

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

Klimatologische Auswertung von synoptischen Wetterbeobachtungen

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasser:	Michael Tiefgraber
Matrikelnummer:	0220225
Studienrichtung:	A415 Meteorologie
Betreuer:	O. Univ. Prof. Dr. Reinhold Steinacker

Wien, September 2011

Zusammenfassung

Synoptische Wettermeldungen, insbesondere jene von AugenbeobachterInnen, weisen starke zeitliche und räumliche Inhomogenitäten auf. Ziel dieser Arbeit ist es, dennoch realistische klimatologische Aussagen in hoher räumlicher Auflösung zu Niederschlags- und Gewittertätigkeiten zu treffen und die Eigenschaften sowie möglichen Probleme der angewendeten Methoden aufzuzeigen.

Im Zuge dieser Arbeit wurden Wettermeldungen von AugenbeobachterInnen für den Zeitraum 1976 bis 2005 im Raum Europa in Bezug auf Niederschlagsintensität, Niederschlagstyp und Gewitter klimatologisch untersucht.

Das Problem der oft lückenhaften Stationszeitreihen, und der dadurch schwer zu interpretierenden Daten, wurde dadurch gelöst, dass alle vorhandenen Daten für jeden Termin mittels VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) auf ein regelmäßiges Gitter interpoliert wurden. Erst anschließend wurden klimatologische Auswertungen durchgeführt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass alle verfügbaren Meldungen verwendet, und fehlende Daten durch umliegende Stationen ausgeglichen werden.

Großer Wert wurde auf detaillierte Qualitätstests gelegt, um den getroffenen Aussagen eine angemessene Existenzberechtigung zu erteilen. Zu diesem Zweck wurden die Analysen einer Kreuzvalidierung (engl. Cross Validation) unterzogen. Diese Ergebnisse bildeten die Grundlage einer ausführlichen statistischen Auswertung, auch in Bezug auf tages- und jahreszeitliche Unterschiede.

Die Ergebnisse der klimatologischen Betrachtungen und die Untersuchungen auf Trends bzw. tages- und jahreszeitliche Schwankungen brachten interessante Erkenntnisse in Bezug auf die Verteilung von mittleren Niederschlagstagen und mittleren Gewittertagen in Europa.

Abstract

Synoptic surface observations, especially those from manned weather stations, are distributed inhomogeneously regarding space and time. The aim of this work is to investigate reports from all over Europe for the period from 1976 to 2005. The data are evaluated concerning climatological values and trends in high spatial resolution. The considered parameters are precipitation intensity, type of precipitation as well as thunderstorms. Furthermore, the applied methods, their characteristics and possible problems are discussed critically.

Most of the station time series have gaps, what makes an adequate interpretation difficult. This problem was solved by interpolating the observations to a regular grid with the help of VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis), an interpolation scheme developed at the Institute for Meteorology and Geophysics of the University of Vienna. The advantage of this method is to use all available data and to compensate missing values by interpolating observations from surrounding stations to the position of the station in question.

Another important part of this work is to investigate the quality of the conclusions. Therefore, a Cross Validation of the VERA-analyses was performed and statistically evaluated.

The results, namely climatological information, trends as well as diurnal and seasonal fluctuations, offer interesting insights regarding the distribution of mean days with precipitation and mean days with thunderstorms in Europe.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	13
2. Grundlagen	15
2.1. Feuchtemaße und Kondensation	15
2.2. Bildung von Niederschlag	20
3. Datengrundlage	25
3.1. Datenverfügbarkeit der Augenbeobachtermeldungen	26
4. Analyseverfahren VERA	29
4.1. Das VERA Interpolationsverfahren	30
5. Niederschlagsanalyse	33
5.1. Methodik	33
5.2. Fallstudien	35
5.3. Kreuzvalidierung	36
5.3.1. Begriffe aus der Statistik	37
5.3.1.1. Kontinuierliche Gütemaße	37
5.3.1.2. Kategorische Gütemaße	39
5.3.2. Allgemeine Fakten zu den Niederschlagsbeobachtungen in Österreich im Jahr 2004	42
5.3.3. Statistische Auswertung der Kreuzvalidierung	43
5.4. Verifikation anhand von Polizeiprotokollen	50
5.5. Klimatologie	52
5.5.1. Trend	60
5.6. Niederschlagstyp	61
6. Gewitteranalyse	65
6.1. Methodik	65

6.2. Klimatologie	65
6.2.1. Trend	69
6.2.2. Verteilung der Gewitterhäufigkeiten abhängig von der Tageszeit	69
6.2.3. Verteilung der Gewitterhäufigkeiten abhängig von der Jahreszeit	70
6.2.4. Vergleich mit ALDIS	71
7. Conclusio	75
Literaturverzeichnis	77
A. Poster zum EU-Projekt „2-BE-SAFE“, 3. Österreichischer MeteorologInnentag Graz, 2009	79
B. Ausschnitt aus WMO: Manual on Codes (WMO, 1995 [17])	81
C. Danksagung	87
D. Lebenslauf	89

Abbildungsverzeichnis

2.1.	<i>Wasserdampfströme zwischen einer Wasseroberfläche und untersättigter (links), gesättigter (mitte) oder übersättigter Luft (rechts). (Quelle: Klose, 2008 [5]) . .</i>	16
2.2.	<i>Sättigungsdampfdruck über einer ebenen Wasseroberfläche (durchgezogene Linie) und über Eis (strichlierte Linie), als Funktion der Temperatur (Quelle: Reuter et al., 2001 [1])</i>	17
2.3.	<i>Köhler Kurve; Für Tropfenwachstum nötige relative Feuchte (Ordinate) in Abhängigkeit vom Tropfenradius (Abszisse) für verschieden starke Verunreinigungen mit der Masse m (Quelle: Reuter et al., 2001 [1])</i>	18
2.4.	<i>Typische Radien (r), typische Fallgeschwindigkeiten (v) und typische Anzahl (n) von Kondensationskernen und Tropfen in der natürlichen Atmosphäre (Quelle: Reuter et al., 2001 [1])</i>	19
3.1.	<i>Datenquellen des MESOCLIM Datensatzes (links); verfügbare meteorologische Parameter (rechts)</i>	25
3.2.	<i>Stationen (rote Punkte) innerhalb des MESOCLIM Europaausschnitts die zwischen 1971 und 2005 an mindestens 10% aller Termine Augenbeobachtungen zum aktuellen Wetter (ww-Code) gemeldet haben.</i>	27
3.3.	<i>Mittlere Anzahl an Augenbeobachtungen pro Termin im MESOCLIM Datensatz; links: Großraum Europa; rechts: Österreich;</i>	27
3.4.	<i>Gesamtanzahl an ww-Meldungen abhängig von der Uhrzeit im Großraum Europa von 1971-2005.</i>	28
5.1.	<i>Einteilung der ww-Codes in die Niederschlagsintensitätsskala 0 bis 5 (Abbildung abgeändert nach DWD SY 1/82)</i>	34
5.2.	<i>Vergleich von Vera Analysen der ww-Niederschlagsskala mit GFS 6h Niederschlagssummen; oben und links: 3 Analysen der Niederschlagsintensität (rote Punkte: zum Termin meldende Stationen); rechts unten: GFS +6h Prognose der 6 stündigen Niederschlagssumme [mm] (Quelle: www.wetter3.de [5.3.2011]) .</i>	36

