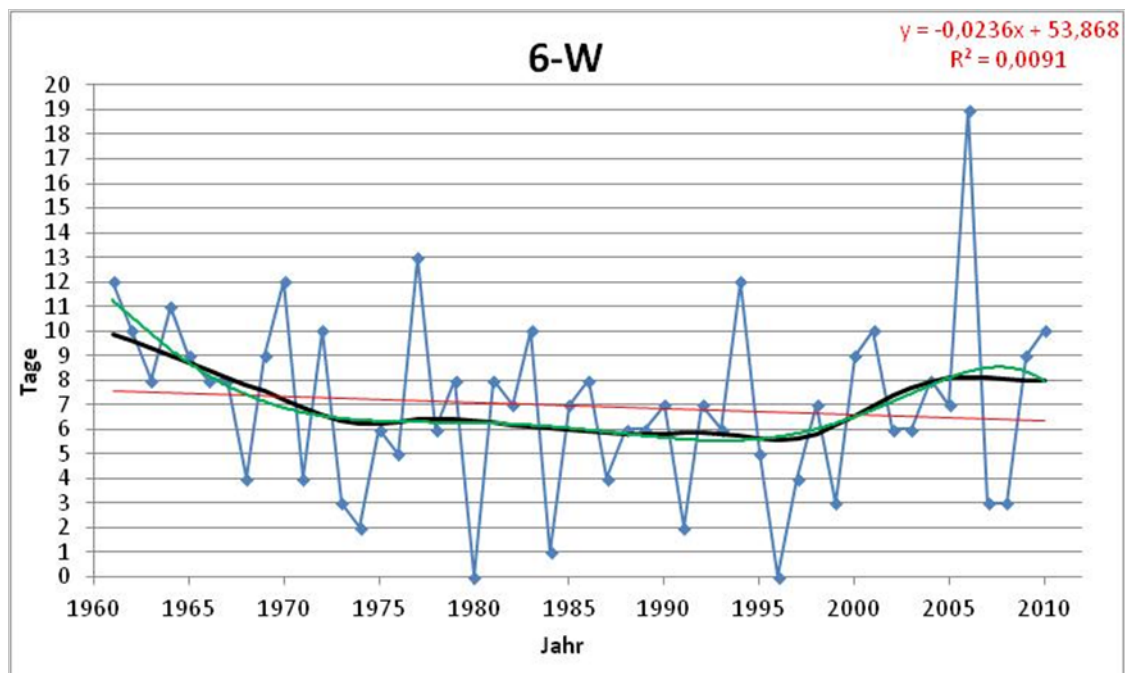


Abbildung 16: Tage mit Westströmungslagen im Frühling von 1961 bis 2010

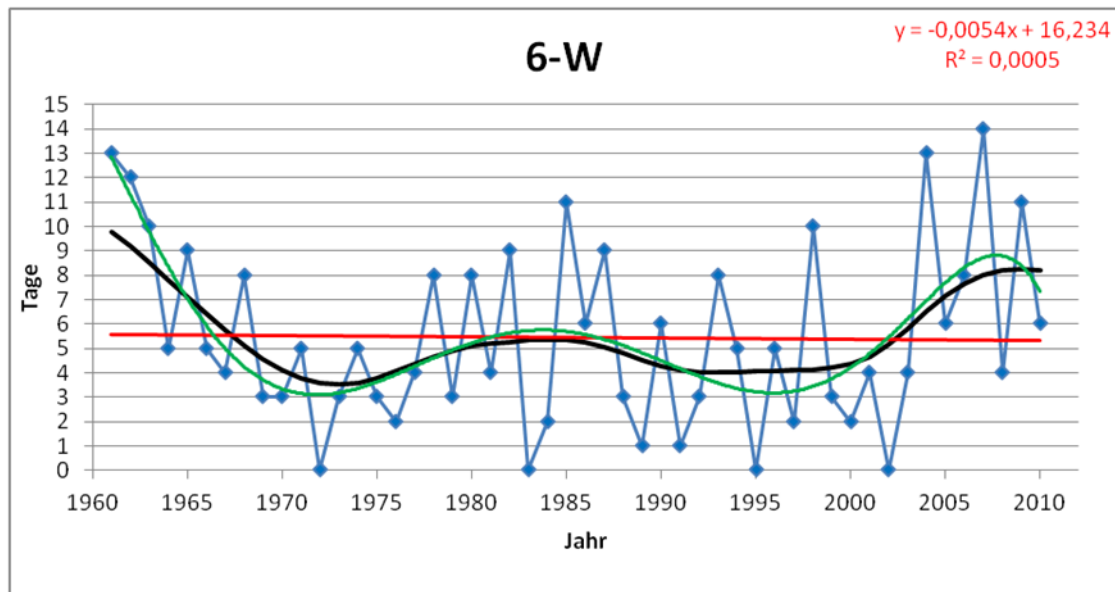


Abbildung 17: Tage mit Westströmungslagen im Sommer von 1961 bis 2010

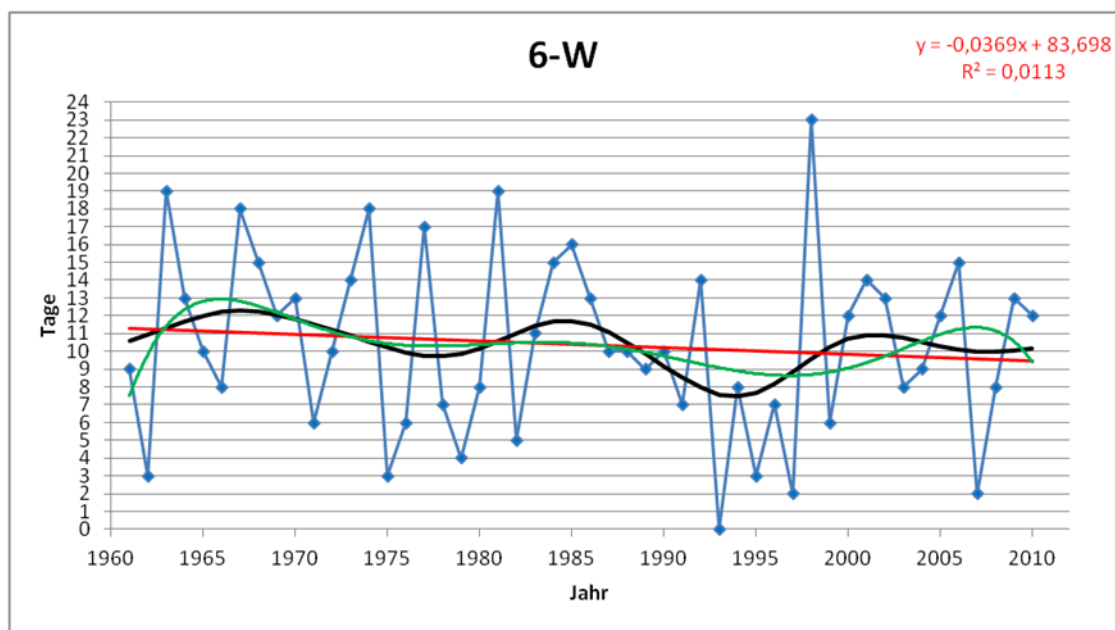


Abbildung 18: Tage mit Westströmungslagen im Herbst von 1961 bis 2010

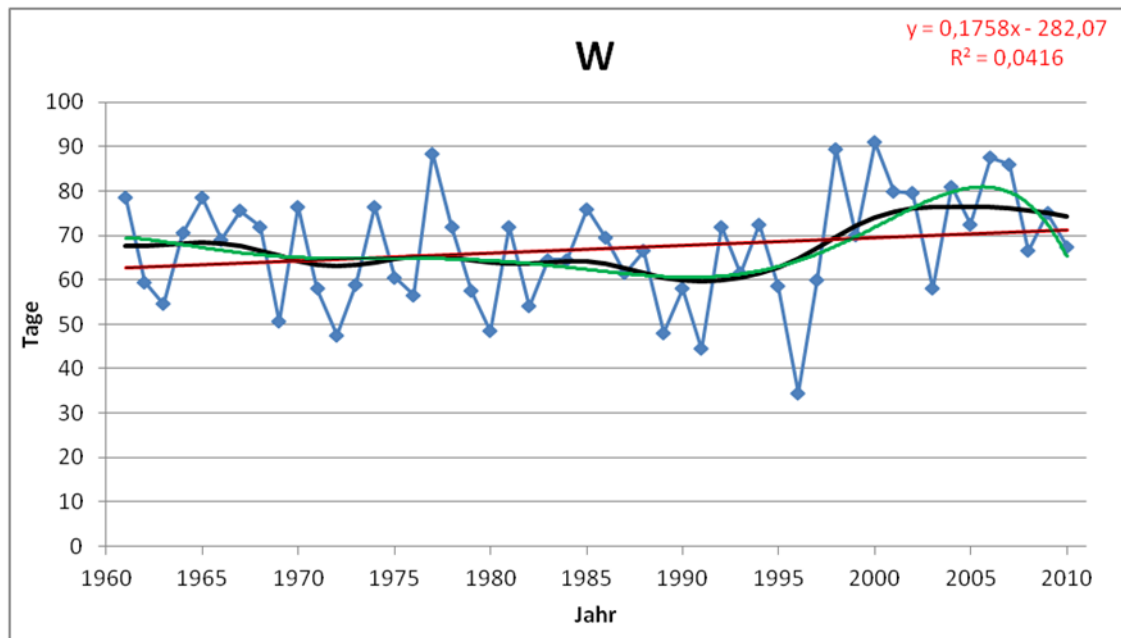


Abbildung 19: Tage mit Westströmungslagen (W, NW, SW) von 1961 bis 2010

Da die Wertepaare der Originaldaten in allen Fällen stark streuen (siehe Tabelle 3), lassen sich die blauen Punktekurven nur sehr schlecht durch lineare Funktionen approximieren und die Bestimmtheitsmaße der rechnerisch erzeugten roten Regressionsgerade weisen entsprechend schlechte Werte nahe dem Nullbereich auf.

Dagegen zeigen die Annäherungen der mittels Gaußfilter geglätteten Kurven und die Trendlinien durch Polynome 6. Grades große Ähnlichkeiten in ihrem Verlauf, was dafür spricht, dass man besser diese beiden Kurven anstatt der Originalkurve betrachtet, um die Trendentwicklung zu beschreiben. Man muss allerdings bei der Interpretation der Diagramme berücksichtigen, dass Polynome höheren Grades (hier 6. Grades) am Anfang und Ende der Datenreihe überschwingen. Dieses Verhalten ist typisch für Polynome höheren Grades und deutet somit auf keinen Trend hin. Deshalb sollten die Polynome 6. Grades stets in Kombination mit den gaußgeglätteten Kurven betrachtet werden, bevor man eine Aussage über die Trendentwicklung trifft. Wie gut die geglättete Kurve mit dem Polynom 6. Grades übereinstimmen kann, wird in Abbildung 16 und Abbildung 17 deutlich.

Bei der Betrachtung der Regressionsgerade und ihrer Gleichungen erkennt man, dass die Geraden für Frühling (Abbildung 16), Sommer (Abbildung 17) und Herbst (Abbildung 18) fallen, der Trend also abnehmend ist, während sich lediglich für den Winter (Abbildung 15) eine Zunahme ergibt. Fasst man die vier Jahreszeiten zusammen und betrachtet somit die Jahre insgesamt (Abbildung 14), ergibt sich wider Erwarten auch eine positive Steigung. Diese Dominanz der Winterwerte kann damit erklärt werden, dass der Anstieg im Winter sehr stark ist, während Frühling, Sommer und Herbst nur jeweils minimale Abnahmen aufweisen. In Tabelle 3 wird deutlich, dass im Winter sowohl die größte Streuung (6,17) als auch der größte Mittelwert (12,48) der Westlagen vorliegen. Im Vergleich zu Frühling und Sommer weist der Winter sowohl bei der Streuung als auch beim Mittelwert doppelt so große Werte auf. Im Herbst sind diese zwar geringer, aber immer noch deutlich höher als im Frühling und Sommer.

Betrachteter Zeitraum	Streuung σ [Tage]	Mittelwert μ [Tage]
gesamter Zeitraum	9,00	35,22
Winter	6,17	12,48
Frühling	3,61	6,96
Sommer	3,70	5,46
Herbst	5,06	10,38
gesamter Zeitraum reduziert	12,57	67,03

Tabelle 3: Streuung und Mittelwert der Westlagen

Durch die mittlere Lage der Polarfront, die im Winter sehr weit nach Süden reicht, treten in den mittleren Breiten häufig Winterstürme auf, welche oft eine Westkomponente aufweisen. Die Polarfont beschreibt das Übergangsgebiet zwischen den warmen Subtropen und kalter Polarluft, wo ein großer horizontaler Temperaturunterschied vorherrscht. Dadurch erklärt sich der hohe Mittelwert an Tagen mit Westlagen im Winter. Die große Streuung resultiert daraus, dass die Anzahl der Tage mit Winterstürmen, die den Ostalpenraum betreffen, von Jahr zu Jahr sehr stark variieren kann. Die drei Winter mit den meisten Westlagen von 1961 bis 2010 waren in den Jahren 2000 (27 Tage), 2002 (32 Tage) und 2007 (23 Tage) (siehe Abbildung 15). 2000 waren Orkan Anatol (3./4. Dezember 1999) und Orkan Lothar (26. Dezember 1999) und 2007 war Orkan Kyrill (18./19. Jänner 2007) dafür mitverantwortlich, dass es zu einer außergewöhnlich hohen Anzahl von Tagen mit Westströmung kam. In Tabelle 4 sind die Strömungslagen während des betrachteten Orkans sowie jeweils zwei Tage davor und danach in roter Farbe gekennzeichnet. Bei der Auswertung muss beachtet werden, dass der Dezember 1999 bereits zum Winter 2000 gezählt wird. Bei den Orkanen Anatol und Kyrill sind die Tage vor, während und nach dem Wintersturm hauptsächlich von Westlagen (6) geprägt. Gegen Ende des Sturms kann eine variable Strömungsrichtung (9) auftreten, was dafür spricht, dass sich das Tiefdrucksystem abschwächt bzw. zusammenbricht.

Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Dezember 1999	6	7	6	6	7	6	6	6	5	9	6	6	6	6	7	8	0	6	9	7	1	0	5	5	5	6	6	9	7	6	0
Jänner 2007	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	9	6	9	0	6	6	6	7	6	9	9	9	9	1	9	7	7	7	7	7

Tabelle 4: Verteilung der Strömungslagen während Orkan Anatol, Lothar und Kyrill

In Tabelle 5 sind die aus dem Korrelationskoeffizienten mit Hilfe von Formel 11 berechneten F-Werte dargestellt. Vergleicht man den approximierten Wert $F_{krit} = 4,035$ (berechnet für Signifikanzniveau 95%) mit den berechneten F-Werten, stellt man in allen Fällen fest, dass $F < F_{krit}$ gilt und somit die Regressionsgeraden nicht signifikant sind, sich also keine zuverlässige Aussage über die Trendentwicklung abgeben lässt.

	berechneter F-Wert
gesamte Jahre	0,062
Winter	0,278
Frühling	0,096
Sommer	0,022
Herbst	0,107
gesamte Jahre reduziert	0,207

Tabelle 5: Berechnete F-Werte für Westlagen

Obwohl keine signifikanten Trends erkennbar sind, fällt auf, dass seit 1995 die Anzahl der Tage mit Westströmung vor allem im Winter deutlich zugenommen hat (Abbildung 15). Nun stellt sich die Frage, ob diese Zunahme im Winter eine Folge des Klimawandels sein kann. In Perioden mit hoher atlantischer Zyklonenaktivität steigt auch die Häufigkeit von Sturmereignissen in Mitteleuropa. Die Zyklonenaktivität über dem Nordatlantik und Europa wird durch den Nordatlantischen Oszillationsindex (NAO-Index) beschrieben. Dieser entspricht dem Druckunterschied am Boden zwischen den Azoren und Island, der in Perioden mit einem hohen NAO-Index besonders groß ist. Betrachtet man in Abbildung 20 die letzten drei Monate von 1999 und die ersten drei Monate im Jahr 2007, erkennt man, dass dort ein besonders hoher NAO-Index vorliegt, welcher mit den Winterstürmen Anatol, Lothar und Kyrill in Verbindung gebracht werden kann. Ein gesicherter Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von starken Stürmen in Mitteleuropa und dem NAO-Index lässt sich jedoch derzeit noch nicht zeigen. (nach Organe consultatif sur les changements climatiques, Oktober 2012: [21])

Standardized 3-Month Running Mean NAO Index Through September 2012

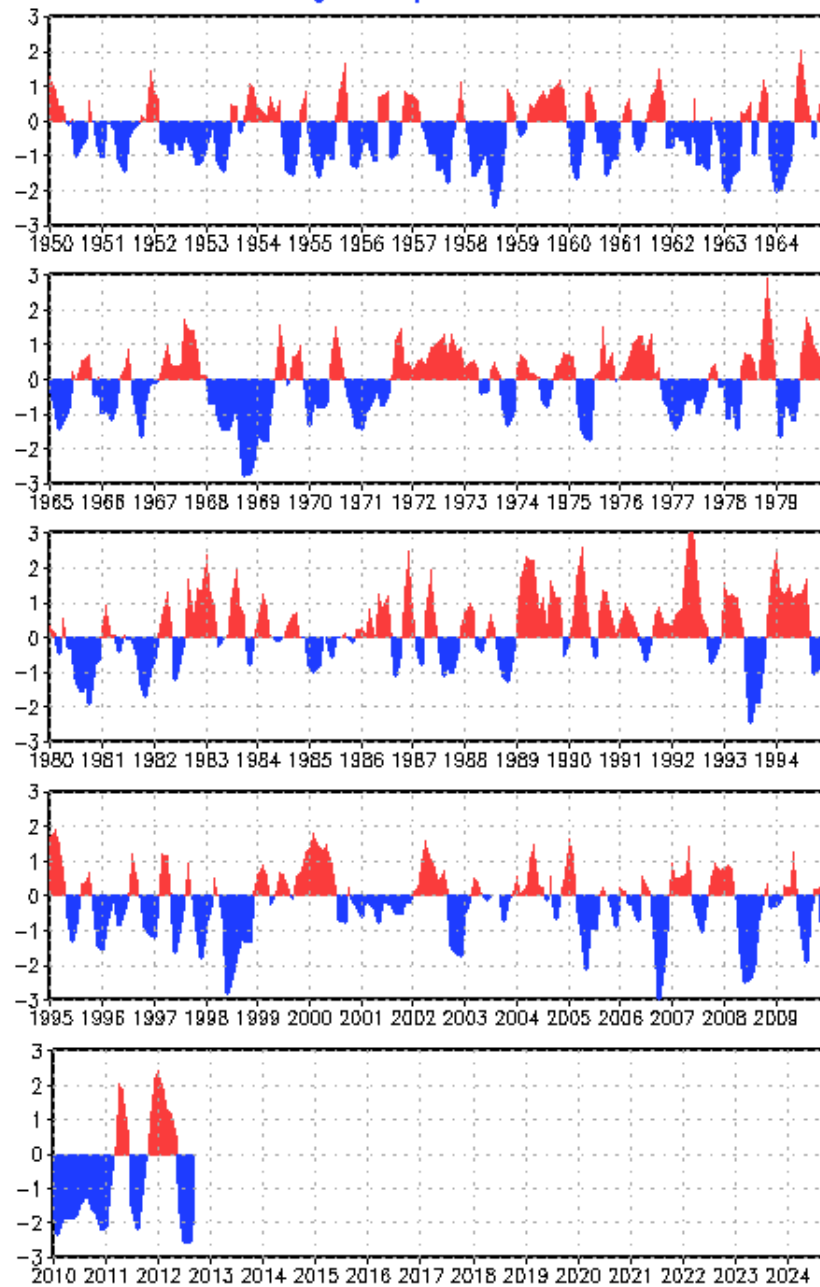


Abbildung 20: NAO-Index 1950 bis September 2012 (Quelle: NOAA, Oktober 2012: [20])

6.1.2 Nordlagen

Der Ostalpenraum wird neben der Westkomponente auch noch stark von der Nordkomponente dominiert (siehe Tabelle 8 rechte Tabelle). Aus diesem Grund analysieren wir jetzt die Nordströmungslagen:

In den Winter- und Sommermonaten lässt sich in den letzten 50 Jahren (1961 bis 2010) eine leichte Abnahme der Nordströmungslagen beobachten, was sich aus den im jeweiligen Diagramm errechneten Gleichungen für die Regressionsgeraden entnehmen lässt. Im Winter nimmt deren Steigung, welche den Trend der Daten widerspiegelt, um $-0,0078$ Tage/Jahr und im Sommer um $-0,0176$ Tage/Jahr ab. Die beobachtete Abnahme der Anzahl der Tage mit Nordströmung in den letzten Jahren ist nicht signifikant, was auf eine zufällige Entwicklung schließen lässt. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse des Fisher-Tests zusammengefasst, der die Regressionsgerade auf Signifikanz prüft. Die ermittelten F -Werte für die einzelnen Jahreszeiten sind alle kleiner als der F_{krit} -Wert (4,035), wodurch keine Signifikanz erkennbar ist. Die Maxima in der betrachteten Klimareihe traten im Winter 1971 und im Sommer 1969 mit jeweils 11 Tagen auf. Im Winter 2010 gab es zuletzt nur zwei Tage mit Nordströmung, 1990 dagegen in den drei Wintermonaten noch keinen einzigen Tag, an dem im Ostalpenraum die Nordströmung dominierte. Im Sommer blieben bisher fünf Jahre ohne einen einzigen Tag mit Nordströmung. Zuletzt war dies im Jahr 2000 der Fall. (vergleiche Abbildung 22 und Abbildung 24)

