



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Verwendung hochaufgelöster Druckfelder zur Erfassung
von Niederschlagsereignissen

Verfasserin

Annemarie Lexer

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, April 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 415

Studienrichtung lt. Studienblatt: Meteorologie

Betreuerin / Betreuer: O. Univ.-Prof. Reinhold Steinacker

Zusammenfassung

Meteorologische Ereignisse, insbesondere Starkniederschlag, aber auch längere Trocken- oder Hitzeereignisse, nehmen seit jeher starken Einfluss auf den Menschen. Vor allem in den letzten Jahren kam es in Europa vermehrt zu größeren Hochwasserereignissen und länger andauernden Trockenperioden. Deshalb wird das Bedürfnis einer besseren Erfassung und Vorhersage dieser Ereignisse immer stärker. Besonders trifft dies auf den Alpenraum, der auf Grund seiner Topographie eine klimatische Übergangszone bezüglich des Niederschlags darstellt.

In dieser Diplomarbeit soll nun ein Zusammenhang zwischen Bodendruckfeldern und Niederschlagsereignissen hergestellt werden. Als Datengrundlage dienen die Zeitreihe der auf Meeresebene reduzierten Druckdaten aus dem MESOCLIM-Datensatz (Mesoscale Alpine Climatology) sowie Niederschlagsdaten vom Hydrographischen Zentralbüro des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Die Arbeit stützt sich auf die Hypothese, dass ein Zusammenhang zwischen räumlichen und/oder zeitlichen Ableitungen des Druckfeldes (z. B. Hinweis auf ein Frontsignal) und Niederschlagsereignissen zu finden ist. Diese Annahme ist nahe liegend, da der Großteil der Niederschläge in den mittleren Breiten in Zusammenhang mit transienten synoptischen Systemen bzw. Fronten auftritt.

Da das Wettergeschehen in Österreich sehr stark von der Orographie (Alpen, Alpenvorland, Flachland, Donaauraum, etc.) geprägt ist, wird Österreich subjektiv-empirisch in sieben Klimaregionen eingeteilt. Diese gebietsweise Betrachtung soll zusätzlich Aufschluss darüber geben, wie stark das Wettergeschehen in den verschiedenen Regionen von diversen vorherrschenden Druckmustern beeinflusst wird. Außerdem wird dieser Zusammenhang noch auf seine Abhängigkeit von klimatologischen Perioden (meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten) geprüft.

Abschließend sollen Vor- und Nachteile dieser Methode sowie Unterschiede und Gemeinsamkeiten der einzelnen Regionen besprochen werden.

Abstract

Meteorological events such as heavy precipitation or long term drought and heat have always had a strong impact on human beings. Especially during the last few years there has been an increase in floods and long term drought in Europe. Hence, the need for better recording and forecast of such events has grown. This is particular relevant in the Alps, since they represent a climatic transition zone concerning precipitation due to their topography.

This diploma thesis should establish a connection between pressure fields and precipitation. Time series of mean sea level pressure data from the MESOCLIM data set (Mesoscale Alpine Climatology) and precipitation data from the hydrographical central office of the Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Environment and Water Resources serve as data pool.

The main hypothesis of this work is that there exists a connection between spatial and/or temporal derivations of the pressure field (e.g. frontal signal) and precipitation events. Since the major amount of precipitation in the mid latitudes occurs within transient synoptic systems, respectively frontal systems, this assumption is obvious.

As the weather in Austria is strongly influenced by topography (Alps, foothills of the Alps, lowland, Danube area, etc.), Austria is divided into seven climatic regions in a subjective-empirical way. This strategy should give further information about how strong the weather events are influenced by predominate pressure patterns in these regions. Moreover, this connection between precipitation and pressure pattern is tested for its dependency on climatological periods (meteorological half-years and seasons).

Finally, there will be a discussion on advantages or disadvantages of this method, as well as on differences among the climatic regions or what they have in common.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Struktur der Arbeit.....	5
2	Datengrundlage	7
2.1	Niederschlagsdaten des hydrographischen Dienstes	7
2.2	Luftdruckdaten aus dem MESOCLIM-Datensatz	9
3	Methodik	11
3.1	Die Skala.....	11
3.2	Wahl der MESOCLIM-Gitterpunkte.....	12
3.3	Klimaregionen Österreichs	14
3.4	Untersuchung von meteorologischen Halbjahren und Jahreszeiten	18
3.5	Kombinierte Untersuchungen von Niederschlagsstatistiken und Druckfeldableitungen	20
4	Analyse von Niederschlagsereignissen	21
4.1	Größen aus der Statistik.....	21
4.1.1	Mittelwert	21
4.1.2	Quantile	22
4.2	Schwellwerte und Ergebnisse der Statistikauswertung	23
4.2.1	Niederschlagsereignisse.....	23
4.2.2	Trockenperioden	25
5	Druckfeldableitungen	29
5.1	Bildung und Bedeutung der Druckfeldableitungen	29
5.1.1	Druckgradient	31
5.1.2	Gemischte räumliche Ableitung des Druckfeldes.....	32
5.1.3	Gemischte räumlich-zeitliche Ableitung des Druckfeldes.....	32

5.1.4	Zweite zeitliche Ableitung des Druckfeldes	33
5.1.5	Zweite räumliche Ableitung des Druckfeldes.....	34
5.1.6	Laplace _p	34
5.2	Größen aus der Statistik.....	35
5.2.1	Mittelwert	35
5.2.2	Standardabweichung.....	36
5.2.3	Varianz	36
6	Auswertungen	39
6.1	Gegenüberstellung von Druckfeldableitungen und Niederschlag	39
6.2	Niederschlagsereignisse	43
6.2.1	Häufigkeitsverteilungen.....	44
6.2.2	Fallstudie 05. August und 06. August 2002.....	50
6.3	Trockenperioden	55
6.3.1	Häufigkeitsverteilungen.....	55
6.3.2	Fallstudie 16. März bis 27. März 2003	62
7	Conclusio und Ausblick	71
7.1	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	71
7.2	Ausblick.....	72
	Abkürzungsverzeichnis	75
	Abbildungsverzeichnis.....	77
	Tabellenverzeichnis.....	85
	Literaturverzeichnis.....	89
A.	Poster zum KLI.EN Projekt „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“, 3. Österreichischer MeteorologInnentag Graz, 2009	91
B.	Tabellen	95
	Danksagung	113
	Lebenslauf.....	115

1 Einleitung

1.1 Motivation

Niederschlagsereignisse, seien es nun Starkniederschlagsereignisse oder länger andauernde Trocken- oder Hitzeperioden, und deren Vorhersagbarkeit beschäftigen schon seit langer Zeit verschiedenste Forschergruppen, sei es nun im Bereich der Meteorologie und Klimatologie oder in der Hydrologie. Der Bedarf an besseren und zuverlässigeren Vorhersagen dieser Ereignisse ist vor allem in den letzten Jahrzehnten, die zum Teil durch extrem starke Niederschlagsereignisse (Sommer 2002, Sommer 2006, Sommer 2007) oder langanhaltende Trockenperioden (Winter und Sommer 2003, Winter 2006) geprägt waren, immer stärker geworden. Deshalb sind in der Literatur vermehrt Arbeiten zu finden, die sich mit der Analyse und Vorhersagbarkeit von Niederschlagsereignissen sowie mit der Erhöhung der Auflösung von numerischen Modellen befassen.

Laut Bergman-Schaefer (2001) hat die numerische Wetterprognose in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht, die zu einem wesentlichen Teil der Verbesserung der räumlichen und zeitlichen Auflösung der numerischen Modelle zu verdanken sind. Eine markante Steigerung der prognostischen Qualität hat unter anderen der Parameter Luftdruck, der von der großen Skala geprägt ist, erfahren. Dennoch ist die räumliche Auflösung der globalen oder mesoskaligen Modelle zu gering, um eine Verbesserung der Vorhersage des kleinräumigen, lokalen Wettergeschehens zu ermöglichen. So stellt beispielsweise der Niederschlag, der zum großen Teil kleinräumig geprägt ist und dessen prognostische Qualität unter anderen nur bescheidene Fortschritte gemacht hat, weiterhin eine schwer fassbare Größe dar. Diese Tatsache macht sich vor allem im Alpenraum bemerkbar, der auf Grund seiner Topographie eine klimatische Übergangszone bezüglich des Niederschlags darstellt. In Folge dessen ist es für den Prognostiker eine Herausforderung den Zeitpunkt, den Ort und die Menge eines

Niederschlagsereignisses präzise vorherzusagen – vor allem in komplexem Terrain wie sie die Alpen darstellen – und bedarf an viel Erfahrung der lokalen Gegebenheiten. Dennoch weichen die tatsächlich gefallenen, gemessenen und aufgezeichneten Niederschlagsmengen vielerorts stark voneinander ab.

Da der Luftdruck in der Meteorologie von großer Bedeutung ist und die Prognose von Druckfeldern in Modellen wesentlich besser ist als jene von Niederschlagsfeldern, sind Luftdruckfelder in den letzten Jahren für zahlreiche Arbeiten zur Analyse von Niederschlagsereignissen herangezogen worden; so zum Beispiel in Arbeiten wie „StartClim.12 – Innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit“ (Tschannett et al., 2003), „Klimatologie der Starkniederschläge“ (Eibl, 2009) und „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“ (Nachtnebel et al., 2010). In Tschannett et al. (2003) wird versucht einen neuen und innovativen Zugang zur Analyse von Extremwetterlagen zu finden. Hierbei wird mit einer zeitlichen und räumlichen Verknüpfung ausgewählter Parameter gearbeitet, was im Gegensatz zu üblichen Analysemethoden steht. Dafür werden der Laplace des Druckes, die Laplace-Zeitableitung und die zweite Zeitableitung des Druckfeldes berechnet und zur Analyse ausgewählter Fallstudien herangezogen. Eine Erweiterung dieser Vorgehensweise stellt die Diplomarbeit von Eibl (2009) dar, in der statistische Auswertungen von Niederschlags-zeitreihen in die Betrachtung einfließen. Zu den in Tschannett et al. (2003) verwendeten Druckfeldableitungen werden zusätzlich noch die zweite Raumableitung und die gemischte Raum-Zeitableitung in x - als auch in y -Richtung berechnet. Diese werden anschließend gemeinsam mit Starkniederschlagsereignissen analysiert. Nachtnebel et al. (2010) umfasst die Ergebnisse des Projekts „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“ (Projekt-Nr. A7.CP456), das vom „Klima- und Energiefond des Bundes – managed by Kommunalkredit Public Consulting“ (KLI.EN) gefördert wurde. Gemeinsam haben sich Meteorologen und Hydrologen mit der Untersuchung von möglichen Trends in Hoch- und Niederwassern sowie Trockenperioden und Starkniederschlagsereignissen beschäftigt und deren Zusammenhang mit Wetterlagen und Ableitungen von Bodendruckfeldern. Da dieses Projekt, an dem die Verfasserin dieser Arbeit mitgewirkt hat, gewissermaßen den Anstoß zu dieser Diplomarbeit gegeben hat, soll es im nachfolgenden Absatz kurz vorgestellt werden.

Die Zahl der extremen Wetterereignisse von 1998 bis 2004 in Europa hatten hunderte Todesopfer (durch Hitze) sowie Versicherungs- und Sachschäden (durch Hitze und Hochwasserereignisse) im höheren zehnstelligen Milliardenbereich zur Folge. Im Februar 2009 startete am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien (IMGW) die Mitarbeit am KLI.EN Projekt „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“. Weitere Projektpartner waren das Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW) der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) – von dem die Idee und der Projektantrag stammten – und die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Zielsetzung des Projekts war es, anhand von langjährigen Zeitreihen einen Zusammenhang zwischen Wetterlagen, meteorologischen Extremereignissen und Druckfeldern zu erarbeiten und somit auf Trends in der Zukunft schließen zu können. Unter Extremereignissen werden einerseits seltene Ereignisse verstanden, was deren Intensität betrifft, andererseits aber auch lang andauernde nachteilige Wettersituationen wie beispielsweise Regen-, Trocken-, oder Hitzeereignisse. Die Aufgabe des IMGW bestand darin, die langjährigen hochaufgelösten und auf Meeressniveau reduzierten Zeitreihen von Druckdaten aus dem MESOCLIM-Datensatz und die Zeitreihen von Niederschlagswerten aus dem Datensatz des hydrographischen Dienstes des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Abteilung V/II – Wasserhaushalt) zu analysieren und diese auf einen möglichen Zusammenhang mit der Wetterlagenklassifikation der COST Action 733 (WLKC733) zu prüfen. Dafür wurden mehrere Ableitungen des Druckfeldes (Druckgradient, zweite Zeitableitung, zweite Raumbableitung und gemischte Raum-Zeitableitung) gebildet und anschließend dem Niederschlag und der WLKC733 gegenüber gestellt. Es zeigten sich starke Zusammenhänge zwischen der Raum-Zeitableitung des Bodendruckfeldes und starken Niederschlagsereignissen. Darüber hinaus ist auch eine Wechselbeziehung zwischen der Varianz von Druckgradienten und Trockenheit zu finden. Auf Grund dieser doch aussagekräftigen Resultate, dokumentiert in Nachtnebel et al. (2010), ist die Idee zu zwei Diplomarbeiten entstanden.

Die erste Arbeit, die aus dem genannten Projekt entstanden ist, befasst sich ausführlich mit einer Betrachtung der Wetterlagenabhängigkeit der gefundenen Zusammenhänge („Vergleichende Untersuchungen von Wetterlagen und Ableitungen des Bodendruckfeldes im Hinblick auf Niederschlagsereignisse“ von Aschauer, 2012). Dabei wird versucht, die

gefundenen Zusammenhänge zwischen Druckfeldableitungen und Niederschlagsereignissen mit Strömungsrichtungen in verschiedenen Niveaus und atmosphärischen Bedingungen (feucht oder trocken) zu kombinieren. Dafür werden zwei in ihren Ansätzen und deren Aufbereitung unterschiedliche Datensätze herangezogen. Einerseits ist dies die Wetterlagenklassifikation WLKC733 aus ERA40-Reanalysedaten. Zur Untersuchung wird ein Datensatz ausgewählt, der sowohl den gesamten Alpenraum als auch ganz Österreich abdeckt. Dieser historische Wetterlagenkatalog basiert auf einer täglichen Kombination aus Zahlen und Buchstaben, welche die vorherrschenden Strömungen und atmosphärischen Bedingungen in verschiedenen Niveaus wieder geben. Des Weiteren wird zu Vergleichszwecken die ostalpine Strömungslagenklassifikation nach Steinacker (2004) herangezogen. Hierbei handelt es sich im Gegensatz zum vorher genannten Datensatz nur um eine Zahlenkombination, welche die vorherrschenden Windrichtungen angibt.

Die Auswertungen der vorliegenden Diplomarbeit stützen sich auf die Hypothese, dass ein Zusammenhang zwischen räumlich-zeitlichen Ableitungen und/oder zeitlichen Ableitungen des Druckfeldes (z. B. Hinweis auf ein Frontsignal) und Niederschlagsereignissen zu finden ist. Die gestellte Annahme ist gerechtfertigt, da in den mittleren Breiten der Großteil des Niederschlags in Verbindung mit durchziehenden synoptischen Systemen bzw. Fronten auftritt. Die im Projekt „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“ verwendeten Methoden zur Erforschung dieser Hypothese werden im Zuge dieser Diplomarbeit eingehend untersucht, Aussagen bezüglich Trends – wie in Nachtnebel et al. (2010) – werden jedoch nicht getätigt. Die Vorgehensweise zur Berechnung der Druckfeldableitungen und der vermutete Zusammenhang dieser mit Niederschlag zur Erkennung von Niederschlagsereignissen stammen einerseits aus der Arbeit von Tschannett et al. (2003) und der Diplomarbeit von Eibl (2009) sowie andererseits aus dem Projekt „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“, dokumentiert in Nachtnebel et al. (2010). Diese Arbeiten liegen der vorliegenden Diplomarbeit teilweise zu Grunde, weshalb Auszüge daraus – vor allem die Druckableitungen – im theoretischen Teil etwas genauer betrachtet und in der abschließenden gegenüberstellenden Betrachtung von Druckfeldableitungen und Niederschlagsereignissen erweitert werden. Das Analyseverfahren und die Beschreibung dessen Funktionsweise sind teilweise an die genannten Arbeiten angelehnt. Die Auswertungen bezüglich länger andauernder Trockenperioden stützen sich jedoch

einerseits ausschließlich auf Hypothesen, Berechnungsansätze und Teilresultate des Projekts „Trendanalyse von hydro-meteorologischer Extremwerten“ und andererseits auf eigens durchgeführte Untersuchungen und stellen somit einen neuen Betrachtungsansatz dar. Darüber hinaus erfolgte eine Auswahl an verschiedenen Fallstudien, da Wert auf klimatologische Aussagen gelegt wird. Anhand dieser Fallstudien wird die angestellte Hypothese graphisch veranschaulicht und ausgewertet, wobei regionale und saisonale Unterschiede von großem Interesse sind.

1.2 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Diplomarbeit gliedert sich in sieben Kapitel. Die verwendeten Datensätze, welche den Untersuchungen dieser Arbeit zu Grunde liegen, werden in Kapitel 2 eingehend beschrieben. Diese sind einerseits die Niederschlagsdaten des hydrographischen Dienstes des BMLFUW, Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt, die für die Niederschlagsstatistik verwendet werden, mit welcher Niederschlagsereignisse als solche identifiziert werden sollen. Einen weiteren Datensatz stellen die auf Meeresniveau reduzierten Zeitreihen des Luftdrucks aus der MESOCLIM-Datenreihe dar, die für verschiedenste Ableitungsberechnungen erforderlich sind.

Eine Einführung in die Methodik der angestrebten Auswertungen findet sich in Kapitel 3. So wird beispielsweise erklärt, warum die Wahl der richtigen Skala (räumliche und/oder zeitliche Distanz) für Ableitungen ausgewählter Druckzeitreihen so entscheidend ist. Darüber hinaus werden die Einteilung Österreichs in Klimaregionen und die Aufteilung des Untersuchungszeitraums in klimatologische Perioden (meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten) sowie der grundlegende Gedanke dahinter beschrieben. Am Ende werden sich Niederschlagsstatistik und Druckfeldableitungen gegenübergestellt und im Hinblick auf regionale und saisonale Zusammenhänge untersucht.

Kapitel 4 beschreibt die Auswertungen der Niederschlagsdaten sowie einige zur Anwendung kommende statistische Berechnungsmethoden, welche zum Teil auch bei der Untersuchung der Druckfeldableitungen Anwendung finden. Weiters werden in diesem Kapitel mit Hilfe ausgesuchter Niederschlagsschwellwerte Fallstudien ausgewählt, die in

Kapitel 6 ausgesuchten Druckfeldableitungen gegenübergestellt und die daraus resultierenden Ergebnisse diskutiert werden.

Beschreibungen zu den Methoden der Druckfeldableitungen sowie deren Bedeutung finden sich in Kapitel 5. Dafür werden einzelne ausgewählte Gitterpunktszeitreihen aus dem MESOCLIM-Datensatz herangezogen. Die Wahl der Skala spielt für die durchgeführten Ableitungen im Hinblick auf die Qualität der Ergebnisse eine wichtige Rolle. Berechnungsgrundlage ist die Diskretisierung mittels Bildung finiter Differenzen. Dabei werden zweite Ableitungen im Hinblick auf Raum oder Zeit bestimmt, aber auch sogenannte gemischte Raum-Zeitableitungen gebildet.

Das nachfolgende Kapitel 6 der Arbeit umfasst die Gegenüberstellung der gebildeten Druckfeldableitungen und den analysierten Niederschlagswerten. Die Ergebnisse werden einerseits auf Häufigkeit und Intensität analysiert, indem sie mit ausgewählten Ableitungen des Drucks kombiniert und dargestellt werden. Andererseits werden Niederschlagsereignisse analytisch in Zeitreihendarstellung dargestellt und anhand von Fallstudien diskutiert.

Das abschließende Kapitel 7 befasst sich mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Resultate und einem Ausblick auf mögliche folgende Arbeiten. Darüber hinaus werden auch Vor- und/oder Nachteile der präsentierten Methoden diskutiert sowie Vorschläge und Anregungen für weitere Untersuchungen in diesem Forschungsbereich gegeben.

2 Datengrundlage

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die verwendeten Daten näher beschrieben. Dabei handelt es sich um zwei völlig unterschiedliche Datensätze, die jedoch zeitlich und räumlich im selben Umfang vorliegen. Dies ist für die später angestellten Vergleiche, statistischen Auswertungen und Analysen von essentieller Bedeutung und unbedingt erforderlich.

2.1 Niederschlagsdaten des hydrographischen Dienstes

Bei den Niederschlagsdaten handelt es sich um langjährige Zeitreihen aus dem Datenbestand des hydrographischen Dienstes des BMLFUW, Abteilung V/II – Wasserhaushalt. Diese liegen für ca. 900 Messstationen über ganz Österreich verteilt für unterschiedliche Zeiträume und mehr oder weniger vollständig vor. Die Aufzeichnungen der ältesten Datenreihe beginnen im Jahr 1813, jene der jüngsten erst 2002. Für eine brauchbare klimatologische Auswertung sowie des Herstellens eines Zusammenhangs mit Druckfeldern werden nur Stationen herangezogen, die denselben Zeitraum abdecken, in dem auch die Druckdaten aus dem MESOCLIM-Datensatz vorhanden sind (35 Jahre, von 01.01.1971 – 31.12.2005). Darüber hinaus ist ein weiteres Auswahlkriterium eine lückenlose Aufzeichnung. Diese Kriterien erfüllen jedoch nicht alle Messstationen, weshalb in Tabelle B.1 im Anhang die für Berechnungen und Vergleiche herangezogenen Stationen aufgelistet sind. Am Ende handelt es sich um 515 verwertbare Niederschlagszeitreihen von Messstationen – verteilt über ganz Österreich – welche jedoch nur eine Niederschlagssumme (24-stündiger Niederschlagswert) liefern, wodurch lediglich ein Messwert pro Tag vorliegt. Diese Zeitreihen sind schon während des Projekts „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“ am IMGW verwendet worden. Im Gegensatz zu den in der Meteorologie bekannten Zeitpunkten des Ablesens von Daten erfolgt dies bei den Niederschlagsdaten des hydrographischen Dienstes um 07 Uhr

Lokalzeit. Das heißt somit um 06 UTC (Universal Time Coordinated) während der normalen Mitteleuropäischen Zeit (MEZ) und 05 UTC während der Mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ). Dieser Tatsache zu Grunde liegend ist es sehr wahrscheinlich, dass in den meisten Fällen der bis zu diesem Zeitpunkt gefallene und aufsummierte Niederschlag zumindest zum Großteil am Tag zuvor gefallen ist. Deshalb werden in dieser Arbeit die um 07 Uhr abgelesenen Niederschlagswerte den Druckableitungen des Vortages zugeordnet.

Mit Hilfe der geographischen Koordinaten jeder einzelnen verwendeten Messstation können die Niederschlagszeitreihen einzelnen Klimaregionen zugeordnet werden, welche in Kapitel 3.1 näher beschrieben werden. Danach ist es für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen erforderlich einen für die jeweilige Klimaregion repräsentativen Niederschlagsmittelwert pro Tag zu ermitteln. Für diese Herangehensweise werden ausschließlich Zeitreihen von Messstationen berücksichtigt, die im Zeitraum vom 01.01.1971 – 01.01.2006 lückenlos gemessen und gemeldet haben. Weiters wird nicht unterschieden, ob die aufgezeichneten Zeitreihen von Ombrographen (selbstschreibender Niederschlagsmessern) oder Ombrometern (kombinierte Messgeräte aus Tropfer und linearisierter Kippwaage, messen Niederschlagshöhe oder zählen Tropfen) stammen. Tabelle B.1 im Anhang listet somit von allen verwendeten Messzeitreihen die Stationsnummer, den Stationsnamen, die Stationshöhe, den Beginn der Aufzeichnungen, die Art des Messverfahrens sowie die Klimaregionszugehörigkeit auf, die zur Ermittlung des mittleren Tagesniederschlags je Klimaregion berücksichtigt worden sind.

Abbildung 2.1 zeigt die Verteilung der für die Untersuchungen in dieser Arbeit herangezogenen Messstationen des hydrographischen Dienstes. Obwohl nicht alle zur Verfügung stehenden Zeitreihen Verwendung finden, ist die trotz allem hohe Dichte an verbleibenden Messzeitreihen beeindruckend.

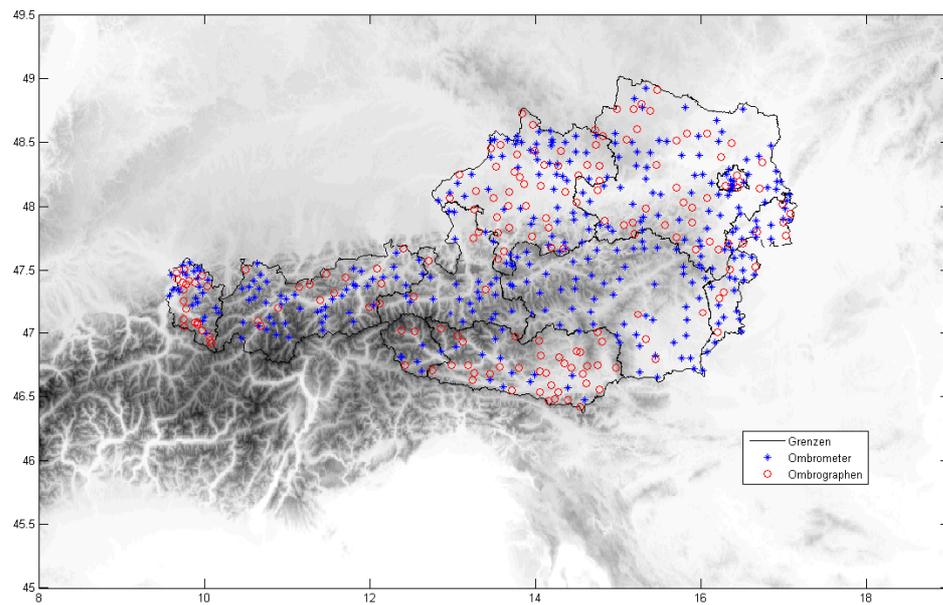


Abbildung 2.1: Verteilung der 515 für Untersuchungen verwendeten Messstationen (Ombrographen und Ombrometer) des hydrographischen Dienstes in Österreich.

2.2 Luftdruckdaten aus dem MESOCLIM-Datensatz

Bei den hier verwendeten Daten handelt es sich um einen Datensatz, der im Zuge eines vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) geförderten Projekts (Nr. P 18296) am IMGW erarbeitet worden ist und beinhaltet mehrere meteorologische Parameter: auf Meeressniveau reduzierten Luftdruck, 10 m Wind, potentielle und äquivalentpotentielle Temperatur. Die der Ausarbeitung zu Grunde liegenden Datensätze enthalten Wettermeldungen von über 4.000 Land- und Seestationen die sich über ganz Europa und Umgebung verteilen. Sie stammen einerseits aus dem Archiv des European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) und umfassen die ERA40- (40-jährige Reanalyse des ECMWF für die Domäne 34N-63N, 11W-42E) und die MARS- (Meteorological Archival and Retrieval System für die Domäne: 34N-63N, 11W-42E) Reanalysedaten. Andererseits sind auch Synop-Daten (meteorologische Daten von automatisierten Wetterstationen) von der ZAMG, dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem nationalen Wetterdienst der Schweiz (MeteoSchweiz) für die Auswertung

herangezogen worden. Diese analysierten und qualitätskontrollierten Daten sind auf einem regelmäßigen Gitter mit 16x16 km Auflösung und einem Zeitintervall von drei Stunden verfügbar. Der somit räumlich und zeitlich hochaufgelöste Datensatz ist über einen Zeitraum von 35 Jahren (01.01.1971 – 31.12.2005) vorhanden. Daraus folgt, dass Daten für den Luftdruck täglich alle drei Stunden (d.h. acht Werte pro Tag) verfügbar sind. Der Koordinatenursprung des verwendeten Gitters ($x = 0$, $y = 0$) liegt nahe Innsbruck und entspricht dem Punkt mit den Koordinaten $\lambda = 11,39^\circ$ und $\varphi = 47,26^\circ$.

Im Zuge dieser Arbeit werden nun Gitterpunktszeitreihen von auf Meeressniveau reduzierten Luftdruckdaten aus dem MESOCLIM-Datensatz herangezogen. Die Angaben der Koordinaten der den Untersuchungen zu Grunde liegenden Gitterpunkte sind, wenn nicht anders vermerkt, immer im kartesischen Koordinatensystem, dessen Abszisse in West-Ost-Richtung und Ordinate in Süd-Nord-Richtung zeigt. Diese Koordinaten geben somit auch die Entfernung zum Koordinatenursprung in Kilometer an. Abbildung 2.2 zeigt die Verteilung der MESOCLIM-Gitterpunkte über dem ausgewählten Untersuchungsgebiet. Einzelne ausgewählte Zeitreihen werden für die Berechnungen der Druckfeldableitungen herangezogen, die in Kapitel 5 näher erläutert werden.