5.3.	<i>Relative Verteilung der Niederschlagsintensitätsklassen zu Niederschlagsbeobachtungen im Jahr 2004 in Österreich; rote Linie: arithmetischer Mittelwert = 2,5; grüne Linie: Median = 3; 1 bedeutet sehr leichter, 2 leichter, 3 mäßiger, 4 starker und 5 sehr starker Niederschlag;</i>	43
5.4.	<i>POD, POFD für 2004 aller österreichischen Stationen (Sterne) in Abhängigkeit vom Threshold (schwarz 0.5; rot 0.75; blau 1.0)</i>	47
5.5.	<i>POD, POFD für 2004 - Mittelwert aller österreichischen Meldungen abhängig von der Jahreszeit und vom Threshold (schwarz 0.5; rot 0.75; blau 1.0)</i>	47
5.6.	<i>Kategorische Gütemaße abhängig vom Monat (2004)</i>	48
5.7.	<i>Kategorische Gütemaße abhängig von der Uhrzeit (2004)</i>	49
5.8.	<i>Verifikation der VERA Niederschlagsanalysen mittels Polizeiprotokollen (nach Winkelbauer et al., 2010 [16])</i>	51
5.9.	<i>Niederschlagstage pro Jahr (miteingerechnet sind auch sehr leichte Niederschläge vgl. Abschnitt 5.1) an der Station Flughafen Linz (LOWL); Vergleich von Auswertungen aus Zeitreihen der Stationswerte (Station, dunkelblau) und der Gitterpunktwerte (GP) aus VERA-Analysen mit verschiedenen Thresholds (blau: 0,5; gelb: 0,75; rot: 1,0). Relativer Anteil der vorhandenen Meldungen [%] im jeweiligen Jahr (über den Balken).</i>	56
5.10.	<i>Mittlere Niederschlagstage pro Jahr (Isolinienabstand 10; geglättet) im Alpenraum; berechnet für verschiedene Thresholds (oben: 0.5; mitte: 0.75; unten: 1.0)</i>	57
5.11.	<i>Mittlere Niederschlagstage pro Jahr; oben: MESOCLIM-Europaausschnitt berechnet aus VERA-Analysen (Isolinienabstand 10; geglättet; Threshold: 1,5); unten: Großraum Europa (Quelle: www.klimadiagramme.de [28.06.2010]) . . .</i>	59
5.12.	<i>Abweichungen der mittleren Niederschlagstage 1996 bis 2005 im Vergleich zum 30 jährigen Mittel (Isolinienabstand 5; geglättet)</i>	60
5.13.	<i>Relative Verteilung aller vorhandenen Meldungen im Großraum Europa 1971-2005: kein Niederschlag; stratiformer Niederschlag; schauerartiger Niederschlag (Gesamtanzahl der Meldungen: 81307882)</i>	61
5.14.	<i>Unterteilung aller vorhandener Meldungen im Großraum Europa 1971-2005 in Abhängigkeit von der Uhrzeit: kein Niederschlag; stratiformer Niederschlag; schauerartiger Niederschlag</i>	63
6.1.	<i>Anzahl der mittleren Gewittertage pro Jahr (Keraunischer Pegel); (Quelle: Häckel, 1999 [3]);</i>	66

6.2.	<i>Anzahl der mittleren Gewittertage pro Jahr (Keraunischer Pegel); Auswertungen aus VERA Analysen - MESOCLIM Europaausschnitt (Isolinienabstand 5; geglättet)</i>	67
6.3.	<i>Mittlere Gewittertage pro Jahr in Österreich; oben: Auswertungen aus Stationszeitreihen der österreichischen Flughäfen - Mittelwert für verschiedene Zeiträume; unten: Auswertungen aus VERA-Analysen für den Alpenraum - Mittelwert für 1976 bis 2005 (Isolinienabstand 5; geglättet)</i>	68
6.4.	<i>Abweichungen der mittleren Gewittertage 1996 bis 2005 im Vergleich zum 30 jährigen Mittel (Isolinienabstand 2; geglättet)</i>	69
6.5.	<i>Gewitterhäufigkeiten abhängig von der Tageszeit - links: mittlere nächtliche Gewittertage pro Jahr; rechts: mittlere tageszeitliche Gewittertage pro Jahr; (Isolinienabstand 5; geglättet)</i>	70
6.6.	<i>Mittlere Gewittertage pro Jahr abhängig von der Jahreszeit - links oben: Frühling; rechts oben: Sommer; links unten: Herbst; rechts unten: Winter; (Isolinienabstand 2; geglättet)</i>	71
6.7.	<i>oben: Mittlere Blitzdichte 1992-2001 (Quelle: www.aldis.at/statistik/dichte.html [07.06.2010]); unten: Mittlere Gewittertage pro Jahr 1992-2001 berechnet aus VERA Analysen (Isolinienabstand 5; ungeglättet)</i>	73

Tabellenverzeichnis

5.1.	<i>Intensitätsklassen - Niederschlag</i>	33
5.2.	<i>Kontingenztafel: Beziehung zwischen Beobachtungswert und Analyse - Niederschlag ja/nein</i>	40
5.3.	<i>Absolute und relative Verteilung aller Stationswerte zur Niederschlagsintensität in Österreich im Jahr 2004; 0 bedeutet kein, 1 sehr leichter, 2 leichter, 3 mäßiger, 4 starker und 5 sehr starker Niederschlag;</i>	42
5.4.	<i>Ergebnisse zur Cross Validation 2004 in Österreich: Kontinuierliche Gütemaße; Berechnungsgrundlage bilden hier lediglich Niederschlagsereignisse an denen sowohl die Station als auch die Analyse Niederschlag 'ja' gemeldet hat;</i> . .	44
5.5.	<i>Cross Validation 2004 - Österreich: Kontingenztafel - Beziehung zwischen Beobachtungswert und Analyse - Niederschlag ja/nein; oben: Threshold 0,5; mitte: Threshold 0,75; unten: Threshold 1,0;</i>	45
5.6.	<i>Ergebnisse zur Cross Validation 2004 in Österreich: Kontinuierliche Gütemaße; Betrachtet werden hier alle Ereignisse.</i>	45
5.7.	<i>Mittlere Anzahl der Tage pro Jahr mit Niederschlagssumme ≥ 1 bzw. ≥ 10 [mm] (Quelle: www.zamg.ac.at/klima [9.6.2010])</i>	53
6.1.	<i>Umrechnung der Gewittertage (T) in die Blitzdichte (N) nach Formel 6.1</i>	72

1. Einleitung

Für einen beliebigen Punkt eine klimatologische Aussage zu treffen ist aufgrund des sehr unregelmäßig verteilten Beobachtungsmessnetzes eine nicht immer leicht zu lösende Aufgabe. Abhängig vom gewünschten Parameter ist dies mit mehr oder weniger großem Aufwand realisierbar. Ziel dieser Arbeit ist es, trotz der zeitlich und räumlich inhomogen verteilten synoptischen Wetterbeobachtungen, realistische klimatologische Aussagen in hoher räumlicher Auflösung zu Niederschlags- und Gewittertätigkeiten zu treffen und die Unsicherheiten der angewendeten Methoden aufzuzeigen. Für die klimatologischen Betrachtungen werden zwei Herangehensweisen gewählt. Zum einen werden möglichst lückenlose Stationszeitreihen klimatologisch ausgewertet, zum anderen werden die räumlich und zeitlich inhomogen verteilten Messwerte mithilfe des am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien (IMGW) entwickelten Analyseverfahren VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) für jeden Zeitpunkt (3 stündig) auf ein regelmäßiges Gitter interpoliert. Erst anschließend werden die somit produzierten Gitterpunktsdaten klimatologisch ausgewertet. Behandelt werden hierbei klimatologische Aspekte in Europa im Zeitraum 1976 bis 2005.

In diesem Absatz soll das im Verkehrswesen angesiedelte EU-Projekt „2-BE-SAFE“ vorgestellt werden, da dieses gewissermaßen der Anstoß für diese Arbeit war:

Die Zahl der Unfälle mit tödlichem Ausgang von motorisierten ZweiradfahrerInnen stieg, im Gegensatz zu tödlich verunglückten AutofahrerInnen, in den letzten Jahren stetig an. Anfang des Jahres 2009 wurde am IMGW die Mitarbeit am EU-Projekt „2-BE-SAFE“ (2-Wheeler Behavior and Safety) gestartet. Das Projekt, mitfinanziert durch die Europäische Kommission (EC-FP7/Transport, Projekt Nummer: 218703), setzt sich als Ziel ein Maßnahmenpaket zu erstellen, um die Sicherheit von motorisierten ZweiradfahrerInnen zu erhöhen. Die 34 Arbeitsgruppen des Projekts werden von 29 internationalen Institutionen bearbeitet. Beispiele der Arbeiten sind: Tiefenanalyse von Unfällen; Fahrverhalten und soziokulturelle Analyse von motorisierten ZweiradfahrerInnen, auch in Interaktion mit anderen VerkehrsteilnehmerInnen;

Das IMGW beteiligte sich an der Arbeitsgruppe 1.3. Mittels zeitlich und räumlich hochaufgelöster Wetterinformationen sollen Zusammenhänge zwischen Witterungsverhältnissen und den

Unfällen von motorisierten Zweirädern gefunden werden. Dazu wurden, anhand des VERA Interpolationsverfahren Niederschlagsanalysen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung für Österreich berechnet und zur statistischen und verkehrspsychologischen Auswertung an das Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV) weitergegeben. Zu den Arbeiten des IMGW wurde am 3. Österreichischen MeteorologInnentag in Graz 2009 ein Poster präsentiert (Poster siehe Anhang A). Einige Ergebnisse sind auch im Buch „Data and Mobility - Transforming Information into Intelligent Traffic and Transportation Services“ (Winkelbauer et. al., 2010 [15]) festgehalten. Über alle weiteren gewonnen Erkenntnisse wird laufend auf der Projekt Homepage (www.2besafe.eu [07.04.2011]) berichtet.