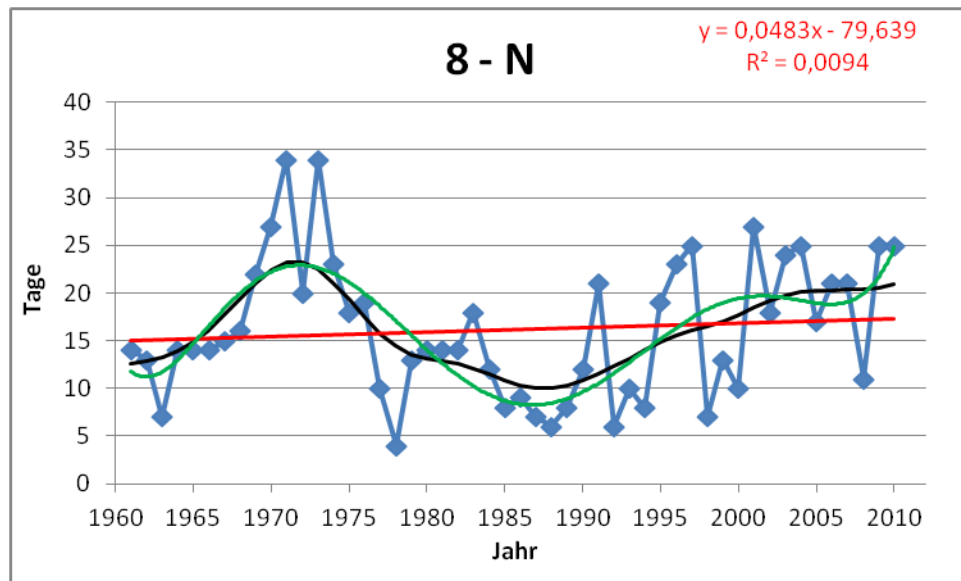


Abbildung 21: Tage mit Nordströmungslagen von 1961 bis 2010

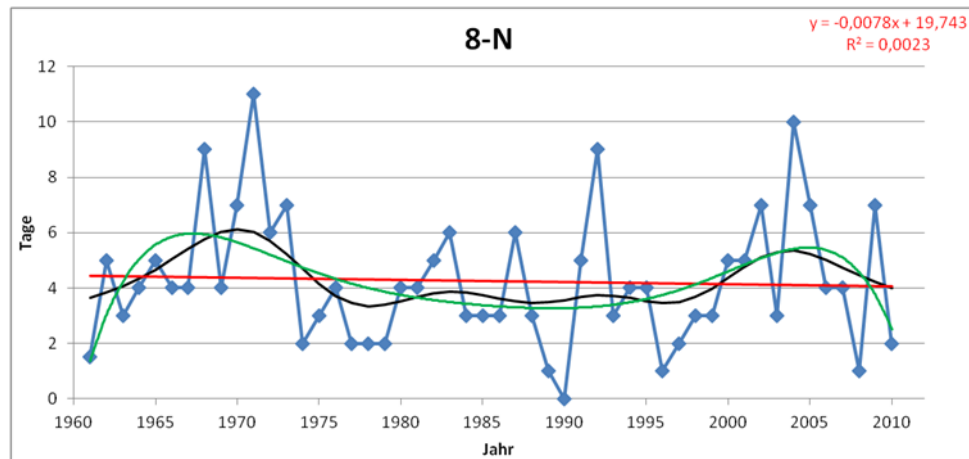


Abbildung 22: Nordstömungslagen im Winter in den Jahren 1961 bis 2010

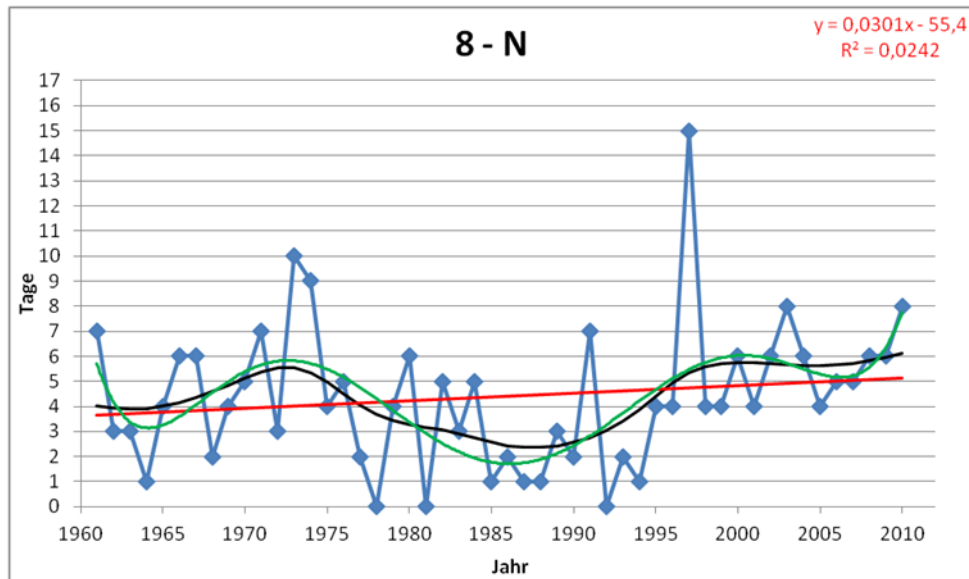


Abbildung 23: Nordströmungslagen im Frühling in den Jahren 1961 bis 2010

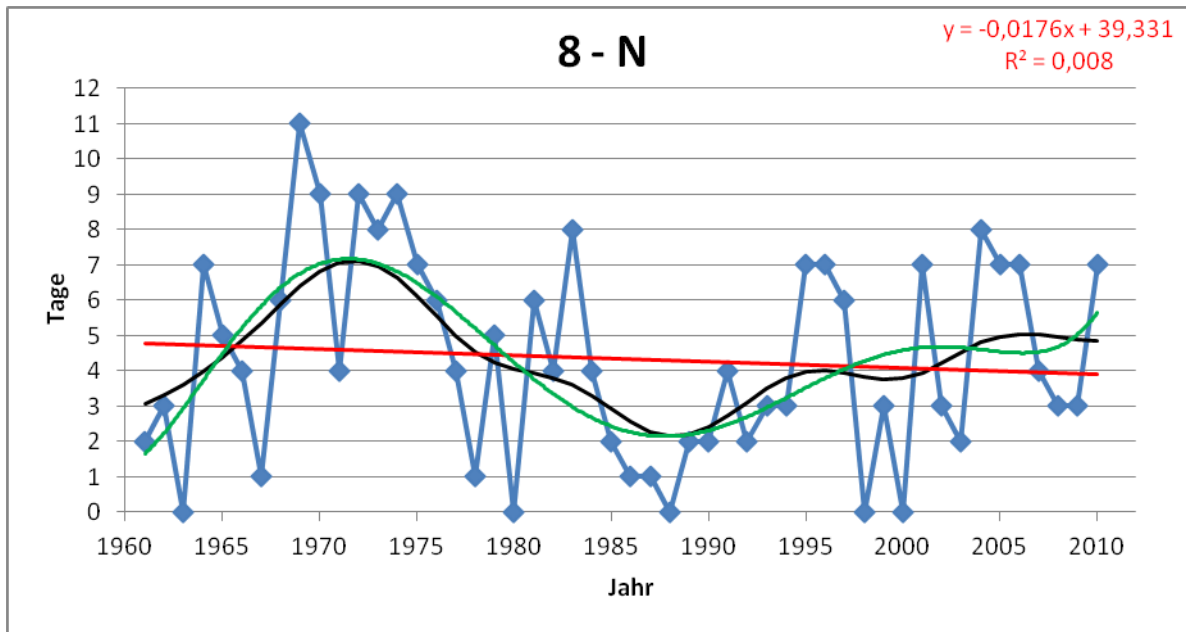


Abbildung 24: Nordströmungslagen im Sommer in den Jahren 1961 bis 2010

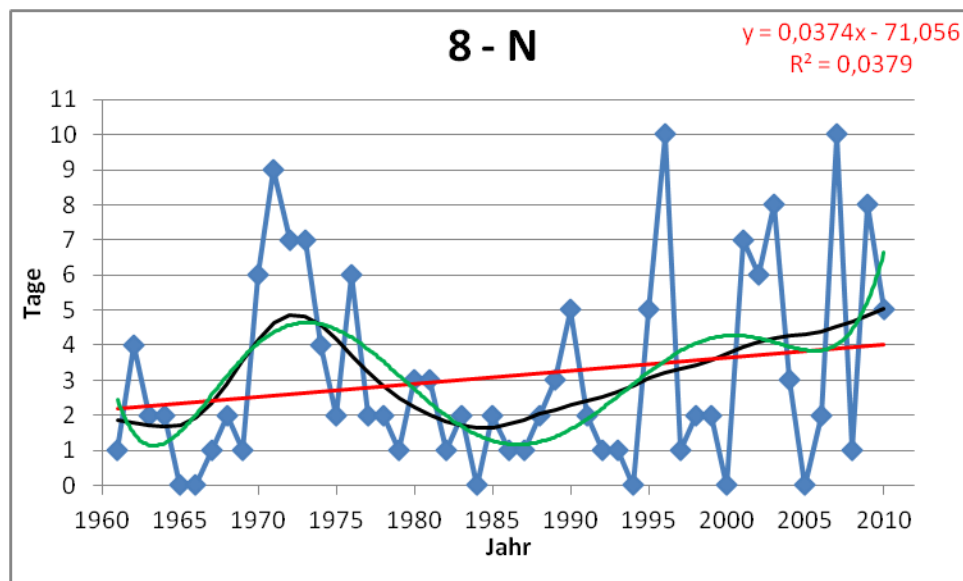


Abbildung 25: Nordströmungslagen im Herbst in den Jahren 1961 bis 2010

Betrachtet man Abbildung 23 und Abbildung 25, erkennt man eine positive Steigung der Regressionsgerade; daraus kann allerdings noch keine positive Trendentwicklung abgeleitet werden, da die Steigung der Gerade nicht signifikant ist. Im Frühling 1997 wurden 15 Tage mit Nordströmung verzeichnet, was das Maximum der beobachteten Zeitreihe ist. Dies sind knapp viermal so viele Tage wie die eines „Durchschnittsfrühlings“, der statistisch nur 4,38 Tage aufweist (siehe Tabelle 9).

In den letzten 15 Jahren traten im Herbst zwei Jahre mit zehn Tagen auf, an denen Nordlagen klassifiziert wurden; das sind etwa dreimal so viele wie in einem „durchschnittlichen“

Herbst, bei dem die Statistik 3,12 Tage mit Nordlagen aufweist (siehe Tabelle 25).

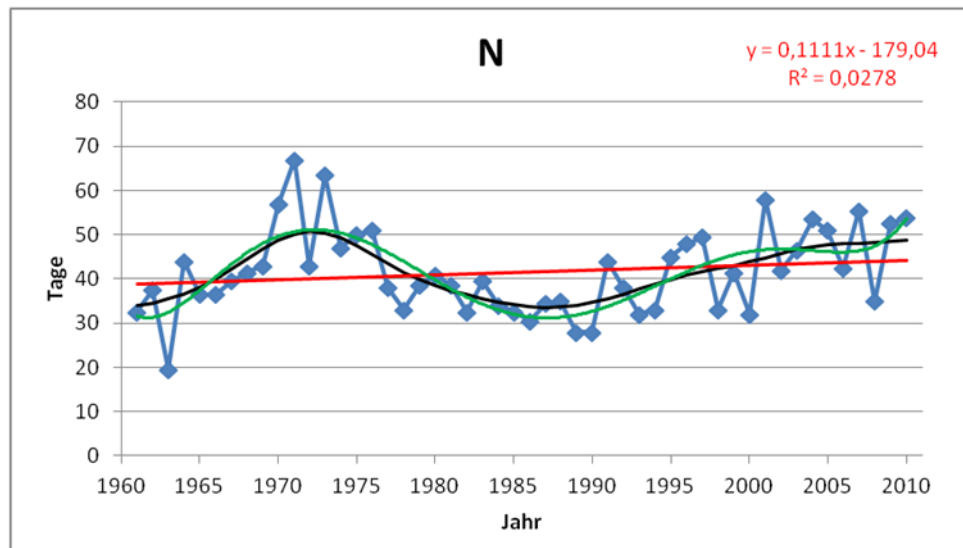


Abbildung 26: Tage mit Nordströmungslagen (W, NW, SW) von 1961 bis 2010

	berechneter F-Wert
gesamte Jahre	0,097
Winter	0,048
Frühling	0,157
Sommer	0,090
Herbst	0,197
gesamte Jahre reduziert	0,168

Tabelle 6: Berechnete F-Werte für Nordlagen

Betrachteter Zeitraum	Streuung σ [Tage]	Mittelwert μ [Tage]
gesamter Zeitraum	7,26	16,18
Winter	2,38	4,25
Frühling	2,82	4,38
Sommer	2,87	4,34
Herbst	2,80	3,12
gesamter Zeitraum reduziert	9,71	41,58

Tabelle 7: Streuung und Mittelwert der Nordlagen

Betrachtet man Tabelle 7, stellt man fest, dass die Anzahl der Tage mit Nordlagen in den unterschiedlichen Jahreszeiten fast gleichmäßig stark streut. Diese Streuung liegt zwischen 2,38 und 2,87, wobei die Werte in den Wintermonaten am geringsten und in den Sommermonaten am größten sind.

Obwohl in Abbildung 7 die Mittelwerte für die verschiedenen Jahreszeiten sowie die Jahresmittel insgesamt angegeben sind, werden trotzdem Tabelle 8 bis Tabelle 10 aufgeführt, damit der Leser einen Überblick über die durchschnittliche Anzahl an Tagen aller Strömungslagen für die verschiedenen Jahreszeiten erhält und somit erkennen kann, welche Strömungslage in welcher Jahreszeit dominiert.

Jahre		Jahre reduziert auf 4 Hauptrichtungen	
Strömungslage	Durchschnittliche Tage	Strömungslage	Durchschnittliche Tage
S	14,12	E	31,88
SE	14,5	S	36,35
E	16,06	N	41,58
N	16,18	W	67,03
NE	17,14		
SW	29,96		
NW	33,66		
W	35,22		
V	91,36		
H	97,04		

Tabelle 8: Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit verschiedenen Strömungslagen für alle Jahre und alle Jahre reduziert auf die 4 Hauptrichtungen sortiert nach Häufigkeiten

Winter		Frühling	
Strömungslage	Durchschnittliche Tage	Strömungslage	Durchschnittliche Tage
S	4,05	S	3,38
NE	4,15	SE	4,12
N	4,25	N	4,38
Se	5,26	E	4,66
E	5,31	NE	5,68
SW	8,92	SW	6,16
NW	10,10	W	6,96
W	12,48	NW	7,54
H	16,95	H	22,90
V	18,34	V	26,22

Tabelle 9: Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit verschiedenen Strömungslagen für Winter und Frühling sortiert nach Häufigkeiten

Sommer		Herbst	
Strömungslage	Durchschnittliche Tage	Strömungslage	Durchschnittliche Tage
SE	1,10	N	3,12
S	1,60	NE	3,22
E	2,32	E	3,80
SW	4,00	SE	4,04
NE	4,08	S	5,10
N	4,34	NW	7,64
W	5,46	W	10,38
NW	8,36	SW	10,78
V	26,34	V	20,14
H	34,40	H	22,78

Tabelle 10: Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit verschiedenen Strömungslagen für Sommer und Herbst sortiert nach Häufigkeiten

An dieser Stelle bietet sich an, einen Vergleich mit Steinackers Ergebnissen seiner Auswertung der Jahre 1978 bis 1990 anzustellen. Laut Steinacker 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. (Steinacker, 1991: [1])

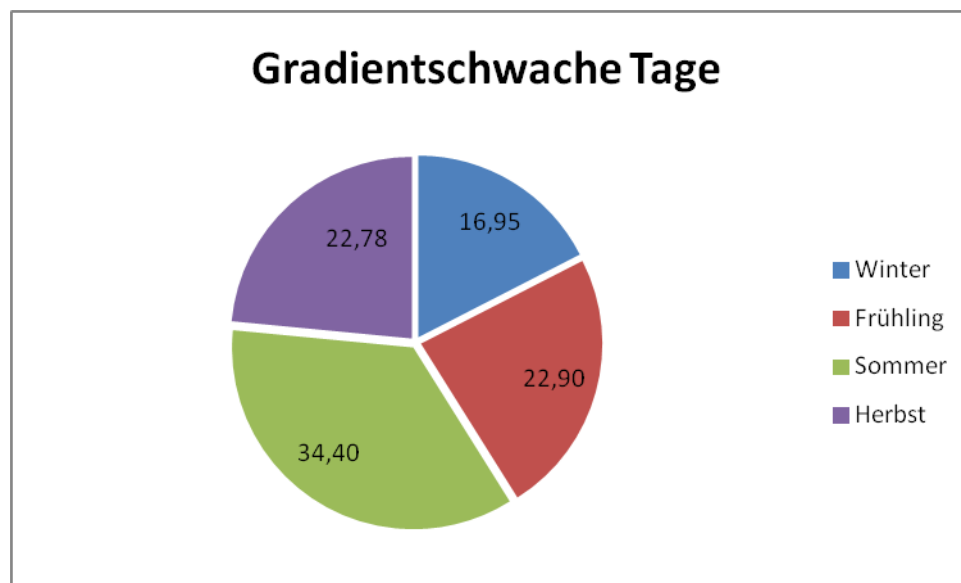


Abbildung 27: Gradient schwache Tage der 4 Jahreszeiten

Mit Abbildung 27 lässt sich diese These bestätigen, denn im Winter treten mit 16,95 Tagen die wenigsten gradient schwachen Lagen pro Jahr auf, da alle anderen Tage sowohl die variablen als auch die Strömungsrichtungen zu Strömungstagen zählen, herrschen in den Wintermonaten die meisten Strömungstage vor. Ein gutes viertel aller Tage pro Jahr (26,57%) werden mit "gradient schwach" klassifiziert.

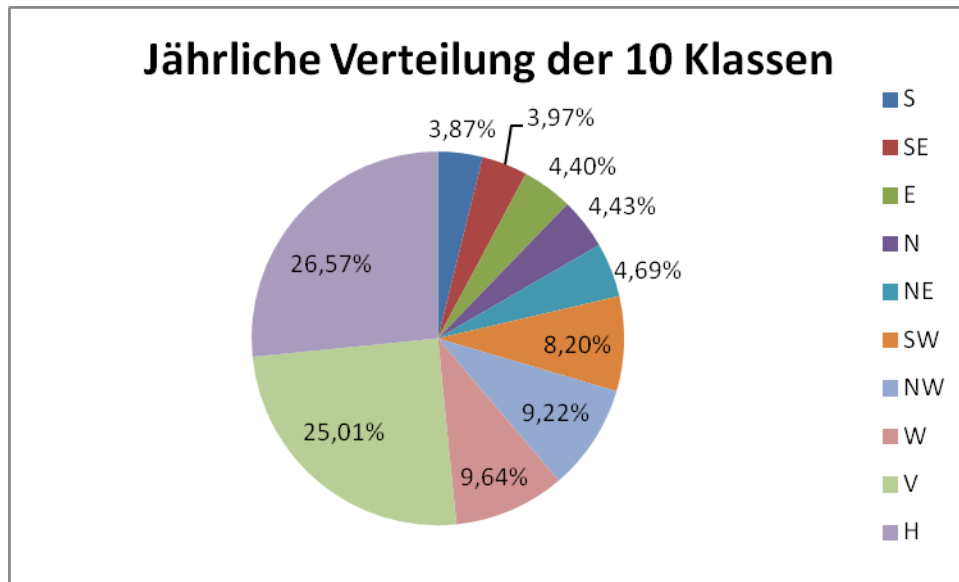


Abbildung 28: Jährliche Verteilung der 10 Strömungsklassen in Prozent geordnet nach Häufigkeit

Vergleicht man Abbildung 28 mit der oberen Graphik aus Abbildung 10 gelangt man zu den gleichen Ergebnissen:

Die Westlagen (NW, W, SW) dominieren mit 27,06% und sind wie erwartet die am häufigsten auftretende Richtung. Ein weiteres viertel aller Tage wird von einer variablen Strömungsrichtung bestimmt. Das sind pro Jahr durchschnittlich 91,36 Tage. Dieses Ergebnis ist nicht weiter verwunderlich da im Ostalpenraum an zwei von sieben Tagen mit einem Frontdurchgang und somit einem Windsprung, der für variable Strömungsverhältnisse sorgt, zu rechnen ist. Das letzte viertel des Jahres wird durch Nord, Süd- und Ostströmungen beeinflusst. Mit nur 14,12 Tagen pro Jahr treten die Südströmungen am seltensten auf.

6.1.3 Gradientschwache Lagen

Da ein Viertel aller Tage pro Jahr gradientschwache Lagen aufweisen, untersuchen wir diese Sachlage nun genauer: Unter gradientschwachen Lagen versteht man nicht nur Tage mit Hochdrucklagen, sondern auch Strömungslagen bei tiefen Druck, die aber einen schwachen Druckgradienten aufweisen.

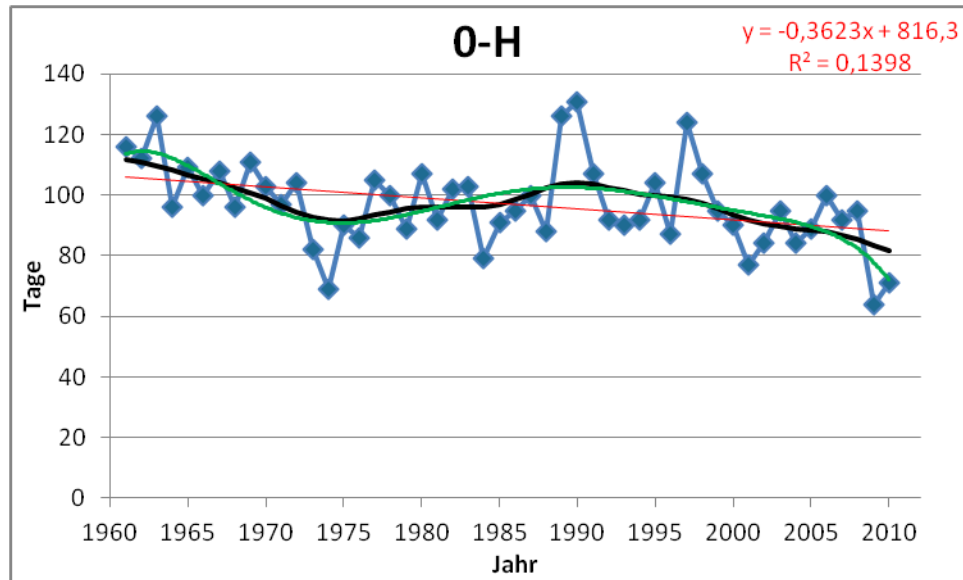


Abbildung 29: Gradientschwache Strömungslagen von 1961 bis 2010

Bei der Betrachtung von Abbildung 29 erkennt man eine leichte Abnahme der gradient-schwachen Lagen, wenn man die Jahreszeiten zu einem Jahr zusammenfasst. Mit 131 Tagen das Maximum von 1990 und mit 64 Tagen das Minimum von 2009 an gradient-schwachen Tagen im Zeitraum von 1961 bis 2010 erreicht. Betrachtet man jedoch die einzelnen Jahreszeiten getrennt voneinander, fällt auf, dass im Winter eine minimale Zunahme der gradient-schwachen Lagen stattgefunden hat (Abbildung 30).

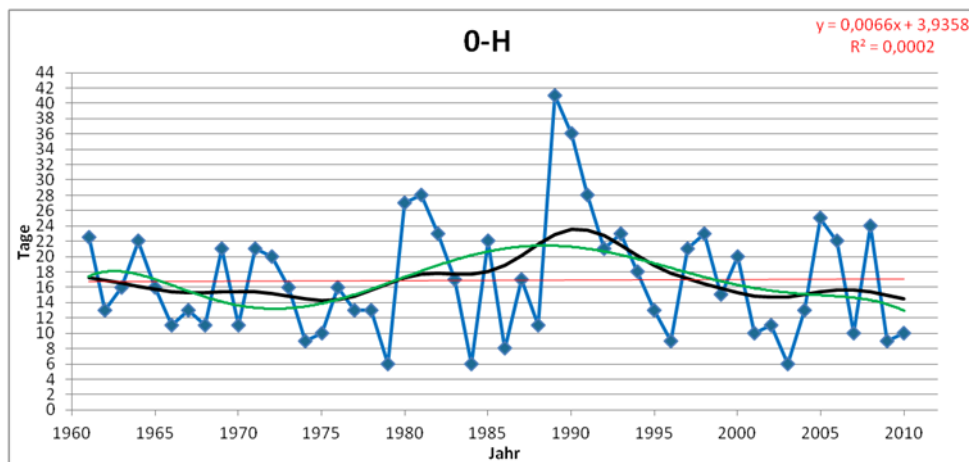


Abbildung 30: Gradientschwache Strömungslagen im Winter in den Jahren 1961 bis 2010

Im Frühling, Sommer und Herbst lässt sich ein Rückgang der gradientschwachen Lagen feststellen, wobei im Frühling (Abbildung 31) die geringste Abnahme zu verzeichnen ist, im Herbst dagegen die stärkste (Abbildung 33).