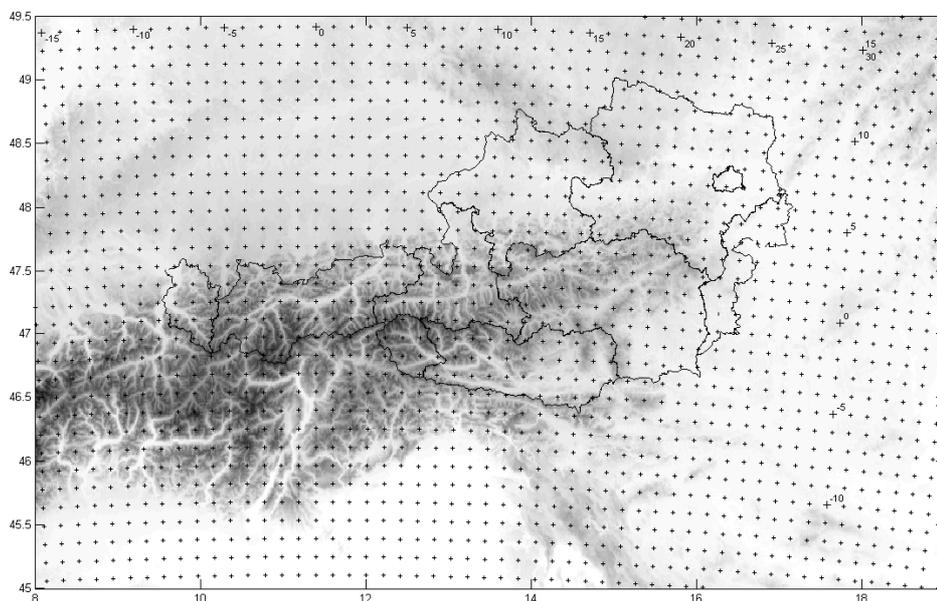


Abbildung 2.2: Darstellung des MESOCLIM-Gitters über dem Untersuchungsgebiet.

3 Methodik

In diesem Kapitel erfolgt eine Einführung in die Vorgehensweise der gegenüberstellenden Untersuchungen von Niederschlagsereignissen und ausgewählten Druckfeldableitungen. Für diese Art der Auswertung sind einige Vorbetrachtungen und Vorarbeiten bezüglich der Aufbereitung der Niederschlags- und Druckdaten erforderlich.

3.1 Die Skala

Bereits in der Einleitung wurde erwähnt, dass die Wahl der richtigen Skala (räumliche und/oder zeitliche Distanz) ausschlaggebend für die Qualität der Resultate von Druckfeldableitungen ist. Wird die Skala beispielsweise zu klein gewählt, wäre in den meisten Fällen noch zu viel Störinformation (Rauschen, Störungen) enthalten, sodass eine unbrauchbare und zu raue Abbildung der Daten entstehen würde. Das heißt, es würden beispielsweise kleinräumige Druckschwankungen berücksichtigt, die nicht mit synoptischen Systemen einhergehen. Andererseits werden gesuchte Gebilde auf Grund der Wahl einer zu großen Skala zu stark geglättet. Hierbei verschwinden gesuchte kleinräumige, mesoskalige Signale (Tschannett et al., 2003). Auch bei der Wahl des Zeitinkrements ist Vorsicht geboten. Dieses soll es ermöglichen, die tageszeitlichen Schwankungen im Druckfeld zu filtern, ohne dabei wichtige Informationen über beispielsweise Frontsignale zu verlieren. Da in Österreich ein großer Teil des Gesamtniederschlags im Zuge von durchziehenden synoptischen Systemen fällt, welche deutliche Drucksignale hinterlassen, sind vor allem Signale von Fronten von hoher Bedeutung.

Im Zuge des Projekts „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“ sind diesbezüglich einige Tests durchgeführt worden, um ein geeignetes Zeitinkrement und eine brauchbare räumliche Distanz zu finden, die es erlauben, dass signifikante Signale

erhalten bleiben (z. B. Drucksignal bei einem Frontdurchgang), tageszeitliche Schwankungen im Druck jedoch möglichst gut herausgefiltert werden.

Als Hilfestellung sind Angaben zur typischen Lebenszeit einer Zyklone in den mittleren Breiten (drei Tage) und deren Horizontalskala (3.000 km) herangezogen worden (Bergman-Schaefer, 2001). Aus diesen Werten würde sich somit eine Zuggeschwindigkeit von 1.000 km/Tag ergeben. Dieser Tatsache zu Grunde liegend sind während des genannten Projekts für viele Auswertungen Gitterpunktsdistanzen von mehreren hundert Kilometern und ein Zeitinkrement von 24 Stunden gewählt worden, die auch bei den Untersuchungen in dieser Arbeit zur Anwendung kommen.

3.2 Wahl der MESOCLIM-Gitterpunkte

Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, ist die Wahl repräsentativer räumlicher Distanzen enorm wichtig, jedoch im Bereich der Alpen hinsichtlich ihrer komplexen Struktur und Einflussnahme auf die Niederschlagsverteilung alles andere als einfach. Strömen beispielsweise feuchte Luftmassen aus Nord oder Nordwest an die Alpen kommt es in den sogenannten Nordstau-Gebieten zu teils enormen Niederschlagsmengen, je nach Stärke der Wetterlage. Der Süden sowie manche inneralpine Täler bleiben jedoch vielerorts relativ trocken. Genau anders herum verhält es sich, wenn feuchte Luftmassen beispielsweise einer Genua-Zyklone oder eines Adriatiefs an die Südseite der Alpen strömen und es folglich in den sogenannten Südstau-Gebieten zu heftigen Niederschlagsereignissen kommen kann. Auf Grund dieser Tatsachen ist es sinnvoll jeweils einen MESOCLIM-Gitterpunkt nördlich und südlich des Alpenhauptkammes zu wählen, um von dessen Zeitreihe ausgewählte Druckfeldableitungen zu bilden und die angesprochenen Verhältnisse zu untersuchen. Folgende Gitterpunkte mit kartesischen Koordinaten sind hierfür gewählt worden: (0/80) – nördlicher Punkt mit $\lambda = 11,39^\circ$ und $\varphi = 47,98^\circ$; (0/-176) – südlicher Punkt mit $\lambda = 11,39^\circ$ und $\varphi = 45,68^\circ$.

Darüber hinaus liegt Österreich im Bereich der Westwindzone, weshalb auch der Einfluss durchziehender synoptischer Systeme nicht zu vernachlässigen ist. Deshalb ist es zweckmäßig Untersuchungen nicht nur im Gebiet des Nord-Süd-Gefälles, sondern auch im

Ost-West-Gefälle vorzunehmen und zwei Gitterpunkte im Norden außerhalb des Einflussbereichs der Alpen zu wählen. Hierfür sind folgende Gitterpunkte mit ebenfalls kartesischen Koordinaten gewählt worden: (432/112) – östlicher Punkt mit $\lambda = 17,21^\circ$ und $\varphi = 48,12^\circ$; (-128/112) – westlicher Punkt mit $\lambda = 9,66^\circ$ und $\varphi = 48,25^\circ$.

Des Weiteren ist der Süden Österreichs stark beeinflusst von Genua-Zyklonen sowie von Adria- und Mittelmeertiefs. Folglich wird ergänzend zu den Untersuchungen des Ost-West-Gefälles nördlich der Alpen auch jenes südlich davon herangezogen. Dafür wurden ebenfalls zwei Gitterpunkte südlich von Österreich knapp außerhalb des Einflussbereichs des Alpenbogens mit folgenden kartesischen Koordinaten gewählt: (432/-176) – östlicher Punkt mit $\lambda = 16,94^\circ$ und $\varphi = 45,54^\circ$ und (-128/-176) – westlicher Punkt mit $\lambda = 9,74^\circ$ und $\varphi = 45,67^\circ$.

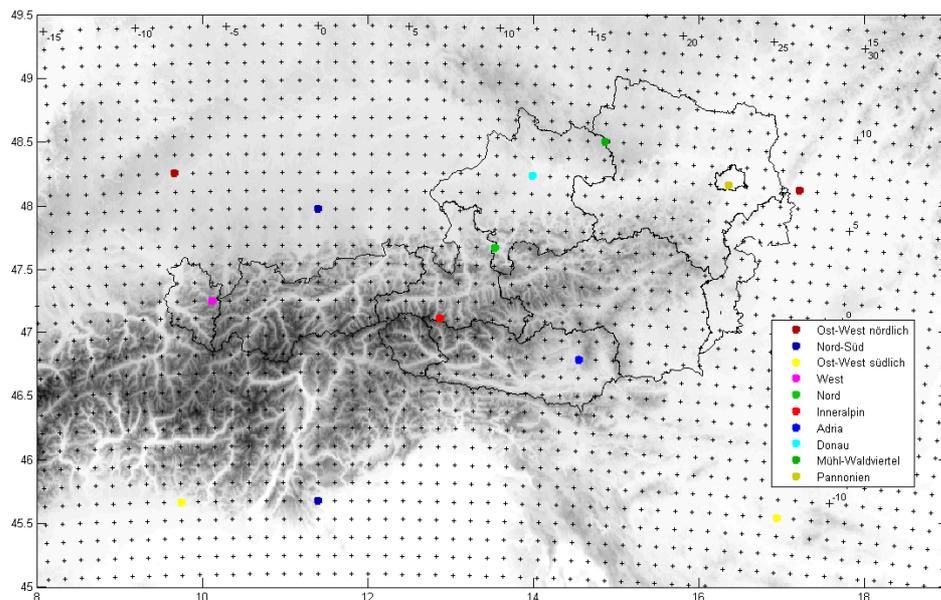


Abbildung 3.1: Auswahl der MESOCLIM-Gitterpunkte zur Untersuchung des Druckverhaltens im Nord-Süd-Gefälle sowie im Ost-West-Gefälle. Darüber hinaus eingezeichnet sind die ausgewählten MESOCLIM-Gitterpunkte für diverse Druckableitungen die zentral in einer Klimaregion gelegen sind.

Abgesehen von den gewählten Gitterpunkten zur Beschreibung des Druckgefälles von Nord nach Süd beziehungsweise Ost nach West ist es für einige Ableitungen des Drucks

erforderlich, Zeitreihen von Punkten zu wählen, die zentral in einer Klimaregion liegen. Ein Grundgedanke dieser Vorgehensweise ist, etwaiges klimaregionsspezifisches Verhalten in der Druckverteilung – das zu Niederschlagsereignissen führt – zu erkennen. Die folgende Tabelle listet diese ausgewählten Punkte auf.

Klimaregionen	Kartesische Koordinaten		Geographische Koordinaten	
	x [km]	y [km]	λ [°]	φ [°]
West	-96	0	10,12	47,25
Nord	160	48	13,53	47,67
Inneralpin	112	-16	12,87	47,11
Adria	240	-48	14,54	46,78
Donau	192	112	13,98	48,24
Mühl-Waldviertel	256	144	14,87	48,50
Pannonien	368	112	16,35	48,16

Tabelle 3.1: Kartesische und geographische Koordinaten ausgewählter MESOCLIM-Gitterpunkte für Raum-Zeitableitungen.

3.3 Klimaregionen Österreichs

Damit die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Verhältnisse und die unterschiedlichen Zusammenhänge, die zwischen Druck- und Niederschlagsfeldern zu erwarten sind, erarbeitet werden können, ist schon im Projekt „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“ eine subjektiv-empirische Unterteilung Österreichs in sieben orographisch unterschiedlich geprägte und beeinflusste Regionen erfolgt. Dies erscheint plausibel, da der Niederschlag eine räumlich und zeitlich sehr variable Größe ist und zusätzlich stark von der Topographie beeinflusst wird. In Österreich bedecken die Alpen weite Teile des Landes, wodurch Stau- und Luv-Lee-Effekten große Bedeutung für das Wettergeschehen zugeschrieben wird. Deshalb sind Gebiete mit erfahrungsgemäß ähnlicher Niederschlagsverteilung in Klimaregionen zusammengefasst worden, um die regionalen sowie ferner auch die saisonalen Unterschiede besser erarbeiten, beschreiben und hervorheben zu können.

Diese sieben erwähnten Klimaregionen sind von West nach Ost gehend folgendermaßen benannt worden: West, Nord, Inneralpin, Adria, Donau, Mühl-Waldviertel und Pannonien. Anknüpfend erfolgt eine kurze Beschreibung dieser:

- (I) West: Die Klimaregion West umfasst das gesamte Bundesland Vorarlberg und den nordwestlichen Teil Tirols und stellt somit die noch am stärksten durch den Atlantik beeinflusste Region Österreichs dar. Hier kommt es beim Durchzug synoptischer Systeme zu teils kräftigen Niederschlagsereignissen mit hohen Regen- oder Schneemengen, je nach Jahreszeit.
- (II) Nord: Das nordöstliche Tirol, Teile von Salzburg sowie die südlichen Teile von Ober- und Niederösterreich und einen kleinen Teil der nördlichsten Steiermark beinhaltet diese Klimaregion, die somit eine große West-Ost-Erstreckung aufweist. Sie spiegelt die Witterungsbedingungen, die durch Staueffekte am Nordrand der Alpen hervorgerufen werden, wieder. Diese gehen meist mit einem ausgeprägten Trog mit starkem Gradienten und einem ostwärts wandernden Tiefdruckgebiet am Boden einher.
- (III) Inneralpin: Über weite Teile Österreichs erstreckt sich diese Klimaregion und umfasst die inneralpinen Gebirgstäler der Alpen, in denen ein im Vergleich zu den anderen alpinen Zonen etwas trockeneres Klima vorherrscht. Diese Region beinhaltet die südlichen Teile Tirols und Salzburgs, die nördlichen Teile von Osttirol, Kärnten und der Steiermark sowie einen sehr kleinen Teil des südwestlichen Niederösterreichs und weist ebenso wie die Region Nord eine ausgedehnte West-Ost-Erstreckung auf.
- (IV) Adria: Diese Klimaregion erstreckt sich im Süden Österreichs vom südlichen Osttirol über weite Teile Kärntens, der Südsteiermark bis hin zum Südburgenland. Sie repräsentiert den durch Staueffekt am Südrand der Alpen – beispielsweise durch Genua-Zyklonen und Adriatiefs – beeinflussten Bereich Österreichs.
- (V) Donau: Der nördlichste Bereich von Salzburg sowie Teile von Ober- und Niederösterreich zählen zu dieser Klimaregion. Das Wettergeschehen wird größtenteils von durchziehenden synoptischen Systemen geprägt.

- (VI) Mühl-Waldviertel: Dieser Klimaregion gehören das nordöstliche Oberösterreich und das nordwestliche Niederösterreich an. In dieser Region wird das Wettergeschehen einerseits stark von synoptischen Systemen geprägt, andererseits jedoch auch regional von den Ausläufern des Böhmerwalds und dem Weinsberger Wald beeinflusst.
- (VII) Pannonien: Wien, das östliche Niederösterreich und das nördliche Burgenland gehören dieser Klimaregion an. Das Wettergeschehen in dieser Region ist vor allem geprägt durch die Pannonische Tiefebene, auch Pannonisches Becken oder Karpatenbecken genannt, jedoch können auch ausgeprägte Genua-Zyklonen mit einer Vb-Zugbahn – vom Golf von Genua ausgehend über Norditalien, die Adria bis nach Kroatien und dann östlich an der österreichischen Staatsgrenze vorbei Richtung Norden – saisonal starken Einfluss nehmen.

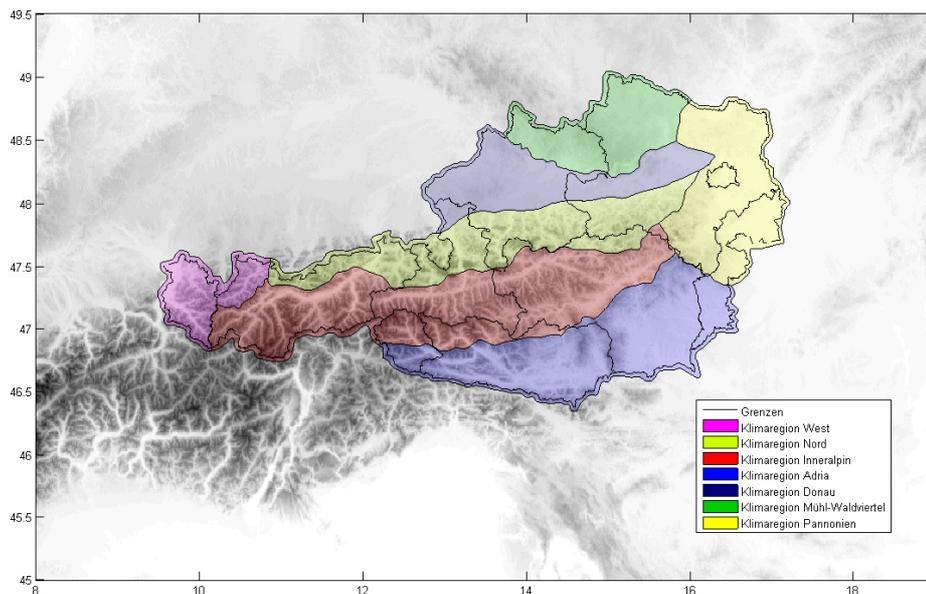


Abbildung 3.2: Darstellung der subjektiv-empirischen Aufteilung Österreichs in Klimaregionen.

Abbildung 3.2 stellt die beschriebene Einteilung graphisch dar, wobei auf der Abszisse die Längengrade (λ in $[\circ]$) und auf der Ordinate die Breitengrade (φ in $[\circ]$) aufgetragen sind.

Zusammenfassend kann man sagen, dass in den Klimaregionen West, Nord, Donau, Mühl-Waldviertel und Pannonien ein Großteil des Niederschlags durch Frontpassagen fällt. Im

Bereich der Regionen Inneralpin und Adria ist dies seltener der Fall, da der Alpenbogen ein zu großes Hindernis darstellt, welchen Fronten meist nicht überwinden und deshalb nördlich daran vorbeiziehen. Somit sind diese Regionen, was die Ergiebigkeit der Niederschlagsereignisse anbelangt, von ausgeprägten Tiefdruckgebieten ausgehend vom Golf von Genua und der Adria abhängig.

In Kapitel 2.1 ist bereits eine Tabelle vorgestellt worden, welche auf den Umfang der am Ende für Untersuchungen zur Verfügung stehenden Niederschlagszeitreihen des hydrographischen Dienstes hinweist. Bekanntlich ist eine hohe Dichte an Stationszeitreihen erforderlich, um einen repräsentativen mittleren Tagesniederschlagswert zu erhalten und das bereits erwähnte Messnetz erfüllt diese Bedingung. Die folgende Tabelle repräsentiert eine Zusammenfassung der pro Klimaregion insgesamt vorliegenden und der schlussendlich tatsächlich verwendeten Stationsfiles.

Klimaregion	Anzahl der vorliegenden Stationsfiles	Anzahl der verwendeten Stationsfiles
West	72	55
Nord	119	71
Inneralpin	164	99
Adria	165	88
Donau	105	66
Mühl-Waldviertel	92	47
Pannonien	178	89
Summe	895	515

Tabelle 3.2: Auflistung der sieben Klimaregionen Österreichs inklusive der Anzahl der jeweils vorliegenden und der schlussendlich tatsächlich verwendeten Datenfiles von Messstationen des hydrographischen Dienstes.

In einer weiteren Darstellung in Abbildung 3.3 sind nun einige für die Auswertungen wichtigen Vorbetrachtungen zusammengefasst: die Messstationen (Ombrographen und Ombrometer) des hydrographischen Dienstes des BMLFUW Abteilung V/II – Wasserhaushalt, das dichte Netz an MESOCLIM-Gitterpunkten – auf welche sich die Ziffern am inneren Rand der Graphik beziehen – und die Einteilung Österreichs in die bereits erwähnten und beschriebenen sieben Klimaregionen.

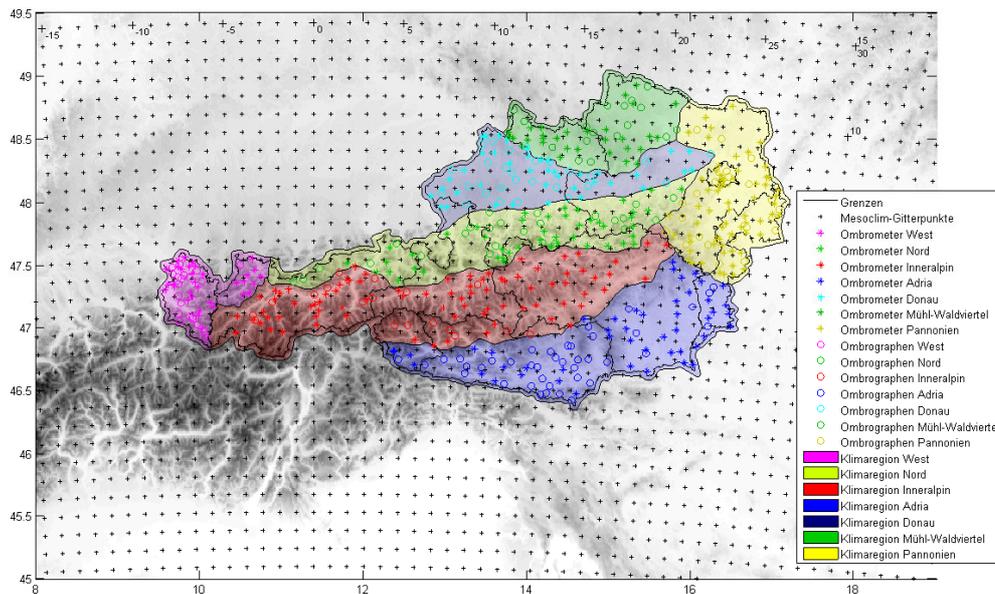


Abbildung 3.3: Zusammenfassende Darstellung der verfügbaren MESOCLIM-Gitterpunkte, der Klimaregionen Österreichs und der je Klimaregion zugewiesenen Messstation (Ombrographen und Ombrometer) des hydrographischen Dienstes.

3.4 Untersuchung von meteorologischen Halbjahren und Jahreszeiten

Da der Niederschlag in den mittleren Breiten nachhaltig von der Jahreszeit beeinflusst wird und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, wird der ausgewählte Zeitraum nicht nur insgesamt, sondern auch unterteilt nach definierten klimatologischen Perioden untersucht. Hierfür werden die meteorologischen Halbjahre und Jahreszeiten herangezogen, um saisonale Unterschiede im Niederschlagsverhalten erkennen zu können. Die Aufteilung in Halbjahre ist erfolgt, um die sommerlichen konvektiven Niederschlagsereignisse – labile Verhältnisse, Niederschlag vor sowie nach Fronten und bei gradientenschwachen Lagen durch Gewitter – von den winterlichen stratiformen Niederschlägen – stabile Verhältnisse, Niederschlag mit beziehungsweise nach Durchzug von Fronten – zu trennen. Mit der Einteilung in Jahreszeiten soll versucht werden herauszufinden, ob diese Unterteilung eine bessere Trennschärfe liefert als jene der Halbjahre allein. Hierbei

wurden die Übergangsjahreszeiten – Frühling und Herbst – von der konvektiven Phase im Sommer und der stratiformen Phase im Winter getrennt.

Die erwähnten Perioden unterteilen sich in ihrer genauen Betrachtung wie folgt:

- (I) Winterhalbjahr: Oktober, November, Dezember, Jänner, Februar und März (ONDJFM)
- (II) Sommerhalbjahr: April, Mai, Juni, Juli, August und September (AMJJAS)
- (III) Winter: Dezember, Jänner und Februar (DJF)
- (IV) Frühling: März, April und Mai (MAM)
- (V) Sommer: Juni, Juli und August (JJA)
- (VI) Herbst: September, Oktober und November (SON)

Die meteorologischen Jahreszeiten Winterhalbjahr und Winter repräsentieren jene Monate, in denen die auftretenden Niederschlagsereignisse vor allem von durchziehenden Fronten in Verbindung mit synoptischen Systemen hervorgerufen werden und nur zum Teil konvektiven Ursprungs sind. Der Frühling stellt auf Grund der Umstellung in der großräumigen Strömung die am stärksten durch Konvektion geprägte Jahreszeit dar (Umstellung von stratiformen Niederschlagsereignissen zu konvektiven, der Mai ist der konvektivste Monat). Das Sommerhalbjahr und der Sommer stellen jene Jahreszeit dar, die vor allem von konvektiven Niederschlagsereignissen geprägt ist, aber in welcher auch frontal bedingt Niederschläge von Bedeutung sind. Im Sommer führen vereinzelt Warmfronten zu ausgeprägten Niederschlagsereignissen, dem sogenannten „Landregen“, aber in Verbindung mit Kaltfronten können auch Gewitterlinien oder einzelne heftige Gewitter auftreten, die lokal zu ergiebigen Niederschlagsmengen führen können. Im Herbst beginnt sich die Großwetterlage auf die winterlichen Verhältnisse umzustellen (Übergang von der konvektiv geprägten Jahreszeit zu jener Phase mit stratiformen Niederschlagsereignissen). Vereinzelt kann es neben den nun hauptsächlich frontalen auch noch zu konvektiven Niederschlagsereignissen kommen.

Die vorliegenden Zeitreihen des berechneten mittleren Tagesniederschlags je Klimaregion werden auf saisonale und regionale Unterschiede untersucht. Dies erfolgt mit Hilfe von Schwellwerten, auf die in Kapitel 4 näher eingegangen wird.

3.5 Kombinierte Untersuchungen von Niederschlagsstatistiken und Druckfeldableitungen

Um den Luftdruck dem Niederschlag gegenüberstellen zu können und beide Größen auf ihre Wechselbeziehung untersuchen zu können, müssen einige Vorarbeiten geleistet werden. So wird beispielsweise der Niederschlag einigen statistischen Bearbeitungsmethoden zugeführt und analysiert (Mittelwert, Quantile – nähere Beschreibung siehe Kapitel 4.1), um aussagekräftige Größen zu ermitteln, die für weiterführende Untersuchungen herangezogen werden. Darüber hinaus erfolgt mit Hilfe dieser Größen und festgelegter Schwellwerte eine Auswahl an Fallstudien. Des Weiteren werden ausgewählte Ableitungen des Druckfeldes (Druckgradient, zweite zeitliche, zweite räumliche, räumlich zeitliche (= zeitliche Entwicklung eines Druckgradienten) Ableitung und der horizontalen Laplace des Drucks – nähere Beschreibung siehe Kapitel 5.1) der ausgesuchten MESOCLIM-Gitterpunkte gebildet. Schlussendlich erfolgen eine Gegenüberstellung dieser Größen und eine Analyse ihres Zusammenhangs in Kapitel 6.

4 Analyse von Niederschlagsereignissen

Um signifikante Niederschlagsereignisse – seien es nun Trockenperioden oder niederschlagsreiche Verhältnisse – aus der 35jährigen Datenreihe zu extrahieren, wird die Berechnung statistischer Größen herangezogen. So wird beispielsweise der Mittelwert (mittlerer Tagesniederschlag je Klimaregion) als zentraler Analysewert berechnet. Die Methode der Mittelwertberechnung setzt jedoch eine Normalverteilung der zu Grunde liegenden Datenmenge voraus (Schönwiese, 1992). Da aber der Niederschlag nicht normalverteilt ist, reagiert der Mittelwert sensibel auf Ausreißer (Extremwerte). Dennoch erscheint diese Vorgehensweise als geeignet um das Verhalten von Niederschlagsereignissen zu analysieren.

Darüber hinaus erfolgt eine Erklärung, wie Niederschlagsereignisse als solche identifiziert und ermittelt werden. Im Anschluss werden die Fallstudien anhand der Resultate der Niederschlagsstatistik und der Wahl bestimmter Schwellwerte ermittelt.

4.1 Größen aus der Statistik

Die folgenden zusammengefassten Begriffe und Definitionen statistischer Größen sind dem Buch „Praktische Statistik für Meteorologen und Geophysiker“ (Schönwiese, 1992) entnommen.

4.1.1 Mittelwert

Um einen signifikanten Niederschlagswert für die in Kapitel 3.3 eingeführten und beschriebenen Klimaregionen zu erhalten, muss als erstes ein Tagesmittel aus den in der

jeweiligen Region vorhandenen Niederschlagszeitreihen gebildet werden. Umgesetzt wird dies mit der Formel für den arithmetischen Mittelwert.

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum a_i = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + \dots + a_n) \quad (4.1)$$

wobei a_i , $i = 1, \dots, n$ (mit $n =$ Stichprobenumfang) die Menge der Daten, bzw. Merkmalswerte sind (Schönwiese, 1992).

Für die in Kapitel 6 folgenden Gegenüberstellungen mit Druckableitungen wird zusätzlich zum mittleren Tagesniederschlag noch ein Zehn- und 15-Tagesmittel gebildet und dient in weiterer Folge ausschließlich der Untersuchung von Trockenperioden.