Die im Projekt verwendeten Methoden zur Niederschlagsanalyse wurden im Zuge dieser Diplomarbeit ausgeweitet, für zeitlich und räumlich ausgedehntere Analysen verwendet und um den Parameter Gewitter erweitert. Darüber hinaus wurden Verfahren zur klimatologischen Auswertung automatisiert und ein Verifikationsschema zur quantitativen Beurteilung der Analysen entwickelt.

In dieser Arbeit wird auf die Güte der produzierten Daten zumindest ebensoviel Wert gelegt, wie auf klimatologische Aussagen. Aus diesem Grund wurden Fallstudien durchgeführt, eine Kreuzvalidierung (engl. Cross Validation) umgesetzt, ein Vergleich mit Wetteraufzeichnungen aus Polizeiprotokollen gemacht und zum Vergleich Ergebnisse anderer AutorInnen herangezogen.

Die Tatsache, dass insbesondere schauerartige Niederschläge und Gewitter zeitlich und räumlich stark begrenzt sind, erschwert eine realistische Interpolation dieser Parameter. Es werden verschiedene Methoden herangezogen die Aufschluss geben, wie weit man sich der Wahrheit bei einer Interpolation von Parametern wie Niederschlag und Gewittern aus synoptischen Augenbeobachtungen nähern kann bzw. wie klimatologische Auswertungen daraus zu interpretieren sind.

2. Grundlagen

Die Menge an Wasserdampf in der Atmosphäre ist verhältnismäßig gering und doch hat sie große Auswirkungen auf viele substantielle atmosphärische Vorgänge. Als Quelle von Wasserdampf in der Luft dient die Evapotranspiration, d.h. die Verdunstung von Wasser ausgehend von Wasseroberflächen, vom Erdboden, von Pflanzen, Tieren und Menschen. Als Senke dienen alle Formen von Niederschlag. In diesem Kapitel werden Vorgänge der Tröpfchenbildung, der Wolkenbildung bis hin zur Niederschlagsbildung und Gewitterentstehung besprochen, die ohne das Vorhandensein von Wasserdampf in der Atmosphäre nicht möglich wären. Dabei spielen alle 3 Aggregatzustände von Wasser und die dabei entstehende Phasenumwandlungswärme eine signifikante Rolle.

In der Atmosphäre sind, neben dem Vorhandensein von ausreichend Wasserdampf, Hebungsprozesse von großer Bedeutung für die Wolkenbildung und somit in weiterer Folge auch für die Niederschlags- und Gewitterbildung. Die verschiedenen Hebungsprozesse können zum Beispiel im Handbuch des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Synoptische Meteorologie (Kurz, 1990 [6]) nachgelesen werden.

Die in diesem Kapitel festgehaltenen Erläuterungen und Definitionen stammen unter anderem aus Kapitel 3 des Lehrbuches „Bergmann - Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik - Band 7“ (Reuter et.al., 2001 [1]), aus dem Buch „An Introduction to Boundary Layer Meteorology“ (Stull, 1991 [12]), aus „Atmospheric Science - An Introductory Survey“ (Wallace & Hobbs, 1977 [13]) und aus „Klimatologie“ (Schönwiese, 2003 [8]).

2.1. Feuchtemaße und Kondensation

In den Naturwissenschaften sind eine Vielzahl an Feuchtemaßen gebräuchlich, auf einige für die Meteorologie wichtigen wird im Folgenden eingegangen.

Eine oft verwendete Größe die den Wassergehalt der Luft angibt, nennt sich spezifische Feuchte q . Obwohl sie dimensionslos ist, wird meist die Einheit [g/kg] verwendet:

$$q = \frac{\rho_w}{\rho_l + \rho_w} \quad (2.1)$$

mit

$$\rho_w = \frac{e}{R_w T} \quad (2.2)$$

Die Werte von q liegen in der Natur zwischen 0 und 30 g Wasserdampf pro 1 kg Luft. Die spezifische Feuchte q beschreibt das Verhältnis zwischen der Dichte des Wasserdampfes ρ_w und der Dichte der feuchten Luft $\rho_l + \rho_w$ (mit ρ_l Dichte der trockenen Luft) im Gesamtvolumen. Der Dampfdruck e ist definiert als der Partialdruck von Wasserdampf im Gesamtvolumen, R_w bezeichnet die spezifische Gaskonstante von Wasserdampf und T ist die Temperatur. (vgl. Reuter et.al., 2001 [1])

Eine weitere wichtige Größe ist der Sättigungsdampfdruck e_s für Wasserdampf. Dies ist jener Dampfdruck der über einer ebenen Wasseroberfläche herrscht, wenn sich ein Gleichgewicht zwischen Wasser und Dampf eingestellt hat. Gleichgewicht (Sättigung) herrscht, wenn der Strom von Wassermolekülen zwischen Luft und Wasser in beide Richtungen gleich groß ist. Ist der Strom vom Wasser zur Luft größer, sprechen wir von Untersättigung der Luft, umgekehrt von Übersättigung. (vgl. Abbildung 2.1)

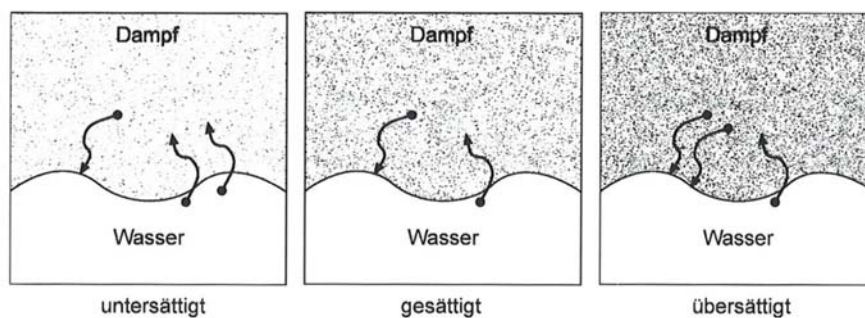


Abbildung 2.1.: Wasserdampfströme zwischen einer Wasseroberfläche und untersättigter (links), gesättigter (mitte) oder übersättigter Luft (rechts). (Quelle: Klose, 2008 [5])

Die relative Feuchte (RH)

$$RH = \frac{e}{e_s} \quad (2.3)$$

gibt das Verhältnis zwischen dem aktuellen Dampfdruck e und dem Sättigungsdampfdruck e_s an, wobei bei Sättigung die Relative Feuchte den Wert 1 bzw. 100% annimmt.

Der Sättigungsdampfdruck ist abhängig von der Temperatur, die nur ein Maß für die kinetischen Energie der Moleküle darstellt. Umso höher die kinetische Energie der Moleküle, umso schwerer kann die Wasseroberfläche die Wassermoleküle binden. Daraus folgt eine Erhöhung des Sättigungsdampfdruckes mit ansteigender Temperatur. (vgl. Klose, 2008 [5]; Liljequist & Cehak, 1990 [7])

Unter Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit der Phasenumwandlungswärme L kann man die Clausius-Clapeyronsche Gleichung für den Sättigungsdampfdruck e_s schreiben als:

$$e_s(T) = e_s(T_0) \exp \left[\frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]. \quad (2.4)$$

Wobei T die absolute Temperatur und $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ist. (vgl. Reuter et.al., 2001 [1])

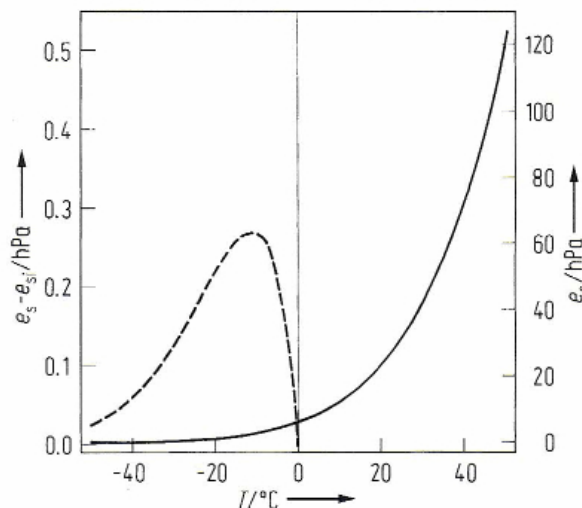


Abbildung 2.2.: Sättigungsdampfdruck über einer ebenen Wasseroberfläche (durchgezogene Linie) und über Eis (strichlierte Linie), als Funktion der Temperatur (Quelle: Reuter et al., 2001 [1])

In Abbildung 2.2 zeigt die durchgezogene Linie den Verlauf des Sättigungsdampfdruckes über Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur. Der schnelle exponentielle Anstieg des Sättigungsdampfdruckes mit zunehmender Temperatur verdeutlicht anschaulich, dass in wärmerer Luft eine viel größere Menge an Wasserdampf nötig ist, um Sättigung zu erreichen. Oder mit anderen Worten: warme Luft kann viel mehr Wasser aufnehmen als kalte Luft.