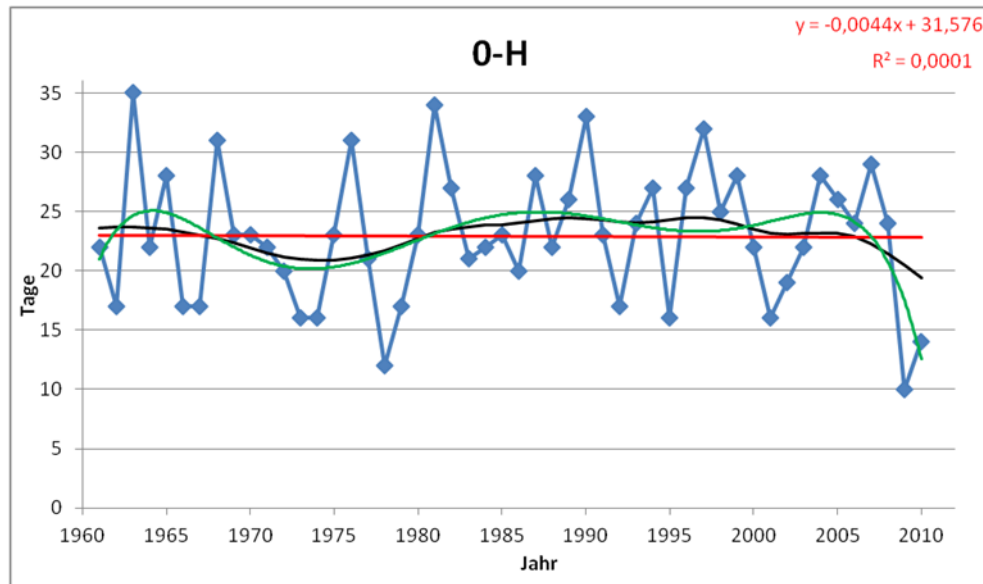


Abbildung 31: Gradientschwache Strömungslagen im Frühling in den Jahren 1961 bis 2010

Laut einer Studie in der Steiermark erreichen gradientschwache Wetterlagen ihr markantes Maximum im Sommer, wobei sie sogar zur häufigsten Wetterlage werden und in den Sommermonaten mit 28,7% dominieren (nach Hofer, 2008: [22]). Diese These wird durch die in dieser Arbeit verwendeten Daten unterstützt, denn im Sommer treten im Mittel 34,4 Tage mit gradientenschwacher Strömungslage auf. Im Winter hingegen wird mit 16,95 Tagen nur knapp die Hälfte verzeichnet (siehe Tabelle 12). Im Jahr 1967 wurde das Maximum mit 56 Tagen und 2009 das Minimum mit 22 Tagen erreicht (Abbildung 32).

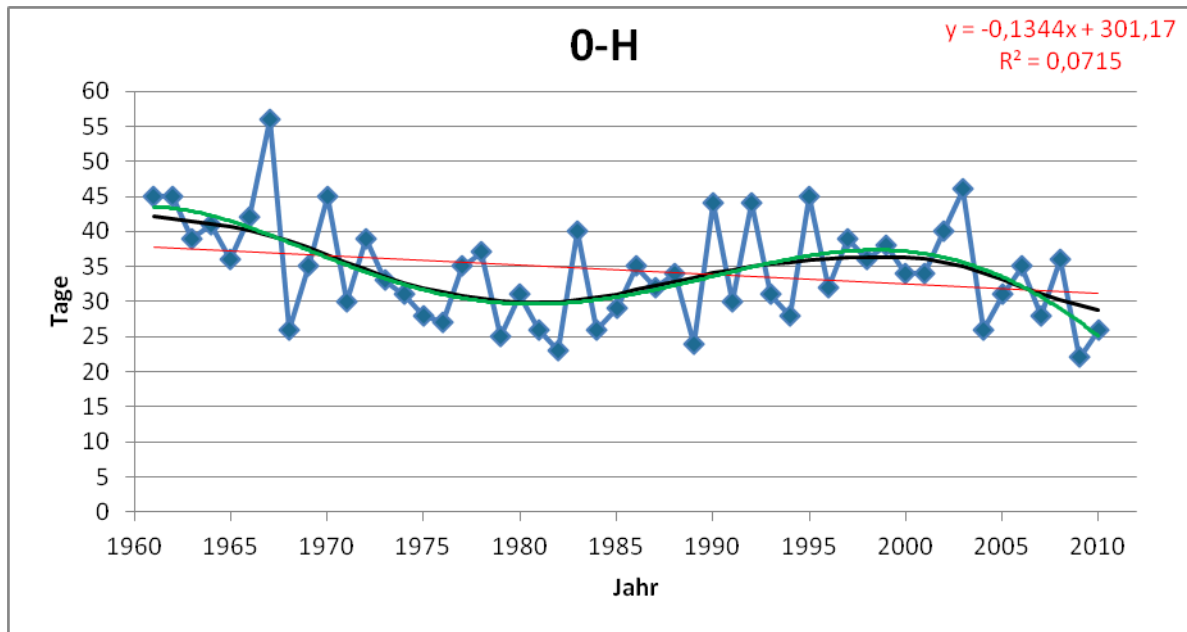


Abbildung 32: Gradientschwache Strömungslagen im Sommer in den Jahren 1961 bis 2010

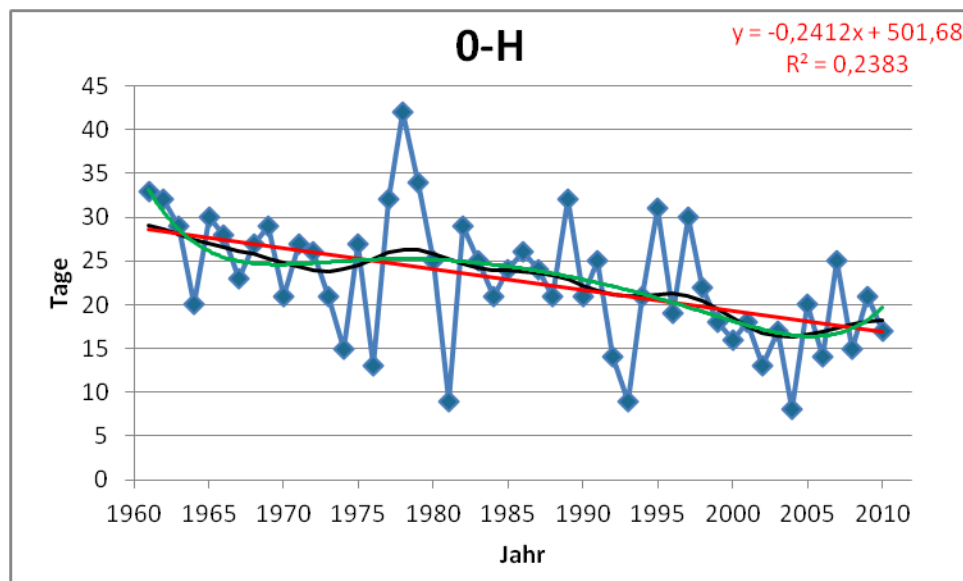


Abbildung 33: Gradientschwache Strömungslagen im Herbst in den Jahren 1961 bis 2010

Hofer (Hofer, 2008: [22]) behauptet, dass in der Steiermark die Gewitteraktivität stark im Zusammenhang mit den Wetterlagen steht. Im Sommer werden häufig Gewitter in Verbindung mit gradientschwachen Strömungen beobachtet. Diese Auffälligkeit trifft nicht nur auf die Steiermark zu, sondern lässt sich für ganz Österreich zeigen. In Abbildung 34 wird anhand des von der ZAMG (Nach ZAMG, November 2012; [23]) erstellten Witterungsverlaufs im Juni 2003 veranschaulicht, dass in der gesamten Alpenrepublik die Gewitter vor allem im Sommer auftreten, wenn eine gradientschwache Lage vorliegt. Es wurde bewusst ein Sommermonat im Jahr 2003 zur Veranschaulichung herangezogen, da in diesem Jahr mit

46 Tagen der zweit größte Wert von gradientschwachen Lagen verzeichnet wurde - nach dem Sommer 1967 mit 56 Tagen.

1.-3.	G	Bei flacher Druckverteilung am Boden und einem kleinräumigen Höhentief über Österreich, das langsam südwärts zieht, beginnt der Juni warm und gewittrig. Die größten Niederschlagsmengen werden am Monatsersten im Süden und Südosten gemessen. An den folgenden Tagen werden die Gewitter seltener, größere Regenmengen werden nur lokal im äußersten Westen gemeldet. Bis zum 3. steigt die Temperatur auf Höchstwerte von 22 bis 31 °C.
4.-5.	H	Unter Hochdruckeinfluss überwiegt zunächst wolkenarmes und sehr warmes Wetter mit lokalen Wärmegewittern im Westen und Südwesten. Am 5. entstehen verstärkt Quellwolken; Gewitter treten verbreitet auf. Die maximalen Temperaturen reichen von 24 bis 33 °C.
6.-8.	G	Sehr warme, feuchte und teilweise labil geschichtete Luftmassen bestimmen das Wetter in Österreich. Tagsüber wird verbreitet stark quellende Bewölkung gemeldet, aus der häufig Gewitter oder Schauer niedergehen. Besonders heftig sind diese lokal am 8. Juni. Die Temperaturhöchstwerte ändern sich kaum und bleiben für die Jahreszeit zu hoch.
9.	W	Eine Kaltfront überquert Österreich ostwärts. Schon in der Nacht fallen von Vorarlberg bis in das westliche Niederösterreich gewittrige und lokal recht ergiebige Niederschläge. Später werden auch der Süden und Südosten erfasst. Es bleibt aber sehr warm.
10.-12.	H	Letzte Niederschläge im Süden enden in der Nacht zum 10. Hochdruckeinfluss und subtropische Warmluft sorgen in den nächsten Tagen für den vorläufigen Hitzehöhepunkt mit Maximaltemperaturen von 25 bis 36 °C. So entstehen täglich verbreitet teils heftige Wärmegewitter.
13.	G	Eine Störungszone aus Westen zieht über Österreich. Überall im Lande gehen Gewitter nieder, lokal auch heftige Unwetter. Die größten Niederschlagsmengen werden in Ostösterreich verzeichnet.
14.	H	Hochdruckeinfluss bringt zunächst Sonnenschein. Von Westen her überziehen in der zweiten Tageshälfte Gewitterwolken unseren Himmel und erreichen bis Mitternacht auch Ostösterreich. Die höchsten Temperaturen betragen 25 bis 32 °C.
15.-16.	W	Mit der ostwärts abziehenden Störungszone ist etwas kühlere Luft eingeflossen. Nach verbreitet ergiebigen Niederschlägen in der Nacht zum 15. gehen aus wechselnder Bewölkung immer wieder teils gewittrige Schauer nieder. Die Temperatur fällt nur wenig.
17.	h	Bei maximal 23 bis 29 °C scheint tagsüber oft die Sonne. Am Abend erreicht eine Kaltfront den Westen und Südwesten Österreichs.
18.-20.	W	Nach dem Durchzug der Störung bestimmen feuchte Luftmassen unser Wetter. Bis zum Abend des 18. fallen von Vorarlberg bis Oberösterreich und bis in die Steiermark teils beträchtliche Regenmengen. Danach werden nur noch lokale und weniger ergiebige Schauer oder Strichregen gemeldet. Am 18. werden maximal 16 bis 26 °C erreicht, danach wird es rasch wieder wärmer.
21.-23.	H	Zunächst herrscht in der ziemlich trockenen Luftmasse sehr wolkenarmes und in der Nacht zum 22. sehr kühles Wetter. Einsetzende Zufuhr sehr warmer und wieder feuchterer Luft sorgt bis 23. für Höchsttemperaturen von 29 bis 36 °C und erneut auflebende Gewitter.
24.-30.	G	Am 24. bleibt es in der über Österreich lagenden labilen Warmluft sehr warm und verbreitet gewittrig. Mit nordwestlicher Höhenströmung gelangen ab dem 25. trockene Luftmassen in den Norden und Osten Österreichs, während sich über dem Westen und Süden die feuchtlabile Luft hält. Schauer, Gewitter und lokale Unwetter beschränken sich auf den Bereich von Vorarlberg bis Oberösterreich und bis in die Steiermark. Bis zum 27. gehen die Höchsttemperaturen auf 19 bis 27 °C zurück. Zum Monatsende verstärkt sich der Hochdruckeinfluss, und am 30. strömt an der Vorderseite eines Ostatlantiktiefs subtropische Warmluft nach Österreich. Der wärmste Juni seit Messbeginn verabschiedet sich mit Maxima von 26 bis 36 °C.

Daria

H: Hoch über West- und Mitteleuropa h: Zwischenhoch Hz: Zonale Hochdruckbrücke HF: Hoch mit Kern über Fennoskandien HE: Hoch mit Kern über Osteuropa N: Nordlage NW: Nordwestlage W: Westlage SW: Südwestlage S: Südlage G: Gradientschwache Lage TS: Tief südlich der Alpen TwM: Tief über dem westlichen Mittelmeer TSW: Tief im Südwesten Europas TB: Tief bei den Britischen Inseln TR: Meridionale Tiefdruckrinne Tk: Kontinentales Tief Vb: Tief auf der Zugstraße Adria - Polen

Abbildung 34: Witterungsverlauf Juni 2003 (Quelle: ZAMG, November 2012: [23])

	berechneter F-Wert
gesamte Jahre	0,393
Winter	0,014
Frühling	0,010
Sommer	0,274
Herbst	0,534

Tabelle 11: Berechnete F-Werte für gradientschwache Lagen

Vergleicht man den approximierten Wert $F_{krit} = 4,035$ mit den berechneten F-Werten aus Tabelle 11, stellt man in allen Fällen fest, dass $F < F_{krit}$ gilt und somit die Regressionsgeraden

nicht signifikant sind; eine zuverlässige Aussage über die Trendentwicklung kann somit nicht abgegeben werden.

Betrachteter Zeitraum	Streuung σ [Tage]	Mittelwert μ [Tage]
gesamter Zeitraum	14,12	97,04
Winter	7,56	16,95
Frühling	5,68	22,90
Sommer	7,33	34,40
Herbst	7,20	22,78

Tabelle 12: Streuung und Mittelwert der gradientschwachen Lagen

6.1.4 Südwestlagen

Aus aktuellem Anlass werden als letztes die Südwestlagen auf ihre Trendentwicklung untersucht: Im Juli 2012 traten in Österreich Rekord-Regenfluten auf, welche in Kärnten und der Steiermark bis zu 460 Liter pro Quadratmeter brachten. Die Wiener Zeitung verkündete: “Verantwortlich für die vielen Unwetter mit teils katastrophalen Folgen war eine Südwestströmung, mit der feucht-labile Luftmassen nach Mitteleuropa gelangten. Österreich lag dabei häufig im Übergangsbereich zwischen kühler Luft über West- und subtropischer über Osteuropa” (Wiener Zeitung, 31.07.2012: [24]). Auch Alexander Orlik, Klimatologe an der ZAMG, äußert sich zu den Starkniederschlägen im Juli 2012: „Im Süden und Osten Österreichs hat es flächendeckend zwei bis drei Mal so viel geregnet wie im langjährigen Mittel. Die rund 200 mm Regen in Eisenstadt kommen zum Beispiel statistisch gesehen nur ein Mal in 100 Jahren vor. [...]” (ZAMG, 31.07.2012: [25]). Dadurch entstanden in Österreich an 20 von 31 Kalendertagen schwere witterungsbedingte Schäden.”

Betrachtet man Abbildung 35 bis 42, erkennt man, dass bis auf den Frühling überall eine positive Steigung der Regressionsgerade und somit eine positive Trendentwicklung vorliegt. Entsprechend zeigt das Polynom 6. Grades für die gesamten Jahre von 1961 bis 2010, dass seit 1995 die Anzahl der Tage mit Südwestströmung kontinuierlich zugenommen hat (siehe Abbildung 35).

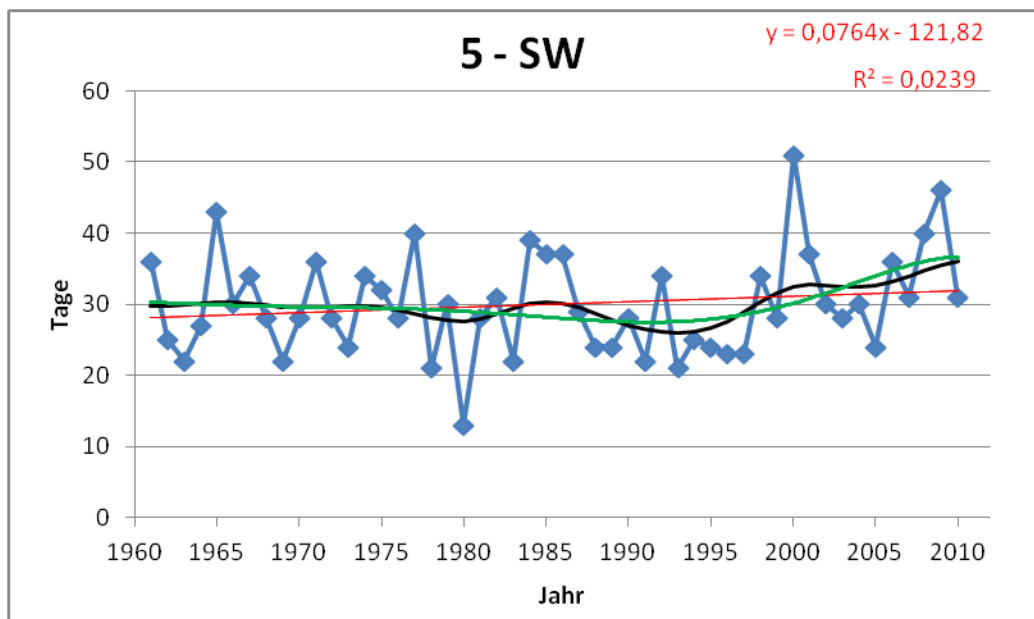


Abbildung 35: Tage mit Südwestströmungslagen von 1961 bis 2010

In den Wintermonaten hingegen lässt sich das Polynom 6. Grades als wellenförmige Kurve beschreiben, was die Beschreibung eines Trends deutlich erschwert, da sich Wellenberge und -täler teilweise kompensieren. Momentan deutet sich ein Wellenberg an, womit sich die Steigung von 0,0244 Tage/Jahr erklären lässt. Bezieht man die Gauß-geglättete Kurve mit ein, fällt auf, dass auch hier abwechselnd Wellenberge und -täler auftreten, welche weitgehend mit denen des Polynom 6. Grades übereinstimmen; nur die Perioden, in denen Täler eintreten, fallen deutlich kürzer aus. Bezieht man den F-Wert 0,069 aus Tabelle 13 mit ein, der deutlich

unter dem F_{krit} -Wert liegt, stellt man fest, dass keine Signifikanz vorliegt. Daraus schließen wir, dass das abwechselnde Auftreten der Wellenberge und -täler eher zufällig bedingt sein dürfte.

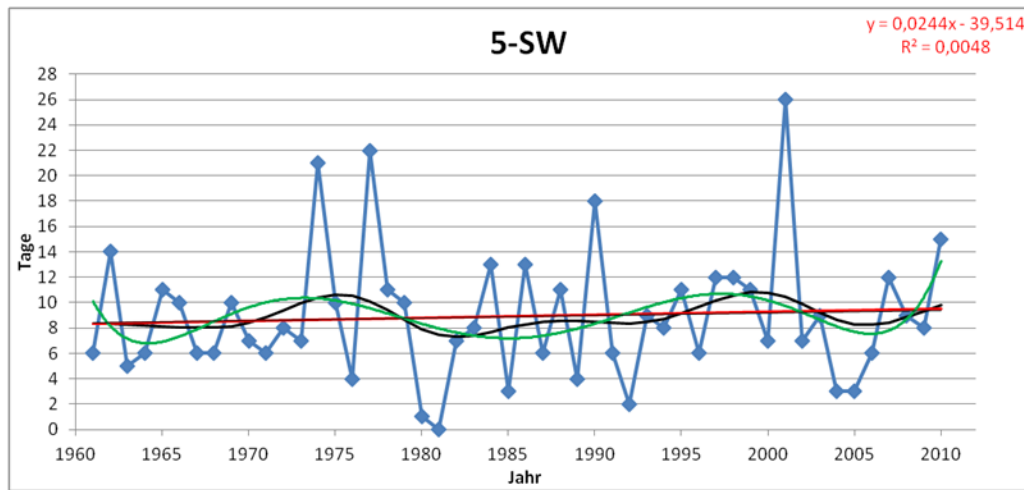


Abbildung 36: Südwestströmungslagen im Winter in den Jahren 1961 bis 2010

Wie bereits erwähnt, ist der Frühling die einzige Jahreszeit, in der eine negative Steigung der Regressionsgerade zu verzeichnen ist. Aufgrund dieser Tatsache werden die Monate März, April und Mai einzeln aufgeführt und untersucht. Von 1988 bis 1997 lag die Anzahl der Tage mit Südwestströmung im Frühling stets unterhalb der Regressionsgerade, was in dem Beobachtungszeitraum von 1961 bis 2010 kein zweites Mal über eine so lange Periode beobachtet wurde. Betrachtet man jedoch das mittlere Auftreten von Tagen mit Südwestströmung, das im Durchschnitt 3,38 Tage beträgt, stellt man fest, dass der Zeitraum von 1988 bis 1997 genau das mittlere Auftreten widerspiegelt. Während dieser Zeit kommen nämlich im Frühling nur maximal ein bis fünf Südwestströmungstage vor. Betrachtet man darüber hinaus die Streuung von 2,72 Tagen, wird noch verständlicher, dass die beobachteten zehn Jahre das mittlere Auftreten sehr gut wiedergeben. Seit 1998 liegt die Anzahl der Tage mit Südwestströmung teilweise wieder oberhalb der Regressionsgerade, vergleicht man aber die nachfolgenden Jahre mit der Spanne von 1961 bis 1987, zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Tage mit Südwestströmung. 1979 trat das Maximum mit 16 Tagen auf, während 2010 nur noch drei Tage klassifiziert wurden. Die Differenz von 13 Tagen veranschaulicht den Rückgang der Südwestströmungen im Frühling, welcher in der Abbildung durch die negative Steigung angedeutet wird (siehe Abbildung 37). Prüft man die Daten auf Signifikanz, gelangt man zu dem Ergebnis, dass diese wiederum nicht signifikant sind, da F_{krit} weit unterschritten wird. Der berechnete F-Wert ist Tabelle 13 zu entnehmen.