4.1.2 Quantile

Zur Untersuchung der Merkmale eines Datenkollektivs wird auch oft die Betrachtung der Quantile (Verteilungsmaß, Variationsmaß) herangezogen, wobei es unterschiedlichste Einteilungen dieser gibt. Die bekannteste ist sicher jene der Quartile (Viertelung), aber auch Dezile (Zehnteilung) und Perzentile (Teilung in hundertstel) sind durchaus geläufig. Diese geben die Merkmale einer definierten Menge an Daten aus der Grundgesamtheit an (Schönwiese, 1992).

Die Berechnung der Quantile, genauer gesagt des ersten (Q_1 oder unteres Quartil), zweiten (Q_2 , Median) und dritten Quartil (Q_3 oder oberes Quartil), ist für die vergleichende Darstellung der Niederschlagszeitreihe je Klimaregion mit ausgewählten Druckableitungen in Häufigkeitsverteilungen erforderlich. Die Berechnung eben dieser wird mit folgender Formel durchgeführt:

$$Q_i = p * n \quad (4.2)$$

(http://web.neuestatistik.de/inhalte_web/content/mod_19375/html/comp_19494.html, 2013).

p gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der Werte in einem ausgewählten Bereich der Datenreihe liegen, n bezeichnet den Datenumfang und i das berechnete Quantil. Das erste

Quartil erhält man nun, indem man $p = 0,25$ (= 25%) setzt. Analog erhält man das zweite Quartil ($p = 0,5$) und das dritte Quartil ($p = 0,75$).

4.2 Schwellwerte und Ergebnisse der Statistikauswertung

Für die Auswertungen der Niederschlagszeitreihen im Hinblick auf Niederschlagsereignisse im Allgemeinen als auch auf Trockenperioden werden Grenzwerte herangezogen. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze zur Auswahl von Schwellwerten. Um eine bessere Übersicht über die Ergebnisse der statistischen Auswertungen der Niederschlagsdaten zu gewährleisten sind einige Resultate tabellarisch zusammengefasst.

4.2.1 Niederschlagsereignisse

In dieser Arbeit werden Niederschlagswerte > 0 mm pro Tag und Klimaregion als zentrale Analysewerte von Niederschlagsereignissen herangezogen. Niederschläge die in Spuren auftreten – das heißt also nicht messbarer Niederschlag < 1 mm/Tag – werden im Hinblick auf die in Kapitel 6 durchgeführten Auswertungen von Ereignissen zu denen tatsächlich Niederschlag gefallen ist ebenfalls berücksichtigt. Zur Auswahl der Fallstudien werden jedoch noch weiter Grenzwerte berücksichtigt (30 mm/Tag und 50 mm/Tag). Die folgende Tabelle zeigt eine Auflistung der Auswertung aufgetretener Niederschlagsereignisse ab einem definierten Schwellwert je Klimaregion im Untersuchungszeitraum von 35 Jahren.

Klimaregion	Schwellwerte [mm] für den mittleren Tagesniederschlag			
	$rr > 0$	$rr \geq 1$	$rr \geq 30$	$rr \geq 50$
West	8256	6084	200	29
Nord	9087	6408	127	20
Inneralpin	9210	5841	32	2
Adria	8079	4657	89	5
Donau	8232	5285	31	5
Mühl-Waldviertel	8290	5014	20	4
Pannonien	8023	4181	25	2

Tabelle 4.1: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert.

Einerseits wird aufgelistet, wie viele Niederschlagsereignisse je Klimaregion insgesamt aufgetreten sind, andererseits jene ab einem vorgegebenen Schwellwert. Deutlich erkennen lässt sich hierbei eine Trennung zwischen Regionen mit einerseits eher feuchtem und andererseits eher trockenem Charakter. Darüber hinaus zeigt diese Auswertung, dass Niederschlagsmengen ≥ 30 mm/Tag vor allem in den Klimaregionen Nord und West häufiger vorkommen, nämlich drei bis sieben Mal pro Jahr und auch extreme Niederschläge treten in diesen Regionen im Vergleich zu den anderen öfter auf. In der Region Adria kommt es immerhin noch zwei Mal pro Jahr zu großen Niederschlagsmengen, während dies für die Klimaregionen Donau, Inneralpin, Mühl-Waldviertel und Pannonien nicht mehr zutrifft.

Dieselben Auswertungen sind sowohl für meteorologische Halbjahre als auch Jahreszeiten durchgeführt worden, um einen Eindruck von den saisonalen und regionalen Unterschieden je Klimaregion zu erhalten. Das Auftreten von Niederschlagsmengen ≥ 1 mm/Tag hält sich in allen Klimaregionen und meteorologischen Saisonen mehr oder weniger die Waage, wobei die Sommer durchwegs die höchste Anzahl an Niederschlagsereignissen aufweisen. Darüber hinaus tritt sehr stark zum Vorschein, dass kräftige Niederschlagsereignisse mit großen Regenmengen vor allem in dieser Jahreszeit fallen. In der Klimaregionen Adria sind diese jedoch vor allem im Herbst zu finden und in der Region Pannonien im Frühling und Herbst. Eine ausführliche Auflistung der Auswertungen bezüglich saisonaler und regionaler Unterschiede befindet sich im Anhang in Tabelle B.2 bis Tabelle B.8.

Betrachtet man je Klimaregion die Zeiträume in denen extreme Niederschlagsereignisse auftreten, so lassen sich in mehreren Jahren oftmals einige aufeinanderfolgende Tage mit sehr hohen Niederschlagsmengen finden. Diese können für Fallstudien herangezogen werden und eine Auswahl von Zeiträumen die dafür in Frage kommen lautet wie folgt:

- 17.07. und 18.07.1981
- 05.08. und 06.08.2002
- 10.08. und 11.08.2002

4.2.2 Trockenperioden

Für eher trockene Phasen wird ebenfalls der Grenzwert von 0 mm in den betrachteten Zeiträumen von zehn oder 15 Tagen gewählt. Die hierfür berechneten Mittelwerte sind zeitlich übergreifend berechnet worden. Das bedeutet, für jeden Tag liegt der berechnete Mittelwert des definierten Zeitraums vor – für zehn oder 15 Tage. Die folgenden Tabellen zeigen eine Auflistung der Anzahl von Phasen mit trockenen bis extrem trockenen Verhältnissen im 35-jährigen Untersuchungszeitraum.

Klimaregion	Schwellwerte [mm] für den mittleren Niederschlag von zehn Tagen		
	$rr = 0$	$rr < 1$	$rr < 5$
West	255	1968	8150
Nord	126	1878	8897
Inneralpin	148	2813	11004
Adria	235	3926	10814
Donau	110	3053	11501
Mühl-Waldviertel	117	3790	11950
Pannonien	173	4819	12262

Tabelle 4.2: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert.

In Tabelle 4.2 aufgelistet sind nun die Perioden in denen es zu absolut keinem oder keinem nennenswerten Niederschlag gekommen ist. Man kann erkennen, dass es im 35-jährigen

Untersuchungszeitraum doch recht häufig zu langen extrem trockenen Phasen gekommen ist, wobei die Klimaregionen West und Adria besonders hervor stechen. Trotzdem ist diese Auswertung mit Vorsicht zu genießen, da die Möglichkeit besteht, dass eine Trockenperiode mehr als zehn Tage andauert hat und somit in die Summe der aufgetretenen Ereignisse mehr als einmal eingeht. Deshalb wird dieselbe statistische Auswertung auch für Ereignisse mit einem Zeitraum von 15 Tagen durchgeführt und die Ergebnisse in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Klimaregion	Schwellwerte [mm] für den mittleren Niederschlag von 15 Tagen		
	$rr = 0$	$rr < 1$	$rr < 5$
West	82	1320	8099
Nord	20	1277	9071
Inneralpin	34	2135	11292
Adria	76	3186	11178
Donau	16	2419	11803
Mühl-Waldviertel	23	3086	12191
Pannonien	40	4172	12458

Tabelle 4.3: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert.

Auch bei dieser Auswertung gelten dieselben Voraussetzungen und Schlussfolgerungen wie bei der zuvor diskutierten Tabelle 4.2. Bemerkenswert erscheint die Tatsache, dass es in den Klimaregionen West und Adria zwei Mal pro Jahr zu sehr lange andauernden Trockenereignissen kommen kann. Diese Tatsache erscheint seltsam, da man annehmen könnte, dass es auf Grund des atlantischen Einflusses in der Region West und des Mittelmeereinflusses in der Klimaregion Adria zu keinen länger als 15 Tage andauernden Trockenperioden kommen sollte. In den Klimaregionen Inneralpin und Pannonien treten solche Phasen immerhin ein Mal pro Jahr auf, während diese in den restlichen Regionen seltener sind.

Wie bereits bei der Auswertung und Diskussion von Niederschlagsereignissen werden auch die Trockenphasen auf ihre saisonalen und regionalen Unterschiede untersucht und geprüft. Dabei lässt sich erkennen, dass vor allem der Winter und der Herbst jene meteorologischen Jahreszeiten sind, die am stärksten durch diese länger andauernden

trockenen Phasen geprägt sind. Diese Tatsache lässt sich mit der eher stabilen großräumigen Wetterlage in diesen Jahreszeiten erklären und den somit eher spärlich aufziehenden und durchziehenden synoptischen Systemen erklären. Eine genaue Auflistung der Auswertungen bezüglich der saisonalen und regionalen Unterschiede findet sich im Anhang in Tabelle B.9 bis Tabelle B.15 (für zehn Tage) und Tabelle B.16 bis Tabelle B.22 (für 15 Tage).

Geht man für die Untersuchung von Trockenperioden und der Auswahl von Fallstudien ebenso vor wie für jene von mit hohen Niederschlagsmengen, ergeben sich folgende drei Perioden, die untersuchenswert erscheinen:

- 11 Tage: vom 13.03. bis 23.03.1972
- 14 Tage: vom 29.10. bis 11.11.1978
- 12 Tage: vom 16.03. bis 27.03.2003

5 Druckfeldableitungen

Dieses Kapitel dient der näheren Beschreibung der Berechnungsmethode ausgewählter Druckfeldableitungen durch Diskretisierung mittels Bildung finiter Differenzen (Differenzenquotient anstelle des Differentialquotienten). Die Idee zur Berechnung dreidimensionaler Kennzahlen aus unterschiedlichen Druckfeldableitungen (räumlich und/oder zeitlich) stammt einerseits aus dem KLI.EN-Projekt (Nachtnebel et al. 2010). Andererseits kamen auch schon ähnliche Berechnungsmethoden im Projekt „StartClim.12“ (Tschannett et al. 2003) zur Anwendung. In den folgenden Kapiteln wird nun Bezug genommen auf die verwendeten Ableitungen aus dem KLI.EN-Projekt sowie auf einzelne aus dem Projekt „StartClim.12“ (Tschannett et al. 2003), auf die auch schon Eibl (2009) verwiesen hat. Zum besseren Verständnis werden die Bildung der Ableitungen und deren Bedeutung näher erläutert, da sie Teil der Grundlage für diese Arbeit darstellen. Die verwendeten Berechnungsmethoden stammen nunmehr aus den zwei erwähnten Projekten und werden gegebenenfalls vom Autor ergänzt.

Mit Hilfe der gewonnenen Ableitungen können räumliche und zeitliche Veränderungen im Bodendruckfeld untersucht werden und später mit ausgewählten statistischen Größen der Niederschlagsanalyse in Beziehung gesetzt werden. Die dafür zu Grunde liegenden Druckfeldanalysen aus dem MESOCLIM-Datensatz sind bereits in Kapitel 2.2 näher beschrieben worden.

5.1 Bildung und Bedeutung der Druckfeldableitungen

Bei den folgenden Ableitungen handelt es sich, wie schon bei Tschannett et al. (2003) und Nachtnebel et al. (2010), um räumliche, zeitliche und gemischte räumlich-zeitlich Ableitungen von ausgewählten Gitterpunktszeitreihen aus den MESOCLIM-Druckfeldanalysen.

In einigen Bereichen der Meteorologie (Analyse und Vorhersage) ist es möglicherweise notwendig numerische Methoden zur Lösung räumlicher Differentialgleichungen erster und zweiter Ordnung einzusetzen. Die erste Ableitung stellt beispielsweise der Druckgradient in x - und y -Richtung dar.

$$\frac{\partial p}{\partial x} \text{ und } \frac{\partial p}{\partial y} \quad (5.1)$$

Die Krümmung des Druckfeldes entlang von x oder y wird durch die zweite Ableitung bestimmt

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \text{ und } \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \quad (5.2)$$

und die Summe dieser ist der horizontale Laplace des Drucks (p)

$$\nabla_h^2 p \quad (5.3)$$

(Saucier, 1989).

Für alle derzeitigen meteorologischen Anwendungen der lokalen Tendenz ist diese, für jede beliebige Größe, durch Berechnung finiter Differenzen gegeben – im Fall dieser Arbeit wird der Druck betrachtet. Das zeitliche Intervall wird in den meisten Fällen relativ groß gewählt – 3, 6, 12 oder mehr Stunden (Saucier, 1989).

In den folgenden Ableitungsformeln handelt es sich bei x und y immer um Gitterpunktkoordinaten des regelmäßigen MESOCLIM-Gitters in x - und y -Richtung. Ein Ausschnitt des verwendeten Gitters sowie einige ausgewählte und verwendete Gitterpunkte sind in Kapitel 2.2 (Abbildung 2.2) und Kapitel 3.2 (Abbildung 3.1) dargestellt. Der Index t repräsentiert die Zeit, p steht für den Druck und d gibt die Distanz zwischen den betrachteten Gitterpunkten wieder.

Größenordnungen und Werte der für die Berechnungen ausschlaggebenden und verwendeten Skalen werden einerseits in Kapitel 3.1 eingehend beschrieben und zum Teil in den folgenden Kapiteln nochmals erwähnt.

5.1.1 Druckgradient

Als erste Größe wird nun der Druckgradient, auch Druckkraft oder Druckgradientkraft genannt, zwischen zwei ausgewählten MESOCLIM-Gitterpunkten gebildet. Er steht senkrecht zu den Isobaren und zeigt in Richtung des tiefsten Drucks. Somit werden Luftmassen in Bewegung gesetzt, indem sie vom hohen zum tiefen Druck fließend einen Druckausgleich anstreben (Etling, 2002).

Die Ermittlung eines Druckgradienten erfolgt in Ost-West-Richtung (in negative x -Richtung)

$$x_p(x, y) = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (5.4)$$

ebenso wie für einen Nord-Süd gerichteten (in negative y -Richtung)

$$y_p(x, y) = \frac{\partial p}{\partial y} \quad (5.5)$$

mittels Bildung von Differentialquotienten. x_p und y_p sind die abkürzenden Bezeichnungen für die Ableitung von $p(x, y)$ nach x und y und geben den jeweiligen Wert des Druckgradienten an. Wechselt man nun zur Differenzenschreibweise ergibt sich aus den Formeln (5.4) und (5.5) folgende Vorgehensweise für die Berechnung:

$$x_p(x, y) = \frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{p(x_2, y_2) - p(x_1, y_1)}{x_2 - x_1} \quad (5.6)$$

$$y_p(x, y) = \frac{\Delta p}{\Delta y} = \frac{p(x_2, y_2) - p(x_1, y_1)}{y_2 - y_1} \quad (5.7)$$

Dies sind einerseits die vereinfachte Berechnung des Ost-West Druckgradienten (5.6) sowie andererseits des Nord-Süd Druckgradienten (5.7). (x_1, y_1) und (x_2, y_2) sind die Koordinatenangaben der für die Berechnungen ausgewählten MESOCLIM-Gitterpunkte. Bezüglich der gebildeten Druckgradienten geben die Koordinaten (x_1, y_1) immer den nördlichen beziehungsweise östlichen Punkt an, (x_2, y_2) jeweils jenen südlich oder westlich. Wie aus den Formeln (5.6) und (5.7) ersichtlich, wird zuerst anhand der beiden Druckzeitreihen eine Druckdifferenz gebildet, die anschließend durch die Distanz zwischen den zugehörigen im Raum liegenden Gitterpunktskoordinaten normiert wird. Obwohl solche Ableitungen erster Ordnung nur eine Näherung der wirklichen Verhältnisse

angeben, wird der dieser Berechnung entstammende Datensatz als Druckgradient bezeichnet.

5.1.2 Gemischte räumliche Ableitung des Druckfeldes

Eine weitere Ableitung des Bodendruckfeldes die gebildet werden kann ist die gemischte räumliche Ableitung. Diese benötigt zwei Berechnungsschritte.

Als erstes erfolgt die Diskretisierung nach x :

$$x_p(x, y) = \frac{p(x + d, y) - p(x - d, y)}{2d} \quad (5.8)$$

Als nächstes wird diese nach y abgeleitet und resultiert in folgendem Ausdruck.

$$xy_p(x, y) = \frac{x_p(x, y + d) - x_p(x, y - d)}{2d} \quad (5.9)$$

5.1.3 Gemischte räumlich-zeitliche Ableitung des Druckfeldes

Als nächstes wird die gemischte räumlich-zeitliche Ableitung gebildet – auch zeitliche Entwicklung (Tendenz) eines Druckgradienten genannt. Sie kann mit dem isallobarischen Gradienten – Linien gleicher Druckänderung – verglichen werden und spielt bei der Verlagerung von Trog- und Keilachsen eine wesentliche Rolle (Kurz, 1998). Jedoch lässt das Vorzeichen dieser Ableitung keinen Rückschluss auf die Zugrichtung synoptischer Systeme zu.

Hierfür sind zwei Berechnungsschritte erforderlich. Als erstes erfolgt wie in den Formeln (5.6) und (5.7) die Ableitung von $p(x, y, t)$ nach x oder y . Anschließend wird die Ableitung von $x_p(x, y, t)$ und $y_p(x, y, t)$ mittels erneuter Anwendung finiter Differenzen nach der Zeit (t) abgeleitet. Die Methode der finiten Differenzen bietet die Möglichkeit unter verschiedenen Berechnungsschemata zu wählen (vorwärts, zentriert oder rückwärts). Im Fall der in dieser Arbeit durchgeführten Auswertungen ist die Methode der

Vorwärtsdifferenzen gewählt worden. Somit ergeben sich für die räumlich-zeitliche Ableitung in x -Richtung (Ost-West) und y -Richtung (Nord-Süd) folgende Gleichungen:

$$xt_p(x, y, t) = \frac{x_p(x, y, t + \Delta t) - x_p(x, y, t)}{\Delta t} \quad (5.10)$$

$$yt_p(x, y, t) = \frac{y_p(x, y, t + \Delta t) - y_p(x, y, t)}{\Delta t} \quad (5.11)$$

xt_p und yt_p sind die abkürzenden Bezeichnungen für die Ableitung von $p(x, y, t)$ nach x und t sowie nach y und t .

Im Verlauf des KLI.EN-Projekts sind verschiedene Zeitinkremente ($\Delta t = 3$ h, 6 h, 12 h, 24 h) zur Berechnung dieser Ableitung getestet worden. Schlussendlich ist die Wahl auf das 24-stündige Zeitintervall gefallen, da dieses am besten dazu in der Lage zu sein scheint, die täglichen Druckschwankungen verhältnismäßig gut zu filtern und dennoch die synoptisch relevanten Signale zu erhalten und zu erkennen (Nachtnebel et al. 2010). Deshalb wird für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen auch dieses Zeitinkrement gewählt.

5.1.4 Zweite zeitliche Ableitung des Druckfeldes

Die Bildung der zweiten zeitlichen Ableitung des Drucks stammt aus Tschannett et al. (2003) und erlaubt eine Aussage über Frontpassagen. Sie ist wie folgt anzuschreiben:

$$tt_p(x, y, t) = \frac{p(x, y, t - \Delta t) - 2p(x, y, t) + p(x, y, t + \Delta t)}{(\Delta t)^2} \quad (5.12)$$

Diese Ableitung erlaubt eine Aussage über den zeitlichen Verlauf des Drucks in einer angegebenen Zeitspanne. Steigt der Druck an einem ausgewählten Gitterpunkt zuerst an und fällt dann ab, so ist die Ableitung negativ. Ist diese jedoch positiv, so fällt der Druck anfangs ab, bevor er dann wieder zu steigen beginnt, was beispielsweise bei Kaltfrontdurchgängen der Fall ist. Laut Tschannett et al. (2003) erlaubt es dieser Umstand Frontdurchgänge objektiv und genau zu detektieren. Wählt man das zeitliche Intervall für die Berechnung zu klein, so werden die kurzfristigen kleinen Druckschwankungen dominieren, die beispielsweise auf Turbulenz zurückzuführen sind, im Gegensatz zu den

gesuchten Frontpassagen. Wird die Zeitspanne anders herum zu lang gewählt, so werden nur mehr die großskaligen synoptischen Strukturen, wie sie von Hoch- oder Tiefdruckgebiete stammen, erkannt. Somit geht die Information über mesoskalige Systeme, die eher mit Extremniederschlagsereignissen einhergehen, verloren. Darüber hinaus weist Tschannett et al. (2003) darauf hin, dass mit dem zeitlichen Verlauf der Maxima dieser Ableitung an mehreren Gitterpunkten eine Aussage über die Geschwindigkeit von durchziehenden Frontensystemen getroffen werden kann. Kombiniert man nun die zweite zeitliche Ableitung des Drucks geschickt und sinnvoll mit anderen Ableitungen, so ist es möglich die Skaligkeit von Systemen anzugeben.

5.1.5 Zweite räumliche Ableitung des Druckfeldes

Als nächstes wird die zweite räumliche Ableitung des Drucks gebildet, die Informationen über die Krümmung des Druckfeldes gibt und somit darauf hinweist, ob tiefer oder hoher Druck vorherrschend ist. Die Formeln zur Berechnung dieser an einem Punkt sowohl in x - als auch in y -Richtung lauten wie folgt:

$$xx_p(x, y) = \frac{p(x - d, y) - 2p(x, y) + p(x + d, y)}{d^2} \quad (5.13)$$

$$yy_p(x, y) = \frac{p(x, y - d) - 2p(x, y) + p(x, y + d)}{d^2} \quad (5.14)$$

xx_p und yy_p sind die abkürzenden Bezeichnungen für die zweimalige Ableitung von $p(x, y)$ nach x sowie nach y . Sind xx_p oder yy_p positiv, so ist das Druckfeld zyklonal gekrümmt, was bei Tiefdruckgebieten der Fall ist. Sind diese Ableitungen jedoch negativ, so weisen sie auf ein Hochdruckgebiet hin, das antizyklonal gekrümmt ist.

5.1.6 Laplace_p

Die Berechnungsmethode des horizontalen $Laplace_p$ stammt ebenfalls aus Tschannett et al. (2003) und kann mit der geostrophischen Vorticity (Wirbelhaftigkeit) gleichgesetzt

werden. Somit gibt diese Größe eine Aussage über die Rotationsrichtung von Strömungen wieder und wird wie folgt angeschrieben:

$$\nabla_h^2 p(x, y) = \frac{p(x + d, y) + p(x, y + d) + p(x - d, y) + p(x, y - d) - 4p(x, y)}{d^2} \quad (5.15)$$

Ist der $Laplace_p$ ($\nabla_h^2 p(x, y)$) negativ, so deutet dies auf eine Bewegung im Uhrzeiger hin, was bei Hochdruckwetterlagen der Fall ist. Weist die Ableitung jedoch positive Werte auf, so ist dies einer Rotation gegen den Uhrzeigersinn gleichzusetzen, was der Strömungsrichtung in Tiefdruckgebieten entspricht. Somit kann man darauf schließen, ob die bodennahen Bewegungen eher von zyklonaler oder aber antizyklonaler Natur sind (Tschannett et al. 2003).

5.2 Größen aus der Statistik

Wie schon bei der Analyse und Auswertung von Niederschlagsereignissen, kommen auch bei der Auswertung der Druckfeldableitungen wiederholt einige statistische Größen zur Anwendung.

5.2.1 Mittelwert

Anlässlich der Verfügbarkeit der Niederschlagsdaten (24-stündig) ist es für einige Analysen erforderlich, von den hier gebildeten dreistündigen Ableitungswerten einen für ein entsprechendes Zeitintervall repräsentativen Mittelwert zu bilden. Somit wird mit Hilfe von Formel (4.1) ein über acht Werte der räumlich-zeitlichen Druckableitung reichendes Tagesmittel berechnet und damit gewährleistet, dass für jeden mittleren Tagesniederschlag je Klimaregion ein mittlerer Druckfeldableitungswert für denselben Zeitraum zur Verfügung steht.

5.2.2 Standardabweichung

Die Standardabweichung stellt das meist benutzte Variationsmaß dar und wird anhand folgender Formel berechnet:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum \acute{a}_i^2} \quad (5.16)$$

In dieser Gleichung werden die quadratischen Abweichungen der Daten vom arithmetischen Mittel verwendet. Dabei ergibt sich \acute{a}_i aus der Berechnung $a_i - \bar{a}$ mit $i = 1, \dots, n$ ($n =$ Stichprobenumfang). a_i steht für einen Messwert und \bar{a} für den Mittelwert der jeweils verwendeten Zeitreihe (Schönwiese, 1992).

Die Standardabweichung findet später in Kapitel 6 bei der gegenüberstellenden Darstellung von Niederschlag und Druckableitungen in Häufigkeitsverteilungen bei der Klasseneinteilung Anwendung.

5.2.3 Varianz

Das Quadrat der Standardabweichung bildet eine weitere statistische Größe und lautet Varianz. Die Formel für diese wird wie folgt angeschrieben:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum \acute{a}_i^2 \quad (5.17)$$

Auch hier ergibt sich \acute{a}_i wiederum aus der Berechnung mit $a_i - \bar{a}$. s^2 bezeichnet die berechnete Varianz, wobei $i \in \mathbb{N}$ mit $i = 1, \dots, n$ und n erneut den Stichprobenumfang darstellt (Schönwiese, 1992).

Für andere Untersuchungen ist es wiederum erforderlich die Varianz der Druckfeldableitungen zu berechnen. Die Berechnung wird tageweise übergreifend für zehn beziehungsweise für 15 Tage durchgeführt, das heißt es liegt ein berechneter Varianzwert des definierten Intervalls für jeden Tag der Zeitreihe vor. In weiterer Folge wird die berechnete Varianz mit den zeitlich übereinstimmenden Mittelwerten des Niederschlags je

Klimaregion kombiniert, um eine Verknüpfung mit Trockenperioden ausfindig machen zu können.

6 Auswertungen

Dieses Kapitel beschäftigt sich nun ausführlich mit den verschiedensten erwähnten Auswertungen von Zusammenhängen zwischen Niederschlagsereignissen und Druckfeldableitungen. Einerseits werden diese anhand von Häufigkeitsverteilungen durchgeführt, um jene Ableitungen zu extrahieren, welche die beste Korrelation mit dem Niederschlag aufweisen. Diese Vorgehensweise wird auf jede einzelne Klimaregion und alle definierten meteorologischen Analysezeiträume angewendet. Darüber hinaus werden einzelne aussagekräftige Ableitungen für ausgewählte Fallstudien dem Niederschlag in Zeitreihendarstellung gegenüber gestellt.

6.1 Gegenüberstellung von Druckfeldableitungen und Niederschlag

In einem ersten Schritt werden zu jeder berechneten Druckfeldableitung Häufigkeitsverteilungen erstellt. Dafür werden die Ableitungen in Klassen eingeteilt und die korrespondierenden Niederschlagsereignisse je Klimaregion und Zeitraum den definierten Klassen zugewiesen und ein Niederschlagsmittelwert je Druckableitungsklasse gebildet. Diese Vorgehensweise soll es ermöglichen jene Druckfeldableitungen zu identifizieren, die am besten mit Niederschlagsereignissen korrelieren. In diesem Unterkapitel wird nun die Vorgehensweise der Klasseneinteilung vorgestellt, die bei allen Häufigkeitsverteilungen der Ableitungen in Verbindung mit Niederschlagsereignissen zur Anwendung kommt.

Für die Klasseneinteilung finden die in Kapitel 5.2.1 beschriebenen gemittelten Druckfeldableitungen Anwendung. Hierfür wird zuerst die Standardabweichung der über 35 Jahre reichenden Zeitreihe der berechneten und verwendeten Druckfeldableitung ermittelt, die wesentlich für die Einteilung in Klassen ist. Die Klassenbreite wird mit

einem Drittel der jeweils ermittelten Standardabweichung festgelegt. Da die Auswertungen wie im Projekt „Trendanalyse in hydro-meteorologischen Extremwerten“ anhand von zehn Klassen durchgeführt werden, reicht die Klasseneinteilung von $-5/3$ bis $+5/3$ der Standardabweichung. Da der Mittelwert der berechneten Druckfeldableitungen von Null verschieden ist, wird dieser zu den jeweiligen Klassengrenzen addiert. Diese Vorgehensweise wird gewählt um zu gewährleisten, dass die Klasseneinteilung auch bei einer schiefen Häufigkeitsverteilung eine repräsentative Einteilung darstellt. Schlussendlich werden die erste beziehungsweise zehnte Klasse breiter gewählt, um sicherzustellen, dass Ableitungswerte kleiner $-5/3$ beziehungsweise größer $+5/3$ der Standardabweichung ebenfalls in den Klassen enthalten sind. Somit sind diese beiden Klassen stärker besetzt und beinhalten die absoluten Minima und Maxima der jeweils betrachteten Druckfeldableitung. Anschließend werden die Niederschlagswerte den jeweiligen Klassen – durch den jeweiligen Ableitungswert zum selben Zeitpunkt – zugeordnet und der Mittelwert je Klasse ermittelt. Diese Werte stellen die blauen Balken in den Abbildungen der Häufigkeitsverteilungen dar und die zugehörige pro Klasse aufgetretene Niederschlagsmenge kann auf der Ordinate abgelesen werden. Die Werte über den Balken repräsentieren die Anzahl der je Klasse aufgetretenen und berücksichtigten mittleren Tagesniederschläge (> 0 mm) je Klimaregion und Zeitraum. Zusätzlich werden die in Kapitel 4.1.2 erwähnten und beschriebenen Quantile berechnet und ebenfalls in den Graphiken der Häufigkeitsverteilungen anhand von Linien dargestellt. Dabei repräsentiert die blaue Linie den Median, die hellrote Linie das untere Quartil und die dunkelrote Linie das obere Quartil (Nachtnebel et al., 2010).