Umgekehrt erreicht man durch Abkühlung schnell Sättigung. Dies ist auch ein wichtiger Mechanismus der in der Atmosphäre Kondensation auslöst. Die durch isentrope Hebung bewirkte Abkühlung eines Luftpaketes bewirkt aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdruckes (siehe Formel 2.4) eine Erhöhung der vorherrschenden Sättigung. Kondensation setzt ein und bewirkt durch frei werdende Phasenumwandlungswärme eine Erwärmung des Luftpaketes. Bei geeigneter thermischer Schichtung der Umgebungsluft wird somit ein weiteres Aufsteigen ohne zusätzliche Hebungsantriebe ermöglicht.

Da flüssiges Wasser in der Luft keine ebene Oberfläche darstellt, sondern aufgrund seiner Tropfenform eine gekrümmte Oberfläche aufweist und diese eine höhere Oberflächenspannung besitzt, kommt bei der Kondensation von Wasserdampf in der Atmosphäre der so genannte Krümmungseffekt zu tragen. Um die höhere Oberflächenspannung zu überwinden muß über der gekrümmten Tröpfchenoberfläche eine, in Bezug auf die ebene Wasseroberfläche, höhere Übersättigung vorherrschen damit sich die homogene Kondensation fortsetzen kann.

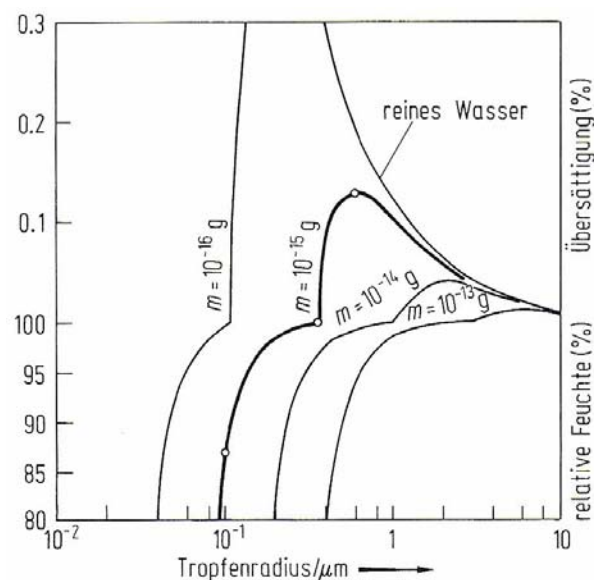


Abbildung 2.3.: Köhler Kurve; Für Tropfenwachstum nötige relative Feuchte (Ordinate) in Abhängigkeit vom Tropfenradius (Abszisse) für verschieden starke Verunreinigungen mit der Masse m (Quelle: Reuter et al., 2001 [1])

Tatsächlich ist die reale Atmosphärenluft aber fast nie gesättigt und es herrscht meist Untersättigung. In der Natur werden die für das Tröpfchenwachstum nötigen Übersättigungen durch Beimischung von Kondensationskernen (z.B. Salze) erreicht. Der sogenannte Lösungseffekt erniedrigt den Sättigungsdampfdruck und erhöht somit die Sättigung. Heterogene Kondensation setzt ein.

Umso größer die Menge an Verunreinigung ist, umso geringer ist die nötige relative Feuchte in der Luft um das Tröpfchen wachsen zu lassen (siehe Köhler Kurve in Abbildung 2.3). Wächst der Tropfen durch genügend Wassernachschub immer weiter an, wird eine immer größere relative Feuchte für das Wachstum benötigt. Wird der kritische Radius (Maximum der Köhlerkurve) erreicht nehmen die für Wachstum nötigen Übersättigungen wieder ab. Grund für diese Eigenschaft liegt am unterschiedlichen Einfluss des Lösungseffektes und des Krümmungseffektes. Denn der Einfluss des Lösungseffektes ist proportional zu $1/r^3$ und der Krümmungseffekt proportional zu $1/r$. Das bedeutet, dass bei sehr kleinen Tröpfchen der Lösungseffekt dominiert, mit zunehmender Größe gewinnt der Krümmungseffekt an Einfluss, bis dann auch dessen Einfluss weiter abnimmt und ab einer gewissen Größe näherungsweise Verhältnisse wie über einer ebenen Wasseroberfläche vorherrschen. (vgl. Liljequist & Cehak, 1990 [7])

Aber auch durch heterogene Kondensation können in der Natur noch keine Tröpfchen entstehen, die groß genug sind um als Regentropfen zur Erde fallen zu können. Die Fallgeschwindigkeiten solcher Wolkentropfen sind zu klein um nach dem Ausfallen aus der Wolke in der untersättigten Umgebung lange zu überleben, denn dort verdunsten sie schnell. Um ein Gefühl für die Größenordnungen zu bekommen sind in Abbildung 2.4 typische Eigenschaften von Kondensationskernen und Tropfen dargestellt.

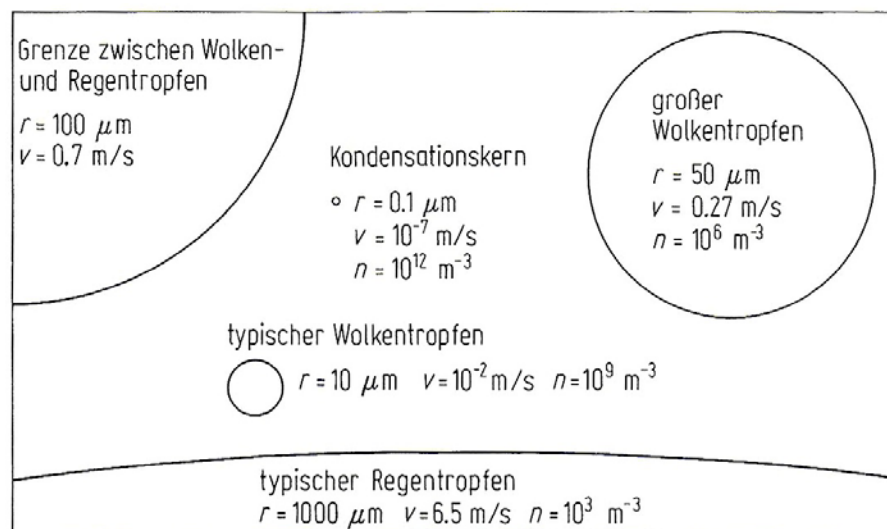


Abbildung 2.4.: Typische Radien (r), typische Fallgeschwindigkeiten (v) und typische Anzahl (n) von Kondensationskernen und Tropfen in der natürlichen Atmosphäre (Quelle: Reuter et al., 2001 [1])

2.2. Bildung von Niederschlag

Kollision und Koaleszenz d.h. das Zusammenwachsen bei Kollision ist bei der Bildung von Regentropfen in warmen Wolken von substantieller Wichtigkeit. Als warme Wolken werden Wolken bezeichnet, in denen Wasser lediglich in gasförmigem und flüssigem Zustand vorkommt, nicht aber in fester Eisform. Dabei kommt es sehr wohl vor, dass Temperaturen unter dem Gefrierpunkt vorherrschen, jedoch Wassertropfen ausschließlich in flüssiger Phase existieren. In diesem Fall spricht man von unterkühlten Tropfen.