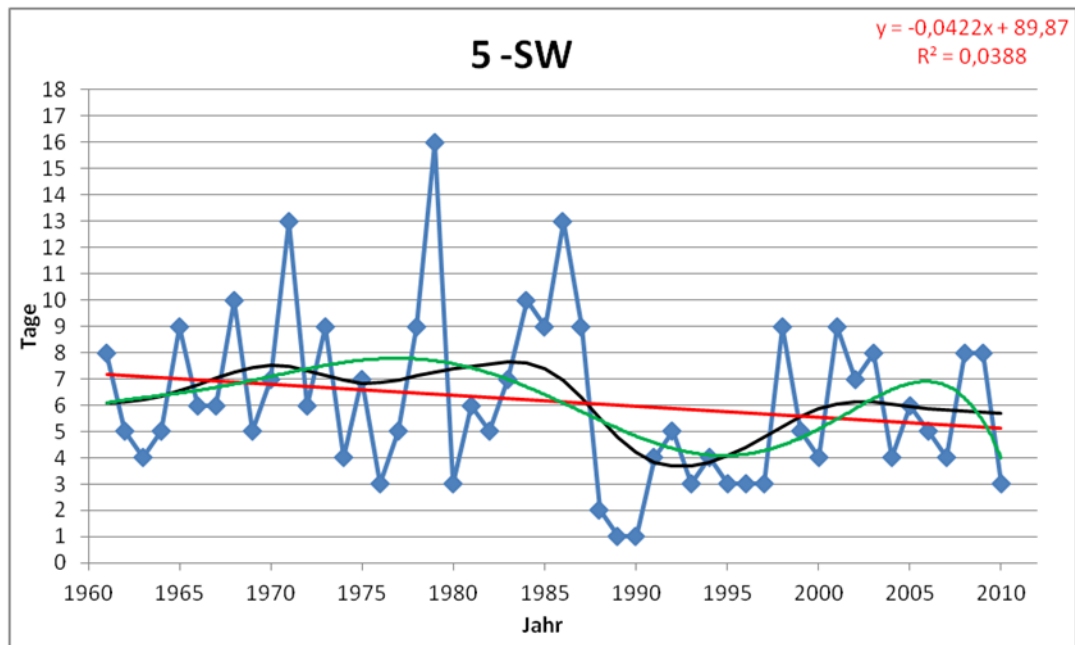


Abbildung 37: Südwestströmungslagen im Frühjahr in den Jahren 1961 bis 2010

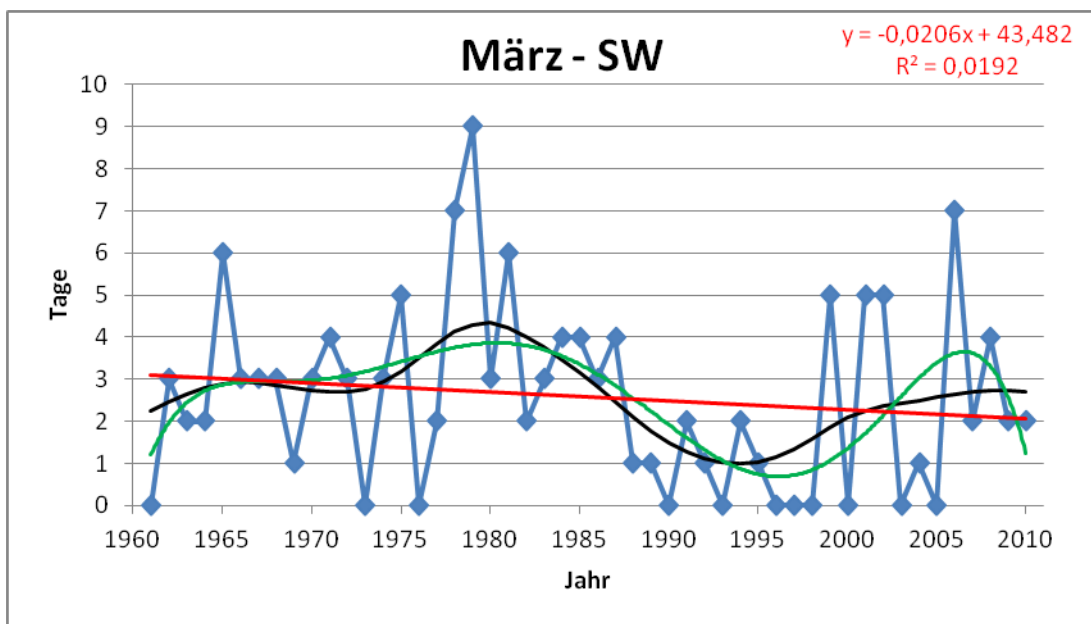


Abbildung 38: Südwestströmungslagen im März in den Jahren 1961 bis 2010

Auch bei der Betrachtung der einzelnen Monate ist der Rückgang der Tage mit Südwestströmung erkennbar. So trat im März vom 1990 bis 2005 achtmal kein einziger Tag mit Südwestströmung auf, also im Schnitt jedes zweite Jahr. Das Polynom 6. Grades sowie die Gauß-geglättete Kurve haben einen wellenförmigen Verlauf, dessen Wellental im Zeitraum von 1988 bis 1998 auftritt; dies stimmt mit dem oben genannten Zeitraum des Rückgangs überein. Seit 1999 wurde die Südwestlage im März wieder häufiger klassifiziert, aber dennoch

gab es zwei weitere Jahre, in denen diese Strömungsrichtung ausblieb; somit ist die negative Steigung der Regressionsgerade verständlich (siehe Abbildung 38).

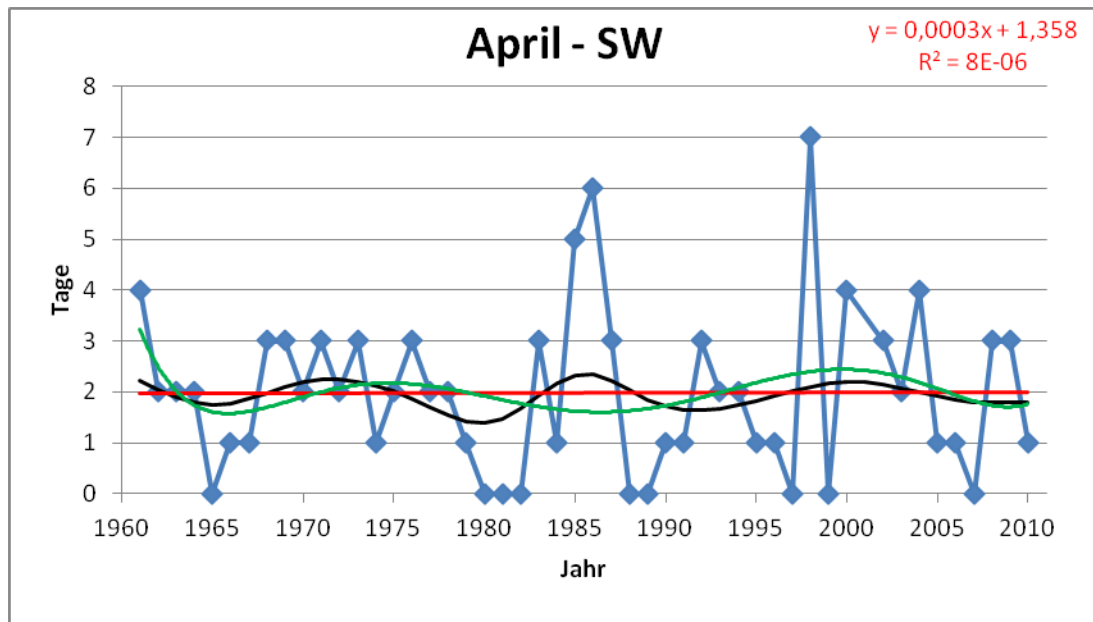


Abbildung 39: Südwestströmungslagen im April in den Jahren 1961 bis 2010

Im April (siehe Abbildung 39) verläuft die Regressionsgerade waagerecht: es ist zwar eine positive Steigung in der Geradengleichung angegeben, aber der Betrachter würde diese mit bloßem Auge kaum erkennen. Die Kurve des Polynom 6. Grades sowie die Gauß-geglättete Kurve zeigen einen wellenförmigen Verlauf mit sehr geringen Ausbuchtungen der Wellenberge und -täler, was für eine gleichmäßige Verteilung spricht.

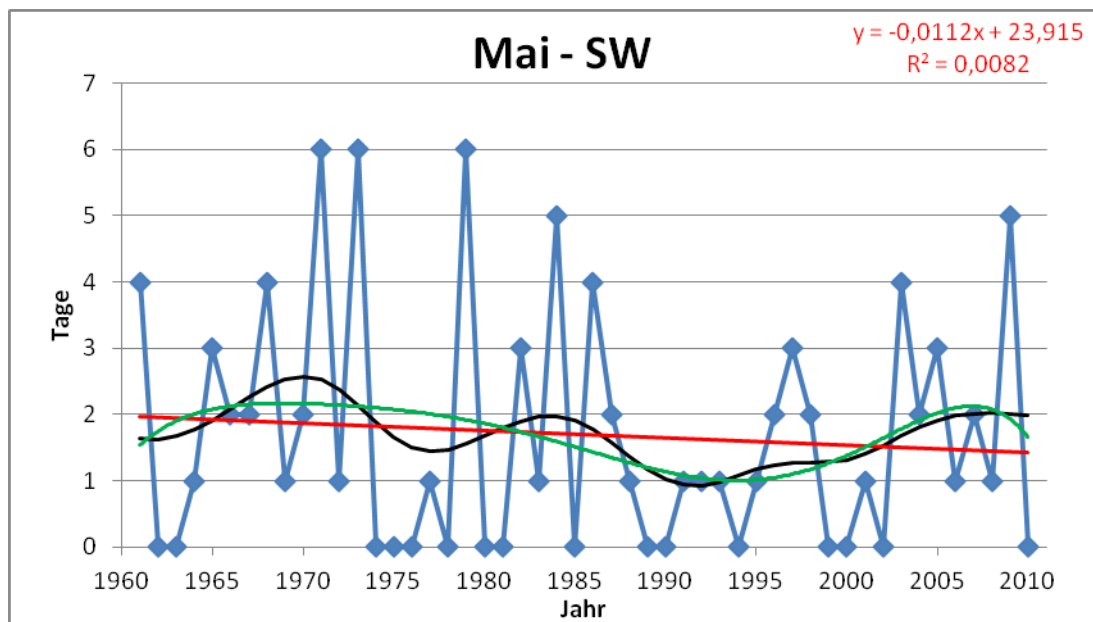


Abbildung 40: Südwestströmungslagen im Mai in den Jahren 1961 bis 2010

Auch der Mai weist eine negative Steigung und somit einen Rückgang der Anzahl der Tage mit Südwestströmung auf. In den Jahren 1971 bis 1979 wurde dreimal das Maximum an Südwestlagen für den Monat Mai erreicht. Von 1974 bis 2002 blieben 13 Jahre ohne diese Strömungsrichtung; das bedeutet, in den 29 Jahren des betrachteten Zeitraums wurde im Schnitt jedes 2,23-te Jahr ohne einen einzigen Tag mit Südwestlage klassifiziert. Seit 1996 zeichnet sich in dem Polynom 6. Grades wieder eine Zunahme der Anzahl der Tage ab, aber das Maximum wurde nicht noch einmal erreicht. In zwei von drei Frühlingsmonaten erkennt man eine negative Steigung und für diese Jahreszeit wird dadurch ein Rückgang wahrgenommen (siehe Abbildung 40).

Nun widmen wir uns den Sommermonaten, für die wir diese Untersuchung ebenfalls durchgeführt haben: Die Regressionsgerade mit einer Steigung von 0,0417 Tage/Jahr zeigt einen Anstieg der Tage mit Südwestströmung, auch wenn dieser nicht signifikant ist (siehe Tabelle 13). Das Polynom 6. Grades verläuft wellenförmig und symbolisiert damit, dass sich Perioden mit höherer und solche mit geringerer Anzahl an Südwesttagen abwechseln. Seit 1999 lässt sich ein kontinuierlicher Anstieg verzeichnen, wobei das Überschwingen am Ende der Kurve nicht relevant ist, da es sich dabei um die zuvor erwähnte Eigenart eines Polynoms höheren Grades handelt. Die geglättete schwarze Kurve stützt diese Aussage, obwohl ihre Wellenberge und -täler nicht exakt mit denen des Polynom 6. Grades übereinstimmen. Hier zeichnet sich seit 2006 ein erneuter Anstieg der Tage mit Südwestlage ab. Das Maximum der beobachteten 50 Jahre ergab mit 13 Tagen erst 2007, wobei der zweithöchste Wert mit elf Tagen im Jahr 2009 folgte. Nachdem die Spitzenwerte erst in jüngster Zeit erreicht wurden, lässt es sich vermuten, dass die Zunahme dieser Strömungslage im Moment immer noch in vollem Gange ist. In einem durchschnittlichen Sommer treten statistisch nur etwa vier Tage mit Südwestlage auf; auch wenn man die Streuung von 2,87 Tagen berücksichtigt, liegen die Maximalwerte weit darüber.

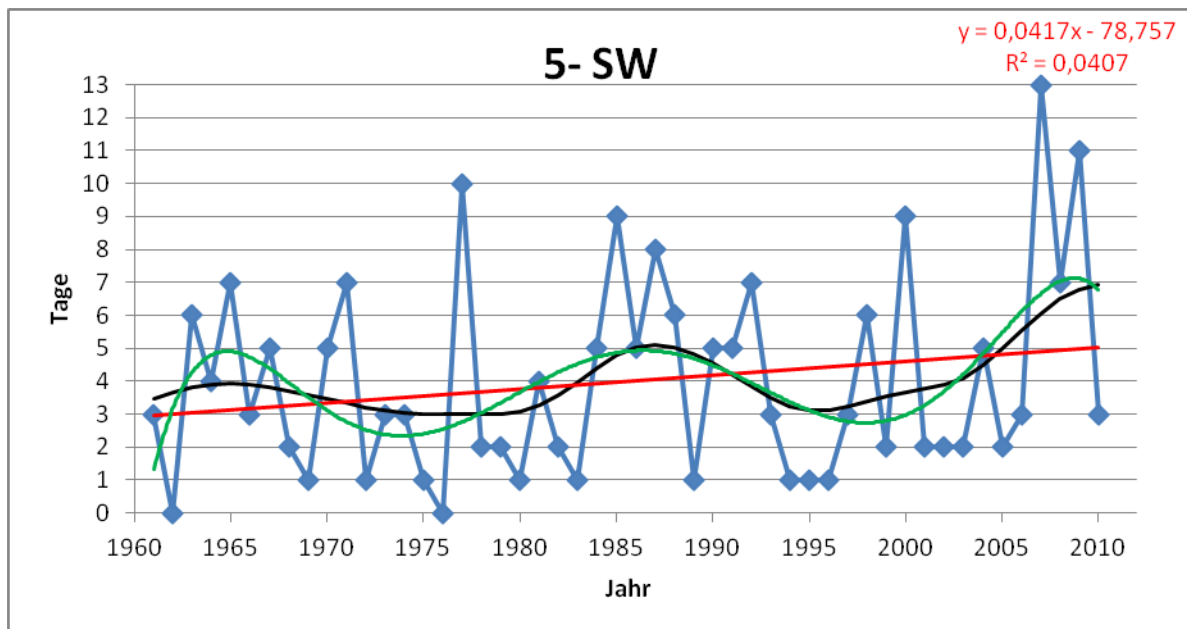


Abbildung 41: Südwestströmungslagen im Sommer in den Jahren 1961 bis 2010

Mit 10,78 Tagen treten im Herbst durchschnittlich die meisten Tage mit Südwestströmung auf. Die Streuung mit 2,80 Tagen hat etwa dieselbe Größenordnung wie bei den anderen drei Jahreszeiten. Von 2000 bis 2006 wurden die drei höchsten Anzahlen von Tagen mit Südwestströmung in den beobachteten 50 Jahren gefunden. Das Maximum mit 23 Tagen verzeichnet das Jahr 2000. Durch die hohen Werten in den letzten zehn Jahren erkennt man die Zunahme der Südwesttage im Herbst, was sich auch in der positiven Steigung von 0,0489 Tage/Jahr bemerkbar macht. 1978 ist das einzige Jahr, in dem Südwestlagen ausblieben. Sowohl die Gauß-geglättete Kurve, als auch die Kurve des Polynom 6.Grades zeigen in den letzten Jahren einen Anstieg, wobei das typische Überschwingen bei Polynomen höheren Grades wieder in die Auswertung mit einkalkuliert werden muss. Der F-Test liefert auch hier einen sehr geringen F-Wert, so dass das Ergebnis nicht signifikant ist.

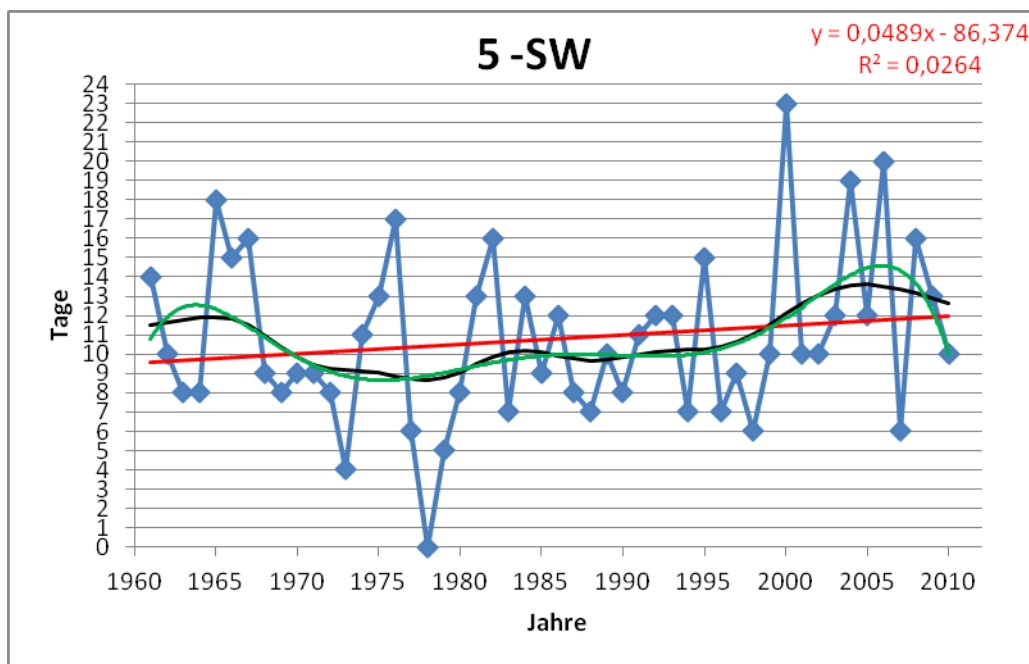


Abbildung 42: Südwestströmungslagen im Herbst in den Jahren 1961 bis 2010

	berechneter F-Wert
gesamte Jahre	0,156
Winter	0,069
Frühling	0,200
Sommer	0,205
Herbst	0,164

Tabelle 13: Berechnete F-Werte für Südwestlagen

Betrachteter Zeitraum	Streuung σ [Tage]	Mittelwert μ [Tage]
geamter Zeitraum	7,26	29,96
Winter	2,38	8,92
Frühling	2,82	6,16
Sommer	2,87	4,00
Herbst	2,80	10,78

Tabelle 14: Streuung und Mittelwert der Südwestlagen

Falls die beobachtete positive Trendentwicklung der Südwestlagen anhält, kann man darauf schließen, dass in den nächsten Jahren häufiger während der Sommermonate mit enormen Regenfluten wie im Juli 2012 zu rechnen ist. Damals haben sich die Regenmengen nur auf den Süden und Osten Österreichs ausgewirkt. Das Ausmaß der Regenfluten, die durch eine Südwestlage verursacht wurden, soll anhand der zwei nachfolgenden Abbildungen veranschaulicht werden:

Wetterstationen der ZAMG mit neuen Juli-Regenrekorden

Alle Regenmengen in Millimeter (entspricht Liter pro Quadratmeter), Stand 31.7.2012

Kärnten

Kanzelhöhe: Juli 2012 321mm, bisheriger Rekord 257mm im Jahr 1957, Station besteht seit 1938.

Fresach: Juli 2012 310mm, bisheriger Rekord 226mm im Jahr 1990, Station besteht seit 1967.

Mallnitz: Juli 2012 315mm, bisheriger Rekord 243mm im Jahr 2005, Station besteht seit 1895.

Arriach: Juli 2012 295mm, bisheriger Rekord 216mm im Jahr 1990, Station besteht seit 1990.

Pörschach: Juli 2012 291mm, bisheriger Rekord 211mm im Jahr 1998, Station besteht seit 1978.

Kötschach-Mauthen: Juli 2012 314mm, bisheriger Rekord 234mm im Jahr 1981, Station besteht seit 1979.

Obervellach: Juli 2012 297mm (wegen Messausfall nur vorläufige Abschätzung), bisheriger Rekord 209mm im Jahr 1991, Station besteht seit 1986.

Spittal/Drau: Juli 2012 270mm, bisheriger Rekord 222mm im Jahr 1993, Station besteht seit 1977.

St.Veit/Glan: Juli 2012 264mm, bisheriger Rekord 199mm im Jahr 1998, Station besteht seit 1968.

Steiermark

Oberwölz: Juli 2012 282mm, bisheriger Rekord 224mm im Jahr 1972, Station besteht seit 1927.

Seckau: Juli 2012 318mm (wegen Messausfall nur vorläufige Abschätzung), bisheriger Rekord 248mm im Jahr 2005, Station besteht seit 1891.

Weiz: Juli 2012 284mm, bisheriger Rekord 238mm im Jahr 1965, Station besteht seit 1936.

Neumarkt: Juli 2012 279mm, bisheriger Rekord 239mm im Jahr 2005, Station besteht seit 1972.

Zeltweg: Juli 2012 269mm, bisheriger Rekord 232mm im Jahr 1965, Station besteht seit 1939.

St. Michael ob Leoben: Juli 2012 253mm, bisheriger Rekord 227mm im Jahr 1989, Station besteht seit 1984.

Abbildung 43: Neue Juli-Regenrekorde in der Steiermark und Kärnten (Quelle: ZAMG, November 2012: [26])

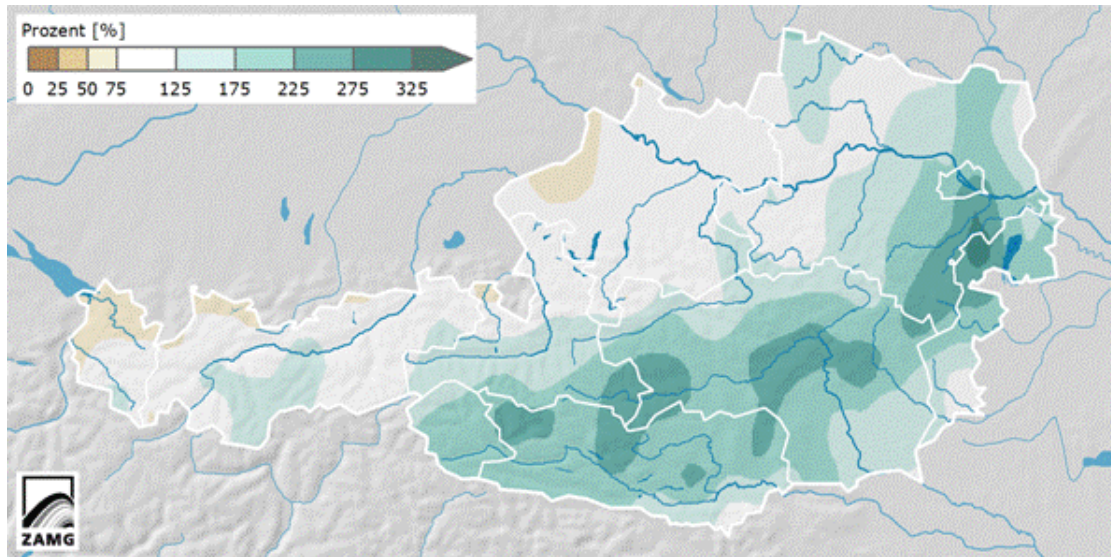


Abbildung 44: Niederschlagssummenabweichung für Juli 2012 (Quelle: ZAMG, November 2012: [27])

In Abbildung 44 zeichnen sich in ganz Österreich positive Niederschlagsabweichungen vom durchschnittlichen Junimittel ab. Wie bereits oben erwähnt, waren besonders die Bundesländer Wien, der östliche Teil Niederösterreichs, das Burgenland, die Steiermark und Kärnten betroffen. Mit einer Abweichung von mehr als 325% traf es die Eisenstadt-Umgebung am stärksten.

6.1.5 Zonale Strömungen

Anstatt die acht Richtungen einer Windrose einzeln zu betrachten, kann man diese auch in zwei Klassen, die zonalen und meridionalen Strömungen einteilen. Zunächst widmen wir uns den zonalen Strömungen und deren Entwicklung in den letzten 50 Jahren.