Dieselbe Vorgehensweise der Klasseneinteilung findet auch bei der Erstellung der Häufigkeitsverteilungen bezüglich der zehnen- und 15-Tages-Varianz Anwendung.

Abbildung 6.1 soll nun als Beispiel für alle Häufigkeitsverteilungen von Druckfeldableitungen und korrespondierenden Niederschlagsereignissen dienen, die in weiterer Folge in Kapitel 6.2 zur Analyse von Niederschlagsereignissen betrachtet und diskutiert werden. Abbildung 6.2 und Abbildung 6.3 hingegen sollen als Beispiel für alle Häufigkeitsverteilungen der Varianz von Druckfeldableitungen und zugehörigen Niederschlagsereignissen fungieren, die in Kapitel 6.3 bei den Auswertungen von Trockenperioden Anwendung finden.

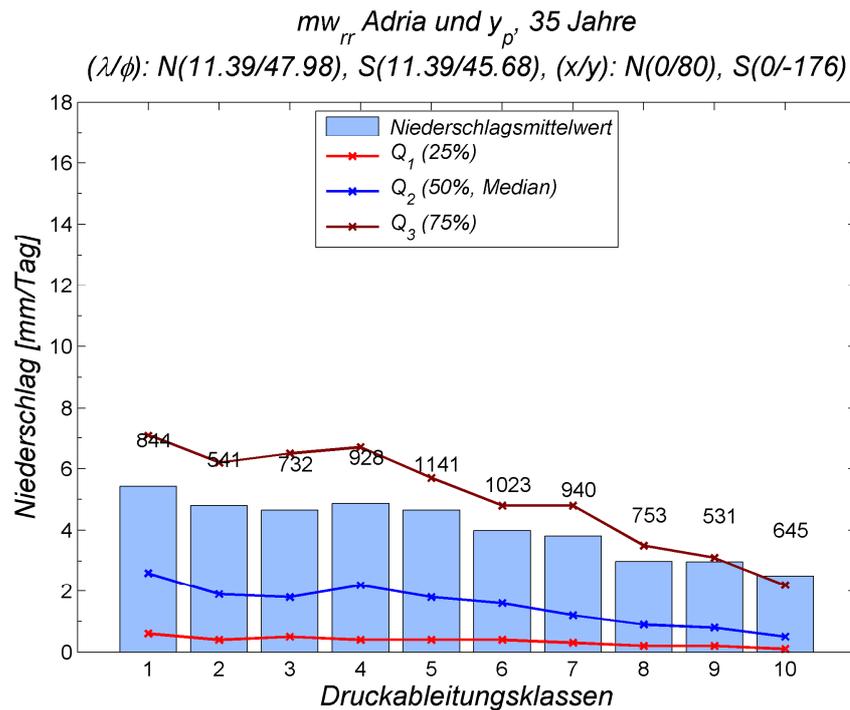


Abbildung 6.1: Häufigkeitsverteilung des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Adria über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten in kartesischen und geographischen Koordinaten.

Aus Abbildung 6.1 kann abgelesen werden, dass ein Zusammenhang zwischen dem großräumigen Nord-Süd gerichteten Druckgradienten über dem Alpenbogen und dem Auftreten von Niederschlagsereignissen gegeben ist. Bei der Klasseneinteilung dieser Ableitung repräsentieren die Klassen eins bis vier negative Werte, Klasse fünf stellt den Übergang von negativ zu positiv dar und die Klassen sechs bis zehn beinhalten die positiven Werte des Gradienten. Weist diese Ableitung nun größere negative Werte auf – das ist ein Indiz für relativ gesehen höheren Druck im Süden und tieferen Druck im Norden – so kann es in der Klimaregion Adria zu stärkeren Niederschlagsereignissen kommen als wenn dieser Druckgradient größere positive Werte aufweist. Dieser Zusammenhang scheint auf den ersten Blick etwas verwirrend zu sein, aber kann mit Niederschlagsereignissen bedingt durch Kaltfronten erklärt werden. Dabei kann es vorkommen, dass diese durch die Alpen blockiert werden und die kälteren Luftmassen in der Höhe schneller vorankommen und über die Alpen vorausseilen, südlich des

Alpenhauptkamms für Labilisierung sorgen und es in Folge dessen zu Niederschlag kommt.

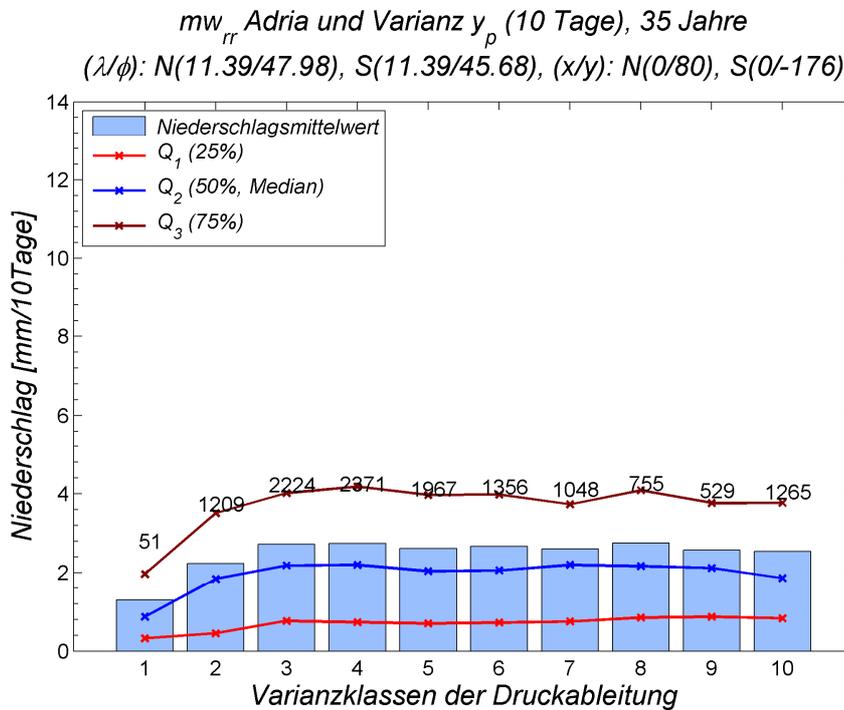


Abbildung 6.2: Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Adria über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten in kartesischen und geographischen Koordinaten.

Der in Abbildung 6.1 gefundene Zusammenhang zwischen Druckgradient und Niederschlag findet sich auch in Abbildung 6.2 und Abbildung 6.3 wieder, welche die Varianz des großräumigen Nord-Süd-Druckgradienten darstellen und zur Untersuchung von Trockenperioden dienen. Da die Varianz eine quadratische statistische Größe ist, sind alle Klassen mit positiven Werten besetzt. Es tritt deutlich zum Vorschein, dass bei geringer Varianz im Druckgradienten auch mit wenig Niederschlag zu rechnen ist. Dieser Zusammenhang ist vollkommen plausibel, da bei Wetterlagen mit flacher Druckverteilung keine nennenswerte Variabilität im Druckgradienten zu verzeichnen ist und auch generell mit keinem bis wenig Niederschlag zu rechnen ist. Vergleicht man nun die Graphiken der zehn- und 15-Tages-Varianz, so ist der Zusammenhang zwischen Druckableitung und Niederschlag bereits bei jener der zehn-Tages-Varianz ausreichend stark gegeben und

rechtfertigt, dass weitere tiefer führende Analysen nur mit Werten der Zehn-Tages-Varianzen von Druckfeldableitungen angestrebt werden.

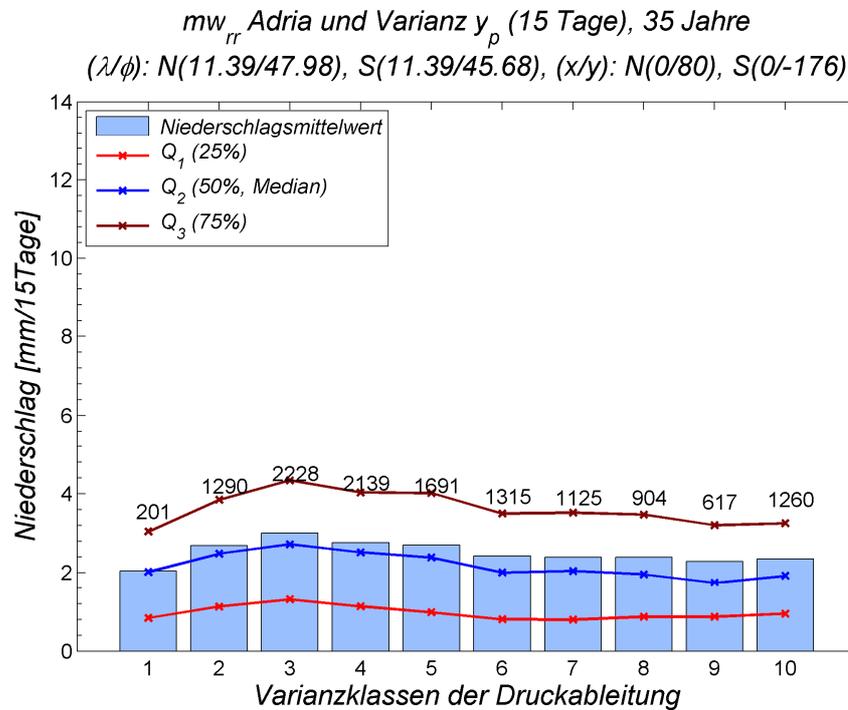


Abbildung 6.3: Häufigkeitsverteilung der 15-Tages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren 15-Tagesniederschlags der Klimaregion Adria über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten in kartesischen und geographischen Koordinaten.

6.2 Niederschlagsereignisse

In diesem Unterkapitel wird der Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und Druckfeldableitungen näher behandelt und in Form von Häufigkeitsverteilungen dargestellt. Dafür werden die in Kapitel 5 vorgestellten Druckfeldableitungen der Reihe nach besprochen und mit einzelnen besonders aussagekräftigen Graphiken die erzielten Ergebnisse untermauert.

6.2.1 Häufigkeitsverteilungen

Als erstes werden die Niederschlagsereignisse in Verbindung mit den berechneten Druckgradienten auf ihre saisonale und regionale Abhängigkeit geprüft. Betrachtet man den gesamten Untersuchungszeitraum fällt dabei sofort auf, dass Niederschlagsereignisse positiv mit der x_p Ableitung – hohe Niederschlagsmengen bei stark positiven Werten – und negativ mit der y_p Ableitung – kräftige Niederschlagsereignissen bei negativen Werten – korreliert sind. Dieses gespiegelte Verhalten im Zusammenhang des Niederschlags mit den Druckfeldableitungen ist nur durch die Art der Berechnung bedingt, die erhaltenen Werte rühren dennoch von denselben synoptischen Gegebenheiten her. Anhand der erstellten Häufigkeitsverteilungen ist eine zureichende Korrelation nur für die Klimaregion Adria bezüglich des großräumigen Nord-Süd-Gradienten (siehe Abbildung 6.1) und des großräumigen Ost-West-Gradienten südlich und nördlich der Alpen gegeben. In anderen Regionen liefert der Nord-Süd-Druckgradient (West, Inneralpin), der Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen (Nord, Mühl-Waldviertel) oder südlich der Alpen (Donau, Nord, West) ansprechende Zusammenhänge.

Betrachtet man weiters die Auswertungen der einzelnen Halbjahre und Jahreszeiten, so kann jedoch kein eindeutiger Zusammenhang ermittelt werden. Somit ist der Druckgradient allein kein hinreichendes Kriterium um Niederschlagsereignisse zu quantifizieren.

Im Gegensatz zu den Auswertungen bezüglich der Druckgradienten zeigt die gemischte räumliche Ableitung ausschließlich für die Klimaregion Adria ansprechende Ergebnisse. Diese ist positiv mit Niederschlagsereignissen korreliert und zeigt für alle saisonalen Auswertungen einen guten Zusammenhang, vor allem für das Winterhalbjahr, den Herbst (Abbildung 6.4), den Winter und den Frühling – also für die durch stratiformen Niederschlag geprägten und Übergangsjahreszeiten. Für alle anderen Klimaregionen ist diese Ableitung zu vernachlässigen und wird deshalb für weitere Auswertungen nicht mehr herangezogen.

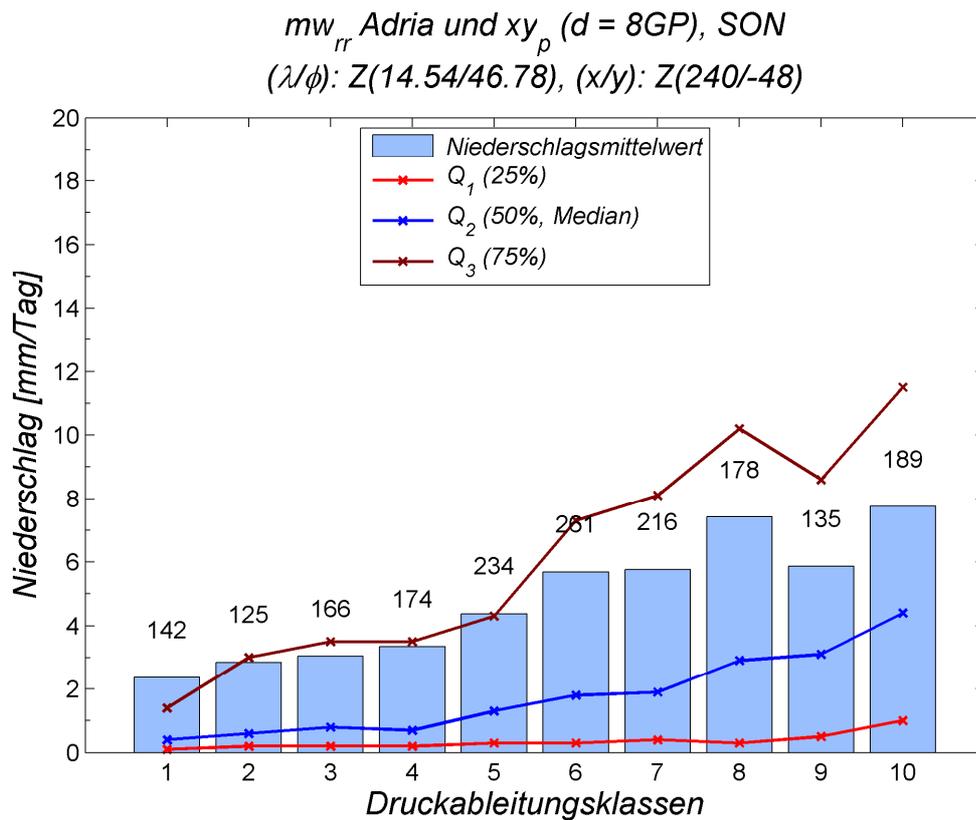


Abbildung 6.4: Häufigkeitsverteilung der gemischten räumlichen Druckableitung und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Adria für den meteorologischen Herbst inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch) des zentralen Punktes.

Betrachtet man jedoch die Auswertungen der Tendenzen der Druckgradienten, so zeigt sich ein vollkommen anderes Bild. Für den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren zeigen diese in den Häufigkeitsdarstellungen eine ausgesprochen gute Korrelation mit Niederschlagsereignissen, die vor allem in den negativen Druckableitungsklassen der Raum-Zeit ableitung in x -Richtung – negative Korrelation der Niederschlagsereignisse mit dieser Ableitung (Abbildung 6.5) – und bei positiven Werten dieser Ableitung in y -Richtung – positive Korrelation der Niederschlagsereignisse mit dieser Ableitung (Abbildung 6.6) – lokalisiert sind (Nachtnebel et al., 2010).

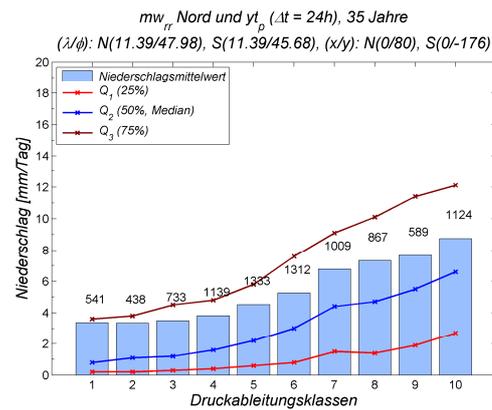
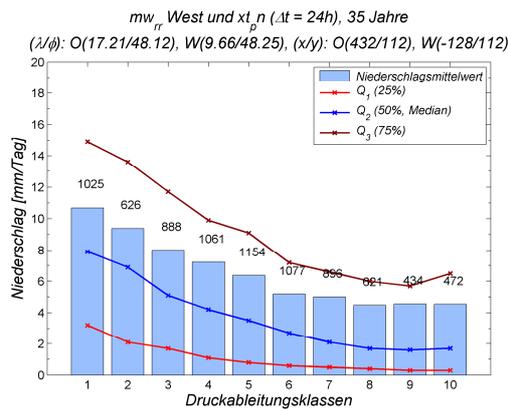


Abbildung 6.5: Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion West für den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch).

Abbildung 6.6: Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Nord-Süd-Gefälle über den Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Nord für den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch).

Der gefundene Zusammenhang ist auch bei der Unterteilung des Untersuchungszeitraums in die meteorologischen Halbjahre besonders für die alpinen Klimaregionen weiterhin sehr gut gegeben. Hierbei sticht das Sommerhalbjahr besonders hervor, da Niederschlagsereignisse im Vergleich zum Winterhalbjahr in den niedrigeren Klassen der xt_p -Ableitung (eins bis vier) und höheren Klassen der yt_p -Ableitung (sieben bis zehn) – je nach betrachteter Klimaregion – beinahe doppelt so hoch ausfallen können. Dieses Verhalten spiegelt die Tatsache wieder, dass in den warmen Jahreszeiten synoptische Systeme für den Großteil des gefallenen Niederschlags verantwortlich zeichnen. Diese verursachen großräumige flächendeckende Niederschläge, aber auch sommerliche konvektive Ereignisse können ob ihrer Kurzlebigkeit und regionalen Begrenztheit trotzdem einen entscheidenden Beitrag zur jahreszeitlich bedingten Niederschlagsmenge liefern. In den Winterhalbjahren hingegen verursachen fast ausschließlich die großräumigen synoptischen Systeme flächendeckende Niederschlagsereignisse (Nachtnebel et al., 2010).

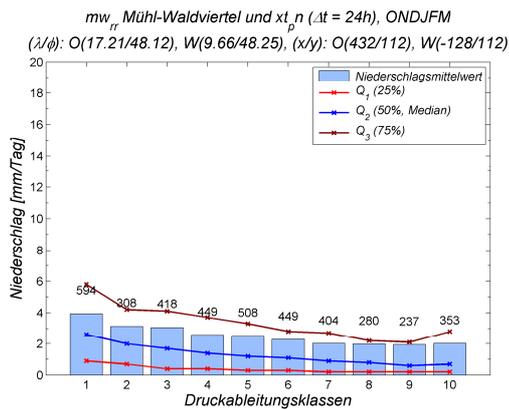


Abbildung 6.7: Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für die Winterhalbjahre inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

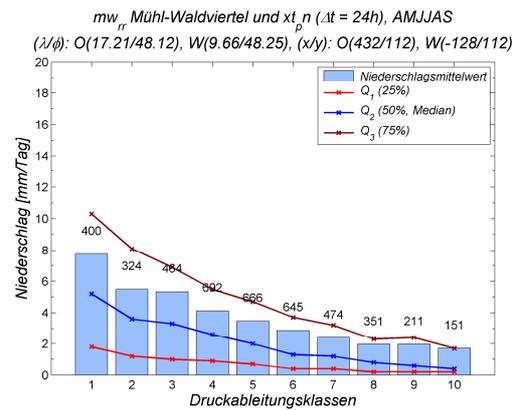


Abbildung 6.8: Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für die Sommerhalbjahre inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

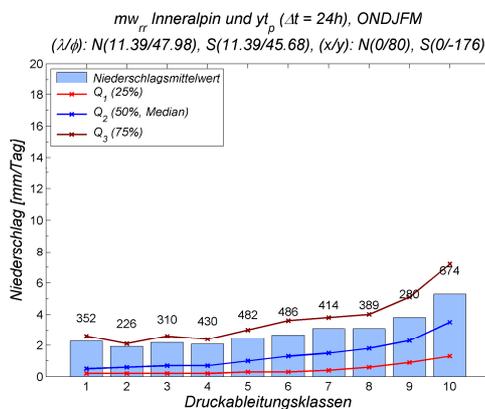


Abbildung 6.9: Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Nord-Süd-Gefälle über den Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für das Winterhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

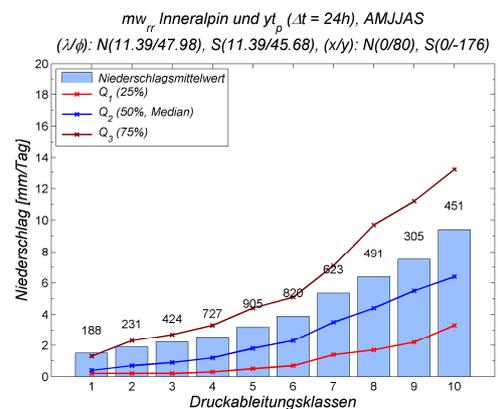


Abbildung 6.10: Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Nord-Süd-Gefälle über den Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

Darüber hinaus kann man bei der Unterteilung in meteorologische Jahreszeiten einen Unterschied zwischen den eher konvektiv geprägten Jahreszeiten (Frühling, Sommer) und jenen mit eher stratiformem Einfluss (Winter, Herbst) erkennen. In der konvektiven Phase des Sommers ist der Zusammenhang dieser Ableitung mit Niederschlagsereignissen am stärksten gegeben und der Anstieg im Mittelwert des Niederschlags ist deutlich steiler als in der stratiformen Phase. Dies spricht für die Niederschlagsereignisse im Winter, deren Gesamtmenge nahezu ausschließlich von Fronten herrührt und den Aufschlag in der Gesamtniederschlagsmenge, den kurzfristig auftretende intensive Niederschlagsereignisse im Sommer bei Gewittern und präfrontalen Niederschlägen verursachen. Dieses Verhalten lässt sich sowohl bei der Raum-Zeitableitung in x -Richtung nördlich der Alpen, als auch bei jener in y -Richtung über den Alpen feststellen, nur im Winter ist es nicht so stark ausgeprägt. Besonders beeindruckend ist die Tatsache, dass diese Aussage für alle Klimaregionen zutreffend ist (Nachtnebel et al., 2010).

Bei den Auswertungen der zweiten Zeitableitung lassen sich schwache Zusammenhänge mit dem Auftreten von Niederschlagsereignissen ausschließlich für das Sommerhalbjahr (Abbildung 6.11) und den Sommer (Abbildung 6.12) ausmachen und das auch nur für die Klimaregionen Adria, Inneralpin und Nord. In der Klimaregion West ist diese Korrelation ebenfalls gegeben, aber hier können kräftige Niederschlagsereignisse auch bei stark negativen Werten dieser Ableitung auftreten. Die erwartete Korrelation in den nicht alpinen Klimaregionen (Donau, Mühl-Waldviertel, Pannonien), in denen Frontdurchgänge vor allem im Winter oft kräftige Signale hinterlassen, bleibt in diesem Fall aus. Ein Grund dafür könnte ein zu großer Verlust an Information auf Grund der durchgeführten notwendigen Mittelung dieser Ableitung sein, um diese gemeinsam mit Niederschlagsereignissen betrachten zu können.

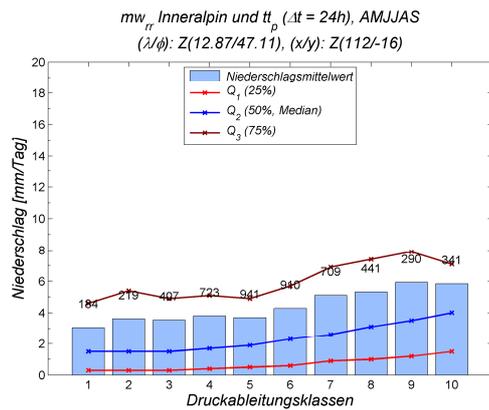


Abbildung 6.11: Häufigkeitsverteilung der zweiten Zeitableitung und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

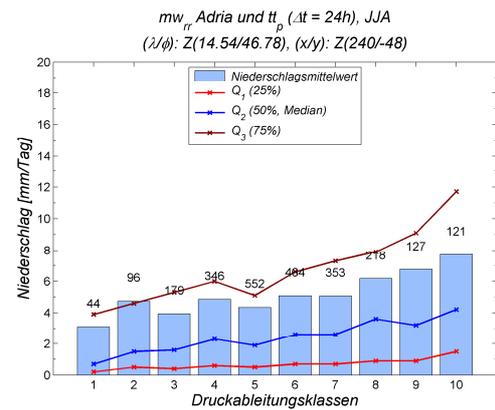


Abbildung 6.12: Häufigkeitsverteilung der zweiten Zeitableitung und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Adria für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

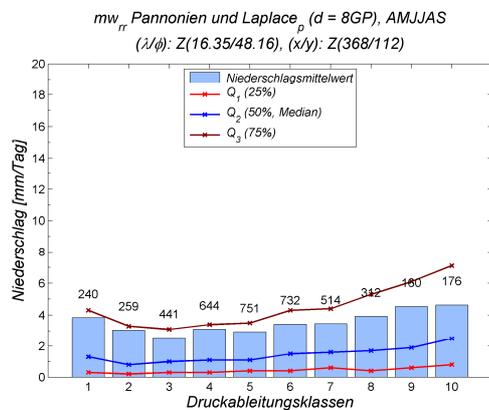


Abbildung 6.13: Häufigkeitsverteilung des Laplace und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Pannonien für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

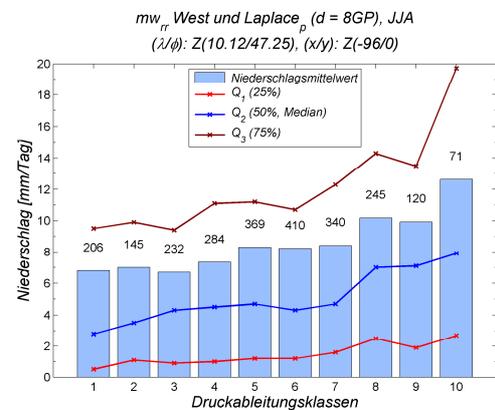


Abbildung 6.14: Häufigkeitsverteilung des Laplace und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion West für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographisch und kartesisch).

Schlussendlich erfolgt die Analyse des horizontalen Laplace und dessen Gegenüberstellung mit Niederschlagsereignissen. Dabei sticht hervor, dass – wie schon bei der Betrachtung der zweiten Zeitableitung – eine ansprechende und aussagekräftige Korrelation nicht in allen Klimaregionen und in jeder meteorologischen Periode gegeben ist. Während die Regionen Inneralpin, Donau, Mühl-Waldviertel und Pannonien (Abbildung 6.13) eine schwache positive Korrelation in allen Untersuchungszeiträumen finden lassen, zeigen die anderen Klimaregionen diese nur für das Sommerhalbjahr und den Sommer (Abbildung 6.14), wobei der Zusammenhang in der Region West am stärksten erkennbar ist. Diese Aussage stützt die Tatsache, dass die Hauptniederschlagsmenge in den verschiedenen Klimaregionen in Verbindung mit wandernden Tiefdrucksystemen und deren Fronten fällt und im Sommer, aber auch in den Übergangsjahreszeiten, einen Aufschlag durch konvektive Ereignisse erhält.