Die Aufwinde in Wolken verhindern das Fallen der Tröpfchen in Richtung Erdboden. Nur wenn der Tropfen durch weitere Kondensation groß genug geworden ist, gewinnt die Schwerkraft die Überhand und der Tropfen beginnt zu fallen. Am Weg durch die Wolke in Richtung Boden durchquert der Tropfen Gebiete mit kleineren Tröpfchen und somit besteht die Chance für Wachstum durch Kollision. Ob die sich begegnenden Tropfen kollidieren oder durch Umströmung aneinander vorbeigeführt werden, kann formal mit der Kollisionseffizienz E beschrieben werden:

$$E = \frac{y^2}{(r_1 + r_2)^2} \quad (2.5)$$

Wobei y der Abstand zwischen den Falllinien der Tropfenmittelpunkte und r_1 bzw. r_2 der Radius der beiden Tropfen ist. Berechnungen von E ergeben, dass die Kollisionseffizienz bei größeren fallenden Tropfen markant ansteigt. Ist aber das aufzufangende Tröpfchen im Verhältnis dazu sehr klein, sinkt die Kollisionseffizienz stark ab, da das kleine Tröpfchen leicht entlang der Stromlinien rund um den fallenden Tropfen herumgeführt wird. Möglichst große und möglichst gleich große Tropfen kollidieren also am häufigsten. (vgl. Wallace & Hobbs, 1977 [13])

Nicht jede Kollision führt zu Koaleszenz. Hier kommt die Koaleszenzeffizienz ins Spiel, diese ist groß wenn große Tropfen mit sehr kleinen kollidieren. Steigt die Größe des aufzufangenden Tröpfchens im Vergleich zum großen fallenden Tropfen, sinkt die Koaleszenz Effizienz. Grund dafür ist, dass sich ähnlich große Tropfen mit vergleichbarer Geschwindigkeit bewegen und somit ist die kinetische Energie des Aufpralls weniger hoch. Ist diese zu gering, kann die Oberflächenspannung der Tropfen nicht überwunden werden und ein Zusammenwachsen ist nicht möglich.

Aus dem Zusammenspiel von Kollisionseffizienz und der Koaleszenzeffizienz zeigt sich, dass sich Akkretion von Tropfen in der Natur auf diese Weise nur in einem relativ schmalen Bereich abspielt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ähnlich große Tropfen wohl oftmals aufeinandertreffen, jedoch selten ein Zusammenwachsen stattfindet. Große und sehr kleine Tropfen kollidieren zwar nicht so oft, dann findet jedoch meist Koaleszenz statt. (vgl. Reuter et al., 2001 [1]; Wallace & Hobbs, 1977 [13])

„Mit zunehmender Größe eines Tröpfchens geht das weitere Wachstum durch Koaleszenz immer rascher vonstatten, so dass es innerhalb der Lebensdauer einer warmen Konvektionswolke (20-30 min) zu Regen kommen kann.“ (Reuter et al., 2001, S. 192 [1])

Derartige Niederschlagsbildung kommt vor allem in den sehr feuchten Subtropen und Tropen vor. Die dort vorhandenen großen Mengen an Wasserdampf unterstützen diesen Prozess. In den gemäßigten Breiten spielt jedoch Niederschlag aus warmen Wolken nur eine untergeordnete Rolle. Viel wichtiger ist hier Niederschlagsbildung in kalten Wolken in denen Wasser zumindest zeitweise in fester Phase, also in Eisform, vorkommt. (vgl. Reuter et al., 2001, S. 193 [1])

„Befindet sich ein Eiskristall in der Umgebung unterkühlter Wassertröpfchen, so bedeutet eine Wasserdampfsättigung bezüglich der flüssigen Tröpfchen eine erhebliche Übersättigung bezogen auf die Eispartikel: Der Eiskristall wächst sehr schnell auf Kosten der Tröpfchen durch Sublimation [...]“ (Reuter et al., 2001, S. 193 [1])

Dieser Prozess wird als Bergeron-Findeisen-Prozess bezeichnet. Dabei schrumpfen die unterkühlten Wassertröpfchen durch Verdunstung, während der Eiskristall durch Resublimation anwächst.

Der so schnell wachsende Eiskristall bricht beim Fallen durch die Wolken in viele Einzelteile und somit entstehen immer mehr eigenständige Eiskristalle, die bei Kollision auch wieder zusammenwachsen können. Auf die Eiskristalle auftreffende Wassertröpfchen frieren spontan an. (vgl. Reuter et al., 2001 [1])

Nun muss nur noch die Frage nach der Entstehung des ersten Eiskristalls geklärt werden. Spontane homogene Nukleation von Wassertropfen findet abhängig vom Tröpfchenradius erst bei sehr tiefen Temperaturen statt:

„[..], bei Tröpfchen von wenigen μm erst bei rund -40°C .“ (Reuter et al., 2001, S. 193 [1])

Hier kommen wiederum Verunreinigungen ins Spiel welche die Vereisung erleichtern. So wie die natürliche Atmosphäre Teilchen enthält, die als Kondensationskern dienen, sind auch Aerosole vorhanden die als Eiskeim dienen können. Diese Eiskeime sind kristalline Partikel, meist mineralischen Ursprungs, deren Molekülstruktur der des Eises möglichst ähnlich sein sollte. Ist ein Wolkentröpfchen mit einem solchen Partikel verunreinigt, reichen schon viel höhere Temperaturen für die Vereisung:

„Am häufigsten vereisen Wolken in der Atmosphäre zwischen -5°C und -15°C , [...]“ (Reuter et al., 2001, S. 193 [1])

Durch die beschriebenen Prozesse entstehen Wolken mit Hydrometeoren die, wenn sie ausreichend gewachsen sind, zu Niederschlägen führen können.

Aus der Atmosphäre ausfallende Hydrometeore in fester oder flüssiger Form werden als Niederschlag bezeichnet (Schönwiese, 1993 [8]):

- Unter flüssigem Niederschlag versteht man Regen, Nieseln aber auch andere flüssige Ablagerungen aus der Atmosphäre wie zum Beispiel Tau.
- Schnee, Graupel und Hagel wird ebenso, wie auch andere Eisablagerungen aus der Flüssig- oder Gasphase an Objekten, als fester Niederschlag bezeichnet.

Die in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit beschriebenen Auswertungen von Niederschlägen konzentrieren sich auf die mengenmäßig relevanten Niederschlagsformen Regen, Nieseln, Schnee, Graupel und Hagel.

Durch ausgeprägte Hebungsvorgänge können hochreichende Wolken und in weiterer Folge durch Vorgänge der Ladungstrennung Gewitter entstehen, die man grob in 3 verschiedene Typen einteilen kann. Es handelt sich dabei um luftmasseneigene Gewitter, Frontgewitter und höheninduzierte Gewitter (vgl. Hermant, 2002 [2]; Klose, 2008 [5]) :

- Luftmassengewitter entstehen in einer einheitlichen Luftmasse. Das sind zum Beispiel typische Sommergewitter (auch Wärmegewitter genannt), bei denen die Sonneneinstrahlung starke bodennahe Erwärmung erzeugt und somit durch das Ablösen von Thermikblasen die nötige Initialhebung bereitgestellt wird. Ein anderer möglicher Initialmechanismus ist die orographische Hebung, dabei wird bei der Anströmung an ein Hindernis die Luft zum Aufsteigen gezwungen. Luftmassengewitter können auch entstehen, wenn bodennahe Luftmassen im Bereich von Konvergenzzonen aufsteigen. In allen Fällen ist zumindest eine feuchtlabile thermische Schichtung der Atmosphäre wichtig, damit sich diese initialen Hebungsprozesse, die sich nur in unteren Schichten der Atmosphäre abspielen, bis in große Höhen fortsetzen können und eine hochreichende Gewitterwolke entstehen kann. Die Intensität solcher Gewitter variiert stark und reicht von der kleinen Gewitterzelle mit wenigen elektrischen Entladungen und kaum Niederschlag bis zur Superzelle mit Hagel, vielen Blitzeinschlägen, starken Böen, Fallwinden und Trombenbildung. Daraus können sich auch mehrzellige Gewitter bilden, die sich über hunderte Kilometer ausdehnen.

- Frontgewitter entstehen in Zusammenhang mit Lufmassengrenzen die durch Labilisierung und ihre Hebungsprozesse Gewitter auslösen. Gewitter an Warmfronten treten eher selten auf und spielen sich meist nur im mittleren Wolkenniveau ab. Die daraus entstehenden Blitze sind meist nur Wolken-Wolken Blitze, die Niederschlagsmengen sind eher gering und somit sind auch die Auswirkungen auf den bodennahen Lebensraum gering. Im Zusammenhang mit Kaltfronten verlaufen Gewitter bzw. Gewitterlinien parallel zur Frontlinie, durch präfrontale Labilisierung oft auch schon viele Kilometer vor der eigentlichen Bodenfront, und können, verbunden mit markanten Böen, Starkregen, Hagel und Blitzentladungen zur Erde, sehr kräftig sein.
- Höheninduzierte Gewitter können durch Höhenträge oder Kaltlufttropfen entstehen. Hebungsprozesse in mittleren Höhen entlang von Trogachsen können ebenso wie Kaltlufttropfen, die eine thermische Labilisierung bewirken, der Auslöser für Gewitter in allen Intensitätsstufen sein.