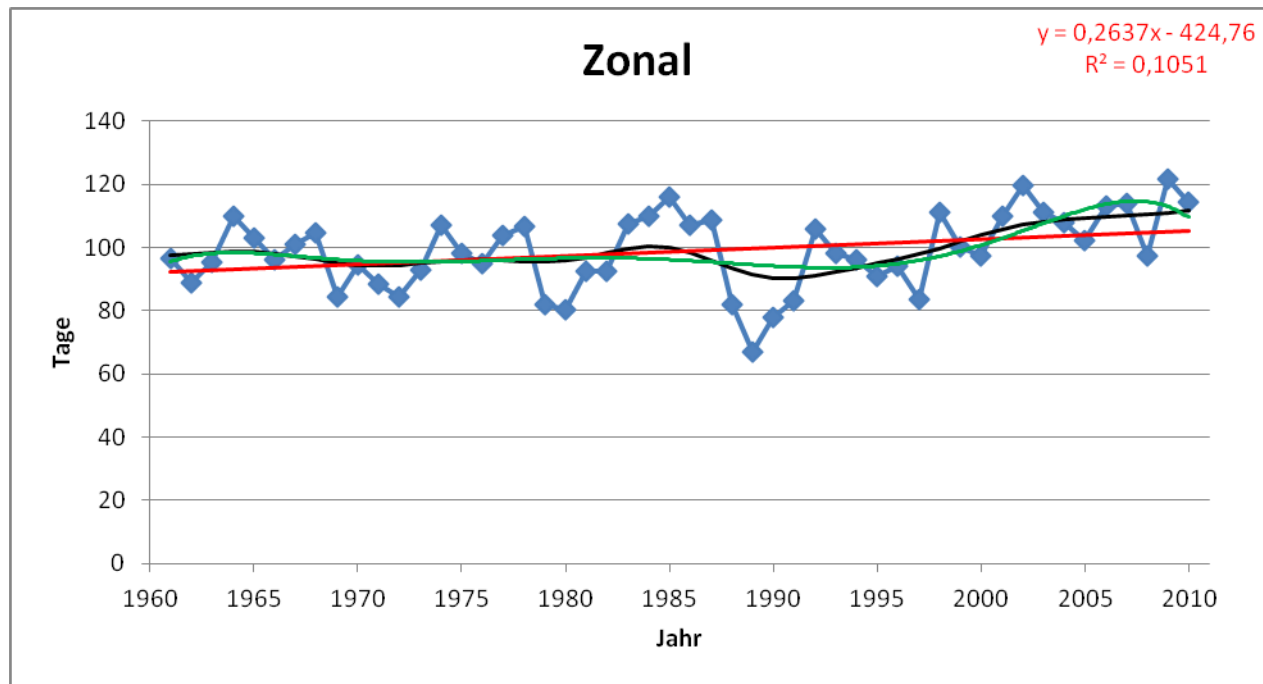


Abbildung 45: Zonale Strömung in den Jahren 1961 bis 2010

Wirft man einen Blick auf die Steigung der Regressionsgerade (0,2637 Tage/Jahr) würde man eine Zunahme der zonalen Strömungen erwarten, aber deren F-Wert liegt mit 0,336 weit unter dem F_{krit} -Wert von 4,035, so dass das Ergebnis nicht signifikant ist. Von 1980 bis 2000 lag die Kurve des Polynoms 6. Grades unterhalb der Regressionsgerade. Seit 2000 befindet sie sich jedoch wieder oberhalb, was die These stützt, dass in den letzten Jahren die Anzahl der Tage mit zonaler Strömung zugenommen hat. Bei der Analyse der mit Hilfe des Gaußfilters geglätteten Kurve erkennt man, dass sich diese abwechselnd ein Stück oberhalb bzw. unterhalb der Regressionsgerade befindet, aber seit 2001 nur noch oberhalb liegt und weiter ansteigt. Diese Tatsache verdeutlicht zusätzlich die positive Trendentwicklung. 1989 trat das Minimum an Tagen mit zonaler Strömung auf, wobei nur 67 Tage verzeichnet wurden. Mit 121,5 Tagen lag das Maximum im Jahr 2009. Im Durchschnitt klassifiziert man 98,91 Tage pro Jahr, an denen die zonale Strömung dominiert.

Maximum [Tage]	121,50
Minimum [Tage]	67,00
Mittelmittelwert [Tage]	98,91

Tabelle 15: Maximale, minimale und mittlere Werte der zonalen Strömung von 1961 bis 2010

Durch die Beobachtungen der Ankunftszeit von Zugvögeln hat man Untersuchungen

in die Wege geleitet, welche die Zusammenhänge zwischen den bodennahen Strömungen des Windvektors und dem NAO-Signal prüfen sollen. Man gelangte zu dem Ergebnis, dass nördlich von 40° nördlicher Breite (in diesem Bereich liegt Österreich mit 47° 20' N) vermehrt Südwestströmungen auftreten. (Nach Hense, Glowienka-Hense, 2008: [28]) Somit wurde bereits ein Zusammenhang erkannt, der Anlass für die nachfolgenden Untersuchungen in dieser Arbeit gibt:

“Verschiedene NAO-Indizes werden meistens nur für den Winter präsentiert. Untersuchungen des Luftdruckverhaltens über dem Nordatlantik bzw. der NAO für den Sommer sind selten, da die Relevanz und Ausprägung der NAO in dieser Zeit deutlich reduziert sind.” (Leckebusch et al, 2008: [30]) Deshalb wird nachfolgend (Abbildung 46) nur die zonale Winterströmung betrachtet, um diese mit dem NAO-Index (siehe Abbildung 47) in Verbindung zu bringen.

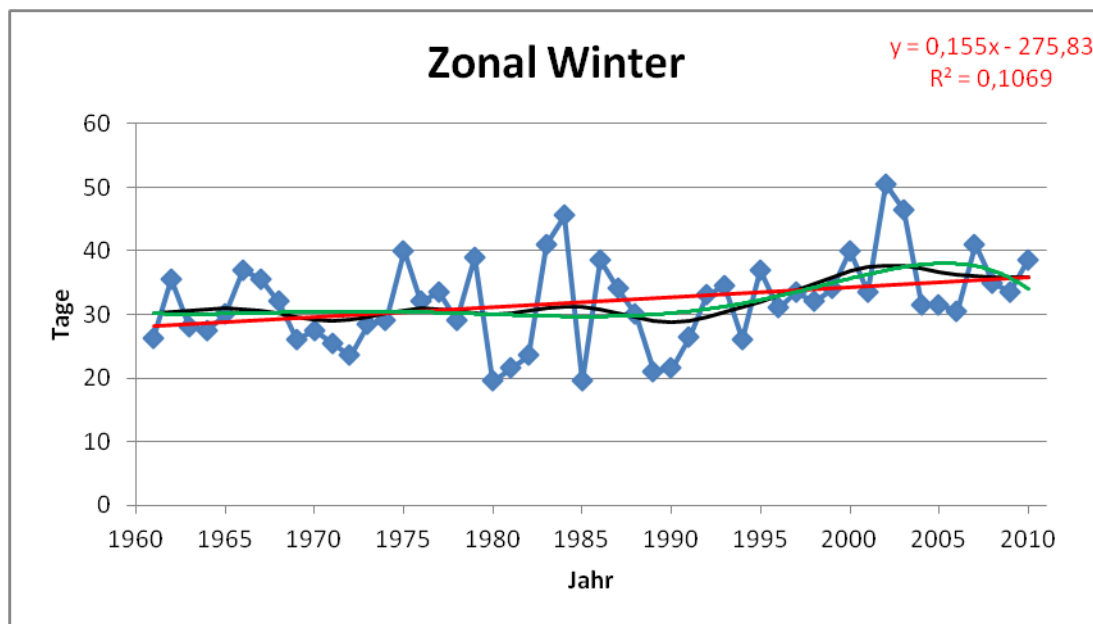


Abbildung 46: Zonale Strömung im Winter (Dezember bis Februar) von 1961 bis 2010

Vergleicht man Abbildung 46 mit Abbildung 45, stellt man fest, dass die Kurven einen ähnlichen Verlauf haben. Die Minima mit 19,5 Tagen wurden stets in Jahren mit negativem NAO-Index erreicht, wobei 1980 ein stark negatives, 1985 dagegen ein nur leicht negatives Jahr war. Umgekehrt verhält es sich mit dem Maximum, das mit 50,5 Tagen im Jahr 2002 auftrat, als auch der NAO-Index positiv war. Diese Tatsache lässt vermuten, dass positive NAO Indexwerte das Auftreten von zonalen Strömungen begünstigen, wohingegen negative Werte für eine Abschwächung im Vergleich zum Durchschnitt (32,01 Tage) sorgen. Die Standardabweichung in den Monaten Dezember bis Februar beträgt 11,86 Tage (siehe Abbildung [29]).

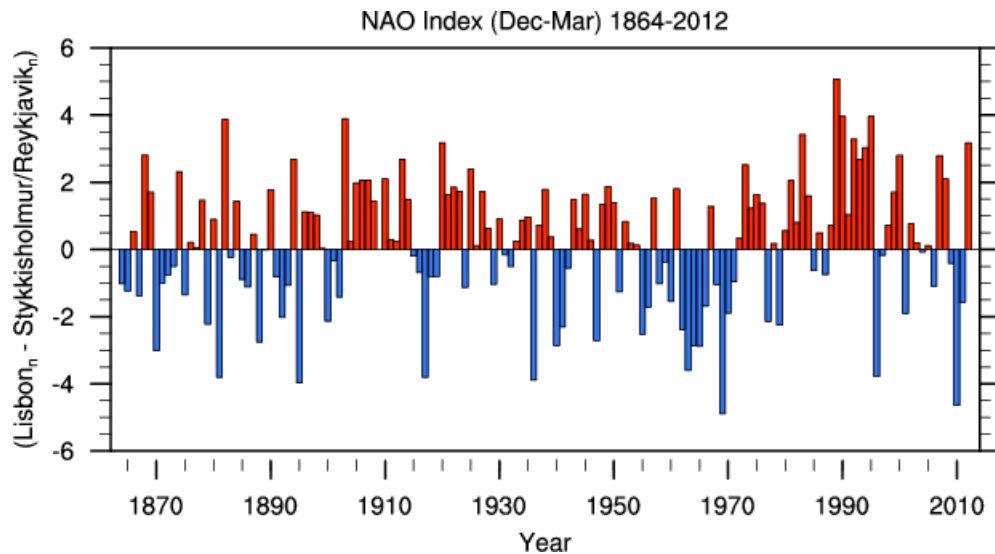


Abbildung 47: NAO-Index von 1864 bis 2012 (Quelle: UCAR; Dezember 2012: [29])

Der in der obigen Abbildung verwendete NAO-Index berechnet sich aus der standardisierten Luftdruckdifferenz zwischen zwei festen Punkten (Reykjavik und Azoren bzw. Lissabon). Für die Wintermonate bedeutet ein positiver NAO-Index, der als Indikator für die Stärke der westlichen Strömung von West- über Zentral- bis Nordeuropa dient, eine verstärkte westliche Strömung, die milderes Winterwetter nach Europa bringt. Diese vermehrten Westströmungen lassen die Tage mit zonaler Strömung deutlich ansteigen (nach Leckebusch G. C., Kapala A., Mächtel H., Pinto J. G., Reyers M., 2008: [30]).

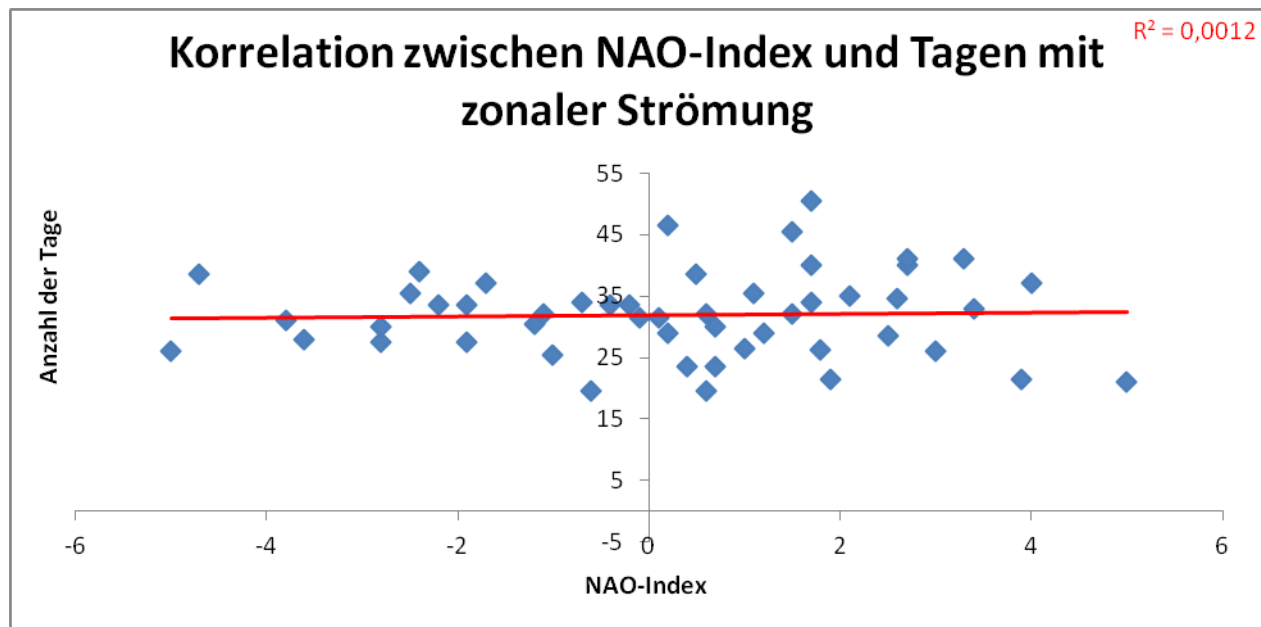


Abbildung 48: Korrelation zwischen NAO-Index und Tagen mit zonaler Strömung

In Abbildung 48 wurde darauf geprüft, ob eine Korrelation zwischen einem positiven NAO-Index und vermehrten Tagen mit zonaler Strömung besteht. Schon das Bestimmtheitsmaß besagt, dass nur 0,12 % linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Größen besteht. Der Korrelationskoeffizient mit 0,03, welcher nahe Null liegt und somit für keine Korrelation spricht, bestätigt, dass kein linearer Zusammenhang zwischen einem positiven NAO-Index und vermehrten Tagen mit zonaler Strömung nachzuweisen ist. Somit kann die These nicht bestätigt werden, dass ein positiver NAO-Index zu einem deutlichen Anstieg der Tage mit zonaler Strömung führt.

6.1.6 Meridionale Strömungen

Nicht nur die zonalen Strömungen, sondern auch die meridionalen haben in den letzten Jahren einen Anstieg zu verzeichnen. Die Steigung der Regressionsgerade beträgt 0,225 Tage/Jahr. Die zonalen Strömungen treten jedoch noch häufiger auf, was durch die Lage in der Westwindzone und der damit verbundenen häufigen Erscheinung der Westlagen (SW, W, NW) verständlich wird. Die Ostlagen (NE, E, SE) tragen ebenfalls ihren Teil dazu bei, dass die zonalen Lagen dominieren. Es hat sich herausgestellt, dass Ostlagen häufiger auftreten, als Nord- bzw. Südlagen. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass langanhaltende Strömungen meist zonal geprägt sind, während die meridionalen Strömungen häufig nur kurzzeitig in Verbindung mit Frontdurchgängen auftreten. Durch den damit verbundenen Windsprung werden diese Tage der Klasse “variabel” zugeordnet (nach Steinacker, 1991: [1]).

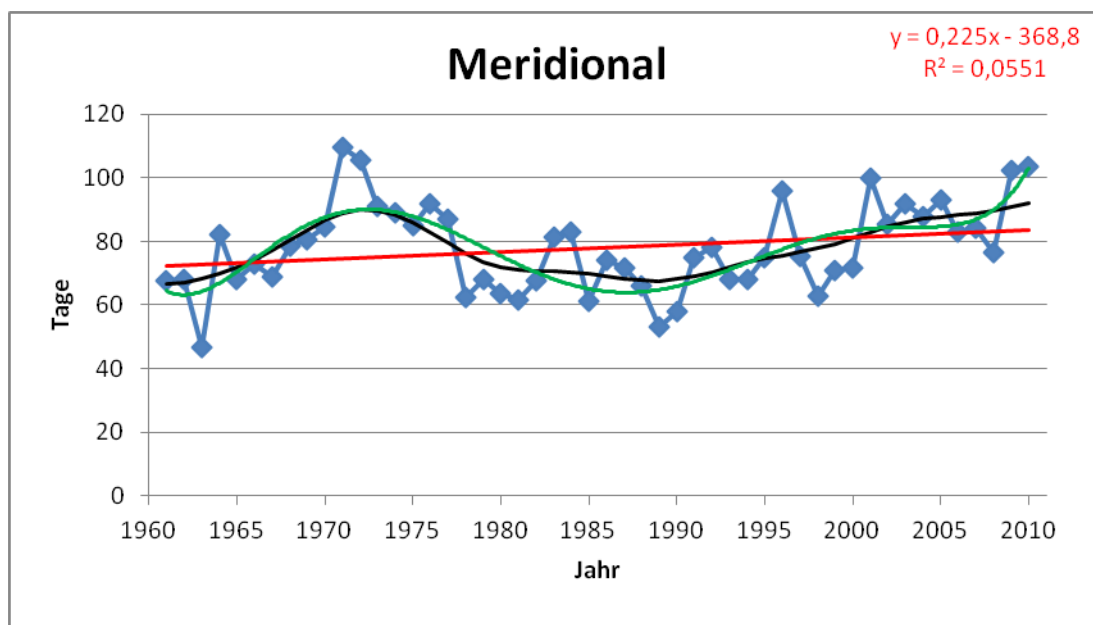


Abbildung 49: Meridionale Strömungen in den Jahren 1961 bis 2010

Neben der Regressionsgerade werden weitere Kurven betrachtet, um eine Aussage über das Trendverhalten der meridionalen Strömungen von 1961 bis 2010 treffen zu können. Von 1974 bis 1987 zeichnet sich in der Trendlinie des Polynom 6. Grades eine Abnahme dieser Strömungen ab. Jedoch ab 1988 bis zum Ende der Datenreihe kann man wieder eine Zunahme der meridionalen Tage beobachten. Die mit Hilfe des Gaußfilters geglättete Kurve zeigt ein ähnliches Verhalten, wobei hier der Rückgang ein wenig zeitversetzt eintritt, nämlich von 1975 bis 1990. Seitdem ist auch in dieser Kurve ein Anstieg an Tagen mit meridionaler Strömung zu verzeichnen. Alle drei betrachteten Kurven führen uns zu dem einheitlichen Ergebnis, dass wir uns momentan in einer Phase der Zunahme befinden. Jedoch liegt der berechnete F -Wert mit 0,239 weit unter dem F_{krit} -Wert und somit ist keine zuverlässige Trendaussage möglich, da keine Signifikanz vorliegt (siehe Abbildung 49).

Die Streuung, die Maximal- und Minimalwerte können aus Tabelle 16 entnommen werden.

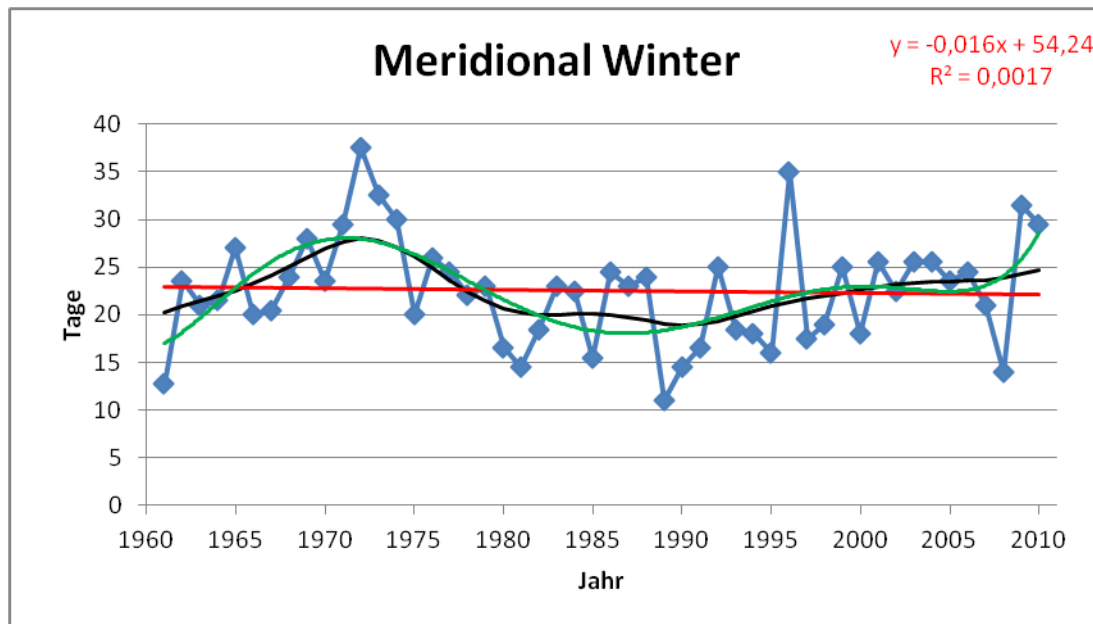


Abbildung 50: Meridionale Strömung im Winter (Dezember bis Februar) von 1961 bis 2010

Maximum [Tage]	109,50
Minimum [Tage]	46,50
Mittelmittelwert [Tage]	77,93

Tabelle 16: Maximale, minimale und mittlere Werte der meridionalen Strömung von 1961 bis 2010

Leckebusch et al behaupten: “Mit negativen Index- Werten wird dagegen eine meridionaler ausgerichtete Strömung beschrieben” (Leckebusch G. C., Kapala A., Mächtel H., Pinto J. G., Reyers M., 2008: [30]). Aufgrund dieser Aussage wird nachfolgend geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen einem negativen NAO-Index und dem Auftreten von vermehrten meridionalen Strömungen besteht.

Für die Untersuchungen wird auch hier wieder das Winterdiagramm (Abbildung 50) herangezogen, da sich in den Wintermonaten der Einfluss des NAO-Index am stärksten und deutlichsten bemerkbar macht. Mit 37,5 Tagen wurde 1972 das Maximum an Tagen mit meridionaler Strömung erreicht, wobei der NAO-Index zu dieser Zeit -1 betrug. Dies ist zwar ein negativer Wert, der das Auftreten von meridionalen Strömungen begünstigt, er ist jedoch nicht besonders “stark” negativ. Aus diesem Grund nehmen wir zusätzlich das Jahr 1996 mit 35 Tagen meridionaler Strömung als zweit höchste Anzahl in unsere Betrachtungen mit auf. Für dieses Jahr wurde ein Index von -3,5 errechnet, was die These von Leckebusch bestätigt. Negative NAO-Werte begünstigen das Auftreten meridionaler Strömungen, aber wie die beiden angeführten Beispiele belegen, besteht kein proportionaler Zusammenhang zwischen der Stärke des NAO-Indizes und Anzahl der Tage.

Die Gegenseite soll auch geprüft werden, nämlich ob im Umkehrschluss positive NAO-Werte das Auftreten von meridionalen Lagen bremsen. 1989 trat das Minimum mit elf Tagen und einem Indexwert von +0,5 auf. Dieser Wert ist nicht auffällig hoch, so dass auch hier

ein zweites Beispiel hinzugezogen wird: Die zweit niedrigste Anzahl mit 14 Tagen wurde 2008 festgestellt; zu diesem Zeitpunkt lag der NAO-Index bei +2. Das bringt uns zu dem gleichen Resultat wie oben: Negative Werte des NAO-Index begünstigen das Auftreten von meridionalen Lagen, wohingegen positive Werte dieses bremsen, und von der Intensität des NAO-Index kann nicht auf die Intensität der meridionalen Strömung an den betrachteten Tagen geschlossen werden.