6.2.2 Fallstudie 05. August und 06. August 2002

Die Höhenkarte für 500 hPa der Berliner Wetterkarten vom 05. August um 00:00 UTC (Abbildung 6.15) zeigt einen weit nach Süden ausgreifenden Trog mit abgeschlossenen Tiefdruckgebieten vor der Westküste Portugals und über Mitteleuropa. Das Höhentief über Mitteleuropa mit dem Kern über Belgien wird von einem nördlich davon liegenden Gebiet höheren Luftdrucks blockiert. Somit werden feuchte Luftmassen mit einer Westströmung aus dem Atlantik in den Alpenbereich transportiert. Der zugehörige Tiefdruckkern auf dem Bodendruckfeld liegt ebenfalls über Belgien und lässt somit auf ein in seiner Entwicklung abgeschlossenes System schließen, da die vertikale Achse senkrecht steht. Dafür spricht auch das ausgeprägte Frontensystem, welches sich über weite Teile Europas erstreckt, mit einer Okklusion von Belgien über Deutschland bis nach Polen reichend. Die zugehörige Kaltfront liegt im Bereich der Alpen, beginnt bereits am Alpennordrand zu verwellen und bestimmt das Wettergeschehen in Österreich. Darüber hinaus beginnt sich im Norden der Alpen ein Staukeil auszubilden, während durch das Umfließen kälterer Luftmassen südlich des Alpenbogens ein Tiefdruckgebiet entstanden ist. Das Starkniederschlagsgebiet liegt somit im Norden Österreichs, erklärbar durch die angesprochene Kaltfront und das

Anströmen von feuchten Luftmassen an die Alpen und der damit verbundenen Hebung, aber auch im Süden wird Niederschlag gemeldet.

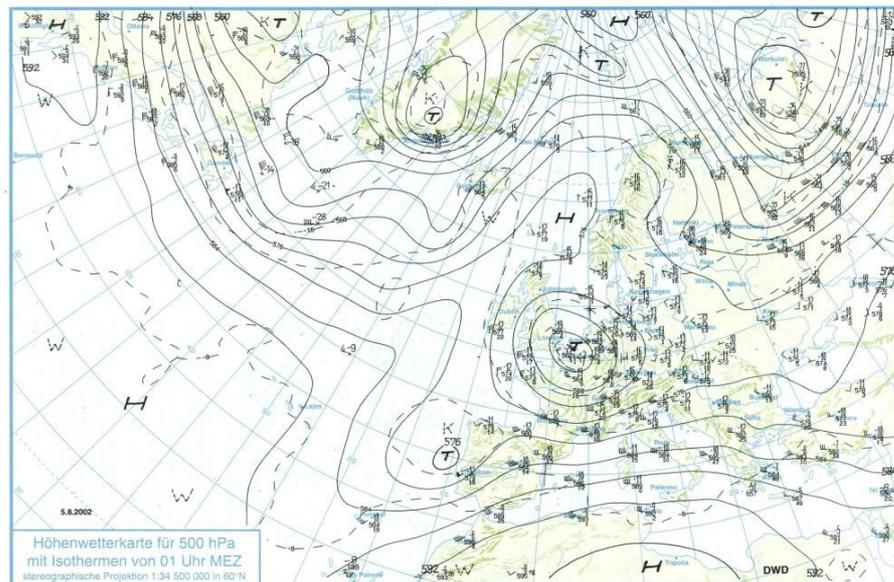


Abbildung 6.15: analysierte Höhenkarte (500 hPa) des Druckfeldes für den 05.08.2002 00:00 UTC;
Quelle: Berliner Wetterkarte

Die Bodenvetterkarte für Mitteleuropa der Berliner Wetterkarten vom 05. August um 12:00 UTC zeigt, dass die bereits angesprochene Kaltfront nun über dem westlichen Alpenbogen liegt. Die Druckverteilung im Bereich der Alpen (Staukeil im Norden und tieferer Druck südlich) führt zu einem Anströmen des Alpenbogens und somit Hebung von Luftmassen die in Verbindung mit der vom Atlantik advehierten feucht-warmen Luft zu Niederschlag führt.

Am 06. August liegt das abgeschlossene Tiefdrucksystem immer noch über Mitteleuropa, es hat sich jedoch schon etwas abgeschwächt und die Höhenströmung beginnt sich allmählich auf Südwest umzustellen. Auf der Bodendruckkarte ist ersichtlich, dass die Kaltfront nach Süden hin abgezogen ist und auf Grund eines Tiefdruckkerns über der nördlichen Adriaküste hat sich ein neues Frontensystem mit Okklusion, Warm- und Kaltfront gebildet (Abbildung 6.16). In Folge der andauernden starken Niederschläge nördlich der Alpen und vor allem im Ostalpenbereich hat sich hier ein Tiefdruckgebiet gebildet und der Staukeil beginnt sich nach Westen zurückzuziehen. Im gesamten

flächendeckenden Niederschläge führen: ein deutlicher Abfall in der x_p -Ableitung, sowie ein markanter in Anstieg der y_p -Ableitung.

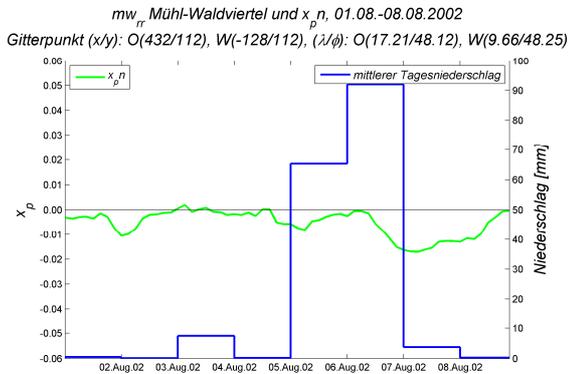


Abbildung 6.17: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Mühl-Waldviertel (blau) und großräumiger Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002

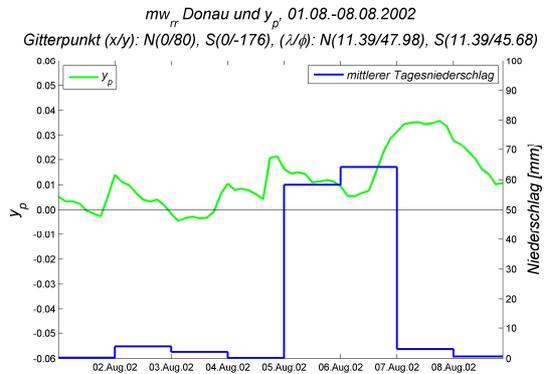


Abbildung 6.18: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Donau (blau) und großräumiger Nord-Süd-Druckgradient über den Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002.

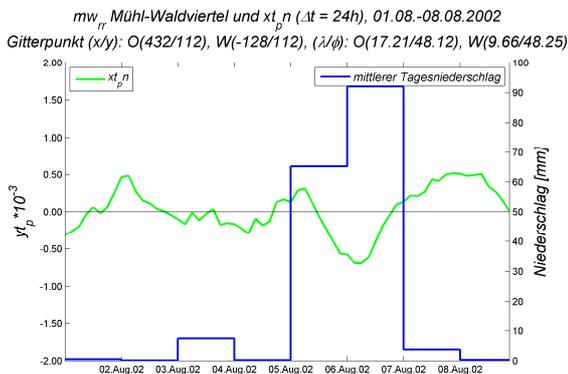


Abbildung 6.19: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Mühl-Waldviertel (blau) und Tendenz des großräumigen Ost-West-Druckgradienten nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002.

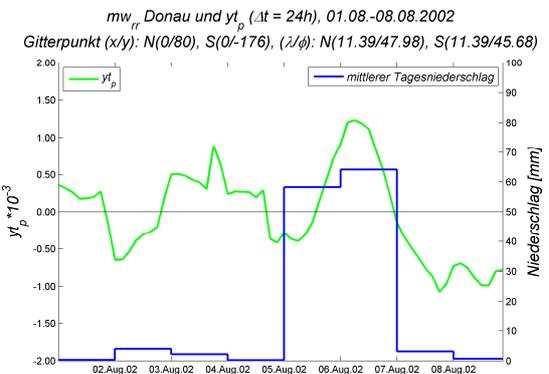


Abbildung 6.20: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Donau (blau) und Tendenz des großräumigen Nord-Süd-Druckgradienten über den Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002.

Betrachtet man nun in weiterer Folge die zeitliche Tendenz der eben veranschaulichten Druckgradienten (Abbildung 6.19 und Abbildung 6.20), so lassen sich besonders starke Signale in den Zeitreihen erkennen und ein eindeutiger Zusammenhang dieser mit dem Auftreten intensiver Niederschläge. Aus Abbildung 6.19 wird ersichtlich, dass ein markanter Abfall in der Raum-Zeit ableitung in x -Richtung und damit einhergehend stark negative Werte dieser mit hohen Niederschlagsmengen in Verbindung gebracht werden können. Im Gegensatz dazu veranschaulicht Abbildung 6.20 ein gespiegeltes Verhalten für die zeitliche Tendenz des Druckgradienten in Nord-Süd-Richtung. Diese Signale gehen mit dem Durchzug eines synoptischen Systems einher, wobei die Zugrichtung dieses jedoch nicht bestimmbar ist.

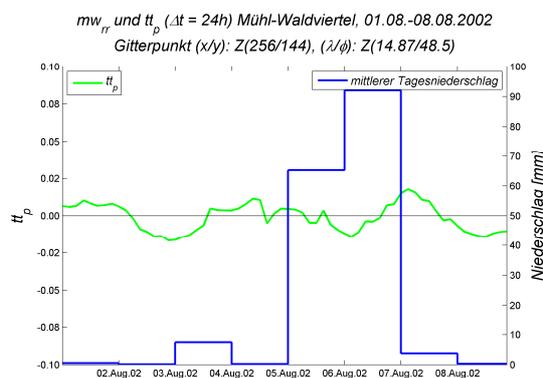


Abbildung 6.21: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag (blau) und zweite Zeitableitung des Drucks (grün) der Klimaregion Mühl-Waldviertel inklusive Koordinatenangabe des verwendeten Punktes zur Ableitungsberechnung, 01.08. – 08.08.2002.

Der erwartete Zusammenhang zwischen Niederschlag und zweiter Zeitableitung des Bodendruckfeldes ist in Abbildung 6.21 nicht eindeutig gegeben. Vom 06. August auf den 07. August ist ein starkes Maximum erkennbar, das auf den Durchzug einer ausgeprägten Kaltfront hinweist. Auf Grund der Tatsache, dass der Niederschlag ob seiner zeitlichen Auflösung von 24 Stunden nicht eindeutig zugeordnet werden kann und dem allgemein bekannten Umstand, dass bei sommerlichen Frontdurchgängen eine vorausseilende Druckwelle bereits vor dem eigentlichen Frontdurchgang zu teils kräftigen Niederschlagsereignissen führen kann, ist die Korrelation dennoch hinreichend gegeben.

Die hier beschriebenen Zusammenhänge zwischen kräftigen Niederschlagsereignissen und Druckfeldableitungen sind auch für die Klimaregionen Donau und Nord im selben Maß

gegeben. Für die restlichen Klimaregionen sind die Signale nicht so ausgeprägt und in diesen ist auch wesentlich weniger Niederschlag im angegebenen Zeitraum gefallen.

6.3 Trockenperioden

Über die Varianz verschiedener Druckfeldableitungen soll ein Bezug zu Trockenperioden hergestellt und ein Maß zur Bestimmung dieser gefunden werden. Der Durchzug synoptischer Systeme verursacht ein starkes Signal in der Varianz der Druckverhältnisse und bringt teils kräftige Niederschlagsereignissen mit sich. Im Gegensatz dazu weisen stabile Hochdrucklagen oder gradientschwache Wetterlagen geringe Unterschiede im Druck auf und stellen somit ein Indiz für Trockenperioden dar. Folglich kann die Varianz ein Maß für den Durchzug synoptischer Systeme erkennen lassen und brauchbar für die Untersuchung von jahreszeitlich bedingten Niederschlagsereignissen und Trockenperioden sein. Sie soll vor allem in jenen Jahreszeiten Anwendung finden, in denen wenig Niederschlag durch konvektive Ereignisse fällt. Somit wird die Hypothese aufgestellt, dass bei wenig Varianz in den Druckfeldableitungen auch mit wenig Niederschlag zu rechnen ist.

6.3.1 Häufigkeitsverteilungen

Abbildung 6.2 und Abbildung 6.3 aus Kapitel 6.1 weisen bereits auf einen starken Zusammenhang zwischen der Varianz von Druckgradienten und Niederschlagsereignissen mit geringen Mengen und somit eher trockenen Phasen im Wettergeschehen hin. Betrachtet man nun die Häufigkeitsverteilungen der Zehn-Tages-Varianz der Druckgradienten des gesamten Untersuchungszeitraums von 35 Jahren in allen Klimaregionen, so spiegelt sich diese markante Korrelation überall wieder sowohl für den großräumigen Ost-West-Gradienten nördlich der Alpen als auch für den Nord-Süd-Gradienten über den Alpen.

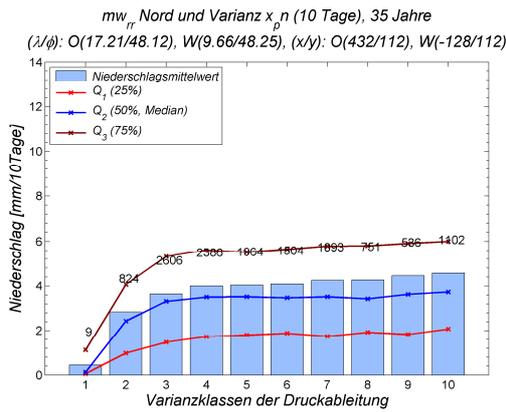


Abbildung 6.22: Häufigkeitsverteilung der zehntagesniederschlagsmittelwerte und Quartile für die Klimaregion Nord über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

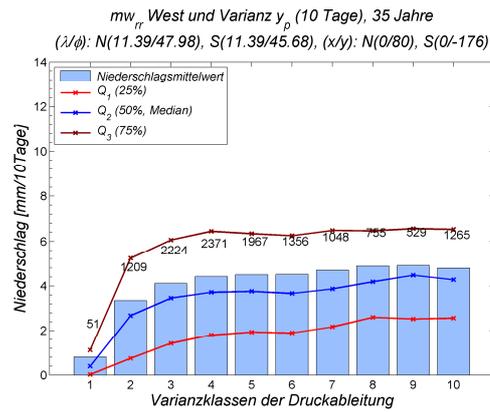


Abbildung 6.23: Häufigkeitsverteilung der zehntagesniederschlagsmittelwerte und Quartile für die Klimaregion West über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

Besonders ausgeprägt und charakteristisch ist diese Wechselbeziehung jedoch in den alpinen Regionen Nord (Abbildung 6.22) und West (Abbildung 6.23). Vor allem in der ersten, aber auch in der zweiten Klasse der Varianz der Druckgradienten fällt nur wenig Niederschlag und mit größer werdender Varianz erfolgt ein rascher Anstieg in der Niederschlagsmenge, bleibt jedoch ab der dritten Klasse auf einem gleichmäßigen flachen Niveau.

Betrachtet man in weiterer Folge die Auswertungen der meteorologischen Halbjahre, so ist die ermittelte Wechselbeziehung vor allem für das Winterhalbjahr ausnehmend deutlich gegeben (Abbildung 6.24 und Abbildung 6.25). Dabei stehen wiederum die Klimaregionen Nord und West besonders ins Auge, aber auch alle anderen Regionen weisen eine bemerkenswerte Korrelation auf. Alle Varianzklassen sind mit geringen Niederschlagsmengen besetzt und der Anstieg erfolgt in einer flachen Kurve, nur in den Klimaregionen Nord und West – die generell eher von feuchtem Charakter geprägt sind – ist die Niederschlagsmenge höher und der Anstieg dieser steiler.

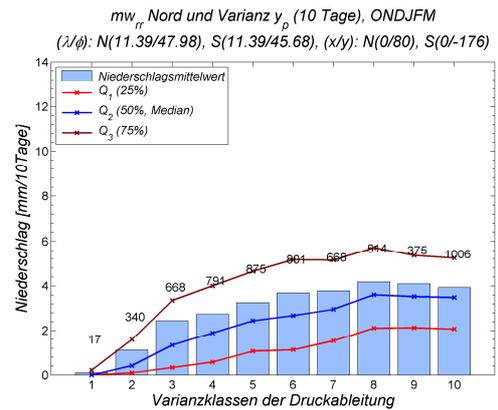
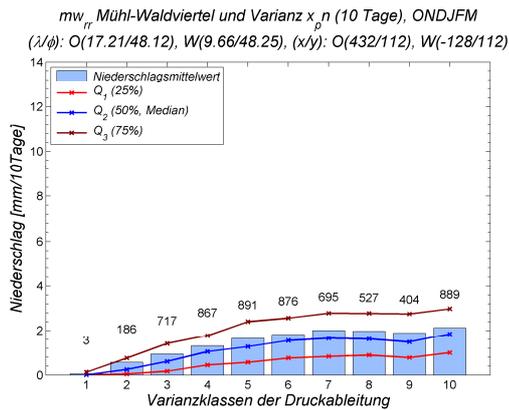


Abbildung 6.24: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für das Winterhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

Abbildung 6.25: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord für das Winterhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

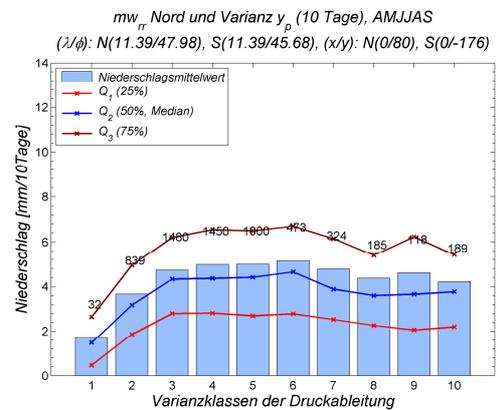
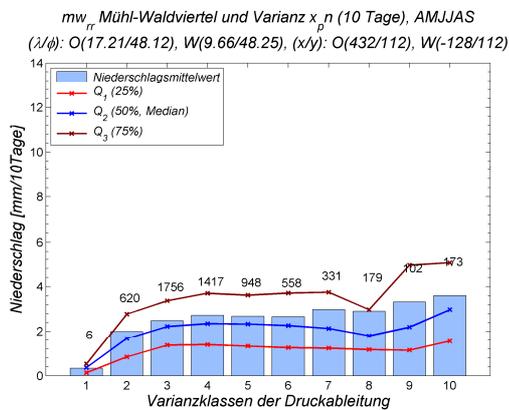


Abbildung 6.26: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

Abbildung 6.27: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

Auch für das Sommerhalbjahr ist der genannte Zusammenhang auffallend gut gegeben, obwohl diese Jahreszeit stark durch konvektive Ereignisse durchsetzt ist (Abbildung 6.26 und Abbildung 6.27). Das hier beschriebene Verhalten spiegelt die Tatsache wieder, dass in den sommerlichen Jahreszeiten Niederschlagsereignisse auch bei gradientschwachen Wetterlagen fallen können, die sich in der Varianz der Druckgradienten nicht wieder spiegeln aber sehr wohl Einfluss auf die Niederschlagsmenge je Klimaregion nehmen. In den winterlichen Jahreszeiten hingegen sind die Niederschlagsereignisse durch eine Abfolge von durchziehenden Fronten in Verbindung mit synoptischen Systemen geprägt, die deutliche Signale in der Varianz hinterlassen. In dieser Jahreszeit fällt kaum Niederschlag bei stabilen Verhältnissen.

Die Auswertungen der meteorologischen Jahreszeiten zeigen vor allem für den Sommer markante Signale (Abbildung 6.28 und Abbildung 6.29). In den niedrigen Varianzklassen der Druckgradienten ist auch wenig Niederschlag zu verzeichnen, aber mit Zunahme der Variabilität ist ein markanter und rascher Anstieg der Niederschlagsmenge von Klasse zu Klasse zu verzeichnen. Somit liegt der Schluss nahe, dass die hohen sommerlichen Niederschlagsmengen vor allem durch die rasche Abfolge von durchziehenden Fronten gegeben sind. Obwohl vereinzelte konvektive Ereignisse kräftig ausfallen und in kurzer Zeit beträchtliche Niederschlagsmengen produzieren können, tragen diese ob ihrer lokalen Begrenztheit nur wenig zur mittleren Niederschlagsmenge je Klimaregion bei. Diese können sich durchaus in Zeiträumen mit geringer Variabilität ereignen und somit nicht ausgeschlossen werden. Im Gegensatz dazu zeigen die Verteilungen des Winters in allen Klassen geringe mittlere Niederschlagswerte und einen sehr flachen Verlauf in der Verteilung (Abbildung 6.30 und Abbildung 6.31). Bei diesen Auswertungen tritt somit die Tatsache, dass im Winter trotz durchziehender synoptischer Systeme im Vergleich zum Sommer sehr wenig Niederschlag fällt, deutlich zum Vorschein.

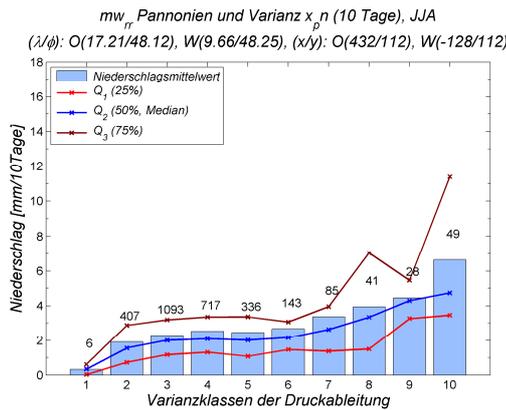


Abbildung 6.28: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Pannonien für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographische und kartesische).

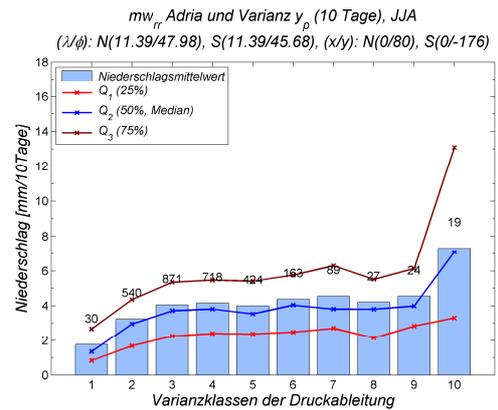


Abbildung 6.29: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Adria für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographische und kartesische).

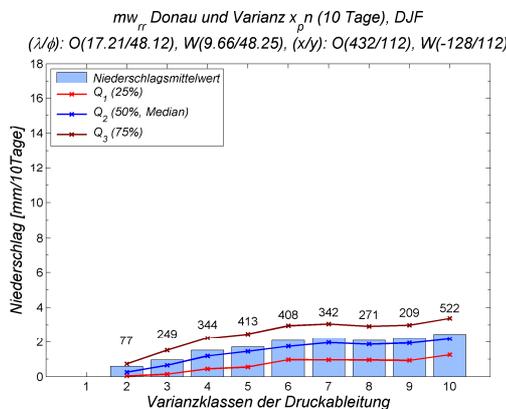


Abbildung 6.30: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Donau für den Winter inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographische und kartesische).

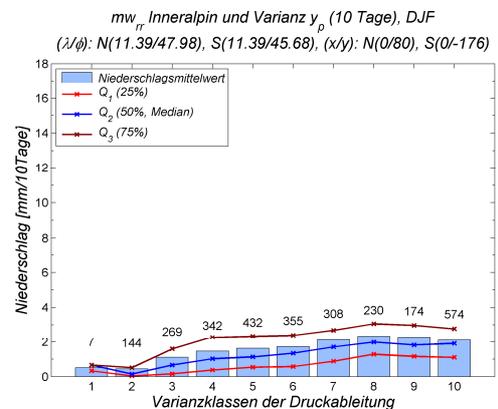


Abbildung 6.31: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für den Winter inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktkoordinaten (geographische und kartesische).

Bei der Analyse der Häufigkeitsverteilungen für den Herbst spiegelt sich ein gemischtes Verhalten der Auswertungen für den Sommer und den Winter wieder. In den Klassen mit sehr geringer Varianz ist auch sehr wenig Niederschlag zu verzeichnen, aber mit Zunahme der Varianz ist auch der Anstieg im Niederschlag steiler als bei den Verteilungen im Winter, jedoch bei weitem nicht so stark wie bei jenen für den Sommer. Somit zeigt sich, dass in dieser Saison die Bedeutung von Niederschlagsereignissen bedingt durch synoptische Systeme vorrangig ist.

Der Frühling ist bekanntlich die konvektiv aktivste Jahreszeit und somit der auf Grund von Konvektion entstandene Niederschlag besonders wichtig. Folgedessen zeigt sich bei der Betrachtung dieser Häufigkeitsverteilungen die charakteristische Korrelation am wenigsten ausgeprägt und der Zusammenhang ist am schlechtesten gegeben. In dieser Saison können, wie dies im Sommer der Fall ist, viele kleinräumige Niederschlagsereignisse bei gradientschwachen Wetterlagen auftreten.

Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilungen der Varianz der gemischten räumlichen Ableitung fällt auf, dass ein annehmbarer Zusammenhang mit Trockenperioden oder Zeiträumen mit geringem Niederschlag nur in den alpinen Klimaregionen – Adria, Inneralpin, Nord, West – gegeben ist. Darüber hinaus besteht diese Korrelation in allen erwähnten Regionen nur für das Winterhalbjahr und den Winter. Während der Herbst noch brauchbare Signale in den graphischen Verteilungen der Regionen West, Inneralpin und Adria zeigt, sind diese im Sommer nur mehr in der Klimaregion West zu finden. Die Verteilung der Niederschlagsmenge in den Varianzklassen dieser Ableitung ähnelt jenen der Druckgradienten.

Die Analyse der Varianz bezüglich der Tendenz der Druckgradienten zeigt annähernd dasselbe Verhalten und dieselben eindrucksvollen Ergebnisse wie jene der Druckgradienten selbst.

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilungen der Varianz der zweiten zeitlichen Ableitungen je Klimaregion, so ergibt sich für alle Regionen ein sehr guter Zusammenhang mit geringen Niederschlagswerten in den niedrigen Varianzklassen für die Auswertung des Winterhalbjahrs, des Herbsts und des Winters (Abbildung 6.32 und Abbildung 6.33). Die Regionen Nord und West stechen wiederum mit einem raschen und steilen Anstieg der Niederschlagsmengen in den höheren Klassen heraus, während die

Verteilung in den anderen Regionen eher flach ausfällt. Im Sommerhalbjahr sowie im Frühling wiederum ist die Korrelation wie schon bekannt nicht so stark gegeben und nur in den Klimaregionen Inneralpin, Nord und West etwas stärker ausgeprägt. Im Sommer fällt besonders die Region West sehr stark auf, da bei der Verteilung dieser Region in den niedrigen Varianzklassen kaum Niederschlag zu verzeichnen ist und ein enorm steiler Anstieg in den Niederschlagsmengen mit den höheren Klassen festzustellen ist. Somit ist in dieser Klimaregion der verzeichnete Niederschlag am stärksten mit Fronten in Verbindung zu bringen.

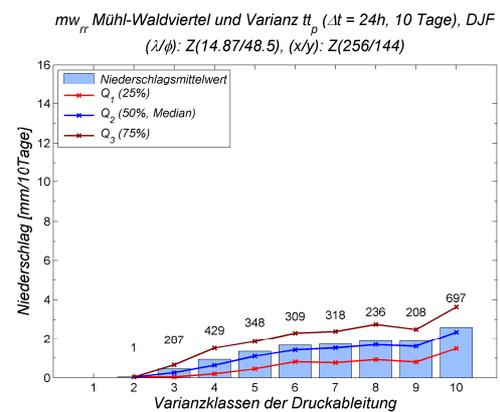
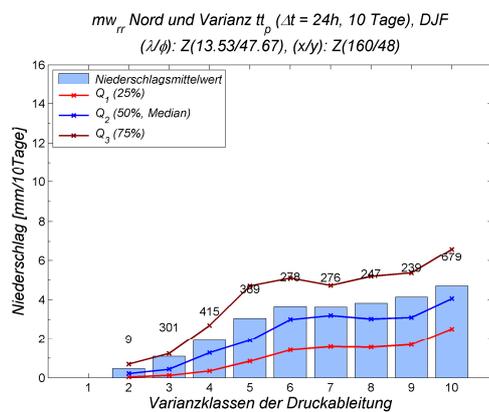


Abbildung 6.32: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz der zweiten Zeitableitung und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

Abbildung 6.33: Häufigkeitsverteilung der zehntages-Varianz der zweiten Zeitableitung und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).

Bei den Häufigkeitsverteilungen des Auftretens von Niederschlag in Verbindung mit der Varianz der zweiten Raumableitung sticht vor allem die yy_p -Ableitung hervor. Betrachtet man den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren, ergeben sich gute Korrelationen für die Klimaregionen Adria, West, Nord und Pannonien. Geht man jedoch ins Detail und analysiert die meteorologischen Halbjahre, so ändert sich dieser Sachverhalt. Im Winterhalbjahr ist ein guter Zusammenhang vor allem für die Regionen Mühl-Waldviertel, Pannonien, Nord und West gegeben, während dies im Sommerhalbjahr nur mehr für die Regionen Nord und West gegeben ist. Bei der Betrachtung der meteorologischen

Jahreszeiten gilt für den Winter dieselbe Aussage wie für das Winterhalbjahr. Im Frühling ist die Korrelation bekanntlich am schlechtesten gegeben und in diesem Fall völlig vernachlässigbar. Für den Sommer wiederum kommen dieselben Aussagen zum Tragen wie für das Sommerhalbjahr, wobei zu dieser Jahreszeit auch die xx_p -Ableitung brauchbare Zusammenhänge liefert. Im Herbst finden sich Korrelationen wiederum nur für die Ableitung und die Klimaregionen Inneralpin, West, Nord und Pannonien. Das Erscheinungsbild der Graphiken ähnelt wiederum jenen der Auswertungen bezüglich der Varianz der Druckgradienten in Verbindung mit verzeichneten Niederschlagsereignissen.