3. Datengrundlage

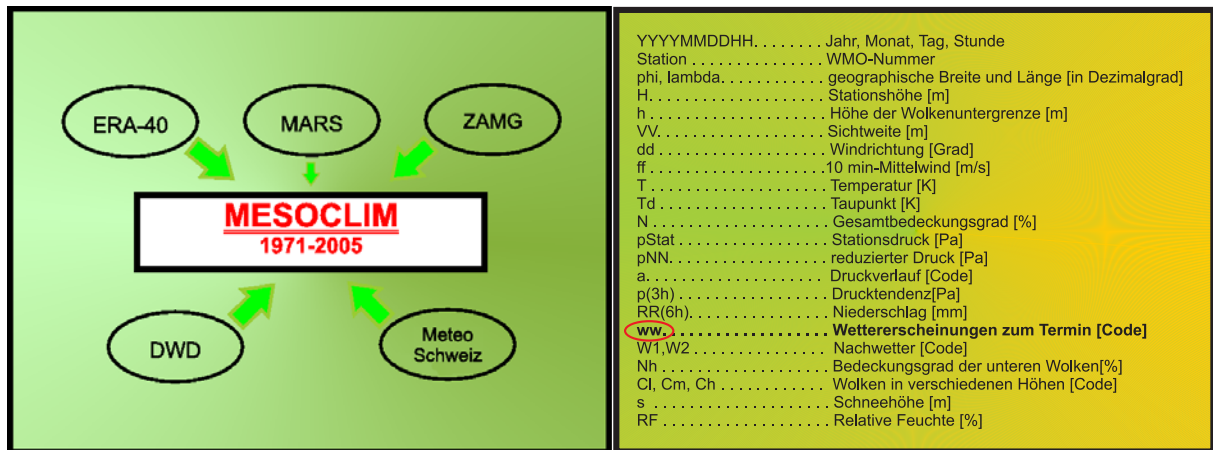


Abbildung 3.1.: Datenquellen des MESOCLIM Datensatzes (links); verfügbare meteorologische Parameter (rechts)

Als Grundlage für diese Arbeit dient der am IMGW im Zuge des FWF-Projekts MESOCLIM (FWF Projekt-Nr.: P18296-N10) erstellte Datensatz der für den Zeitraum 1971 bis 2005 erstellt wurde. Als Basis dienten hauptsächlich ERA-40 und MARS Daten, wobei auch andere Datenquellen miteingeflossen sind um zu ergänzen bzw. Lücken zu füllen (vgl. Abbildung 3.1, links).

Der Datensatz beinhaltet 3-stündige ausführliche Wetterinformationen von Wetterstationen in der Domäne 30°N bis 70°N und 15°W bis 50°E. Abgedeckt wird somit der Großraum Europa und einige umliegende Regionen wie Teile von Nordafrika oder Westasien. Inkludiert sind sowohl automatische als auch bemannte Wetterstationen. Eine vollständige Liste der vorhandenen Parameter ist in Abbildung 3.1 (rechts) dargestellt.

Für diese Arbeit wurde der durch AugenbeobachterInnen bestimmte Parameter „ww-aktuelles Wetter“ (Wettererscheinungen zum Termin) ausgewählt.

Wie in der Publikation der WMO (World Meteorological Organization) 'Manual on Codes' (WMO, 1995 [17]) nachzulesen ist, besteht der ww-Code aus Zahlen von 00-99. Es werden

sowohl atmosphärische Zustände als auch Auswirkungen auf die Umgebung verschlüsselt. In Abbildung 5.1 wird die Verschlüsselung über Symbole veranschaulicht und in Anhang B ist die Entschlüsselung als Text nachzulesen.

Der Parameter „ww-aktuelles Wetter“ enthält wie oben beschrieben sehr viele Informationen. In dieser Arbeit werden einige dieser Informationen herausgefiltert, um im Folgenden auf die Niederschlagsintensität, den Niederschlagstyp und auf Gewittertätigkeiten eingehen zu können. Es wird die Möglichkeit der klimatologischen Auswertung von den synoptischen Wetterbeobachtungen geprüft und anschließend durchgeführt.

Bezüglich der Niederschlagsanalyse sei gesagt, dass die ww-Meldungen den Niederschlagssummen aus folgenden Gründen vorgezogen wurden: Die ww-Meldungen sind 3-stündig vorhanden und haben somit eine höhere zeitliche Auflösung als die nur 6-stündig vorhandenen Niederschlagssummen. Außerdem können kurze und sehr leichte Niederschläge von automatischen Wetterstationen aufgrund der bauartbedingten Trägheit oder durch Verdunstungseffekte „übersehen“ werden. Im Gegensatz dazu nehmen AugenbeobachterInnen auch sehr leichte Niederschläge wahr. Weiters kann mittels der ww-Meldungen sofort auch der Niederschlagstyp festgestellt werden.

Grundsätzlich sind die ww-Wettermeldungen im vorhandenen MESOCLIM Datensatz auf Augenbeobachtungen beschränkt. Vereinzelt haben sich aber bei der Verknüpfung der vielen Datensätze fälschlicherweise ww-Meldungen von Automaten eingeschlichen, diese wurden aber durch eine systematische Filterung aus den folgenden Analysen und Auswertungen herausgenommen.

3.1. Datenverfügbarkeit der Augenbeobachtermeldungen

Die Datenverfügbarkeit spielt bei den Analysen und Auswertungen eine wichtige Rolle. In Abbildung 3.2 sind alle Stationen eingetragen, bei welchen im MESOCLIM Datensatz zwischen 1971 und 2005 an mindestens 10% aller Termine ww-Meldungen vorhanden sind. In Abbildung 3.3 ist die Entwicklung der mittleren Anzahl der ww-meldenden Stationen pro Termin für den gesamten Ausschnitt und für Österreich im Detail dargestellt. Zu beachten ist, dass dies ein Mittelwert über alle Termine des jeweiligen Jahres ist. Die Verfügbarkeit der ww-Meldungen beginnt 1972, wobei bis 1976 lediglich österreichische Stationen vorhanden sind. Der Einbruch in der Anzahl der österreichischen Stationen zwischen 1982 und 1992 dürfte Gründe in der Datenzusammenstellung haben und nicht im plötzlichen Rückgang der Augenbeobachtungen. Die

kontinuierliche Reduktion ab Mitte der 90er ist auf die Umstellung von bemannten Stationen auf automatische Wetterstationen zurückzuführen.

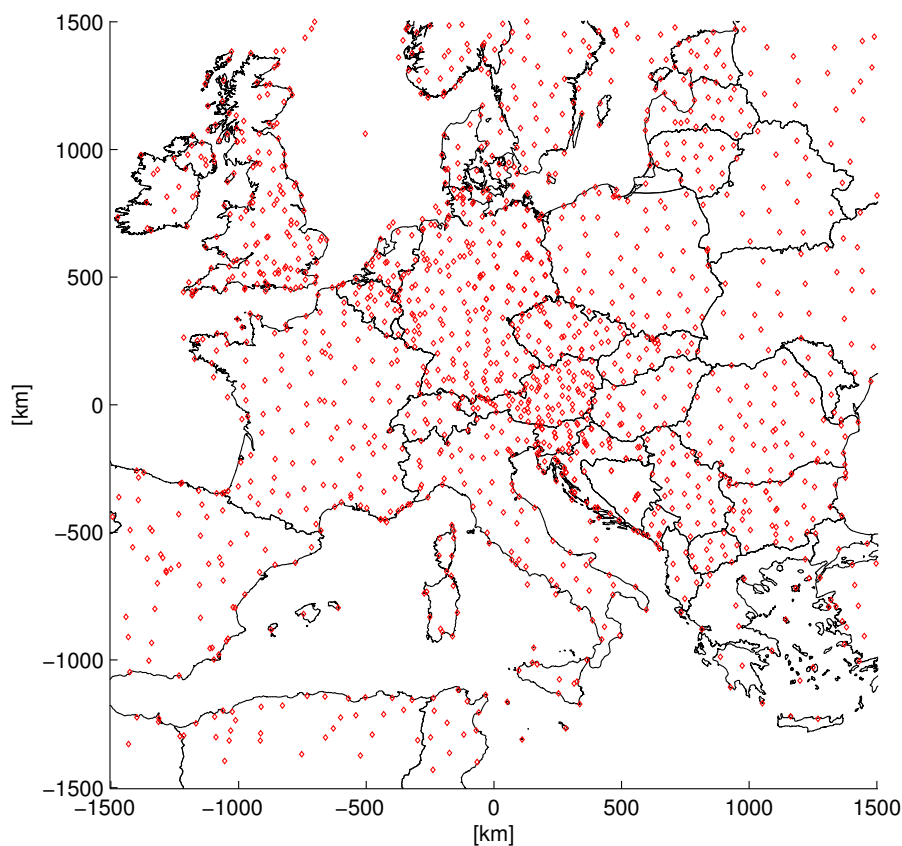


Abbildung 3.2.: Stationen (rote Punkte) innerhalb des MESOCLIM Europaabschnitts die zwischen 1971 und 2005 an mindestens 10% aller Termine Augenbeobachtungen zum aktuellen Wetter (ww-Code) gemeldet haben.