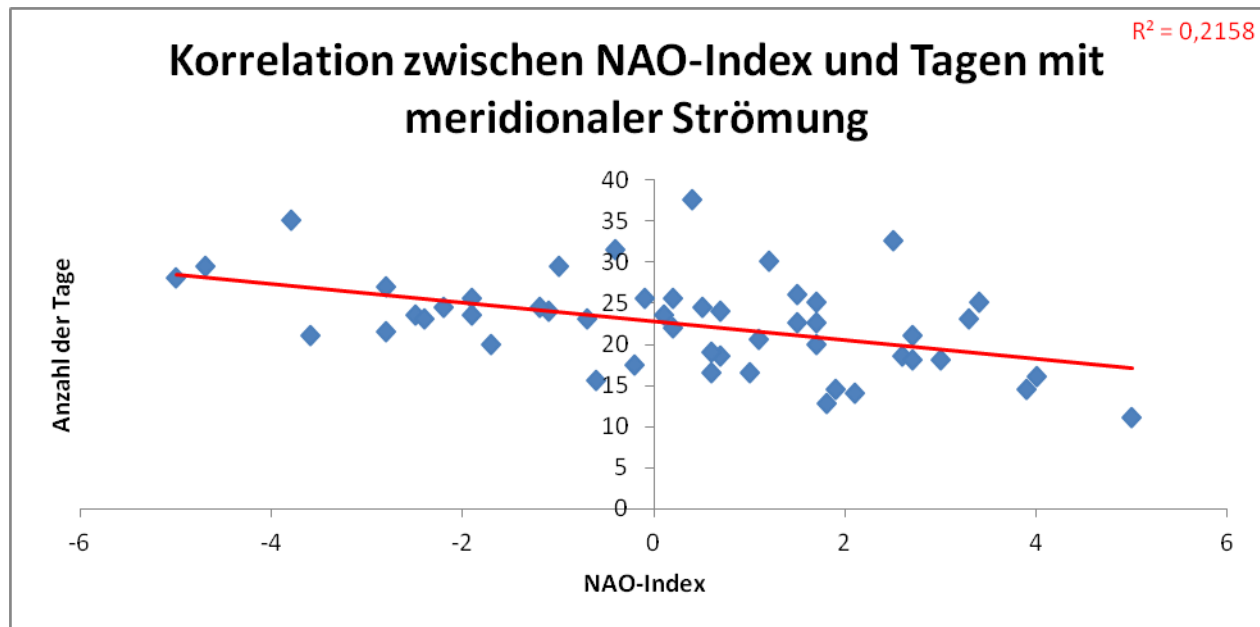


Abbildung 51: Korrelation zwischen NAO-Index und Tagen mit meridionaler Strömung

Die obige Aussage, dass negative NAO-Indexe das Auftreten von meridionalen Strömungen begünstigen, wird in Abbildung 51 graphisch veranschaulicht. Das Bestimmtheitsmaß besagt, dass in 21,58% ein linearer Zusammenhang zwischen negativen NAO-Index und der Anzahl der Tage mit meridionaler Strömung besteht. Der berechnete Korrelationskoeffizient ist -0,46, was für eine schwache negative Korrelation spricht. Unter negativer Korrelation versteht man, je größer der NAO-Index ist, umso weniger Tage mit meridionaler Strömung treten auf oder im Umkehrschluss, je geringer (negativer) der NAO-Index ist, desto mehr Tage mit meridionaler Strömung werden verzeichnet. Durch das Aufzeigen einer Korrelation ist die These von Leckebusch belegt.

In den letzten beiden Kapiteln wurde gezeigt, dass sowohl die zonalen als auch die meridionalen Strömungen zunehmen. Dahingegen nehmen die variablen und gradientschwachen Lagen, mit einer Steigung der Regressionsgeraden von -0,1259 (V) und -0,3623 (H) ab. Die zonalen und meridionalen Lagen nehmen also auf Kosten der variablen und gradientschwachen Strömungen zu; somit ist das Ergebnis schlüssig.

6.2 Analyse der Stärke des Westwinds

Auf den ersten Blick treten in Abbildung 52 nur Jahre auf, in denen die Westwinde dominieren. Man spricht von der Dominanz der Westwinde, wenn die Differenz der Tage von Westwinden und der Ostwindtage einen positiven Wert liefert. Dieses Ergebnis ist nicht weiter verwunderlich, da sich Österreich in der Westwindzone befindet. Das einzige Jahr, in dem die Ostwinde dominierten, ist 1997. Im Mittel treten 35,15 Tage mehr mit westlicher Strömungsrichtung auf als Ostlagen. Diese Angaben schwanken von Jahr zu Jahr sehr, da eine Streuung von 19,75 Tagen errechnet wurde. Die Regressionsgerade deutet mit einer Steigung von 0,0879 Tage/Jahr eine leichte Zunahme der Stärke der Westwinde an. Von 1980 in 1996 zeichnet sich in der Kurve des Polynom 6. Grades eine Abnahme der Westwindtage ab. Seit dieser Periode gewinnen die Westwinde wieder an Dominanz, wobei ab 2005 das typische Überschwingen von Polynomen höheren Grades vernachlässigt wurde. Auch die Gauß-geglättete Kurve zeigt durch kleine Wellenberge und -täler die Variabilität der Westwinde, wobei diese Veränderungen an Tagen mit Westwinddominanz stets auf einem hohen Niveau stattfinden.

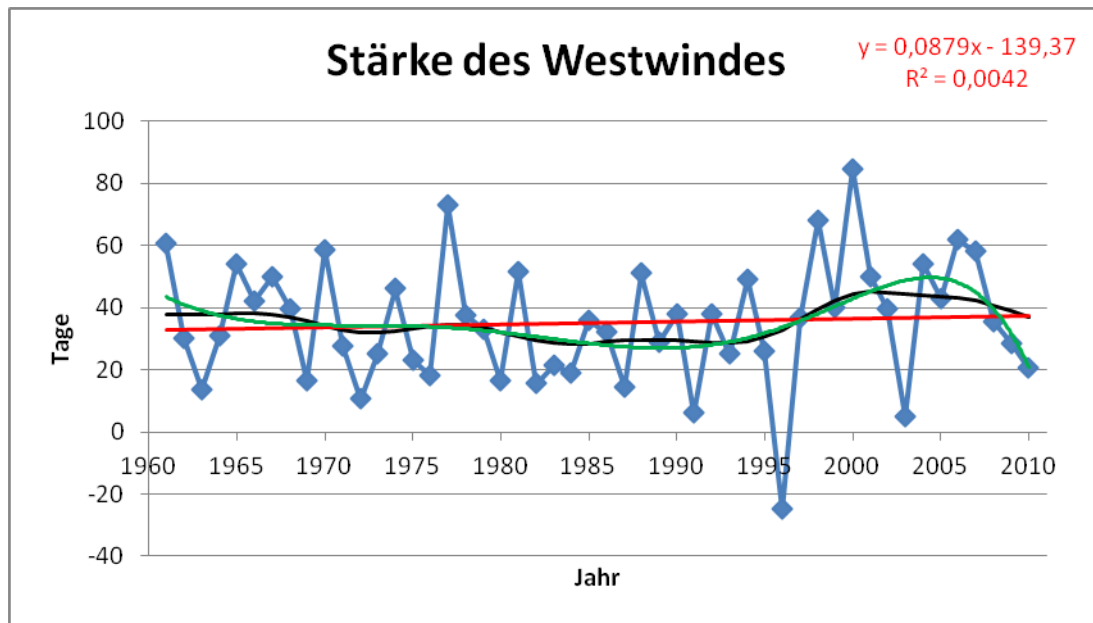


Abbildung 52: Die Stärke des Westwindes in den Jahren 1961 bis 2010

Um die Dominanz der Westwinde in Zusammenhang mit dem Klimaphänomen El Niño / La Niña zu bringen, wird der Southern Oscillation Index (SOI) eingeführt. Der SOI beschreibt die Druckdifferenz zwischen Tahiti und Darwin. Bei einem El Niño Ereignis nimmt der SOI wegen des unterdurchschnittlichen Drucks über Tahiti und des höheren Drucks über Darwin negative Werte an. Bei Phasen von La Niña drehen sich die Druckverhältnisse um und der SOI ist positiv. Ursprünglich wurde SOI eingeführt, um ein Maß für die südlichen Schwankungen zu haben; da diese Schwankungen eng in Verbindung mit Effekten nach El Niño stehen, spricht man häufig vom ENSO-Phänomen (El Niño Southern Oscillation) (nach Max Planck Institute for Chemistry-Atmospheric Chemistry Department, Dezember 2012: [31]).

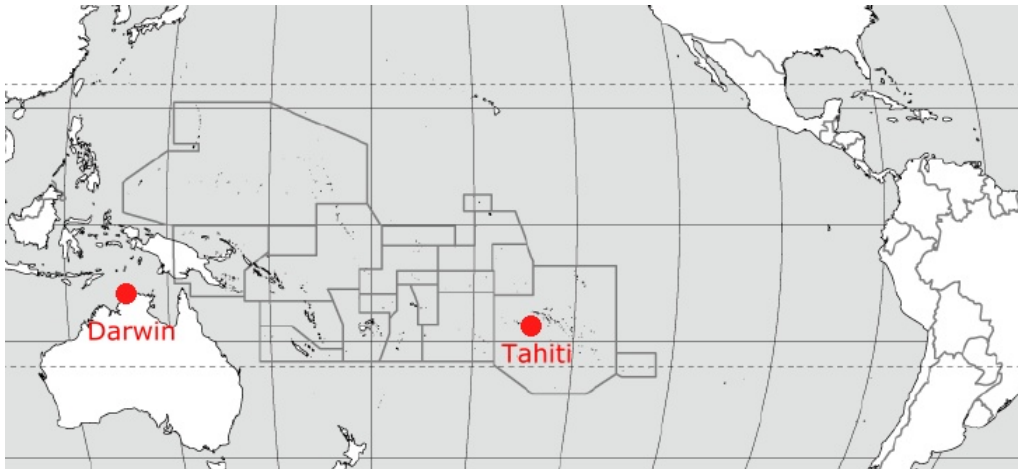


Abbildung 53: Karte des Südpazifik mit Darwin in Australien und der Insel Tahiti (Quelle: Max Planck Institute for Chemistry Atmospheric Chemistry Department, Dezember 2012: [31])

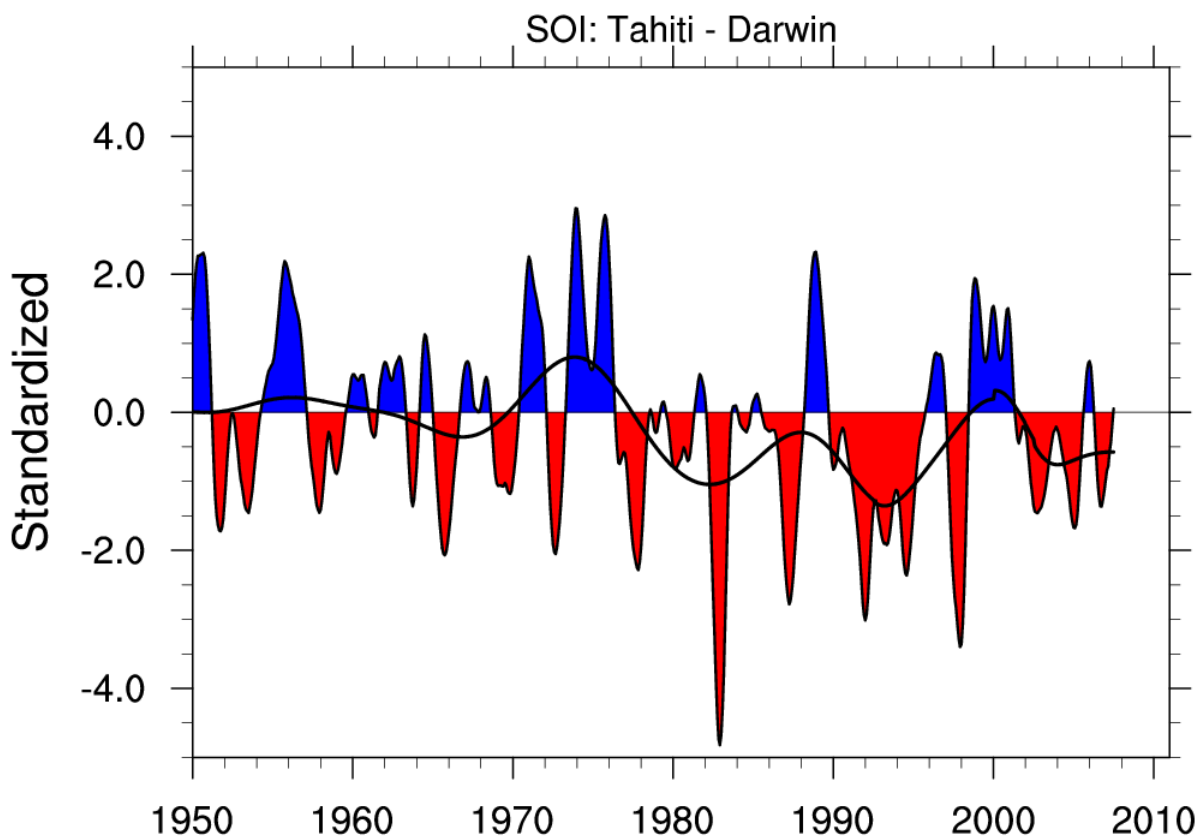


Abbildung 54: SOI von 1950 bis 2007 (Quelle: Max Planck Institute for Chemistry Atmospheric Chemistry Department, Dezember 2012: [31])

Betrachtet man Abbildung 52, 54 und 55 zusammen, lassen sich durchaus Parallelen erkennen: Man könnte vermuten, dass die Auswirkungen umso stärker sind, je weiter der SOI-Wert im Negativen liegt. Für 1982 wurde ein SOI von knapp -5 errechnet und bis zum Jahr 1997/98 wurde dieser mit einer Stärke von 20 als El Niño des Jahrhunderts bezeichnet. Dieses Verhalten lässt sich aber nicht auf die Dominanz der Westwinde übertragen, denn 1991 war das dritt schwächste Jahr der Westwinde und es traten nur sechs Tage mehr mit Westströmung als mit Ostströmung auf. Mit Stärke 10 war dieses Jahr jedoch nur halb so stark wie 1982. Mit einem SOI von -3,5 wurde das Jahr 1997/98 zum neuen El Niño des Jahrhunderts erklärt. Die quantitativen Werte der Auswirkungsstärke sind in der Tabelle von Abbildung 55 leider nur bis 1991 erfasst, so dass uns der Spitzenwert von 1997/98, der deutlich über 20 liegen muss, nicht zur Verfügung steht. Die weltweiten Auswirkungen übertrafen die Schäden von 1982 und das, obwohl der SOI-Wert 1982 weiter im Negativen gelegen hatte. Durch seine starken Folgen schaffte es der El Niño von 1997/98 als einziger unserer 50 jährigen Beobachtungsreihe, dass die Ostwinde dominierten: Es traten 25 Tage mehr mit Ostwinden als mit Westströmung auf. Dahingegen hat der zweit stärkste El Niño von 1882 mit 15,5 Tagen mehr West- als Ostströmungen eine starke Westwinddominanz. Das Ereignis von 1991 war mit sechs Tagen und der viel geringeren Stärke 10 als der El Niño von 1982 stärker vom Ostwindeneinfluss geprägt. Die eben beschriebenen Tatsachen sind in Tabelle 17 zusammengefasst. Für das Jahr 1997/98 ist kein Wert für die El Niño Stärke bekannt. Aus den Beobachtungen geht hervor, dass der SOI, die Stärke der verschiedenen Ereignisse nach El Niño und die Dominanz der Westwinde eng miteinander in Verbindung stehen, jedoch kein proportionaler Zusammenhang erkennbar ist.

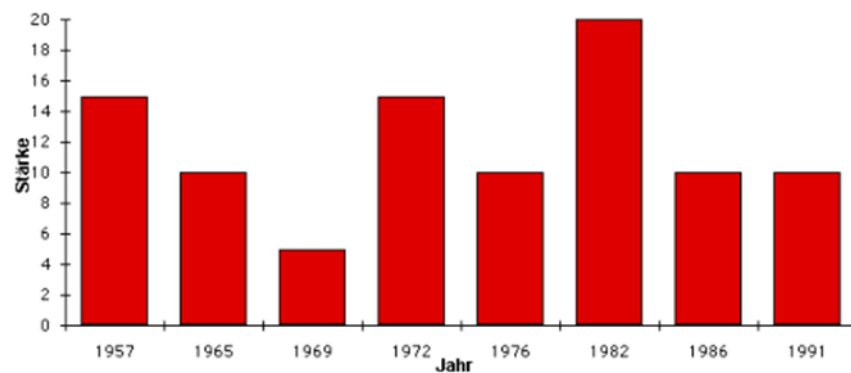


Abbildung 55: Die Stärke der verschiedenen Ereignisse nach El Niño (Quelle: Schultreff, Dezember 2012: [32])

	1982	1991	1997/98
El Niño	20,0	10,0	?
SOI	-5,0	-3,0	-3,5
Westwinddominanz	15,5	6,0	-25,0

Tabelle 17: Zusammenfassung El Niño, SOI und Westwinddominanz

In Abbildung 56 wird noch einmal graphisch veranschaulicht, dass kein Zusammenhang zwischen dem SOI und der Westwinddominanz besteht. Nur zu 1,97% besteht ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Größen, dieser Wert liegt nahe Null, dass man auf keinen linearen Zusammenhang schließen kann. Mit -0,14 deutet der Korrelationskoeffizient eine negative Korrelation an, was für die These sprechen würde, je negativer der SOI desto größer ist die Westwinddominanz. Aber nachdem der Korrelationskoeffizient fast Null ist, liegt keine Korrelation vor, deshalb muss die These verworfen werden.

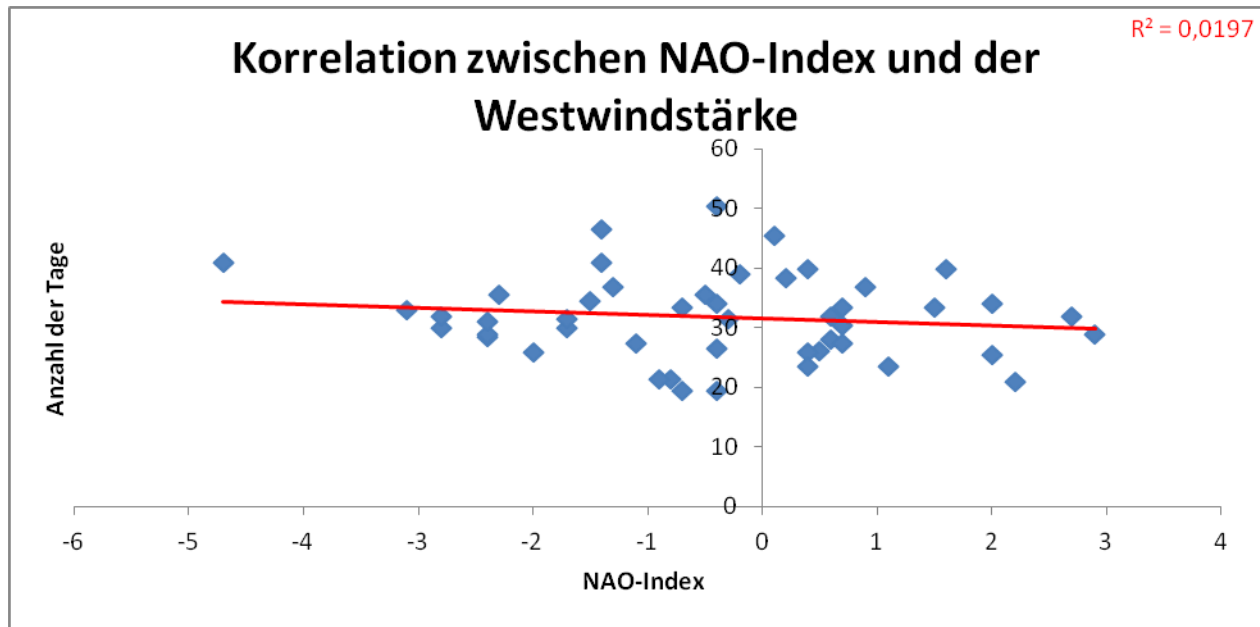


Abbildung 56: Korrelation zwischen NAO-Index und der Westwindstärke

6.3 Auswertung der längsten Dauer einer Strömungslage

Nachdem bereits einige Strömungsklassen separat betrachtet wurden, widmen wir uns nun der längsten durchgehenden Dauer der verschiedenen Klassen.

Strömungslage	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Längste Periode [Tagen]	18	5	7	8	6	12	8	8	7	8
Zeitraum	23.1.-9.2.1989	4.5-8.5.1987	12.2.18.2.1984	20.1.-27.1.1996	9.1.-14.1.1996	28.11.-9.12.2000	25.1.-1.2.2002	10.-17.12.1971	12.-18.10.2009	11.-18.7.1981
		20.9-24.9.2008						13.-20.3.1998		18.-25-4.1990
								6.-13-11-2007		17.-24-5-1994
										27.4.-4.5.1996
										1.10.-8.10.1998
										3.8.-10.8.1999

Tabelle 18: Längste Abfolge der zehn Strömungslagen von 1961 bis 2010

Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Die längste durchgehende Abfolge von gradientschwachen Tagen trat vom 23.1.1989 bis 8.2.1989 auf. Es ist nicht ungewöhnlich, dass sich gradientschwache Strömungen v.a. in den Wintermonaten - den sogenannten Kältehochs - über einen längeren Zeitraum erstrecken. Für diese 18 Tage war jedoch eine Omegalage über Europa verantwortlich. Darunter versteht man eine Wetterlage die von einem stark ausgeprägten Hochdruckgebiet charakterisiert ist, zu dessen rechter und linker Seite sich Höhentiefs befinden. In dieser Konstellation blockieren sich die Druckgebilde gegenseitig in ihrer Westdrift; somit sind solche Lagen sehr stabil und können über einen längeren Zeitraum das Wettergeschehen beeinflussen. Abbildung 57 zeigt phasenweise die Großwetterlage über Europa während der 18-tägigen gradientschwachen Strömungslage. Österreich befand sich während dieser Periode größtenteils im Bereich des höchsten Drucks, was die Klassifikationseinteilung verständlich macht. Erst ab dem 8.2.1989 löste sich die Omegalage langsam auf und somit verlor auch das Hochdruckgebilde über Österreich seine Intensität und war nicht mehr für die Strömungsrichtung im Ostalpenraum verantwortlich.