Schlussendlich erfolgt die Analyse der Varianz des horizontalen Laplace in Verbindung mit Niederschlag. Aus den vorherigen Betrachtungen wird ersichtlich, dass der Beitrag der yy_p -Ableitung wesentlich stärker ist als jener der xx_p -Ableitung. Für diese Gegenüberstellung finden sich in allen meteorologisch untersuchten Zeiträumen brauchbare Korrelationen für die Klimaregionen Pannonien, Mühl-Waldviertel, Nord und West. Wie schon bekannt sind Auswertungen bezüglich des Frühlings vernachlässigbar. Auch die hier erstellten Häufigkeitsverteilungen ähneln jenen der Gegenüberstellung von Niederschlag und Varianz der Druckgradienten.

6.3.2 Fallstudie 16. März bis 27. März 2003

Die Höhenkarte für 500 hPa der Berliner Wetterkarten vom 16. März um 00:00 UTC (Abbildung 6.34) zeigt eine „Omega-Wetterlage“. Unter „Omega-Lage“ ist folgendes zu verstehen: ein Gebiet hohen Luftdrucks wird westlich und östlich von Tiefdrucksystemen flankiert und blockiert nachhaltige Entwicklungen in der Großwetterlage. Ist dieses „Omega“ stark ausgeprägt, so ist diese Wetterlage sehr stabil und hat das Potential über einen längeren Zeitraum hin anzudauern. In Folge dessen kann es im Bereich des Hochdruckeinflusses oftmals zu ausgeprägten Trockenperioden kommen. Die in Abbildung 6.34 ersichtliche „Omega-Lage“ ist nicht besonders stark ausgeprägt, da im Vergleich zum östlichen Trog der westliche zu spärlich entwickelt ist. Österreich liegt genau im Übergangsbereich zwischen dem blockierenden Hoch über der Nordsee und dem Tief über Mittelitalien. Somit gelangen kalte, trockene Luftmassen aus Polen in die

Alpenrepublik, wodurch Mitte März 2003 über einen Zeitraum von annähernd zwei Wochen kaum nennenswerter Niederschlag in Österreich zu verzeichnen ist.

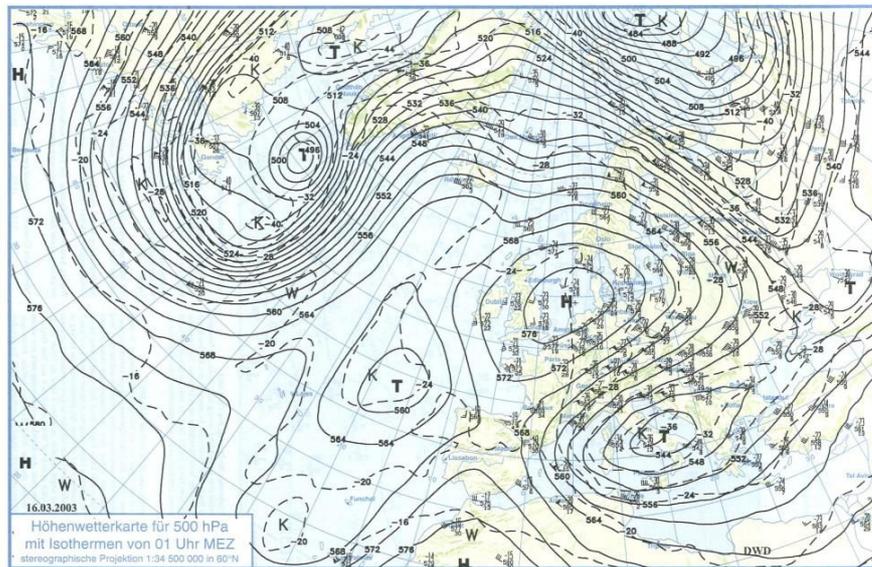


Abbildung 6.34: analysierte Höhenkarte (500 hPa) des Druckfeldes für den 16.03.2003 00:00 UTC;
Quelle: Berliner Wetterkarte

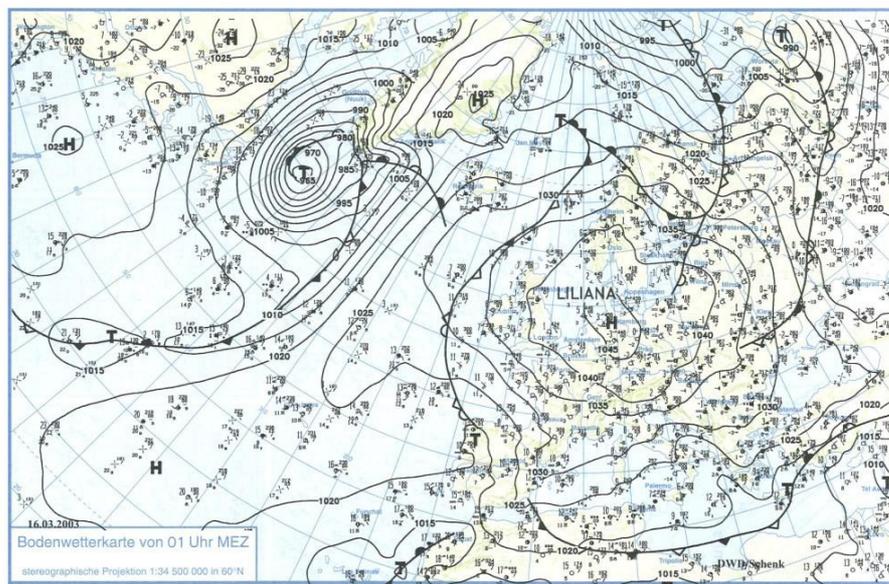


Abbildung 6.35: analysierte Wetterlage auf der Bodendruckkarte für den 16.03.2003 00:00 UTC;
Quelle: Berliner Wetterkarte

Betrachtet man nun die Bodenwetterkarte der Berliner Wetterkarten für denselben Zeitpunkt, so sticht sofort ins Auge, dass sich ein Bodenhoch mit flacher Druckverteilung über annähernd ganz Europa erstreckt (Abbildung 6.35). Alle Frontensysteme, die Niederschlag bringen könnten, befinden sich weit im Norden, Osten oder Süden.

Am 21. März beginnt sich die „Omega-Lage“ abzuschwächen, da sich das blockierende Hoch aufgelöst hat. Ein ausgeprägter Keil erstreckt sich jedoch weiterhin weit in den Norden – bis hin zum Nordkap – und bewirkt den Transport kalter polarer Luftmassen bis nach Mitteleuropa, das sich im Bereich der nördlichen Höhenströmung befindet. In Folge des ausgeprägten Keils hat sich ein markanter Trog über Osteuropa ausgebildet, der bis an die afrikanische Küste reicht, mit einem abgetropften Höhentiefkern über der nordöstlichsten Ukraine. Das zugehörige Bodentief liegt nur leicht nördlich und mit der annähernd senkrecht stehenden vertikalen Achse ist dieses System am Ende seiner Entwicklung angelangt. Die Kaltfront dieses Systems erstreckt sich in einem Bogen von der Ukraine über das nördliche Schwarze Meer, weite Teile Mitteleuropas bis hin zur Nordsee. Auf Grund der annähernd höhenströmungsparallelen Lage der Front – diese bewirkt ein Schwächerwerden und Auflösen der Front – ist sie nicht mehr wetterwirksam und bringt keinen Niederschlag für Österreich.

Erst am 27. März zeigt sich ein völlig anderes Bild in der Höhenkarte für 500 hPa der Berliner Wetterkarten, ersichtlich in Abbildung 6.36. Die „Omega-Lage“ hat sich vollkommen aufgelöst und über Mitteleuropa herrscht eine sehr flache, nicht wohl definierte Druckverteilung mit kurzweiligen Trögen und Keilen. Über Nordeuropa liegt eine ausgeprägte Südwestwindzone mit einem Keil bis zur Karasee. An dessen Vorderseite erstreckt sich ein Trog bis zum Schwarzen Meer. Westlich der Iberischen Halbinsel liegt ein abgetropftes Tiefdrucksystem dessen Kern genau über dem Bodendruckzentrum liegt und Entwicklung somit abgeschlossen ist. Ein kleines abgetropftes Tief liegt über den Niederlanden und hat folglich auch keinen Einfluss auf das Wettergeschehen in Österreich.

Kernen und Frontensystem über dem Atlantik westlich der Iberischen Halbinsel ist eine seichte Tiefdruckrinne nördlich der Alpen zu erkennen (Abbildung 6.37). In Verbindung mit der flachen Druckverteilung und den kühlen, trockenen Luftmassen kommt es in ganz Mitteleuropa zu keinem Niederschlag. Über Osteuropa liegt ein Hoch und nur über Nordeuropa sorgt ein ausgedehntes Frontenband für etwas Niederschlag.

Die für diese Fallstudie dargestellten Zeitreihen umfassen den Zeitraum vom 01.03.2003 00:00 UTC bis 31.03.2003 21:00 UTC. Veranschaulicht werden der Verlauf verschiedener Druckableitungen und jener des Niederschlags für verschiedene Klimaregionen, da in dieser Zeitspanne in allen Regionen eine länger andauernde Trockenperiode (16.03. – 27.03.) zu verzeichnen ist.

Die Darstellung der großräumigen Druckgradienten in Nord-Süd-Richtung über dem Alpenhauptkamm und in Ost-West-Richtung nördlich der Alpen (Abbildung 6.38) lässt erkennen, dass Niederschlag in der Klimaregion Donau mit einem Abfall des Drucks im Ost-West-Gefälle einhergeht. Generell ist im ganzen Monat eine geringe Variabilität im Verlauf des Druckgradienten zu erkennen und ab dem 15. März kein Niederschlag mehr zu verzeichnen. In Abbildung 6.39, welche den Verlauf des Druckgradienten im Nord-Süd-Gefälle veranschaulicht, ist ein markanter Anstieg im Druckgradienten bezüglich des Nord-Süd-Gefälles ersichtlich, der am 12. März beginnt und am 13. März sein Maximum erreicht hat. Dieser geht jedoch mit keinem Niederschlagsereignis einher und wird von einer anschließenden Phase äußerst langsamen Abfalls der hohen Druckgradientenwerte mit geringer Variabilität in dessen Verlauf gefolgt. Anhand dieser beiden Graphiken lässt sich die im vorherigen Kapitel aufgestellte Hypothese und die den Häufigkeitsverteilungen der Varianz des Druckgradienten in Verbindung mit Niederschlagsereignissen gezeigten Beobachtungen bestätigen: Niederschlagsereignisse mit kleinen Mengen oder Trockenperioden gehen mit einer geringen Variabilität im Druckverlauf einher.

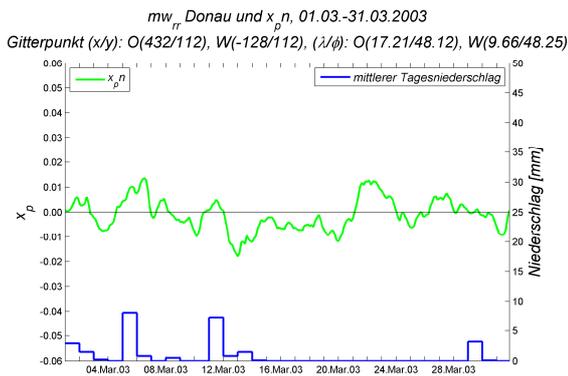


Abbildung 6.38: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Donau (blau) und großräumiger Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.

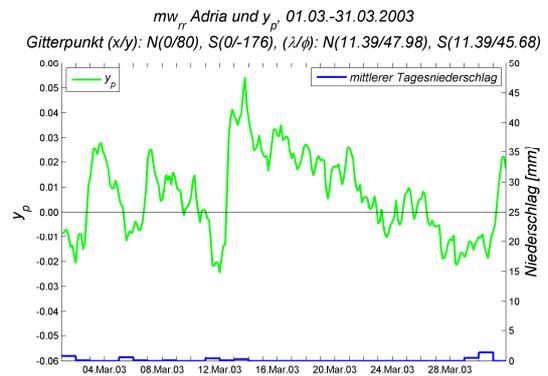


Abbildung 6.39: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Adria (blau) und großräumiger Nord-Süd-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.

Anhand der folgenden Graphiken wird der in Kapitel 6.2 gefundene Zusammenhang zwischen der Raum-Zeitableitung des Drucks und Auftreten von Niederschlagsereignissen erneut bestätigt. Abbildung 6.40 zeigt das Einsetzen von Niederschlag in der Klimaregion Mühl-Waldviertel in Verbindung mit einer Abnahme in den Werten dieser Ableitung in x -Richtung. Der Verlauf der gesamten betrachteten Zeitreihe weist geringe Variabilität im Verlauf der Druckfeldableitung auf und somit ist auch in einer zehntägigen Phase vom 16. März bis 27. März kein Niederschlag zu verzeichnen. Abbildung 6.41 spiegelt das schon bekannte Verhalten des Auftretens von Niederschlagsereignissen in Verbindung mit einem Anstieg dieser Ableitung in y -Richtung wider. Im zeitlichen Verlauf der Raum-Zeitableitung bezüglich der Klimaregion West ist jeweils für den 01. März, 05. März und 12. März ein besonders markanter Anstieg zu verzeichnen, der mit Niederschlag einhergeht. Anschließend folgt ein ebenso ausgeprägter Abfall in den Werten dieser Ableitung und ab dem 15. März zeigt sich bis zum Ende des Monats ein Verlauf mit geringer Variabilität im Druckverhalten, welches wiederum mit einer Phase ohne Niederschlag einhergeht.

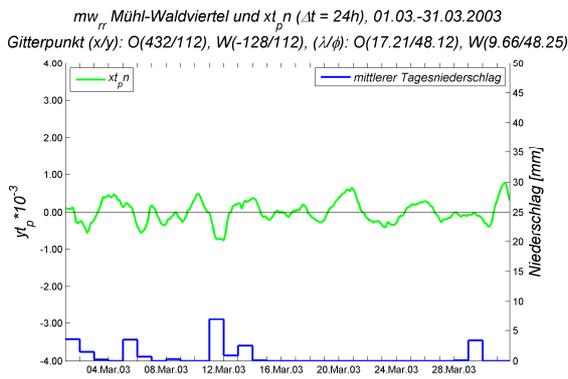


Abbildung 6.40: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion Mühl-Waldviertel (blau) und Tendenz des großräumigen Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.

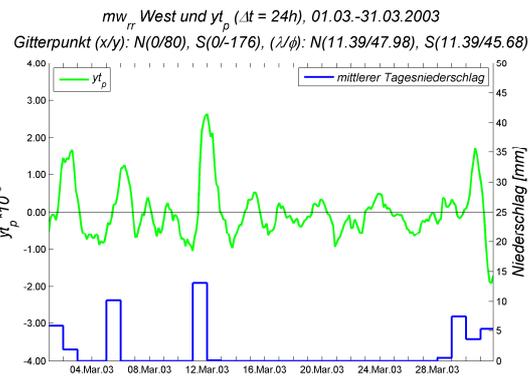


Abbildung 6.41: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag der Klimaregion West (blau) und Tendenz des großräumigen Nord-Süd-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.

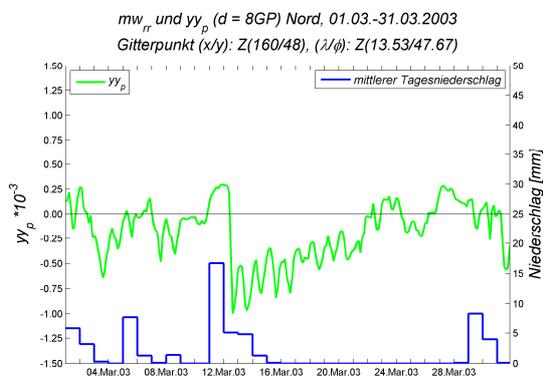


Abbildung 6.42: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag (blau) und zweite Raumableitung des Drucks in y-Richtung (grün) der Klimaregion Nord inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung, 01.03. – 31.03.2003.

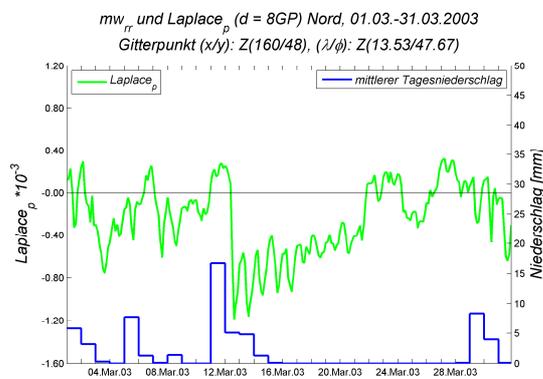


Abbildung 6.43: 24-stündiger mittlerer Tagesniederschlag (blau) und horizontaler Laplace (grün) der Klimaregion Nord inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung, 01.03. – 31.03.2003.

Bei der Betrachtung des Verlaufs der $\gamma\gamma_p$ -Ableitung und des horizontalen Laplace der Klimaregion Nord fällt eine Phase mit höherer Variabilität in den ersten beiden Wochen des März auf, die mit Niederschlagsereignissen einhergeht. Mit einem markanten Abfall der Werte dieser Ableitungen und einem folgenden allmählichen Anstieg mit geringer Variabilität hört der Niederschlag auf. Somit wird auch hier die Hypothese des Zusammenhangs geringer Variabilität in Druckfeldableitungen in Verbindung mit Trockenperioden bestätigt.

7 Conclusio und Ausblick

7.1 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Zuge dieser Arbeit sind nun zwei verschiedene Herangehensweisen bezüglich Analysen im Hinblick auf Niederschlagsereignisse und deren Zusammenhang mit Druckfeldableitungen zur Anwendung gekommen. In den Kapiteln 6.2 und 6.3 wurden diese eingehend erklärt und anhand von Häufigkeitsverteilungen und Fallstudien diskutiert. Sowohl die Häufigkeitsverteilungen der Druckfeldableitungen als auch deren Varianz haben bei den Auswertungen Zusammenhänge mit Niederschlagsereignissen und Trockenperioden in allen untersuchten Klimaregionen und meteorologischen Zeiträumen erkennen lassen.

Die Auswertungen bezüglich der Druckfeldableitungen zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der gemischten Raum-Zeitableitung des Druckfeldes und Niederschlagsereignissen und stellen den Blickfang der Analysen und Auswertungen bezüglich Niederschlagsereignissen in dieser Arbeit dar. Aber auch für die anderen Ableitungen ist eine akzeptable Korrelation durchaus gegeben. Die allgemeine nicht signifikante Korrelation und somit die Minderung der Aussagen kann mehrere Gründe haben: einerseits die Wahl der zur Berechnung der Ableitungen herangezogenen Gitterpunkte, andererseits die Wahl des zeitlichen und räumlichen Intervalls. Für die Berechnung der Tendenz der Druckgradienten im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und in Nord-Süd-Richtung über dem Alpenhauptkamm hingegen scheinen die Intervalle gut gewählt zu sein. Vor allem bei der Betrachtung der Ergebnisse im Hinblick auf die zweite Zeitableitung scheint durch die 24-stündige Mittelbildung, um diese gemeinsam mit Niederschlagsereignissen darstellen zu können, zu viel an detaillierter Information verloren zu gehen. Auf Grund der beschränkten Verfügbarkeit der Niederschlagsdaten konnte das volle Potential der berechneten zeitlich hochaufgelösten Druckfeldableitungen bei dieser Methode somit nicht optimal genutzt werden.

Darüber hinaus erweist sich die Methode der Analyse der Varianz im Druckgradienten sowie in der Tendenz des Druckgradienten als gutes Maß zur Erkennung und Bestimmung von Trockenperioden oder niederschlagsarmen Phasen und stellt somit das zweite herausragende Ergebnis dieser Arbeit dar. Die übrigen Ableitungen hingegen weisen keinen so markanten und eindeutigen Zusammenhang auf, liefern aber dennoch für einzelne Klimaregionen und ausgewertete meteorologische Zeiträume annehmbare Ergebnisse. Im Gegensatz zur vorhin genannten Methode stellt die geringe zeitliche Auflösung der verwendeten Niederschlagsdaten in dieser Anwendung kein so großes Problem dar, bedingt durch die Varianzbildung der vollständig zur Verfügung stehenden dreistündigen Druckfeldableitungen über einen größeren Zeitraum (zehn und 15 Tage).

Die Fallstudien belegen, dass beide Methoden zur Analyse von Niederschlagsereignissen und Trockenperioden geeignet sind. Auf Grund der für die Ableitungsberechnungen verwendeten räumliche Distanzen – vor allem für die gemischte Raumableitung und bei der Bildung des horizontalen Laplace – und der geringen zeitlichen Auflösung der Niederschlagsdaten können die ermittelten Zusammenhänge jedoch nicht auf zeitlich begrenzte oder kleinräumige Niederschlagsereignisse angewendet und erweitert werden.

7.2 Ausblick

Basierend auf den Auswertungen und Ergebnissen des Projekts „Trendanalyse in hydro-meteorologischen Extremwerten“ sind die zeitlichen Druckfeldableitungen (Raum-Zeit- und zweite Zeitableitung) in dieser Arbeit nur mit einem Zeitinkrement von $\Delta t = 24$ h im dreistündigen Intervall berechnet worden. Für die räumlichen Druckfeldableitungen jeder einzelnen Klimaregion ist eine Distanz von 128 km gewählt worden, um so viel Störinformation wie möglich bei den Ableitungsberechnungen zu eliminieren. Bei dem für das MESOCLIM-Gitter definierten Gitterpunktsabstand von 16 km entspricht dies acht Mal dem Gitterpunktsabstand. Die Untersuchungen, die für diese Arbeit durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass Ableitungen von Bodendruckfeldern für Untersuchungen von Niederschlagsereignissen plausibel sind. Um wirklich aussagekräftige Ergebnisse über den Zusammenhang zwischen Bodendruckfeldern und Niederschlagsereignissen zu erzielen,

könnten die hier beschriebenen und verwendeten Ableitungen mit einem kleineren Δt – beispielsweise 3, 6 und 12 h – erneut berechnet und mit einem hochaufgelösten Niederschlagsdatensatz kombiniert werden. Anstelle des vorliegenden 24-stündigen Datensatzes des hydrographischen Dienstes wäre es eine gute Möglichkeit Niederschlagsdaten mit derselben zeitlichen Auflösung der MESOCLUM-Daten, d. h. drei Stunden, zu verwenden. Dies würde eine direkte Gegenüberstellung mit den dreistündigen Boden-druckdaten aus der MESOCLIM-Zeitreihe ermöglichen.

Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung der Analysen und zur Vervollständigung der hier durchgeführten Auswertungen könnte die Variation der Gitterpunkte und Gitterpunktsdistanzen zur Berechnung der Druckfeldableitungen darstellen. Die Gitterpunkte zur Berechnung der großräumigen Druckunterschiede nördlich und südlich der Alpen sowie im Ost-West-Gefälle könnten nach Norden, Süden, Osten und Westen verschoben werden. Durch dieses Variieren sollte es möglich sein, die bestmögliche Einstellung zur Analyse und Erfassung von mesoskaligen Niederschlagsereignissen zu ermitteln.

Im Zuge dieser Arbeit sind auch Streudiagramme mit verschiedensten Kombinationen von Druckfeldableitungen erstellt worden, jedoch ob ihrer geringen Aussagekraft nicht präsentiert worden. Auf Grund der notwendigen Mittelbildung der Ableitungen über einen Zeitraum von 24 Stunden, um diese gemeinsam mit Niederschlagsereignissen darstellen zu können, ist zu viel detaillierte Information für eine aussagekräftige Auswertung dieser Art verloren gegangen. Würde nun ein zeitlich ebenso oder annähernd so hochaufgelöster Niederschlagsdatensatz wie jener der Druckdaten zur Verfügung stehen, so könnten diese Auswertungen erneut durchgeführt werden, um aussagekräftige Kombinationen von Druckfeldableitungen zu finden, die auf das Eintreten von Niederschlagsereignissen schließen lassen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit die hier beschriebene Methode auf andere große Gebirgszüge anzuwenden, die ebenfalls klimatische Übergangszonen darstellen und starken Einfluss auf Niederschlagsereignisse nehmen. Anschließend könnten die gewonnenen Resultate verglichen werden und daraus resultierenden Ergebnisse zu neuen Erkenntnissen führen.