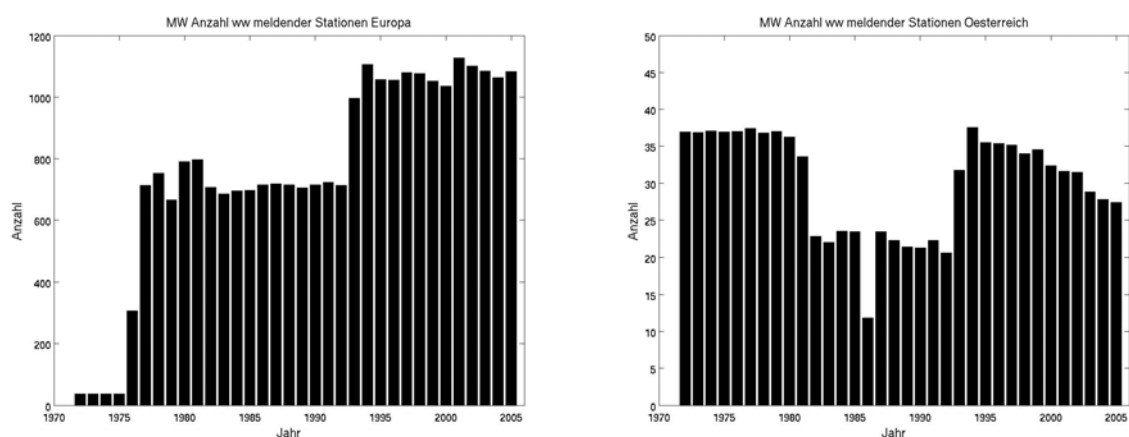


Abbildung 3.3.: Mittlere Anzahl an Augenbeobachtungen pro Termin im MESOCLIM Datensatz; links: Großraum Europa; rechts: Österreich;

Viele bemannte Stationen liefern keine durchgehenden Augenbeobachtungen und somit sind von diesen nur zu bestimmte Zeiten ww-Meldungen vorhanden. Meist werden tagsüber mehr Aufzeichnungen gemacht als nachts. Es zeigt sich ein Tagesgang in der Gesamtanzahl der verfügbaren Daten. Im langjährigen Mittel werden nachts über um ungefähr 25% weniger Augenbeobachtungen durchgeführt als tagsüber (vgl. Abbildung 3.4). Dies führt zu einer stark schwankenden Anzahl an Messwerten von Termin zu Termin und stellt in weiterer Folge bei klimatologischen Auswertungen ein zu lösendes Problem dar.

In den folgenden Kapiteln werden 2 Lösungsansätze diskutiert und angewendet, um dem Problem der lückenhaften und unregelmäßigen Datenverteilung Herr zu werden. Ein Ansatz wird sein, lediglich Stationen mit einigermaßen lückenlosen Daten für eine klimatologische Betrachtung heranzuziehen. Dies birgt jedoch den Nachteil, dass viele vorhandene Daten unbeachtet bleiben. Der zweite Ansatz, und auf diesen wird Hauptaugenmerk gelegt, wird sein, dass für jeden einzelnen Termin eine Interpolation auf Gitterpunkte durchgeführt wird, um die fehlenden Daten durch andere Stationen auszugleichen. Erst anschließend wird anhand der erzeugten regelmäßig verteilten Gitterpunktsdaten eine klimatologische Auswertung durchgeführt.

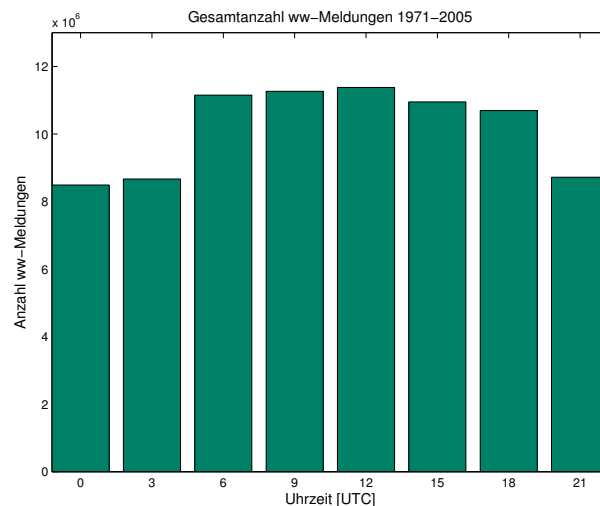


Abbildung 3.4.: Gesamtanzahl an ww-Meldungen abhängig von der Uhrzeit im Großraum Europa von 1971-2005.

4. Analyseverfahren VERA

In diesem Kapitel wird das am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien entwickelte und laufend verbesserte Analyseverfahren VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) erläutert. Das Verfahren zur Analyse von meteorologischen Parametern wurde speziell für komplexes Gelände, wie es im Alpenraum der Fall ist, entworfen. Es ist ein objektives modellunabhängiges Echtzeit Analyseverfahren, das durch Einfließen von Vorwissen sehr kleinskalige Phänomene auflösen kann. Dieses Vorwissen beinhaltet, anhand der sogenannten Fingerprints, den Einfluss der Orographie auf ihre Umgebung. Beispiele dafür sind die durch das reduzierte Talvolumen verursachte Temperaturzunahme oder der Staudruck bei der Anströmung an die Gebirge.

Das System besteht aus 3 Hauptteilen:

- Qualitätskontrolle: um fehlerhafte Meldungen zu erkennen und gegebenenfalls zu verwerfen oder zu korrigieren (vgl. Steinacker et al., 2011 [10]; Steinacker et al., 2000 [9])
- Interpolation: um die Daten auf ein regelmäßiges Gitter zu bringen (vgl. Steinacker et al., 2006 [11])
- Fingerprints: um Gelände Informationen auf das erzeugte Feld aufzuprägen (vgl. Steinacker et al., 2006 [11])

Auf die automatisierte Qualitätskontrolle und die Fingerprints wird im Folgenden nicht eingegangen, da diese Methoden auf die in dieser Arbeit verwendeten Parameter nicht angewendet wurden. Der interessierte Leser wird auf oben genannte Literatur verwiesen. Im folgenden Abschnitt werden mit vereinfachten Ansätzen die Grundlagen des VERA Interpolationsverfahrens vorgestellt.

4.1. Das VERA Interpolationsverfahren

Um die unregelmäßig verteilten Messwerte der Stationen auf ein einheitliches Gitter zu bringen verwendet VERA zur Interpolation den Variationsansatz. Der Einfachheit halber wird hier zur Veranschaulichung nur der eindimensionale Fall betrachtet.

Die Bedingungen, die das Analysefeld eines meteorologischen Parameters Ψ erfüllen muss, werden in den beiden Kostenfunktionen J_1 und J_2 formuliert, die unterschiedlich stark gewichtet werden können:

- Die ersten Ableitungen werden minimiert, das heißt, die Summe der Quadrate aller Steigungen wird minimal.

$$J_1 = \int \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2 dx \Rightarrow \text{Min} \quad (4.1)$$

- Die zweiten Ableitungen werden minimiert, das heißt, die Summe der Quadrate aller Krümmungen wird minimal.

$$J_2 = \int \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \right)^2 dx \Rightarrow \text{Min} \quad (4.2)$$

Um eine numerische Lösung zu finden, müssen die Gleichungen diskretisiert werden. Dies geschieht durch Ersetzen der Integrale durch Summen und durch Ersetzen der Differentialquotienten durch Differenzenquotienten. Bei den Grenzen der Summation ist zu beachten, dass die Steigungen genau zwischen, und die Krümmungen genau an den Gitterpunkten definiert sind.