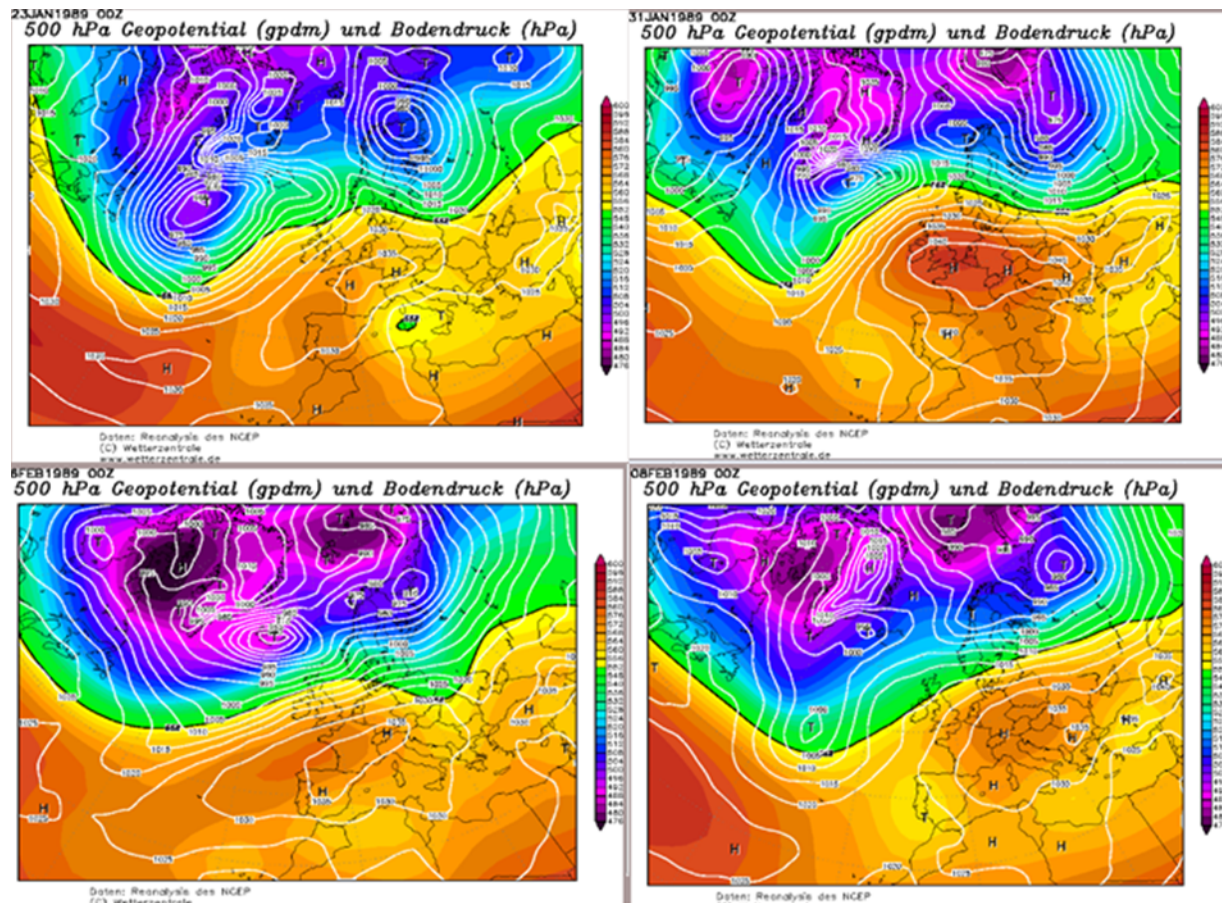


Abbildung 57: 500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa) vom 23.1., 31.1., 6.2. und 8.2.1989 (Quelle: Wetterzentrale, Dezember 2012: [33])

Die Klasse “NE” trat mit maximal fünf Tagen von allen Klassen am seltensten auf. Das Maximum von fünf Tagen wurde in zwei unterschiedlichen Jahren (1987 und 2008) erreicht; da die Maxima sowohl im Mai als auch im September auftraten, kann man das vermehrte Auftreten mit keiner Jahreszeit in Verbindung bringen.

Im Zeitraum vom 12.2. bis 18.2.1984 wurde das Maximum an aufeinanderfolgenden Tagen mit Ostströmung erreicht. Mittel- und Osteuropa wurden zu dieser Zeit von einem Hochdruckgebiet dominiert, dessen antizyklonale Anströmung kann als Auslöser für die Strömungslage gesehen werden.

Die Südostströmungen im Winter über Österreich bringt man meistens in Zusammenhang mit Hochnebel in Wien. Das Besondere an dieser Wetterlage ist, dass Nebel normalerweise mit Windstille verbunden ist - außer im Wiener Becken, wenn von der ungarischen Tiefebene angesammelte Kaltluft gegen den Wiener Raum transportiert wird. Die Strömungsrichtung wird von der Vorderseite eines Tiefdruckgebietes angeregt. Somit verwundert es nicht weiter, dass die längste Periode der Südostströmung im Winter aufgetreten ist.

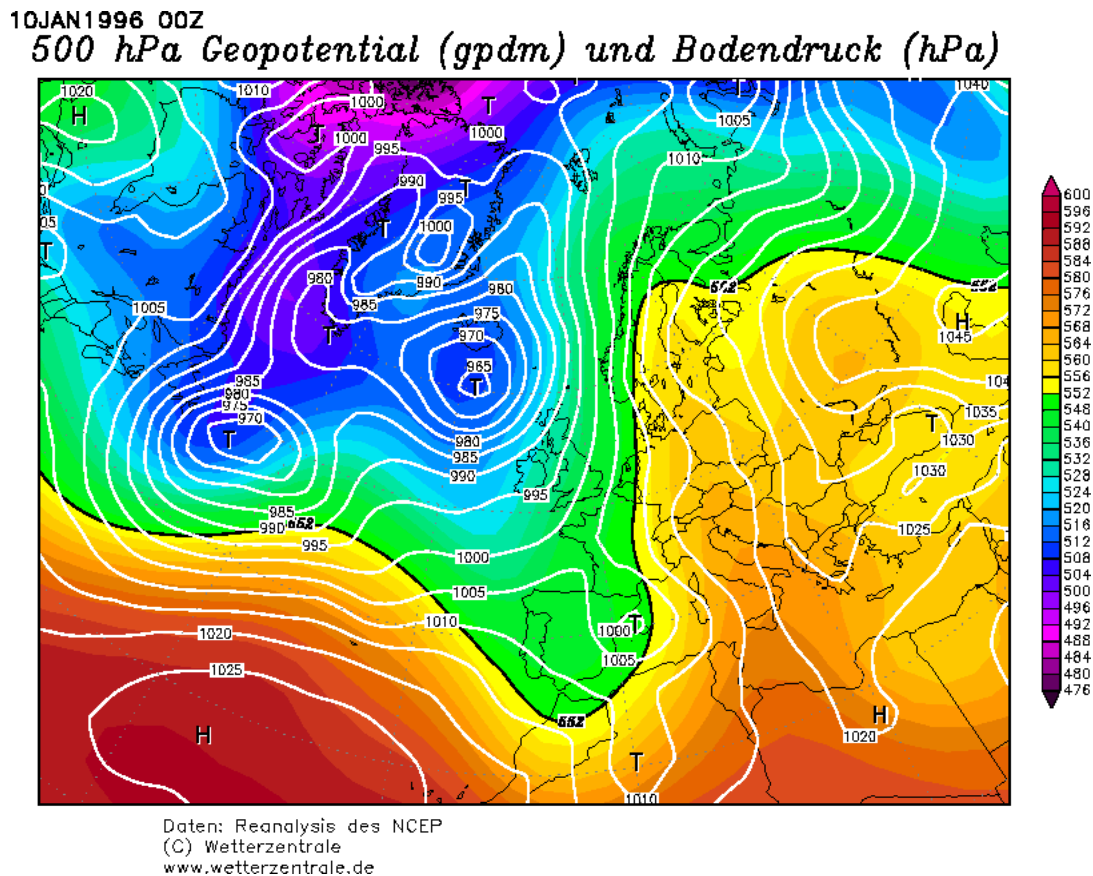


Abbildung 58: 500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruckkarte (hPa) vom 10.01.1996 (Quelle: Wetterzentrale, Dezember 2012: [33])

Mit sechs Tagen erzielte die Südströmung vom 09.01. bis 14.01.1996 ihre längste durchgängige Folge. Diese Strömungslage kann mit dem Auftreten des Südföhns erklärt werden. In Abbildung 58 ist die Druckverteilung am 10.01.1996 dargestellt und zeigt die vorherrschende Großwetterlage über Europa. Über der Schweiz und dem Westen Österreichs deutet sich eine "Föhnase" an, die für eine südwärts gerichtete Strömung sprechen würde. Die Auflösung von Abbildung 58 ist leider zu groß, um sich vergewissern zu können, ob die Druckverhältnisse für das Auftreten des Südföhns gegeben sind, d.h. südlich des Alpenhauptkamms müsste ein höherer Druck vorgelegen haben als nördlich davon. Für genauere Aussagen kann leider auch nicht der Monatsrückblick der ZAMG zu Hilfe genommen werden, da dieser erst ab dem Jahr 1999 zur Verfügung steht. Abbildung 59 verdeutlicht, dass die Südströmung in Zusammenhang mit dem Föhn aufgetreten ist, denn zieht man eine waagrechte Linie knapp oberhalb der Station Feldberg, erkennt man, dass die Stationen südlich dieser Linie deutlich höherer Temperaturen aufweisen als nördlicher gelegene Gebiete, was Folgen des Föhns sind. Für die Veranschaulichung wurde der 10.01.1996 herangezogen; man hätte genauso jeden anderen Tag im Zeitraum von 09.01. bis 14.01.1996 betrachten können.

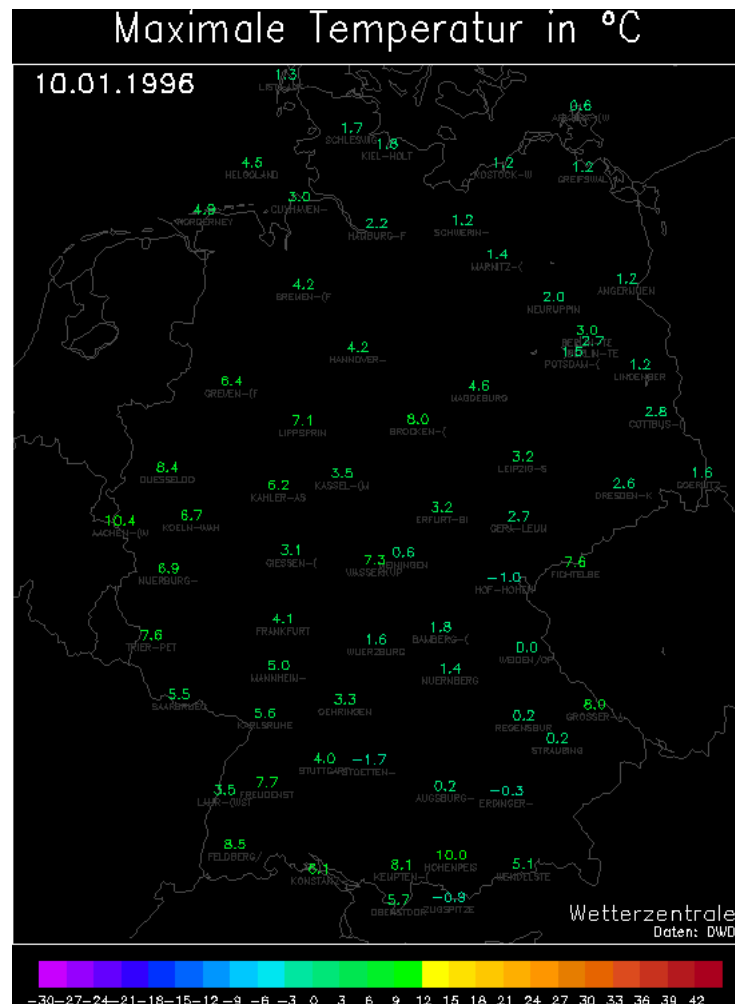


Abbildung 59: Maximaltemperaturen am 10.01.1996 (Quelle: Wetterzentrale, Dezember 2012: [33])

Südwestlagen treten nach den gradientschwachen Lagen am zweit häufigsten auf. In dem zwölftägigen Zeitraum von 28.11 bis 09.12.2000 wurde die längste Periode erreicht. 2000 wurden 23 Tage im Herbst mit Südwestströmung klassifiziert (siehe Abbildung 42) - das Maximum für diese Jahreszeit während der letzten 50 Jahre. Auch der Dezember 2000 erzielte eine hohe Anzahl an Tagen mit Südwestströmung (zwölf Tage); statistisch gesehen trat jeden 2,6-ten Tag diese Klasse auf. Durch die genannten Fakten wird es verständlicher, wie es zu so einer lagen und dauerhaften Periode von Südwestwind kommen konnte.

Vom 25.01 bis 01.02.2002 erzielte die Westströmung ihre längste Folge: Im Winter 2002 verzeichnete man mit 32 Tagen (siehe Abbildung 15) die größte Anzahl an Tagen mit Westströmung von 1961 bis 2010. Bei der Betrachtung der einzelnen Monate liefert die ostalpine Strömungslagenklassifikation für Jänner 11 und für Februar 14 Tage. Nachdem im Jänner fast jeder dritte und im Februar jeder zweite Tag eine Westrichtung aufwies, ist es nicht verwunderlich, dass eine Periode von acht Tagen zustande kam.

Auch die Nordwestströmungen halten maximal acht Tage am Stück an, wobei das Maximum dreimal und in drei unterschiedlichen Monaten (März, November und Dezember) erreicht wird. Man erkennt, dass v.a. im Winterhalbjahr länger anhaltende Strömungen mit

Nordwestrichtung begünstigt werden. Wie bereits erwähnt, wird durch die mittlere Lage der Polarfront, die im Winter sehr weit nach Süden reicht, das Auftreten in den mittleren Breiten von Winterstürmen begünstigt, die oft eine Westkomponente aufweisen. Diese Tatsache kann als Ursache für das vermehrte Auftreten von Nordwestströmungen in der betrachteten Jahreszeit gesehen werden.

Zuletzt werden die variablen Tage analysiert, die meistens mit Fronten und deren Windsprung zusammenhängen. Auch hier wird die Dauer von acht Tagen nicht überschritten, wobei die maximale Periode in der 50 jährigen Beobachtungsreihe sechs Mal auftritt. Fünf der sechs Maxima werden im Sommerhalbjahr kategorisiert, da die Fronten im Sommer oft langsamer ziehen als zu anderen Jahreszeiten und somit ein Gebiet zwei bis drei Tage aufgrund der gleichen Front der Gruppe “variabel” zugeordnet ist; somit wird das Auftreten der höchsten Perioden in dieser Zeit verständlich.

6.4 Analyse der Wahrscheinlichkeiten von Abfolgen verschiedener Strömungslagen

Grundlage für diese Auswertung sind die klassifizierten Daten, die jedem Tag eine eindeutige Strömungslage zuweisen. Zum Einlesen der Daten ist es notwendig, dass die Werte von jedem Monat in einer Reihe dargestellt werden. Das Programm liefert dann eine 10 x 10 Matrix, die für 50 Jahre (18263 Tage) das Ergebnis in Tabelle 19 darstellt. In den nachfolgenden Tabellen wird stets in der Spalte der aktuelle Tag und in der Spalte der Folgetag dargestellt.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2546	81	107	123	150	346	267	176	60	1005
1	216	260	151	25	5	4	3	26	94	69
2	188	70	305	139	3	3	3	11	5	76
3	130	3	55	280	115	9	1	0	0	138
4	59	1	2	61	225	95	6	1	1	244
5	79	2	2	5	103	503	125	22	2	657
6	188	4	4	2	5	206	680	244	12	422
7	339	42	6	2	9	23	207	631	195	224
8	192	156	23	0	1	3	15	121	231	73
9	923	244	156	87	93	310	445	458	194	1648

Tabelle 19: Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) von 1961 bis 2010 auftraten

6.4.1 Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer bestimmten Strömungslage am Folgetag

Die natürliche Erhaltungsneigung der Atmosphäre spiegelt sich auch in der erzeugten 10 x 10 Matrix wider. Dieses Verhalten wird „Persistenz“ genannt. Die Erhaltungsneigung besagt, dass das Wetter morgen genau so sein wird wie es heute ist. Falls eine stabile Wetterlage vorliegt, trifft dies auch recht gut zu. Die Diagonale einer quadratischen $n \times n$ Matrix wird als Spur bezeichnet; somit ist die Spur einer Matrix für die Persistenz verantwortlich.

Tabelle 19 zeigt, dass in acht von zehn Fällen das Auftreten von Persistenz den größten Teil an Tagen am Folgetag ausmacht. Die Aussage wird noch deutlicher, wenn man das Ergebnis prozentual betrachtet (siehe Tabelle 20): Die zugrunde liegende Spur ist in roter Farbe dargestellt. Somit wird die Spur der Matrix in Folgenden ebenfalls rot gekennzeichnet.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	52,38	1,67	2,20	2,53	3,09	7,12	5,49	3,62	1,23	20,67
1	25,32	30,48	17,70	2,93	0,59	0,47	0,35	3,05	11,02	8,09
2	23,41	8,72	37,98	17,31	0,37	0,37	0,37	1,37	0,62	9,46
3	17,78	0,41	7,52	38,30	15,73	1,23	0,14	0,00	0,00	18,88
4	8,49	0,14	0,29	8,78	32,37	13,67	0,86	0,14	0,14	35,11
5	5,27	0,13	0,13	0,33	6,87	33,53	8,33	1,47	0,13	43,80
6	10,64	0,23	0,23	0,11	0,28	11,66	38,48	13,81	0,68	23,88
7	20,20	2,50	0,36	0,12	0,54	1,37	12,34	37,60	11,62	13,35
8	23,56	19,14	2,82	0,00	0,12	0,37	1,84	14,85	28,34	8,96
9	20,25	5,35	3,42	1,91	2,04	6,80	9,76	10,05	4,26	36,16

Tabelle 20: Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) von 1961 bis 2010 auftraten [%]

Nur bei den Klassen Süd (4) und Südwest (5) ist es nicht am wahrscheinlichsten, dass am nächsten Tag die gleiche Strömungsrichtung vorherrscht. Die Wahrscheinlichkeit, dass am nächsten Tag eine variable (9) Strömungsrichtung eintritt, ist in beiden Fällen am höchsten (siehe Tabelle 20).

Um eine Aussage darüber treffen zu können mit welcher Wahrscheinlichkeit man am Folgetag mit einer gewissen Klasse rechnen kann, muss man die Zeilensummen berechnen und jeden Wert dieser Zeile durch die Zeilensumme dividieren; somit erhält man die relative Häufigkeit. Multipliziert man das Ergebnis anschließend noch mit 100, ergeben sich die Prozentwerte.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass am Folgetag die gleiche Strömung vorherrscht, liegt je nach Klasse zwischen 28,34% und 52,38%. Dabei ist es am unwahrscheinlichsten, dass zwei Nordströmungstage aufeinander folgen und am wahrscheinlichsten, dass gradientschwache Tage hintereinander auftreten. In der 50 jährigen Beobachtungsreihe gab es drei Konstellationen, die man nie beobachten konnte: Nord oder Nordwest folgte nie auf eine Südostlage, ebenso trat niemals eine Südostströmung auf, wenn am Vortag eine Nordströmung vorgelegen hatte.

Da die Besetzung der Klassen sehr unterschiedlich ist, ist die Betrachtung der relativen Häufigkeiten der aktuellen Werte (wie oben beschrieben) nicht aussagekräftig. Deswegen wird zusätzlich die Matrix der Zufallswahrscheinlichkeiten berechnet und betrachtet. Diese Matrix wird erzeugt, indem man die Anzahl aller Werte durch die jeweilige Zeilensumme dividiert, dadurch erhält man zehn relative Wahrscheinlichkeiten, eine für jede Klasse. Anschließend multipliziert man die beiden relativen Wahrscheinlichkeiten der aufeinanderfolgenden Klassen miteinander und dieses Ergebnis wird mit der Anzahl der gesamten Daten multipliziert. Dadurch erhält man einen Zufallswert, welchen man durch den aktuellen Datenwert dividiert. Somit gelangt man zu dem Resultat wie wahrscheinlich das Auftreten dieser Strömungslagenkonstellation rein statistisch gesehen sein müsste. Um die relative Häufigkeit zu erhalten, muss man den Prozentwert durch 100 dividieren. In Tabelle 21 sind die relativen Werte und in Tabelle 22 die prozentualen Werte dargestellt.

Für die relativen Wahrscheinlichkeiten gilt, wenn der Wert größer eins ist, dann ist das Ereignis überzufällig, bei genau eins entspricht es dem Erwartungswert und bei kleiner eins liegt es unterhalb dem Zufall.

In der Spur der Matrix erkennt man, dass hier mit Abstand die größten relativen Wahrscheinlichkeiten auftreten. Diese Beobachtung ist ein Beweis für das Persistenzverhalten der Atmosphäre. Betrachtet man die Nachbarklassen der jeweiligen Spur, fällt auf, dass auch hier größtenteils sehr hohe relative Wahrscheinlichkeiten vorherrschen. Da das Wettergeschehen von Wellen geprägt ist, welche keine abrupten Drehungen zulassen, ist diese Tatsache verständlich. Die Strömungsabfolgen Ost auf Ost, Südost auf Südost und Süd auf Süd zeigen die höchsten Wahrscheinlichkeiten, welche zwischen 851% bis 957% liegen, auf. Das Auftreten zweier Tage mit Südostströmung kommt 9,6 mal so oft vor wie man es rein statistisch erwarten würde.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,97	0,36	0,5	0,63	0,81	0,87	0,57	0,39	0,28	0,83
1	0,95	6,53	4,03	0,73	0,15	0,06	0,04	0,33	2,47	0,32
2	0,88	1,87	8,64	4,32	0,1	0,05	0,04	0,15	0,14	0,38
3	0,67	0,09	1,71	9,57	4,13	0,15	0,01	0	0	0,76
4	0,32	0,03	0,07	2,19	8,51	1,66	0,09	0,02	0,03	1,41
5	0,2	0,03	0,03	0,08	1,8	4,08	0,86	0,16	0,03	1,75
6	0,4	0,05	0,05	0,03	0,07	1,42	3,98	1,5	0,15	0,96
7	0,76	0,54	0,08	0,03	0,14	0,17	1,27	4,09	2,6	0,53
8	0,88	4,1	0,64	0	0,03	0,04	0,19	1,62	6,35	0,36
9	0,76	1,15	0,78	0,48	0,54	0,83	1,01	1,09	0,95	1,45

Tabelle 21: Relative Wahrscheinlichkeit

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	197	36	50	63	81	87	57	39	28	83
1	95	653	403	73	15	6	4	33	247	32
2	88	187	864	432	10	5	4	15	14	38
3	67	9	171	957	413	15	1	0	0	76
4	32	3	7	219	851	166	9	2	3	141
5	20	3	3	8	180	408	86	16	3	175
6	40	5	5	3	7	142	398	150	15	96
7	76	54	8	3	14	17	127	409	260	53
8	88	410	64	0	3	4	19	162	635	36
9	76	115	78	48	54	83	101	109	95	145

Tabelle 22: Zufallswahrscheinlichkeit [%]

Um einen Überblick über das Strömungsverhalten in einzelnen Jahren zu bekommen, wurden drei beliebige Jahre für eine genauere Betrachtung ausgewählt. Der Autor hat sich für das erste (1961), das 25-te (1985), das genau in der Mitte der Datenreihe liegt, und das letzte Jahr (2010) entschieden. Die jeweiligen Ergebnisse werden in Tabelle 23 bis 25 aufgeführt.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	62,93	0,86	2,59	0,86	2,59	7,76	11,21	0,86	2,59	7,76
1	41,67	25,00	8,33	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	8,33
2	14,29	14,29	42,86	14,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29
3	10,00	0,00	0,00	20,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00
4	25,00	0,00	0,00	8,33	33,33	16,67	0,00	0,00	0,00	16,67
5	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00	45,45	3,03	0,00	0,00	42,42
6	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	44,00	8,00	0,00	26,00
7	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	44,00	8,00	20,00
8	33,33	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	13,33	20,00	6,67
9	17,65	4,71	0,00	4,71	2,35	5,88	10,59	8,24	4,71	41,18

Tabelle 23: Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) 1961 auftraten [%]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	42,53	2,30	2,30	3,45	0,00	6,90	4,60	5,75	2,30	29,89
1	45,00	35,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
2	9,09	9,09	45,45	18,18	0,00	4,55	0,00	0,00	0,00	13,64
3	5,88	0,00	5,88	41,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,06
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
5	2,70	0,00	2,70	0,00	2,70	48,65	10,81	0,00	0,00	32,43
6	18,18	0,00	0,00	0,00	0,00	13,64	31,82	15,91	0,00	20,45
7	27,59	3,45	0,00	0,00	3,45	0,00	24,14	34,48	3,45	3,45
8	12,50	37,50	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	12,50
9	27,27	5,05	4,04	2,02	0,00	4,04	16,16	4,04	5,05	32,32

Tabelle 24: Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) 1985 auftraten [%]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50,00	1,47	4,41	2,94	10,29	10,29	2,94	1,47	0,00	16,18
1	24,14	34,48	13,79	6,90	0,00	0,00	0,00	6,90	10,34	3,45
2	12,50	16,67	37,50	16,67	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	12,50
3	0,00	5,88	23,53	29,41	23,53	0,00	0,00	0,00	0,00	17,65
4	4,17	4,17	4,17	16,67	25,00	12,50	0,00	0,00	0,00	33,33
5	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	25,71	14,29	2,86	0,00	45,71
6	11,11	0,00	0,00	0,00	0,00	19,44	47,22	5,56	0,00	16,67
7	18,75	0,00	0,00	0,00	3,13	0,00	18,75	31,25	9,38	18,75
8	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	44,00	8,00
9	16,22	8,11	4,05	1,35	4,05	6,76	8,11	16,22	9,46	25,68

Tabelle 25: Auszählung wie häufig gewisse Abfolgen der Strömungsklassen (0-9) 2010 auftraten [%]

In allen drei Graphiken ist das Auftreten von “gradientschwach auf gradientschwach” mit Abstand am wahrscheinlichsten. Von Jahr zu Jahr können allein bei dieser Konstellation Unterschiede von 20% der Eintrittswahrscheinlichkeit auftreten. So wurde 1961 mit 62,93% eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit einer Persistenzprognose erzielt, 1985 hingegen war das “nur” mit 42,53% der Fall. Diese Tatsache führt dem Leser erneut vor Augen, wie variabel das Wetter von Jahr zu Jahr sein kann, ohne dass von einer Trendentwicklung gesprochen werden muss, denn weitere 25 Jahre später lag die Wahrscheinlichkeit für diese Strömungslagenabfolge wieder bei 50,00%. Von 1961 bis 2010 trat “gradientschwach auf gradientschwach” im Schnitt mit 52,38% auf.