Abkürzungsverzeichnis

AMJJAS	meteorologisches Sommerhalbjahr: April, Mai, Juni, Juli, August, September
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
COST	European Cooperation in Science and Technology
COST Action 733	Forschungsprojekt der Europäischen Union zu Wetterlagenklassifikationen
DJF	meteorologischer Winter: Dezember, Jänner, Februar
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA40	ECMWF 40 Year Re-analysis
FWF	Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung
IMGW	Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien
IWHW	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
JJA	meteorologischer Sommer: Juni, Juli, August
KLIEN	Klima- und Energiefond des Bundes – managed by Kommunalkredit Consulting

MAM	meteorologischer Frühling: März, April, Mai
MARS	Meteorological Archival and Retrieval System
MESOCLIM	Mesoscale Alpine Climatology
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
MeteoSchweiz	nationaler Wetterdienst der Schweiz
MEZ	Mitteleuropäische Zeit
MSLP	Mean Sea Level Pressure
ONDJFM	meteorologisches Winterhalbjahr: Oktober, November, Dezember, Jänner, Februar, März
SON	meteorologischer Herbst: September, Oktober, November
UTC	Universal Time Coordinated (koordinierte Weltzeit, -1 h zu MEZ, -2 h zu MESZ)
WLKC733	Wetterlagenklassifikation entwickelt während der COST Action 733 Harmonisation and application of weather type classifications in Europe
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Verteilung der 515 für Untersuchungen verwendeten Messstationen (Ombrographen und Ombrometer) des hydrographischen Dienstes in Österreich.	9
Abbildung 2.2:	Darstellung des MESOCLIM-Gitters über dem Untersuchungsgebiet.	10
Abbildung 3.1:	Auswahl der MESOCLIM-Gitterpunkte zur Untersuchung des Druckverhaltens im Nord-Süd-Gefälle sowie im Ost-West-Gefälle. Darüber hinaus eingezeichnet sind die ausgewählten MESOCLIM-Gitterpunkte für diverse Druckableitungen die zentral in einer Klimaregion gelegen sind.....	13
Abbildung 3.2:	Darstellung der subjektiv-empirischen Aufteilung Österreichs in Klimaregionen.	16
Abbildung 3.3:	Zusammenfassende Darstellung der verfügbaren MESOCLIM-Gitterpunkte, der Klimaregionen Österreichs und der je Klimaregion zugewiesenen Messstation (Ombrographen und Ombrometer) des hydrographischen Dienstes.	18
Abbildung 6.1:	Häufigkeitsverteilung des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Adria über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten in kartesischen und geographischen Koordinaten.	41
Abbildung 6.2:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Adria über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der	

	Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten in kartesischen und geographischen Koordinaten.....	42
Abbildung 6.3:	Häufigkeitsverteilung der 15-Tages-Varianz des Nord-Süd- Druckgradienten und des mittleren 15-Tagesniederschlags der Klimaregion Adria über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten in kartesischen und geographischen Koordinaten.....	43
Abbildung 6.4:	Häufigkeitsverteilung der gemischten räumlichen Druckableitung und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Adria für den meteorologischen Herbst inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch) des zentralen Punktes.....	45
Abbildung 6.5:	Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion West für den gesamten Untersuchungs-zeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch).	46
Abbildung 6.6:	Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Nord-Süd-Gefälle über den Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Nord für den gesamten Untersuchungs-zeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch).....	46
Abbildung 6.7:	Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für die Winterhalb-jahre inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts-koordinaten (geographisch und kartesisch).	47
Abbildung 6.8:	Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Ost-West-Gefälle nördlich der Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für die Sommerhalb-jahre inklusive	

	der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts-koordinaten (geographisch und kartesisch).	47
Abbildung 6.9:	Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Nord-Süd-Gefälle über den Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für das Winterhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts- koordinaten (geographisch und kartesisch).	47
Abbildung 6.10:	Häufigkeitsverteilung der Raum-Zeitableitung im Nord-Süd-Gefälle über den Alpen und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts- koordinaten (geographisch und kartesisch).	47
Abbildung 6.11:	Häufigkeitsverteilung der zweiten Zeitableitung und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts-koordinaten (geographisch und kartesisch).	49
Abbildung 6.12:	Häufigkeitsverteilung der zweiten Zeitableitung und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Adria für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeld-ableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch).	49
Abbildung 6.13:	Häufigkeitsverteilung des Laplace und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion Pannonien für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts-koordinaten (geographisch und kartesisch).	49
Abbildung 6.14:	Häufigkeitsverteilung des Laplace und des mittleren Tagesniederschlags der Klimaregion West für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeld-ableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographisch und kartesisch).	49
Abbildung 6.15:	analysierte Höhenkarte (500 hPa) des Druckfeldes für den 05.08.2002 00:00 UTC; Quelle: Berliner Wetterkarte	51

Abbildung 6.16:	analysierte Wetterlage auf der Bodendruckkarte für den 06.08.2002 12:00 UTC; Quelle: Berliner Wetterkarte	52
Abbildung 6.17:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Mühl- Waldviertel (blau) und großräumiger Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002	53
Abbildung 6.18:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Donau (blau) und großräumiger Nord-Süd-Druckgradient über den Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002.	53
Abbildung 6.19:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Mühl- Waldviertel (blau) und Tendenz des großräumigen Ost-West- Druckgradienten nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002.	53
Abbildung 6.20:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Donau (blau) und Tendenz des großräumigen Nord-Süd-Druckgradienten über den Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.08. – 08.08.2002.	53
Abbildung 6.21:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag (blau) und zweite Zeitableitung des Drucks (grün) der Klimaregion Mühl-Waldviertel inklusive Koordinatenangabe des verwendeten Punktes zur Ableitungsberechnung, 01.08. – 08.08.2002.	54
Abbildung 6.22:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des nördlichen Ost- West-Druck-gradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord über den gesamten Untersuchungszeitraum von 35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeld- ableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).	56
Abbildung 6.23:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd- Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion West über den gesamten Untersuchungszeitraum von	

	35 Jahren inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).....	56
Abbildung 6.24:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druck-gradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für das Winterhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).	57
Abbildung 6.25:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord für das Winterhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).	57
Abbildung 6.26:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druck-gradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).	57
Abbildung 6.27:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord für das Sommerhalbjahr inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).	57
Abbildung 6.28:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des nördlichen Ost-West-Druck-gradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Pannonien für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).	59
Abbildung 6.29:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd-Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Adria für den Sommer inklusive der Angabe der für die	

	Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts- koordinaten (geographische und kartesische).....	59
Abbildung 6.30:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des nördlichen Ost- West-Druck-gradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Donau für den Winter inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts- koordinaten (geographische und kartesische).....	59
Abbildung 6.31:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz des Nord-Süd- Druckgradienten und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Inneralpin für den Winter inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunkts- koordinaten (geographische und kartesische).....	59
Abbildung 6.32:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz der zweiten Zeitableitung und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Nord für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeldableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).....	61
Abbildung 6.33:	Häufigkeitsverteilung der zehn-Tages-Varianz der zweiten Zeitableitung und des mittleren Zehntagesniederschlags der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Sommer inklusive der Angabe der für die Berechnung der Druckfeld-ableitung verwendeten Gitterpunktskoordinaten (geographische und kartesische).....	61
Abbildung 6.34:	analysierte Höhenkarte (500 hPa) des Druckfeldes für den 16.03.2003 00:00 UTC; Quelle: Berliner Wetterkarte	63
Abbildung 6.35:	analysierte Wetterlage auf der Bodendruckkarte für den 16.03.2003 00:00 UTC; Quelle: Berliner Wetterkarte	63
Abbildung 6.36:	analysierte Höhenkarte (500 hPa) des Druckfeldes für den 27.03.2003 00:00 UTC; Quelle: Berliner Wetterkarte	65
Abbildung 6.37:	analysierte Wetterlage auf der Bodendruckkarte für den 27.03.2003 00:00 UTC; Quelle: Berliner Wetterkarte	65

Abbildung 6.38:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Donau (blau) und großräumiger Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.....	67
Abbildung 6.39:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Adria (blau) und großräumiger Nord-Süd-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.....	67
Abbildung 6.40:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion Mühl-Waldviertel (blau) und Tendenz des großräumigen Ost-West-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.....	68
Abbildung 6.41:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag der Klimaregion West (blau) und Tendenz des großräumigen Nord-Süd-Druckgradient nördlich der Alpen inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung (grün), 01.03. – 31.03.2003.....	68
Abbildung 6.42:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag (blau) und zweite Raumbewertung des Drucks in y-Richtung (grün) der Klimaregion Nord inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung, 01.03. – 31.03.2003.....	68
Abbildung 6.43:	24-stündiger mittlerer Tages-niederschlag (blau) und horizontaler Laplace (grün) der Klimaregion Nord inklusive Angabe der verwendeten Koordinaten zur Berechnung, 01.03. – 31.03.2003.....	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Kartesische und geographische Koordinaten ausgewählter MESOCLIM-Gitterpunkte für Raum-Zeit ableitungen.....	14
Tabelle 3.2:	Auflistung der sieben Klimaregionen Österreichs inklusive der Anzahl der jeweils vorliegenden und der schlussendlich tatsächlich verwendeten Datenfiles von Messstationen des hydrographischen Dienstes.....	17
Tabelle 4.1:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert.....	24
Tabelle 4.2:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert.....	25
Tabelle 4.3:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert.....	26
Tabelle B.1:	Auswahl der für Untersuchungen verwendeten Messstationen des hydrographischen Dienstes, inklusive Stationsnummer, Stationsname, Höhe der Station, Beginn der Aufzeichnungen, Art des Messgeräts und Klimaregionszugehörigkeit.	105
Tabelle B.2:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Adria für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	106
Tabelle B.3:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen	

	Schwellwert der Klimaregion Donau für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	106
Tabelle B.4:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Inneralpin für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	106
Tabelle B.5:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	107
Tabelle B.6:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Nord für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	107
Tabelle B.7:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Pannonien für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	107
Tabelle B.8:	Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion West für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	108
Tabelle B.9:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Adria für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	108
Tabelle B.10:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen	

	Schwellwert der Klimaregion Donau für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	108
Tabelle B.11:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Inneralpin für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	109
Tabelle B.12:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	109
Tabelle B.13:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Nord für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	109
Tabelle B.14:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Pannonien für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	110
Tabelle B.15:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion West für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	110
Tabelle B.16:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Adria für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.	110
Tabelle B.17:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen	

	Schwellwert der Klimaregion Donau für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	111
Tabelle B.18:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Inneralpin für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	111
Tabelle B.19:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	111
Tabelle B.20:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Nord für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	112
Tabelle B.21:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Pannonien für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	112
Tabelle B.22:	Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion West für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.....	112

Literaturverzeichnis

- Aschauer, I. (2012). Diplomarbeit. *Vergleichende Untersuchungen von Wetterlagen und Ableitungen des Bodendruckfeldes im Hinblick auf Niederschlagsereignisse*. Wien.
- Bergmann-Schaefer. (2001). *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 7, Erde und Planeten*. Berlin - New York: Walter de Gruyter, 2. Auflage.
- Eibl, B. (2009). Diplomarbeit. *Klimatologie der Starkniederschläge*. Wien.
- Etling, D. (2002). *Theoretische Meteorologie*. Springer Verlag, 2. Auflage.
- Kurz, M. (1998). Leitfaden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst Nr. 8. *Synoptic Meteorology*. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst.
- Nachtnebel, H. P., Steinacker, R., Rudel, E., Aschauer, I., Büchinger, M., Krennert, T., Lexer, A., Zingerle, C. (Juli 2010 (nicht publiziert)). Endbericht. *Trendanalyse in hydro-meteorologischen Extremwerten*.
- Saucier, W. J. (1989). *Principles of Meteorological Analysis*. New York: Dover Publications, Inc.
- Schönwiese, C.-D. (1992). *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, Berlin, 2. Auflage.
- Steinacker, R. (2004). *Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation*.
<http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/weatherregime/STROEMUNGSLAGENKLASSIFIKATION.pdf>.
- Tschannett, S., Chimani, B., & Steinacker, R. (November 2003). Techn. Ber. *Innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit*. Wien: Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien.

Internetquellen

http://web.neuestatistik.de/inhalte_web/content/mod_19375/html/comp_19494.html

(Fromel zur Berechnung von Quantilen) Zuletzt zugegriffen am 23.03.2013

- A. Poster zum KLI.EN Projekt „Trendanalyse von hydro-meteorologischen Extremwerten“,
3. Österreichischer MeteorologInnentag Graz, 2009**



seit 1851

Trendanalyse in hydro-meteorologischen Extremwerten



ANNEMARIE LEXER¹, ISABELLA ASCHAUER und REINHOLD STEINACKER
Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien

In globalen Modellen werden Druckfelder, im Gegensatz zu Niederschlagsfeldern, zufriedenstellend abgebildet, sodass Zusammenhänge zwischen Niederschlagsereignissen und diversen Ableitungen der Luftdruckfelder Erfolg versprechend hergeleitet werden können.

Zur Erarbeitung der erwarteten unterschiedlichen Zusammenhänge zwischen Niederschlags- und Druckfeldern wurde Österreich subjektiv-empirisch in sieben verschiedene Klimaregionen unterteilt. Diese sollen die Einflüsse zeigen, denen das Wettergeschehen in der Alpenrepublik unterliegt.

Datengrundlage:

- langjährige (1971 – 2005), hoch aufgelöste Druckfeldanalysen auf einem 16x16km Gitter über Mitteleuropa im dreistündigen Intervall (MESOCLIM-Projekt, FWF Nr. P 18296)
- HZB-Niederschlagssummen (im 24-stündigen Intervall von über 900 Messstationen)
- COST733 Wetterlagenkatalog der ZAMG
- GCM-PMSL-Daten (ECHAM5 und HadCM3C)

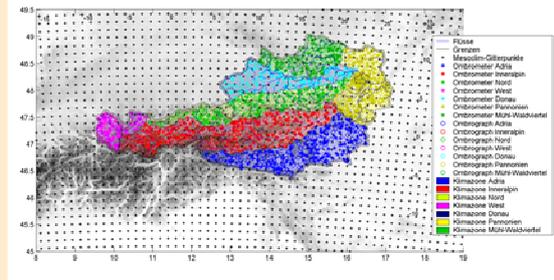


Abb. 1: Klimaregionen, HZB-Messstationen und MESOCLIM-Gitter (erstellt von Dieter Mayer)

Fallbeispiele: Juli/August der Jahre 2002 und 2003

Die Sommermonate der Jahre 2002 und 2003 repräsentieren die verschiedenen Extreme von Wetterereignissen (Starkniederschläge, längere Trocken- und Hitzeperioden). Die ersten Untersuchungen beschäftigen sich mit dem zeitlichen Verlauf von Druckdifferenzen zwischen zwei Gitterpunkten (z.B. Ost-West oder Nord-Süd). Diese sollen die verschiedenen Einflussbereiche, denen das Wettergeschehen in Österreich unterliegt, abbilden und ein erstes Indiz für den Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen liefern.

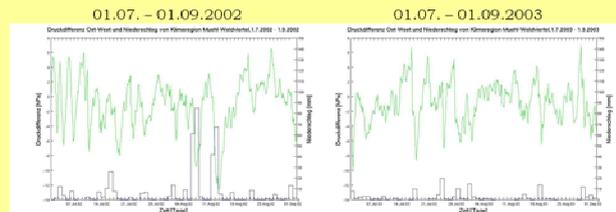


Abb. 2 + 3: Druckdifferenz Ost-West nördlich der Alpen (grün) und gemittelter Tages-Flächenniederschlag (blau) der Klimaregion Mühl-Waldviertel

Deutlich erkennbar ist, dass jedes Niederschlagsereignis mit einem Minimum der Ost-West-Druckdifferenz einhergeht, wobei die zeitliche Zuordnung durch den 24-stündigen Niederschlag nicht sehr scharf ausgeprägt ist. Die Stärke des Signals lässt jedoch wenig Aussage bezüglich der Niederschlagsmenge zu.

Weitere Betrachtungen führten zur Berechnung der zweiten zeitlichen Ableitung des Drucks (ein Maximum ist für Niederschlag notwendig, aber nicht hinreichend) sowie der räumlich zeitlichen Ableitung des Drucks (zeitliche Entwicklung von Druckgradienten – Hinweis auf Frontdurchgänge).

Häufigkeitsverteilungen

Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Entwicklung eines Druckgradienten mit dem Niederschlag einer Klimaregion (ausgewerteter Zeitraum: 1971 – 2005)

- zehn Klassen
- fixe Klassenbreite mit 1/3 der Standardabweichung (σ) der Zeitreihe der zeitlichen Entwicklung des Ost-West-Gradienten aus dem MESOCLIM-Datensatz
- die Randklassen enthalten Werte $< 5/3 \sigma$ bzw. $> 5/3 \sigma$ (absolute Extremwerte)

Der Mittelwert des Niederschlags pro Klasse ist durch die Balken in der Graphik ersichtlich. Weiters sind die Anzahl der Niederschlagsereignisse pro Klasse, der Median (blaue Linie) und zwei Quantile (rote Linien) der jeweiligen Klasse eingetragen.

Wie schon bei der Betrachtung der Druckdifferenz zu sehen ist, zeigen auch hier die negativen Werte der zeitlichen Entwicklung des Ost-West-Druckgradienten eine auffällige Korrelation mit starken Niederschlagsereignissen.

Untersuchung von Druckfeldern aus Zukunfts-Szenarien

- Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Entwicklung von Druckgradienten (aus dem GCM-Datensatz, zur Verfügung gestellt vom IWHW der BOKU)
- Werte gleich Null liegen in der Klasse Null zentriert
- fixe Klassenbreite mit 1/3 der Standardabweichung der Zeitreihe der zeitlichen Entwicklung des Ost-West-Gradienten aus dem MESOCLIM-Datensatz

Mit dieser Auswertung wird gezeigt, welchen Anteil die Extremwerte, die für hydro-meteorologische Extremereignisse verantwortlich sein können, in der Häufigkeitsverteilung einnehmen.

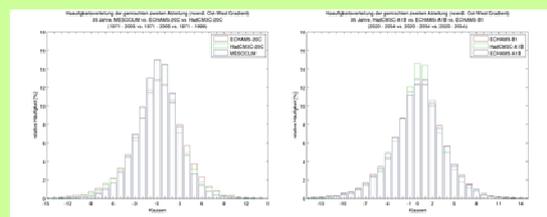


Abb. 5 + 6: MESOCLIM und Vergangenheitsläufe (1971 – 2005), bzw. Zukunfts-Szenarien (2020 – 2054) der verschiedenen Modelle

Ausblick: Das Hauptziel dieser Untersuchungen ist herauszufinden, ob eine Aussage über mögliche Trends in hydro-meteorologischen Variablen für die Zukunft getroffen werden kann. Dafür werden zusätzlich Häufigkeitsverteilungen für meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten erstellt, welche die saisonale Variabilität veranschaulichen und Hinweise auf mögliche Veränderungen in der Zukunft geben können. Darüber hinaus wird auch die Varianz der Druckgradienten analysiert, um eventuelle Aussagen über länger andauernde Trocken- und Hitzeperioden treffen zu können.

¹Kontakt: annemarie.lexer@univie.ac.at
 Universität Wien, IMG Wien, A-1050 Wien, Althanstraße 14
 Tel: +43 (0) 1 4277 63741

B. Tabellen

Stationsnummer	Stationsname	Höhe [m]	Errichtungsjahr	Messgerät	Klimaregion
100057	Obervermunt	1980,00	1949	OG	West
100073	Vermunt	1733,00	1927	OG	West
100115	Gaschurn	980,00	1893	OM	West
100123	St.Gallenkirch	860,00	1926	OG	West
100180	Tschagguns	680,00	1922	OG	West
100206	Silbertal	890,00	1907	OM	West
100214	Schruns	671,00	1896	OG	West
100230	Rodund	645,00	1949	OG	West
100263	Dalaas	920,00	1903	OM	West
100305	Lünersee	2015,00	1907	OG	West
100313	Brand	1000,00	1895	OG	West
100354	Fontanella	1140,00	1931	OM	West
100362	Blons	835,00	1900	OM	West
100370	Thüringen	580,00	1895	OG	West
100404	Meiningen	410,00	1893	OM	West
100412	Innerlaterns	1040,00	1895	OG	West
100420	Gaissau	400,00	1946	OM	West
100438	Fussach	400,00	1944	OG	West
100446	Lustenau	404,00	1931	OG	West
100453	Ebnit	1100,00	1893	OG	West
100461	Güttele	530,00	1895	OG	West
100479	Dornbirn	435,00	1893	OG	West
100487	Bildstein	720,00	1894	OM	West
100495	Mäder	420,00	1893	OM	West
100503	Meschach	850,00	1894	OM	West
100529	Hohenems	410,00	1893	OM	West
100560	Au	800,00	1907	OM	West
100586	Damüls	1365,00	1895	OM	West
100602	Bizau	700,00	1895	OM	West
100628	Bödele	1100,00	1894	OG	West
100636	Andelsbuch	600,00	1922	OG	West
100644	Egg	660,00	1895	OM	West
100651	Schönenbach	1040,00	1955	OG	West
100685	Sibratsgfall	920,00	1895	OM	West
100701	Hittisau	790,00	1938	OG	West
100719	Riefensberg	680,00	1941	OM	West
100727	Sulzberg	1000,00	1901	OM	West
100735	Doren	710,00	1911	OM	West
100750	Bregenz-Rieden	430,00	1931	OM	West
100776	Bregenz	443,00	1893	OG	West

100792	Möggers	1010,00	1946	OM	West
100800	Hörbranz	420,00	1946	OM	West
101014	Partenen	1020,00	1926	OG	West
101113	Zürs	1720,00	1910	OM	West
101121	Lech	1480,00	1896	OM	West
101162	Gramais	1320,00	1895	OM	West
101170	Boden	1355,00	1957	OM	West
101188	Hinterhornbach	1100,00	1900	OM	West
101196	Vorderhornbach	960,00	1896	OM	West
101204	Namlos	1260,00	1900	OM	West
101212	Forchach	910,00	1895	OM	West
101220	Höfen-Oberhornberg	870,00	1895	OM	West
101246	Berwang	1295,00	1895	OM	West
101261	Tannheim-Untergschw.	1090,00	1895	OG	West
101279	Vils	810,00	1948	OM	West
101287	Schamitz	960,00	1895	OG	Nord
101303	Leutasch-Kirchplatzl	1135,00	1900	OG	Nord
101311	Hinterriß	930,00	1895	OG	Nord
101337	Pertisau	935,00	1900	OG	Inneralpin
101717	Spiss	1540,00	1911	OM	Inneralpin
101790	Ried im Oberinntal	880,00	1886	OM	Inneralpin
101808	Fendels	1356,00	1957	OG	Inneralpin
101816	Ladis-Neuegg	1350,00	1911	OG	Inneralpin
101873	Kaunertal-Feichten	1280,00	1880	OM	Inneralpin
101956	See im Paznaun	1040,00	1895	OM	Inneralpin
102004	Imst (Oberstadt)	860,00	1885	OM	Inneralpin
102046	Plangeroß	1620,00	1909	OM	Inneralpin
102061	St.Leonhard i.P.	1335,00	1907	OM	Inneralpin
102079	Jerzens-Ritzenried	1120,00	1895	OM	Inneralpin
102228	Sölden-Schmiedhof	1380,00	1911	OM	Inneralpin
102236	Längenfeld	1180,00	1895	OM	Inneralpin
102251	Oetz	760,00	1910	OG	Inneralpin
102269	Ochsengarten-Obergut	1695,00	1911	OM	Inneralpin
102277	Stams	675,00	1965	OM	Inneralpin
102285	Obsteig	950,00	1880	OM	Inneralpin
102301	Telfs	618,00	1965	OM	Inneralpin
102319	Gries im Sellrain	1200,00	1907	OM	Inneralpin
102335	Innsbruck (Univ.)	577,00	1891	OG	Inneralpin
102350	Obernberg am Brenner	1360,00	1946	OM	Inneralpin
102368	Trins	1235,00	1895	OM	Inneralpin
102376	Matrei am Brenner	970,00	1886	OM	Inneralpin
102384	Schönberg im Stubaital	1005,00	1895	OM	Inneralpin
102400	Telfes im Stubai	1070,00	1958	OM	Inneralpin
102418	Patscherkofel	2245,00	1903	OM	Inneralpin
102434	Kleinvolderberg	660,00	1968	OM	Inneralpin
102467	St.Martin i.G.	875,00	1895	OG	Inneralpin
102475	Weerberg	880,00	1895	OM	Inneralpin
102483	Schwaz	535,00	1895	OM	Inneralpin

102509	Rotholz	590,00	1884	OM	Inneralpin
102517	Schlitterberg	960,00	1966	OM	Inneralpin
102632	Ginzling	1060,00	1911	OM	Inneralpin
102640	Lanersbach	1250,00	1895	OM	Inneralpin
102673	Durlaßboden	1432,00	1960	OG	Inneralpin
102681	Gerlos	1250,00	1896	OM	Inneralpin
102699	Gerlos-Gmünd	1180,00	1959	OG	Inneralpin
102723	Inneralpbach	1040,00	1959	OM	Inneralpin
102749	Brandenberg	920,00	1967	OM	Inneralpin
102756	Steinberg am Rofan	1020,00	1895	OM	Nord
102764	Wildschönau-Mühlthal	790,00	1924	OM	Inneralpin
102772	Kelchsau	800,00	1895	OG	Inneralpin
102780	Hopfgarten i.Brt.	600,00	1964	OM	Nord
102798	Kirchbichl	498,00	1893	OG	Nord
102806	Ellmau	750,00	1902	OM	Nord
102830	Jochberg	950,00	1880	OM	Nord
102863	Kirchberg in Tirol	830,00	1896	OM	Nord
102889	Hochfilzen	980,00	1900	OM	Nord
102905	Kössen	590,00	1895	OG	Nord
102913	Walchsee	687,00	1904	OM	Nord
103424	Paß Thurn	1200,00	1895	OM	Inneralpin
103432	Haidbach	900,00	1971	OM	Inneralpin
103440	Stuhlfelden	816,00	1880	OG	Inneralpin
103507	Kaprun	750,00	1895	OM	Inneralpin
103580	Bucheben	1140,00	1893	OM	Inneralpin
103606	Dienten	1265,00	1907	OM	Inneralpin
103622	Böckstein	1140,00	1908	OM	Inneralpin
103655	Klammstein	795,00	1971	OM	Inneralpin
103689	Hüttschlag	1010,00	1907	OM	Inneralpin
103697	Großarl	890,00	1891	OM	Inneralpin
103705	Mitterkleinarl	1010,00	1895	OM	Inneralpin
103713	Wagrain	840,00	1926	OM	Inneralpin
103770	Hütttau	730,00	1895	OM	Inneralpin
103846	Hintersee	685,00	1880	OG	Nord
103879	Glanegg	440,00	1931	OM	Nord
103937	Hütten	940,00	1896	OM	Nord
103978	Grubhof-St.Martin	630,00	1946	OG	Nord
103986	Waidring	760,00	1895	OM	Nord
104000	Nußdorf	460,00	1895	OM	Donau
104018	Oberndorf	430,00	1951	OM	Donau
104026	Geretsberg-Webersdorf	490,00	1893	OM	Donau
104034	Ibm	425,00	1887	OG	Donau
104042	Ostermiething	405,00	1883	OM	Donau
104307	Neukirchen an der Enknach	410,00	1895	OM	Donau
104323	Braunau am Inn	360,00	1895	OG	Donau
104349	Mattighofen	455,00	1895	OM	Donau
104356	Straßwalchen	550,00	1895	OG	Donau
104364	Waldzell	510,00	1872	OM	Donau

104372	St.Johann am Walde	629,00	1907	OG	Donau
104380	Altheim	358,00	1895	OM	Donau
104414	St.Marienkirchen	340,00	1910	OM	Donau
104422	Lambrecht	395,00	1895	OG	Donau
104430	Sigharting	355,00	1895	OM	Donau
104448	Schärding-Otterbach	315,00	1888	OG	Donau
104455	Wernstein	355,00	1897	OM	Donau
104505	Schardenberg	529,00	1895	OM	Donau
104513	Münzkirchen	505,00	1894	OG	Donau
104521	Vichtenstein	586,00	1895	OM	Donau
104547	Oberkappel	495,00	1928	OM	Muehl-Waldviertel
104554	Mausloch	515,00	1948	OM	Muehl-Waldviertel
104562	Pfarrkirchen	815,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
104570	Rannawerk	285,00	1948	OM	Donau
104588	Kirchberg ob der Donau	590,00	1897	OM	Muehl-Waldviertel
104596	Schwarzenberg	730,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
104604	Schlägl	555,00	1893	OG	Muehl-Waldviertel
104620	Haslach	526,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
104638	Guglwald	750,00	1925	OM	Muehl-Waldviertel
104653	St.Peter am Wimberg	687,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
104661	Langhalsen	460,00	1948	OM	Muehl-Waldviertel
104679	Partenstein	295,00	1941	OG	Donau
104687	Neuhaus an der Donau	450,00	1884	OM	Donau
104695	Aschach an der Donau	270,00	1895	OM	Donau
104703	Neumarkt im Hausr.-Widldorf	380,00	1895	OG	Donau
104711	Peuerbach	372,00	1907	OM	Donau
104737	Neukirchen am Walde	555,00	1895	OG	Donau
104745	Goldwörth	260,00	1894	OG	Donau
104752	Kematen am Innbach	351,00	1910	OG	Donau
104778	Grieskirchen-Moosham	352,00	1897	OG	Donau
104786	Scharten	395,00	1895	OM	Donau
104802	Piberstein	899,00	1956	OM	Muehl-Waldviertel
104828	Waxenberg	700,00	1918	OM	Muehl-Waldviertel
104844	Ottensheim	265,00	1895	OM	Donau
104851	Pöstlingberg	490,00	1929	OM	Donau
104877	Linz-Urfahr	305,00	1898	OG	Donau
104885	Hellmonsödt	840,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
105106	Gößl	710,00	1895	OM	Nord
105130	Bad Aussee	640,00	1852	OM	Nord
105148	Obertraun	515,00	1954	OM	Nord
105155	Schönbergalpe	1350,00	1953	OM	Nord
105171	Lahn-Hallstatt	510,00	1929	OM	Nord
105197	Gosau	765,00	1880	OG	Nord
105205	Pötschen	1000,00	1945	OM	Nord
105213	Bad Goisern	505,00	1895	OG	Nord
105254	Strobl	540,00	1901	OM	Nord
105288	Vorderer Langbathsee	675,00	1895	OG	Nord
105338	Laakirchen	440,00	1895	OM	Donau

105353	Fuschl	670,00	1895	OG	Nord
105379	Scharfling	480,00	1954	OM	Nord
105387	Weißbach am Attersee	475,00	1895	OG	Nord
105395	Attersee	495,00	1926	OG	Nord
105403	Lenzing	465,00	1954	OM	Donau
105429	Frankenburg	515,00	1895	OG	Donau
105445	Vöcklabruck	420,00	1895	OG	Donau
105460	Wolfsegg am Hausruck	585,00	1875	OG	Donau
105486	Almsee (Forsthaus)	590,00	1895	OG	Nord
105494	Grünau-Almegg	540,00	1895	OM	Nord
105502	Schamstein	485,00	1895	OM	Nord
105510	Vorchdorf	455,00	1895	OG	Donau
105528	Wels	305,00	1893	OG	Donau
105544	Kirchdorf an der Krems	456,00	1856	OG	Nord
105569	Neuhofen an der Krems	325,00	1895	OM	Donau
105577	Ebelsberg (Lenkstrasse)	261,00	1895	OM	Donau
105585	Weingartshof	277,00	1950	OM	Donau
105593	St. Florian	257,00	1864	OM	Donau
105601	Schenkenfelden	745,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
105619	Gallneukirchen	330,00	1954	OM	Muehl-Waldviertel
105627	Neumarkt im Mühlkreis	610,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
105635	Maria Laah	360,00	1895	OG	Donau
105650	Mauthausen	299,00	1895	OG	Donau
105908	Flachau	910,00	1895	OG	Inneralpin
105916	Radstadt	890,00	1881	OM	Inneralpin
105932	Untertauern	1000,00	1895	OM	Inneralpin
105940	Filzmoos	1060,00	1895	OM	Inneralpin
105965	Schladming	740,00	1877	OM	Inneralpin
105973	Planai	1820,00	1935	OM	Inneralpin
105999	Michaelerberg	1280,00	1957	OM	Inneralpin
106005	St. Nikolai im Sölkatal	1120,00	1895	OM	Inneralpin
106021	Grubegg	790,00	1893	OM	Inneralpin
106062	Donnersbach	720,00	1931	OM	Inneralpin
106120	Hohentauern	1265,00	1878	OM	Inneralpin
106153	Admont	700,00	1853	OM	Inneralpin
106161	Gstatterboden	580,00	1935	OM	Inneralpin
106203	Kirchenlandl	510,00	1951	OM	Nord
106229	Gollrad (Wegscheid)	850,00	1894	OM	Nord
106237	Brunngraben	710,00	1942	OM	Nord
106245	Weichselboden	680,00	1895	OM	Nord
106252	Wildalpen	610,00	1877	OM	Nord
106278	Unterlaussa	540,00	1895	OM	Nord
106286	Kleinreifling	428,00	1895	OM	Nord
106310	Maria Neustift	629,00	1895	OM	Nord
106328	Reichraming	360,00	1895	OM	Nord
106336	Laussa	440,00	1895	OM	Nord
106351	Hinterstoder	590,00	1895	OM	Nord
106369	Huttererböden	1370,00	1950	OG	Nord

106377	Linzer Haus	1435,00	1933	OM	Nord
106393	Spital am Pyhrn	630,00	1895	OG	Nord
106401	Klein Pyhrgas	1010,00	1930	OM	Nord
106419	Windischgarsten-Dambach	614,00	1877	OM	Nord
106427	St.Pankraz	523,00	1895	OM	Nord
106435	Klaus an der Pyhrnbahn	458,00	1895	OG	Nord
106443	Molln	435,00	1895	OM	Nord
106450	Waldneukirchen	440,00	1895	OM	Donau
106484	Behamberg	518,00	1896	OG	Donau
106807	Rainbach im Mühlkreis	690,00	1887	OM	Muehl-Waldviertel
106823	Karlstift	917,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
106831	Liebenau	903,00	1885	OG	Muehl-Waldviertel
106849	Schöneben-Gugu	880,00	1890	OM	Muehl-Waldviertel
106856	Weitersfelden-Ritzenedt	764,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
106864	Gutau	610,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
106872	Tragwein	455,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
106880	Laab	240,00	1951	OM	Donau
106898	Stadt Haag	347,00	1895	OM	Donau
106914	St.Thomas am Blasenstein	665,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
106930	Froschau	235,00	1949	OG	Donau
106948	Oed	393,00	1895	OG	Donau
106955	Stephanshart	281,00	1954	OM	Donau
106963	Grein	270,00	1892	OM	Donau
107003	Neuhaus am Zellerain	1048,00	1893	OG	Nord
107011	Lackenhof	887,00	1895	OG	Nord
107029	Lunz am See	612,00	1900	OG	Nord
107037	Göstling an der Ybbs	530,00	1909	OM	Nord
107052	St.Georgen am Reith	504,00	1951	OM	Nord
107060	Hohenlehen	436,00	1951	OM	Nord
107078	Opponitz	451,00	1926	OG	Nord
107102	Seitenstetten	343,00	1903	OM	Donau
107128	Ennsbach	273,00	1956	OM	Donau
107136	Mitterbach	842,00	1909	OM	Nord
107169	Erlaufboden	542,00	1923	OM	Nord
107177	Puchenstuben	967,00	1895	OM	Nord
107193	Scheibbs	379,00	1860	OM	Nord
107250	Pöggstall	451,00	1895	OM	Muehl-Waldviertel
107284	Melk	284,00	1856	OM	Donau
107300	Frankenfels	465,00	1895	OG	Nord
107318	Hofstetten	325,00	1935	OM	Nord
107334	Kilb	290,00	1904	OM	Donau
107342	Maria Langeegg-Gansbach	485,00	1897	OG	Donau
107359	Maria Laach am Jauerling	587,00	1893	OM	Muehl-Waldviertel
107391	Ottenschlag	856,00	1908	OM	Muehl-Waldviertel
107409	Großheinrichschlag	704,00	1940	OM	Muehl-Waldviertel
107433	Gföhl	585,00	1897	OM	Muehl-Waldviertel
107458	St.Aegydt am Neuwalde	607,00	1895	OG	Nord
107466	Türnitz	482,00	1895	OM	Nord

107490	Hainfeld	434,00	1906	OG	Nord
107532	Rappottenstein	598,00	1907	OG	Muehl-Waldviertel
107540	Bärnkopf	958,00	1950	OM	Muehl-Waldviertel
107557	Arbesbach	855,00	1950	OM	Muehl-Waldviertel
107565	Grafenschlag	781,00	1904	OM	Muehl-Waldviertel
107573	Groß-Gerungs	676,00	1911	OM	Muehl-Waldviertel
107581	Zwettl-Edelhof	587,00	1883	OG	Muehl-Waldviertel
107623	Schönberg	223,00	1959	OG	Muehl-Waldviertel
107631	Kronsegg	485,00	1962	OM	Muehl-Waldviertel
107698	Grafenwörth	189,00	1946	OM	Donau
107706	Pyhra	302,00	1920	OG	Donau
107748	Brand-Laaben	371,00	1899	OM	Nord
107755	Asperhofen	220,00	1896	OM	Donau
107789	Sieghartskirchen	202,00	1895	OM	Donau
107813	Maissau	342,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
107821	Fahndorf	316,00	1895	OM	Pannonien
107839	Absdorf	181,00	1909	OM	Donau
107847	Enzersdorf im Thale	260,00	1895	OM	Pannonien
107854	Hollabrunn	241,00	1870	OG	Pannonien
107870	Stockerau	169,00	1895	OG	Donau
107888	Steinabrunn	255,00	1895	OM	Pannonien
107904	Klosterneuburg	244,00	1911	OM	Pannonien
107953	Wien-Neustift	290,00	1967	OM	Pannonien
107995	Wien (Rathausplatz)	185,00	1884	OM	Pannonien
108043	Tullnerbach	291,00	1892	OM	Pannonien
108118	Wien (Botanischer Garten)	180,00	1873	OM	Pannonien
108142	Wien-Stadlau (Inselumpwerk)	163,00	1946	OG	Pannonien
108159	Wien-Kagran	150,00	1960	OG	Pannonien
108167	Raasdorf	155,00	1927	OM	Pannonien
108175	Wien-Lobau	155,00	1928	OM	Pannonien
108183	Alland (Autobahnmeisterei)	337,00	1880	OG	Pannonien
108217	Weißbach bei Mödling	388,00	1921	OM	Pannonien
108233	Achau-Wiener Neudorf	201,00	1910	OM	Pannonien
108258	Furth-Harras	546,00	1934	OG	Pannonien
108266	Pottenstein	331,00	1910	OM	Pannonien
108274	Leobersdorf	262,00	1898	OM	Pannonien
108290	Vösendorf	190,00	1963	OM	Pannonien
108357	Wien (Rosenhügel)	250,00	1884	OG	Pannonien
108365	Wien-Wiener Berg	240,00	1934	OM	Pannonien
108373	Wien-Rothneusiedl	185,00	1951	OM	Pannonien
108381	Wien-Laaer Berg	220,00	1884	OM	Pannonien
108399	Wien (Zentralfriedhof)	170,00	1884	OG	Pannonien
108456	Gutenstein	495,00	1873	OG	Pannonien
108464	Moosbrunn	187,00	1951	OM	Pannonien
108514	Orth an der Donau	146,00	1894	OG	Pannonien
108522	Eckartsau	146,00	1959	OM	Pannonien
108555	Bad Deutsch-Altenburg	161,00	1880	OM	Pannonien
108563	Naglern	280,00	1948	OG	Pannonien

108571	Pillichsdorf	169,00	1895	OM	Pannonien
109215	Gmünd	500,00	1882	OG	Muehl-Waldviertel
109256	Vitis	522,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
109272	Meires	490,00	1951	OM	Muehl-Waldviertel
109280	Waidhofen an der Thaya	495,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
109298	Pfaffenschlag	554,00	1951	OM	Muehl-Waldviertel
109306	Dobersberg	455,00	1884	OM	Muehl-Waldviertel
109314	Weikertschlag an der Thaya	460,00	1895	OG	Muehl-Waldviertel
109330	Breitenfeld	568,00	1956	OG	Muehl-Waldviertel
109389	Weitersfeld	418,00	1951	OM	Muehl-Waldviertel
109413	Mailberg	212,00	1895	OM	Pannonien
109447	Wildendürnbach	208,00	1951	OM	Pannonien
109546	Dürnkrot	166,00	1887	OM	Pannonien
109561	Gänsersdorf	150,00	1924	OG	Pannonien
109579	Matzen	171,00	1895	OM	Pannonien
109587	Marchegg	142,00	1895	OM	Pannonien
109603	Markthof	141,00	1928	OM	Pannonien
109611	Niederweiden	143,00	1955	OM	Pannonien
109629	Kittsee	137,00	1923	OM	Pannonien
109637	Pama	140,00	1951	OM	Pannonien
109801	Rohr im Gebirge	673,00	1895	OM	Pannonien
109827	Naßwald	648,00	1867	OG	Pannonien
109835	Kaiserbrunn	559,00	1884	OM	Pannonien
109868	Gloggnitz	512,00	1950	OG	Pannonien
109876	Pottschach	411,00	1884	OM	Pannonien
109892	Stixenstein	454,00	1884	OM	Pannonien
109900	Stollhof-Hohe Wand	447,00	1968	OM	Pannonien
109918	Neunkirchen	362,00	1863	OG	Pannonien
109926	Mariensee	869,00	1895	OM	Pannonien
109942	Mönichkirchner Schwaig	1179,00	1959	OM	Pannonien
109967	Kirchberg am Wechsel	563,00	1896	OM	Pannonien
109975	Hochwolkersdorf	617,00	1897	OM	Pannonien
109983	Bromberg	426,00	1897	OG	Pannonien
110015	Deutsch Brodersdorf	197,00	1893	OM	Pannonien
110049	Bruck an der Leitha	159,00	1895	OM	Pannonien
110064	Gattendorf	150,00	1951	OG	Pannonien
110072	Zurndorf	136,00	1923	OM	Pannonien
110080	Nickelsdorf	137,00	1930	OG	Pannonien
110312	Karl	373,00	1931	OG	Pannonien
110320	Hochstraß	422,00	1923	OM	Pannonien
110338	Mannersdorf an der Rabnitz	252,00	1931	OM	Pannonien
110346	Kobersdorf	333,00	1924	OM	Pannonien
110361	Sieggraben	481,00	1930	OM	Pannonien
110379	Oberpullendorf	251,00	1923	OM	Pannonien
110387	Lutzmannsburg	202,00	1930	OM	Pannonien
110395	Neustift an der Rosalia	603,00	1940	OG	Pannonien
110403	Forchtenstein	397,00	1931	OM	Pannonien
110411	Pöttsching	210,00	1931	OM	Pannonien

110429	Steinbrunn	210,00	1953	OM	Pannonien
110445	Draßburg	229,00	1950	OM	Pannonien
110452	St.Margarethen im Burgenland	147,00	1934	OM	Pannonien
110460	Donnerskirchen	126,00	1923	OM	Pannonien
110478	Oggau	118,00	1931	OM	Pannonien
110486	Rust	119,00	1927	OG	Pannonien
110502	Mörbisch am See	130,00	1931	OM	Pannonien
110528	Kleylehof	135,00	1951	OM	Pannonien
110536	Edmundshof	148,00	1923	OM	Pannonien
110544	Halbturn	130,00	1901	OG	Pannonien
110551	Podersdorf am See	121,00	1943	OM	Pannonien
110569	Apetlon	119,00	1923	OM	Pannonien
110585	Andau	118,00	1933	OG	Pannonien
110593	Ritzing	305,00	1923	OM	Pannonien
110601	Deutschkreutz-Girm	192,00	1923	OM	Pannonien
110619	Schattendorf	251,00	1942	OG	Pannonien
110627	Kroatisch Minihof	247,00	1951	OG	Pannonien
110890	Rohr an der Raab	306,00	1965	OM	Adria
110908	Neumarkt an der Raab	243,00	1930	OM	Adria
110916	St.Jakob im Walde	922,00	1891	OM	Adria
110932	Vorau	690,00	1868	OM	Adria
110940	Friedberg-Ortgraben	550,00	1962	OM	Adria
110999	Hartberg	350,00	1877	OM	Adria
111005	Bad Waltersdorf	285,00	1895	OG	Adria
111021	Rettenegg	860,00	1895	OM	Adria
111054	St.Johann bei Herberstein	410,00	1893	OM	Adria
111062	Sinabelkirchen	330,00	1895	OM	Adria
111088	Eltendorf	238,00	1899	OG	Adria
111104	Pinkafeld	388,00	1901	OM	Adria
111112	Oberwart	308,00	1930	OG	Adria
111146	Stadtschlaining	424,00	1930	OG	Adria
111153	Hirschenstein	719,00	1950	OM	Adria
111161	Eisenberg an der Pinka	246,00	1941	OM	Adria
111179	Eberau	213,00	1930	OM	Adria
111187	Oberdorf im Burgenland	361,00	1925	OM	Adria
111195	St.Michael im Burgenland	235,00	1923	OM	Adria
111203	Kukmirn	254,00	1924	OM	Adria
111229	Hagensdorf-Luising	199,00	1930	OM	Adria
111245	Zöbern	596,00	1921	OM	Pannonien
111260	Pilgersdorf	369,00	1930	OM	Pannonien
111500	Muhr	1110,00	1895	OM	Inneralpin
111526	Zederhaus	1205,00	1896	OM	Inneralpin
111559	Weißpriach	1100,00	1895	OM	Inneralpin
111641	Seethal	1210,00	1874	OM	Inneralpin
111674	Schöder	900,00	1907	OM	Inneralpin
111682	St.Lambrecht	1070,00	1867	OM	Inneralpin
111708	Unzmarkt	745,00	1895	OM	Inneralpin
111716	Judenburg	730,00	1876	OM	Inneralpin

111724	St.Johann am Tauern	1050,00	1895	OM	Inneralpin
111732	Pusterwald-Hinterwinkel	1260,00	1962	OM	Inneralpin
111773	Obdach	875,00	1895	OM	Adria
111781	Ingering II	850,00	1913	OM	Inneralpin
111807	Kraubath an der Mur	605,00	1886	OM	Inneralpin
111815	Wald am Schoberpaß	890,00	1896	OM	Inneralpin
111831	Mautern	710,00	1900	OM	Inneralpin
111872	Trofaiach	660,00	1926	OM	Inneralpin
111906	Mürzsteg	810,00	1880	OM	Inneralpin
111914	Preiner Gscheid	890,00	1951	OM	Inneralpin
111997	Tragöß	770,00	1895	OM	Inneralpin
112003	Breitenau bei Mixnitz	560,00	1921	OM	Inneralpin
112060	Pleschkogel	910,00	1933	OG	Adria
112078	Gratkorn	380,00	1967	OM	Adria
112086	Graz-Andritz	360,00	1938	OM	Adria
112136	Pack	1115,00	1930	OM	Adria
112177	Maria Lankowitz	530,00	1866	OM	Adria
112185	Ligist	370,00	1895	OM	Adria
112219	Sajach	340,00	1951	OG	Adria
112268	Eibiswald	360,00	1895	OM	Adria
112292	Leutschach	370,00	1936	OM	Adria
112300	Kitzeck im Sausal	485,00	1895	OG	Adria
112318	St.Nikolai im Sausal	340,00	1895	OM	Adria
112334	Hebalpe	1310,00	1930	OM	Adria
112367	Stainz	340,00	1877	OM	Adria
112383	Kirchbach in Steiermark	350,00	1895	OM	Adria
112391	St.Peter am Ottersbach	270,00	1930	OM	Adria
112409	Unterpurkla	220,00	1971	OM	Adria
112425	Straden	360,00	1895	OM	Adria
112441	Zelting	200,00	1955	OM	Adria
112466	Bonisdorf	376,00	1951	OM	Adria
113001	Sillian	1075,00	1895	OG	Adria
113019	Hochberg	1700,00	1960	OM	Adria
113027	Innervillgraten	1400,00	1895	OM	Adria
113035	Anras	1300,00	1912	OM	Adria
113043	Prägraten	1340,00	1895	OG	Inneralpin
113050	Matrei in Osttirol	1050,00	1895	OG	Inneralpin
113084	St.Johann im Walde	750,00	1895	OM	Inneralpin
113100	Iselsberg-Penzelberg	1210,00	1895	OM	Inneralpin
113118	Oberdrauburg	620,00	1874	OG	Adria
113126	Greifenburg	610,00	1886	OG	Adria
113134	Sachsenburg	550,00	1857	OM	Adria
113175	Heiligenblut	1380,00	1877	OG	Inneralpin
113225	Stall	820,00	1895	OM	Inneralpin
113233	Innerfragant	1195,00	1956	OG	Inneralpin
113241	Kleindorf	735,00	1969	OG	Inneralpin
113324	St.Peter im Katschtal	1220,00	1851	OM	Inneralpin
113332	Innerkrems	1520,00	1895	OG	Inneralpin

113399	Malta	830,00	1860	OM	Inneralpin
113423	Millstatt	591,00	1895	OM	Adria
113449	Farchtner See	990,00	1951	OG	Adria
113464	Hohegg	1030,00	1951	OG	Adria
113480	Weißenstein	510,00	1941	OM	Adria
113548	Afritz	715,00	1895	OG	Adria
113555	Bleistätter Moor	510,00	1951	OG	Adria
113563	Ossiach	520,00	1880	OM	Adria
113589	Obertilliach	1430,00	1895	OM	Adria
113597	Maria Luggau	1140,00	1867	OG	Adria
113670	Waidegg	635,00	1895	OG	Adria
113704	Weißbriach	800,00	1858	OG	Adria
113720	Förolach	565,00	1920	OM	Adria
113738	Feistritz an der Gail	590,00	1895	OM	Adria
113746	Arnoldstein	580,00	1880	OG	Adria
113761	Wernberg	565,00	1946	OM	Adria
113779	Rosenbach	540,00	1935	OG	Adria
113787	Bärental	1000,00	1956	OG	Adria
113803	Kirschentheuer-Babniak	440,00	1928	OG	Adria
113837	Bodental	995,00	1956	OG	Adria
113852	Zell-Pfarre	900,00	1957	OG	Adria
113860	Schwarz	780,00	1948	OM	Adria
113886	Seeberg	1040,00	1907	OG	Adria
113894	Eisenkappel	580,00	1886	OM	Adria
113936	Sirmitz	850,00	1881	OG	Adria
113951	Flattnitz	1430,00	1969	OG	Inneralpin
114025	Silbereg	598,00	1947	OG	Adria
114033	Noreia	1060,00	1895	OM	Inneralpin
114066	Wietersdorf	630,00	1940	OG	Adria
114108	Magdalensberg	920,00	1950	OG	Adria
114116	Sillehof	450,00	1940	OM	Adria
114124	Radweg-Gradisch	666,00	1874	OG	Adria
114157	St.Veit an der Glan	475,00	1887	OG	Adria
114165	Dreifaltigkeit	1180,00	1911	OG	Adria
114215	Keutschach	530,00	1930	OG	Adria
114249	Klopein am Klopeiner See	470,00	1899	OG	Adria
114256	St.Margarethen ob Töllerberg	460,00	1931	OG	Adria
114272	Diex	1150,00	1895	OG	Adria
114280	Feistritz ob Bleiburg	527,00	1885	OG	Adria
114298	Reichenfels	800,00	1901	OG	Adria
114306	Preblau	790,00	1895	OG	Adria
114330	Pustritz	790,00	1896	OG	Adria
114363	Brandl-Koralpe	1485,00	1965	OG	Adria

Tabelle B.1: Auswahl der für Untersuchungen verwendeten Messstationen des hydrographischen Dienstes, inklusive Stationsnummer, Stationsname, Höhe der Station, Beginn der Aufzeichnungen, Art des Messgeräts und Klimaregionszugehörigkeit.

Klimaregion Adria						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	3378	4701	1587	2172	2500	1820
$rr \geq 1$	1650	3007	708	1227	1707	1015
$rr \geq 30$	25	64	3	10	37	39
$rr \geq 50$	1	4	0	0	1	4

Tabelle B.2: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Adria für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Donau						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	3893	4339	1935	2097	2287	1913
$rr \geq 1$	2400	2885	1229	1287	1598	1171
$rr \geq 30$	6	25	0	8	18	5
$rr \geq 50$	0	5	0	0	5	0

Tabelle B.3: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Donau für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Inneralpin						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	4045	5165	1993	2429	2736	2052
$rr \geq 1$	2322	3519	1100	1473	1996	1272
$rr \geq 30$	12	20	4	5	17	6
$rr \geq 50$	0	2	0	0	2	0

Tabelle B.4: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Inneralpin für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Mühl-Waldviertel						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	4002	4288	2028	2077	2282	1903
$rr \geq 1$	2250	2764	1154	1230	1543	1087
$rr \geq 30$	1	19	0	3	15	2
$rr \geq 50$	0	4	0	0	4	0

Tabelle B.5: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Nord						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	4132	4955	2058	2338	2640	2051
$rr \geq 1$	2825	3583	1419	1631	1966	1392
$rr \geq 30$	56	71	30	22	56	19
$rr \geq 50$	7	13	3	2	12	3

Tabelle B.6: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Nord für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Pannonien						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	3794	4229	1913	2048	2249	1813
$rr \geq 1$	1765	2416	857	1057	1357	910
$rr \geq 30$	3	22	0	5	10	10
$rr \geq 50$	0	2	0	1	0	1

Tabelle B.7: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Pannonien für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion West						
Niederschlagsereignisse [mm/Tag]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr > 0$	3692	4564	1834	2162	2422	1838
$rr \geq 1$	2648	3436	1331	1554	1892	1307
$rr \geq 30$	55	145	24	26	100	50
$rr \geq 50$	5	24	3	6	16	4

Tabelle B.8: Anzahl der Tage je Klimaregion mit einem mittleren Tagesniederschlag größer oder größer gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion West für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Adria						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	228	1	118	18	0	75
$rr > 1$	2956	771	1598	871	157	934
$rr > 5$	5574	4754	2764	2599	2066	2294

Tabelle B.9: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Adria für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Donau						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	90	10	44	15	2	45
$rr > 1$	2015	846	925	743	239	829
$rr > 5$	5694	5207	2717	2681	2313	2661

Tabelle B.10: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Donau für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Inneralpin						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
<i>rr</i> == 0	144	3	59	13	0	63
<i>rr</i> > 1	2170	486	1087	631	67	739
<i>rr</i> > 5	5731	4731	2741	2706	1918	2541

Tabelle B.11: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Inneralpin für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Mühl-Waldviertel						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
<i>rr</i> == 0	84	18	32	19	0	60
<i>rr</i> > 1	2410	1146	1082	917	325	1066
<i>rr</i> > 5	5854	5486	2751	2782	2476	2755

Tabelle B.12: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Nord						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
<i>rr</i> == 0	120	5	53	10	3	54
<i>rr</i> > 1	1411	352	698	399	71	530
<i>rr</i> > 5	4647	3752	2129	2189	1526	2204

Tabelle B.13: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Nord für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Pannonien						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	137	26	64	16	10	72
$rr > 1$	2974	1596	1461	1137	600	1175
$rr > 5$	5979	5673	2833	2792	2662	2772

Tabelle B.14: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Pannonien für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion West						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	236	12	122	27	4	91
$rr > 1$	1439	421	715	369	105	580
$rr > 5$	4407	3289	2034	2078	1264	2003

Tabelle B.15: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von zehn Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion West für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Adria						
Niederschlagsereignisse [mm/15 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	76	0	48	1	0	20
$rr > 1$	2537	417	1329	596	54	715
$rr > 5$	5561	4813	2633	2554	1999	2267

Tabelle B.16: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Adria für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Donau						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
<i>rr</i> == 0	11	0	3	0	0	13
<i>rr</i> > 1	1659	534	693	527	131	661
<i>rr</i> > 5	5644	5205	2592	2609	2227	2572

Tabelle B.17: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Donau für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Inneralpin						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
<i>rr</i> == 0	34	0	11	1	0	18
<i>rr</i> > 1	1751	214	870	401	22	501
<i>rr</i> > 5	5667	4728	2594	2617	1841	2499

Tabelle B.18: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Inneralpin für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Mühl-Waldviertel						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
<i>rr</i> == 0	9	1	1	3	0	13
<i>rr</i> > 1	2068	722	860	705	168	853
<i>rr</i> > 5	5781	5448	2617	2680	2382	2638

Tabelle B.19: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Mühl-Waldviertel für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Nord						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	20	0	7	0	0	12
$rr > 1$	1004	161	494	216	30	347
$rr > 5$	4638	3631	2056	2120	1377	2158

Tabelle B.20: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Nord für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion Pannonien						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	30	5	23	0	5	11
$rr > 1$	2671	1172	1296	876	401	986
$rr > 5$	5855	5646	2655	2690	2554	2636

Tabelle B.21: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion Pannonien für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Klimaregion West						
Niederschlagsereignisse [mm/10 Tage]	Winter- halbjahre	Sommer- halbjahre	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
$rr == 0$	77	0	39	4	0	36
$rr > 1$	1057	161	513	198	39	346
$rr > 5$	4372	3068	1964	2013	1063	1881

Tabelle B.22: Anzahl der „Perioden“ je Klimaregion mit mittlerem Niederschlag für die Dauer von 15 Tagen kleiner oder gleich einem angegebenen Schwellwert der Klimaregion West für den Zeitraum 01.01.1971 – 31.12.2005 aufgeteilt in meteorologische Halbjahre und Jahreszeiten.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen ganz herzlichen Dank all den Menschen aussprechen, die diese Arbeit möglich gemacht haben und mich tatkräftig unterstützt haben, um sie zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen.

Bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer o. Univ.-Prof. Reinhold Steinacker, der mir stets geduldig mit wissenschaftlichen Beiträgen und Anregungen zur Seite gestanden ist. Dank gebührt auch all meinen Kolleginnen und Kollegen aus dem Projekt „Trendanalyse in hydro-meteorologischen Extremwerten“ für die hervorragende Zusammenarbeit. Vor allem jedoch DI Philipp Stanzel für die Beschaffung der Niederschlagszeitreihen und deren Bereitstellung.

Danken möchte ich auch all meinen Freunden und Arbeitskollegen für die jahrelange mentale Unterstützung und so manches aufmunternde und motivierende Wort, das zwischenzeitlich dringend erforderlichen war.

Ein ganz besonders großer Dank gilt meinen Eltern für die jahrelange mentale aber auch finanzielle Unterstützung, die dieses Studium überhaupt erst möglich gemacht haben. Aber auch dem Rest meiner Familie, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und mir mit Rat und Tat immer wieder motivierend zur Seite gestanden sind.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Annemarie Lexer
Staatsbürgerschaft: Österreich
Eltern: Gebhard und Irene Lexer, geb. Auer

Hochschulausbildung

seit 01/2004 2. Studienabschnitt Meteorologie, Universität Wien
10/2002 – 01/2004 1. Studienabschnitt Meteorologie, Universität Wien

Schulbildung

09/1998 – 06/2002 Bundesoberstufenrealgymnasium Murau
09/1990 – 07/1998 Volks- und Hauptschule St. Peter am Kammersberg

Berufserfahrung / Praktika

01/2010 – 03/2013 wissenschaftliche Projektmitarbeiterin – Universität Wien
Institut für Meteorologie und Geophysik
02/2009 – 12/2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin – Universität Wien
Institut für Meteorologie und Geophysik
10/2007 – 06/2009 Tutorium Wetterbesprechung – Universität Wien
Institut für Meteorologie und Geophysik
09/2007 Praktikum – ORF Wetterredaktion – ORF Hörfunk

07/2007

Praktikum – ACG (Österreichische Gesellschaft für
Zivilluftfahrt mbH)

Präsentations- und Publikationsliste

MAYER, Dieter; STEINACKER, Reinhold; LEIDING, Tina; LEXER, Annemarie; UMDASCH, Sarah: *Cell Tracking Algorithm based on a Monte Carlo Method minimizing a Cost Function*. Poster bei der Meteorological World Expo, 16. – 18. Oktober 2012 in Brüssel

STEINACKER, Reinhold; ASCHAUER, Isabella; LEXER, Annemarie: *An alternative weather type classification based on spatio-temporal field derivations*. Vortrag beim Final Workshop: Classifications in atmospheric sciences and their applications, present state & future directions, COST Action 733 Harmonisation and application of weather type classifications in Europe, 22. – 24. November 2010 in Wien

ZINGERLE, Christoph; I. ASCHAUER; M. BÜCHINGER; T. KRENNERT; A. LEXER; H. P. NACHTNEBEL; E. RUDEL; P. STANZEL; R. STEINACKER: *Regionalization of future extreme hydro-meteorological events in Austria: Using weather type classification for down-scaling from global climate models to regional extreme events*. Vortrag beim Final Workshop: Classifications in atmospheric sciences and their applications, present state & future directions, COST Action 733 Harmonisation and application of weather type classifications in Europe, 22. – 24. November 2010 in Wien

NACHTNEBEL Hans Peter; RUDEL, Ernest; STEINACKER, Reinhold; ASCHAUER, Isabella; KRENNERT, Thomas; LEXER, Annemarie; STANZEL, Philipp; ZINGERLE, Christoph: *Trends in hydro-meteorologischen Extremwerten*. Vortrag am 11. Österreichischen Klimatag, 11. – 12. März 2010 in Wien

LEXER, Annemarie; ASCHAUER, Isabella; STEINACKER, Reinhold: *Trendanalyse in hydro-meteorologischen Extremwerten*, Poster am 3. MeteorologInnentag, 5. – 6. November 2009 in Graz

Wien, April 2013