Die Abbildungen der drei Jahre zeigen, dass es durchaus Jahre gibt, in denen die Wahrscheinlichkeit für gewisse Strömungsabfolgen bei null Prozent liegt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass keine Persistenz eintritt, ist jedoch sehr gering. 1985 war das dennoch bei zwei Konstellationen der Fall. Es wurde in diesem Jahr nicht einmal beobachtet, dass auf eine Südströmung am nächsten Tag noch einmal “Süd” folgte. Dies mag auf den ersten Blick verwunderlich wirken, aber bei genauerer Betrachtung stellt man fest, dass 1985 in 100% aller Fälle auf eine Südströmung eine variable Strömung folgte. Dieses Resultat ist nicht besonders aussagekräftig, denn 1985 verzeichnete im ganzen Jahr nur zwei Tage mit Südströmung. In der 50 jährigen Beobachtungsreihe lag die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieser Strömungsabfolge bei 32,37%.

Auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass auf eine Nordströmung am Folgetag noch einmal “Nord” eintritt, lag 1985 bei 0%. Mit einem Viertel und einem guten Drittel traten am Folgetag die benachbarten Richtungen Nordwest und Nordost auf. In diesem Jahr wurden acht Tage mit der Klasse “Nord” verzeichnet, auch hier ist die Datenmenge sehr gering.

Durchschnittlich kann man mit einer Wahrscheinlichkeit von 28,34% damit rechnen, dass am nächsten Tag erneut eine Nordlage vorherrscht.

Tabelle 20 zeigt, dass manche Abfolgen begünstigt und andere weniger begünstigt sind; diese treten teilweise mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 0,5% auf.

6.4.2 Wahrscheinlichkeit für das Vorausgehen einer bestimmten Strömungslage am Vortag

Vollständigkeitshalber werden zum Schluss noch die Wahrscheinlichkeiten dafür berechnet, dass am Vortag eine gewisse Klasse voraus gegangen ist. Dazu muss man die Spaltensummen berechnen und jeden Wert dieser Spalte durch die Spaltensumme dividieren, wodurch man zunächst die jeweilige relative Häufigkeit erhält. Multipliziert man das Ergebnis anschließend noch mit 100, ergeben sich die Prozentwerte.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	52,39	9,39	13,19	16,99	21,16	23,04	15,24	10,41	7,56	22,06
1	4,44	30,13	18,62	3,45	0,71	0,27	0,17	1,54	11,84	1,51
2	3,87	8,11	37,61	19,20	0,42	0,20	0,17	0,65	0,63	1,67
3	2,67	0,35	6,78	38,67	16,22	0,60	0,06	0,00	0,00	3,03
4	1,21	0,12	0,25	8,43	31,73	6,32	0,34	0,06	0,13	5,36
5	1,63	0,23	0,25	0,69	14,53	33,49	7,13	1,30	0,25	14,42
6	3,87	0,46	0,49	0,28	0,71	13,72	38,81	14,44	1,51	9,26
7	6,98	4,87	0,74	0,28	1,27	1,53	11,82	37,34	24,56	4,92
8	3,95	18,08	2,84	0,00	0,14	0,20	0,86	7,16	29,09	1,60
9	18,99	28,27	19,24	12,02	13,12	20,64	25,40	27,10	24,43	36,17

Tabelle 26: Auszählung mit welcher Wahrscheinlichkeit Strömungen einer bestimmten Klasse (0-9) vorausgehen [%]

Betrachtet man die Spur der Matrix in Tabelle 26, erkennt man, dass dort jeweils die größten Wahrscheinlichkeiten stehen, d.h. mit der höchsten Wahrscheinlichkeit herrschte am Vortag die gleiche Strömungslage wie am betrachteten Tag vor. Je nach Klasse beträgt die Wahrscheinlichkeit dafür zwischen 29,09% und 52,39%. In der 50 jährigen Beobachtungsreihe kam es nie vor, dass eine Südostlage einer Nord- bzw. Nordwestströmung vorausging. Auch umgekehrt lag die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Nordströmung einer Südwestlage vorausging, bei 0%.

Analog wie in Abschnitt 6.4.1 wird die Matrix der Zufallswahrscheinlichkeiten berechnet und betrachtet. Der einzige Unterschied besteht darin, dass zu Beginn die Anzahl aller Werte durch die jeweilige Spaltensumme dividiert werden. Die weiteren Berechnungen erfolgen analog. In Tabelle 27 sind die relativen Werte und in Tabelle 28 die prozentualen Werte dargestellt.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,97	0,36	0,5	0,63	0,81	0,87	0,57	0,39	0,28	0,83
1	0,95	6,53	4,03	0,73	0,15	0,06	0,04	0,33	2,51	0,32
2	0,88	1,87	8,64	4,32	0,1	0,05	0,04	0,15	0,14	0,38
3	0,67	0,09	1,71	9,57	4,13	0,15	0,01	0	0	0,76
4	0,32	0,03	0,07	2,19	8,51	1,66	0,09	0,02	0,03	1,38
5	0,2	0,03	0,03	0,08	1,8	4,08	0,86	0,16	0,03	1,75
6	0,4	0,05	0,05	0,03	0,07	1,42	3,98	1,5	0,16	0,97
7	0,76	0,54	0,08	0,03	0,14	0,17	1,27	4,09	2,65	0,53
8	0,88	4,1	0,64	0	0,03	0,04	0,19	1,62	6,69	0,37
9	0,76	1,15	0,78	0,48	0,54	0,83	1,01	1,09	0,98	1,45

Tabelle 27: Relative Wahrscheinlichkeit

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	197	35	50	64	79	87	57	39	28	83
1	94	637	394	73	15	6	4	33	251	32
2	87	183	847	432	10	4	4	15	14	38
3	67	9	171	975	409	15	1	0	0	76
4	31	3	6	217	817	163	9	2	3	138
5	20	3	3	8	177	407	87	16	3	175
6	40	5	5	3	7	143	405	150	16	97
7	75	53	8	3	14	17	128	403	265	53
8	91	416	65	0	3	5	20	165	669	37
9	76	113	77	48	53	83	102	109	98	145

Tabelle 28: Zufallswahrscheinlichkeit [%]

Auch hier befinden sich die größten relativen Wahrscheinlichkeiten in der Spur der Matrix, was für das Persistenzverhalten der Atmosphäre spricht. Die Wellen der Atmosphäre sorgen dafür, dass die benachbarten Klassen der Spur auch noch hohe relative Wahrscheinlichkeiten aufweisen. Es geht 9,8 mal so oft eine Südostströmung einer Südostströmung hervor wie man es rein zufällig erwarten würde. Dies ist noch häufiger als, dass nach einer Südostströmung am nächsten Tag erneut eine Südostströmung auftritt (Wahrscheinlichkeit hierfür liegt "nur" bei 957% also 9,6 mal so oft). Wie man an dem Beispiel der Südostströmung erkennen kann, tritt am Vortag, sowie am Folgetag die gleiche Strömungsklasse mit fast identischer relativer Wahrscheinlichkeit auf (vergleiche Tabelle 21 und Tabelle 27). Die Werte unterscheiden sich höchstens um wenige Dezimalen.

Analog zum vorherigen Punkt werden wieder die Jahre 1961, 1985 und 2010 genauer betrachtet (siehe Tabelle 29 bis 31).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	64,04	8,33	42,86	10,00	25,00	23,08	27,08	4,00	23,08	10,59
1	4,39	25,00	14,29	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,69	1,18
2	0,88	8,33	42,86	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18
3	0,88	0,00	0,00	20,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,71
4	2,63	0,00	0,00	10,00	33,33	5,13	0,00	0,00	0,00	2,35
5	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	38,46	2,08	0,00	0,00	16,47
6	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	20,51	45,83	16,00	0,00	15,29
7	4,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,17	44,00	15,38	5,88
8	4,39	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	8,00	23,08	1,18
9	13,16	33,33	0,00	40,00	16,67	12,82	18,75	28,00	30,77	41,18

Tabelle 29: Wahrscheinlichkeiten [%] für das Vorausgehen einer gewissen Klasse (0-9) im Jahr 1961

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	39,36	10,00	9,09	18,75	0,00	17,14	8,89	17,86	25,00	27,37
1	9,57	35,00	13,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05
2	2,13	10,00	45,45	25,00	0,00	2,86	0,00	0,00	0,00	3,16
3	1,06	0,00	4,55	43,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,42
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11
5	1,06	0,00	4,55	0,00	50,00	51,43	8,89	0,00	0,00	12,63
6	8,51	0,00	0,00	0,00	0,00	17,14	31,11	25,00	0,00	9,47
7	8,51	5,00	0,00	0,00	50,00	0,00	15,56	35,71	12,50	1,05
8	1,06	15,00	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	0,00	1,05
9	28,72	25,00	18,18	12,50	0,00	11,43	35,56	14,29	62,50	33,68

Tabelle 30: Wahrscheinlichkeiten [%] für das Vorausgehen einer gewissen Klasse (0-9) im Jahr 1985

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	47,22	3,57	12,50	11,11	28,00	22,58	5,41	3,33	0,00	14,67
1	9,72	35,71	16,67	11,11	0,00	0,00	0,00	6,67	12,50	1,33
2	4,17	14,29	37,50	22,22	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	4,00
3	0,00	3,57	16,67	27,78	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
4	1,39	3,57	4,17	22,22	24,00	9,68	0,00	0,00	0,00	10,67
5	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	29,03	13,51	3,33	0,00	21,33
6	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	22,58	45,95	6,67	0,00	8,00
7	8,33	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	16,22	33,33	12,50	8,00
8	6,94	17,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	45,83	2,67
9	16,67	21,43	12,50	5,56	12,00	16,13	16,22	40,00	29,17	25,33

Tabelle 31: Wahrscheinlichkeiten [%] für das Vorausgehen einer gewissen Klasse (0-9) im Jahr 2010

Wiederum erhält das Auftreten von zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit “gradient-schwach” den höchsten Prozentsatz. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass am Vortag auch eine gradientschwache Lage klassifiziert wurde, liegt zwischen 39,36% und 64,04%. In den 50 Jahren hat sich herausgestellt, dass in 52,39% aller Fälle stets eine gradientschwache Lage einer gradientschwachen Lage vorausgeht.

Betrachtet man Spalte “4” von Tabelle 30, stellt man fest, dass entweder eine Süd- bzw. Nordwestlage der Südströmung vorausging. Wir erinnern uns, dass wir in Punkt 6.4.1. festgestellt haben, dass 1985 nur an zwei Tagen “Süd” klassifiziert wurde; somit kommt diesem Ergebnis keine große Bedeutung zu. Das Beispiel verdeutlicht gut, warum sowohl eine Analyse der Strömungslage am Vor- als auch am Nachfolgetag nötig ist, denn es kommt keinesfalls das gleiche Ergebnis heraus. Auf “Süd” folgte 1985 stets eine variable Strömung und der Südströmung ging eine Nord- bzw. Südwestströmung voraus.

Besonders im Jahr 1985 ist noch, dass nie an zwei aufeinander folgenden Tagen eine Nordströmung klassifiziert wurde. Dieses Ergebnis ist eher ungewöhnlich und kann auf die geringe Datendichte (lediglich acht Nordtage) zurückgeführt werden. Im Schnitt ging in 29,09% der Fälle einer Nordlage auch eine Nordlage voraus.

Man hat gesehen, dass die Prozentangaben darüber, wie wahrscheinlich manche Konstellationen auftreten, zum Teil von Jahr zu Jahr sehr großen Schwankungen unterliegen; dies verdeutlicht erneut, dass die Atmosphäre ein chaotisches System ist und es sehr komplex ist, für das Auftreten verschiedener Strömungsabfolgen allgemein gültige Prozentangaben zu machen.

7 Conclusio und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, die 50 jährige Datenreihe daraufhin zu untersuchen, ob sich eine Trendentwicklung abzeichnet; dabei wurden monatliche, jahreszeitliche und jährliche Untersuchungen angestellt. Ein viel diskutiertes und interessantes Thema dieser Zeit ist der Klimawandel. Es wurde versucht, die beobachteten Veränderungen der verschiedenen Strömungslagen in Verbindung mit dem Klimawandel zu bringen; da die Trends aber stets nicht signifikant sind, kann man anhand dieser keinen aussagekräftigen Zusammenhang aufzeigen. Es lassen sich zwar Veränderungen in der Häufigkeit der unterschiedlichen Klassen über die verschiedenen Jahre beobachten, aber aufgrund der Nichtsignifikanz kann kein statistisch signifikanter Trend nachgewiesen werden, diese Tatsache verdeutlicht die große Variabilität der Atmosphäre und somit des Wettergeschehens. Dennoch kann auf Grund der Nichtsignifikanz eine Trendentwicklung nicht ausgeschlossen werden.

Weiterhin wurde die Dauer der einzelnen Strömungslagen untersucht und der Versuch unternommen, diese in Einklang mit den Klimaänderungen zu bringen. Auch hier konnte keine Besonderheit in den letzten Jahren festgestellt werden. Die Maximalwerte für die einzelnen Klassen werden seit den 80-er Jahren bis heute erreicht. Nordost und Nordwest sowie die Klasse "variabel" gelangen sogar in mehreren Jahren zu ihren Maximalwerten - teilweise mit Abständen von etwa zehn Jahren. Da sich die Maximalwerte in verschiedenen Jahrzehnten ereignen, kann kein Zusammenhang mit dem Klimawandel herausgearbeitet werden, da es sich somit um keine Entwicklung in der jüngsten Zeit handelt.

Zum Schluss wurden noch die 10 x 10 Matrizen betrachtet und die Wahrscheinlichkeiten dafür berechnet, dass am Vortag eine gewisse Klasse voraus gegangen ist bzw. am nachfolgenden Tag eine gewisse Klasse eingetreten ist. Um einen stichprobenartigen Überblick über das Verhalten zu geben, wurden stets die Jahre 1961, 1985 und 2010 genauer untersucht. Hierbei erkennt man bereits, dass die Prozentangaben von Jahr zu Jahr sehr variabel ausfallen; das liegt daran, dass es Jahre gibt, in denen eine bestimmte Klasse gar nicht oder nur sehr selten auftritt. Wir erinnern uns an das Jahr 1985, in dem nur zwei Tage mit Südströmung klassifiziert worden sind.

In Zukunft werden vielleicht Softwarepakete entwickelt, in denen die wesentlichen Schritte dieser Arbeit permanent und begleitend zu den Routinearbeiten der Meteorologen ausgeführt werden, wobei dem Anwender lediglich festgestellte Auffälligkeiten wie Signifikanzen gemeldet werden, so dass dieser gleichsam automatisch über Trends informiert wird, die den Schluss auf langfristige Klimaänderungen - als Verschiebungen oder generelle Entwicklungen - zulassen. Ist so ein System sorgfältig ausgetestet, müssen die zahlreichen einzelnen Denkschritte bei dessen Nutzung ebenso wenig durchgeführt werden, wie man sich als Benutzer eines Telefons über dessen Funktionalität Gedanken machen muss.

Literatur

- [1] Steinacker, R.: “Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation”, 1991
- [2] URL [http://de.wikipedia.org/wiki/Turm_der_Winde_\(Athen\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Turm_der_Winde_(Athen)), April 2012
- [3] Grunow, J.: “Über die Eignung von Klassifikationssystemen alpiner Wetterlagen”, 1965, Carinthia II, Naturwissenschaftliche Beiträge zur Heimatkunde Kärntens
- [4] Biermaier, N.: “Objektive Strömungslagenklassifikation mit VERA”, 2006
- [5] Schüepp, M.: “Probleme der Witterungsklimatologie im Alpengebiet”, 1965, Carinthia II, Naturwissenschaftliche Beiträge zur Heimatkunde Kärntens
- [6] Kerschner, H.: “Beiträge zur synoptischen Klimatologie der Alpen zwischen Innsbruck und dem Alpenostrand”, 1989, Innsbrucker geographische Studien 17
- [7] Kirchhofer, W.: “Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum”, 1971, Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Heft Nr. 23
- [8] Salvisberg, E.: “Wetterlagenklimatologie-Möglichkeiten und Grenzen ihres Beitrages zur Klimaforschung im Alpenraum”, 1996, Geographisches Institut der Universität Bern
- [9] URL <http://cost733.Emet.no/733-e.pdf>, April 2012
- [10] Vergreiner, I.: “Dynamik alpiner Windsysteme”, 1983, Bericht FWF Proj. Nr 3556, Inst. Meteor. Innsbruck
- [11] Fliri, F., Schüepp, M.: “Synoptische Klimatographie der Alpen zwischen Mont Blanc und Hohen Tauern und alpine Witterungslagen und europäische Luftdruckverteilung”, 1984, Wissenschaftliches Alpenverein Heft 29
- [12] URL: <http://wkserv.met.fu-berlin.de/>, August 2012
- [13] Berliner Wetterkarte, 19.12.1993, Amtsblatt des Instituts für Meteorologie, Wissenschaftliche Einrichtung 07 Im Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin
- [14] URL: <http://home.arcor.de/aloes.laumer/thema/zeit2.htm>, August 2012
- [15] Schönwiese, C.D.: “Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler”, 2006, Gebrüder Borntraeger
- [16] URL: https://www.bgw-online.de/quintas/generator/Inhalt/Extranet/quintas/Navigation_links/02-DAS-FACHPORTAL/quintas-umsetzen/Methoden_Instrumente/Quantitative-Methoden/korrelations_bild__1,property=bild.gif, August 2012
- [17] Moosbrugger, H.: “Lineare Modelle Regressions- und Varianzanalysen”, 2011, Verlag Hans Huber
- [18] URL: <http://office.microsoft.com/de-de/excel-help/fisher-HP005209091.aspx>, August 2012

- [19] URL: <http://dmcritchie.mvps.org/excel/colors.htm>, Dezember 2012
- [20] URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>, Oktober 2012
- [21] URL: http://www.occc.ch/reports/extremereignisse03/PDF_D/2-10.pdf, Oktober 2012
- [22] Hofer, F.: "Gewitter in der Steiermark - Häufigkeit, Verteilung und Zugbahnenanalyse unter besonderer Berücksichtigung von Luftmassen- und Wetterlagenabhängigkeit", 2008, Grin Verlag
- [23] URL: <http://www.zamg.ac.at/fix/klima/wetterlagen06-03.pdf>, November 2012
- [24] Wiener Zeitung, 31.07.2012, URL: <http://www.wienerzeitung.at/nachrichten/oesterreich/chronik/476777-Regenfluten-im-Juli.html>, November 2012
- [25] ZAMG, 31.07.2012, URL: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/juli-warm-und-teils-extreme-regenmengen>, November 2012
- [26] ZAMG, <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/juli-warm-und-teils-extreme-regenmengen>, November 2012
- [27] ZAMG, URL: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/monatsrueckblick/niederschlagssummenabweichung/?jahr=2012&monat=07>, November 2012
- [28] Hense, A.; Glowienka-Hense, R.: "Auswirkungen der Nordatlantischen Oszillation", 2008, Promet, Jahrgang 34, Nr 3/4, Deutscher Wetterdienst
- [29] URL: https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/imagecache/LightBoxDisplay/key_figures/naots2.gif, Dezember 2012
- [30] Leckebusch G. C., Kapala A., Mächtel H., Pinto J. G., Reyers M.: "Indizes der Nordatlantischen und Arktischen Oszillation", 2008, Promet, Jahrgang 34, Nr 3/4, Deutscher Wetterdienst
- [31] URL: http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2__Grosse_Windsysteme/-El_Nino---SOI_1pk.html, Dezember 2012
- [32] URL: <http://www.schultreff.de/referate/erdkunde/r0257t00.htm>, Dezember 2012
- [33] URL: wetterzentrale.de, Dezember 2012

A Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Natalie Isabella Reiter
Geburtsdatum:	28.03.1987
Geburtsort:	München/Deutschland

Ausbildung

1993-1997	Grundschule an der Dachauerstraße, München
1997-2006	Maria-Ward-Gymnasium München-Nymphenburg
seit 10/2006	Diplomstudium der Meteorologie, Universität Wien

Berufserfahrung

08/2008	Praktikum beim Deutschen Wetterdienst Niederlassung München
07/2009-08/2009	Praktikum beim Institut für Physik und Atmosphäre des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt Niederlassung Oberpfaffenhofen
04/2011-09/2011	Praktikum Munich Re

Weitere Kenntnisse

Sprachen:	Deutsch, Englisch, Französisch
EDV-Kenntnisse:	Windows, Matlab, LaTeX, MS Office, ArcGIS

B Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer O.Univ.-Prof. Dr. Reinhold Steinacker für die kompetente und motivierte Unterstützung, sowie die wertvollen Anregungen für diese Arbeit.

Besonderer Dank gilt meinem guten Freund Björn Gleich, der mir bei technischen Fragen stets zur Seite stand.

Weiterer Dank gilt Dr. Peter Wocke, der meine Arbeit Korrektur gelesen und mich immer bestärkt hat.

Nicht zuletzt möchte ich besonders meiner Familie danken, die mich finanziell sowie mental während der gesamten Studienzeit unterstützt und erst dadurch mein Studium ermöglicht hat.