Die erste Ableitung an der Stelle i schreibt sich diskretisiert mit den in VERA verwendeten Vorwärtsdifferenzen als:

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right|_i \cong \frac{\Psi_i - \Psi_{i-1}}{\Delta x} \quad (4.3)$$

Für die zweite Ableitung gilt:

$$\left. \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \right|_i \cong \frac{\Psi_{i+1} - 2\Psi_i + \Psi_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (4.4)$$

Durch Einsetzen dieser Ableitungen in die Gleichungen 4.1 und 4.2 und das Ersetzen der Integrale durch Summen ergibt sich für die diskretisierten Kostenfunktionen:

$$J_1 = \sum_{i=2}^I \left(\frac{\Psi_i - \Psi_{i-1}}{\Delta x} \right)^2 \Rightarrow Min \quad (4.5)$$

$$J_2 = \sum_{i=2}^{I-1} \left(\frac{\Psi_{i+1} - 2\Psi_i + \Psi_{i-1}}{(\Delta x)^2} \right)^2 \Rightarrow Min \quad (4.6)$$

Für die Interpolation in VERA können die Gleichungen 4.5 und 4.6 anhand von Gewichtungsfaktoren λ_1 und λ_2 beliebig kombiniert werden. Somit kann man die kombinierte Kostenfunktion schreiben als:

$$J = \lambda_1 J_1 + \lambda_2 J_2$$

Die Lösung des Minimierungsproblems in Gleichung 4.5 und 4.6 kommt einer multivariaten Extremwertrechnung gleich. Nach entsprechender Differentiation und Nullsetzung erhält man ein Gleichungssystem mit I Gleichungen und I Unbekannten, das numerisch gelöst werden kann.

5. Niederschlagsanalyse

5.1. Methodik

Wie in Kapitel 3 besprochen, werden für die Niederschlagsanalysen die Meldungen der AugenbeobachterInnen (ww-aktuelles Wetter) herangezogen. Da dieser Code viel mehr Informationen als die Niederschlagsintensität enthält, wird dieser zu Beginn in Niederschlagsintensitätsklassen eingeteilt. Die Skala wird von 0 (kein Niederschlag) bis 5 (sehr starker Niederschlag) festgelegt (siehe Tabelle 5.1). Wie diese Skala auf den ww-Code angewendet wird ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Tabelle 5.1.: *Intensitätsklassen - Niederschlag*

Stufe	Analysewert	Bezeichnung
0	0-0,49	kein
1	0,5-1,49	sehr leicht
2	1,5-2,49	leicht
3	2,5-3,49	mäßig
4	3,5-4,49	stark
5	ab 4,5	sehr stark

Die daraus gewonnenen Stationswerte für die Niederschlagsintensität werden mit dem VERA Interpolationsverfahren (siehe Kapitel 4) auf ein regelmäßiges 16x16 km Gitter interpoliert. Um im Folgenden auch klimatologische Auswertungen durchführen zu können, werden diese Berechnungen 3-stündig für den MESOCLIM Europa Ausschnitt (vgl. Abbildung 3.2) und den Zeitraum 1971 bis 2005 durchgeführt. Da flächendeckende europaweite Augenbeobachtungen erst ab 1976 vorhanden sind, werden in den folgenden Auswertungen die Jahre davor nicht berücksichtigt. So erhält man 102272 Analysen (Termine) mit jeweils 35721 Gitterpunktwerten. Für jeden Gitterpunkt und jeden Termin wird somit eine reelle Zahl (Analysewert) berechnet, der dann wiederum laut Tabelle 5.1 interpretiert werden kann. Durch die Interpolation jedes Termins auf Gitterpunkte wird versucht, die stark schwankende Stationsdichte (siehe Abschnitt

ww	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	○ ₀	○ ₀	○ ₀	○ ₀	∞ ₀	∞ ₀	S ₀	\$/0	£ ₀	(S) ₀
10	= ₀	= ^{*)} ₀	= ^{*)} ₀	< ₁	∩ ₁	)·(₁	(·) ₁	℞ ₁	∇ ₀	)(₀
20	,] ₁	,] ₁	*] ₁	*] ₁	~] ₁	∇] ₁	∇] ₁	∇] ₁	≡] ₀	℞] ₁
30	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀	→ ₀
40	(≡) ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀	≡ ₀
50	, ₁	,, ₂	, ₂	,, ₂	, ₃	,, ₃	~ ₁	~ ₂	, ₂	, ₃
60	· ₂	·· ₃	: ₃	: ₄	: ₄	: ₅	~ ₂	~ ₄	* ₃	* ₄
70	* ₂	** ₃	* ₃	* ₄	* ₄	* ₅	↔ ₁	△ ₂	* ₂	△ ₃
80	▽ ₃	▽ ₄	▽ ₅	▽ ₃	▽ ₄	▽ ₃	▽ ₄	▽ ₃	▽ ₄	▽ ₃
90	▽ ₅	℞ ₃	℞ ₅	℞ ₃	℞ ₅	℞ ₄	℞ ₅	℞ ₅	℞ ₁	℞ ₅
*) Abweichung von WMO-Symbolen 11: ≡≡ und 12: ≡≡										

Abbildung 5.1.: Einteilung der ww-Codes in die Niederschlagsintensitätsskala 0 bis 5 (Abbildung abgeändert nach DWD SY 1/82)

3.1) auszugleichen um dennoch eine realistische Aussage über die Niederschlagstätigkeiten in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung machen zu können.

Der Ansatz synoptische Wetterbeobachtungen von AugenbeobachterInnen mittels eines modernen Interpolationsverfahrens auf Gitterpunkte zu bringen und klimatologisch auszuwerten ist eher ungewöhnlich und birgt sowohl Vorteile als auch Nachteile. Meist werden nur Parameter analysiert, die durch automatische Wetterstationen aufgezeichnet wurden, bzw. davon abgeleitete Größen. Zieht man jedoch die Augenbeobachtungen heran, eröffnen sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. In dieser Arbeit wird auf Niederschlag und Gewitter näher eingegangen, es könnten aber auch zum Beispiel Nebel-, Bewölkungsgrad- oder Hagelauswertungen durchgeführt werden. Niederschlagsmeldungen von AugenbeobachterInnen bieten im Gegensatz zu Meldungen von automatischen Wetterstationen viele Zusatzinformationen, die über die simple

Angabe der Niederschlagsmenge hinausgehen. So wird auch bestimmt um welchen Typ von Niederschlag (schauerartig oder stratiform) es sich handelt. Die Art des Niederschlags (Regen, Niesel, Schnee, Graupel,...) und dessen Intensität wird ebenso aufgezeichnet. Ein weiterer Vorteil ist, dass auch schon sehr leichte Niederschläge erfasst werden, die zum Teil bauartbedingt von Messgeräten „übersehen“ werden. Ein Nachteil der Augenbeobachtungen ist, wie in Abschnitt 3.1 diskutiert, das Problem der Datenverfügbarkeit. Die Dichte der automatischen Wetterstationen steigt ständig an, dagegen sinkt die Zahl der Augenbeobachtungen, vor allem nachts, aus Kostengründen ständig ab. Außerdem besteht für alle BeobachterInnen trotz relativ strikter Vorgaben der WMO ein gewisser Interpretationsspielraum in Bezug auf das aktuelle Wetter und der Faktor Mensch muss somit auch als Unsicherheitsfaktor angesehen werden. Aus diesen Gründen befasst sich ein wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit damit, die Güte der angewendeten Methode und die Ergebnisse zu überprüfen. Durchgeführt werden Fallstudien von Einzelereignissen, eine Kreuzvalidierung, ein Vergleich zu Wetteraufzeichnungen in Polizeiprotokollen und ein Vergleich mit anderen Informationsquellen.

5.2. Fallstudien

Um einen ersten Eindruck über die Vertrauenswürdigkeit der erzeugten Niederschlagsanalysen zu erhalten, wurden einige Fallstudien durchgeführt. Dazu müssen Daten herangezogen werden, die sowohl vom MESOCLIM Datensatz als auch von VERA unabhängig sind.

Die VERA-Analysen der ww-Niederschlagsskala werden mit GFS (Global Forecast System) +6h Prognosen verglichen. Von den ww-Analysen, die jeweils den aktuellen Wetterzustand darstellen, müssen der aktuelle und 2 vorangegangenen Termine betrachtet werden, um eine Vergleichsmöglichkeit zu den GFS 6h Niederschlagssummen herzustellen. Ein Beispiel einer solchen Fallstudie ist in Abbildung 5.2 dargestellt.

Zugehörig zu einer Kaltfront zieht sich ein Niederschlagsband quer über Mitteleuropa mit nachfolgenden weiteren Störungszonen. Sofort zeigt sich, dass die Niederschläge über dem Kontinent in den ww-Analysen gut dargestellt werden, da die Stationsdichte hier sehr hoch ist. Das Niederschlagsgebiet im Mittelmeer, nördlich von Algerien wird zwar anscheinend etwas unterschätzt, aber trotz der dort extrem niedrigen Stationsdichte dennoch einigermaßen gut erfasst. Auch das Niederschlagsgebiet in der Nordsee, westlich von Dänemark ist gut dargestellt. Diese Studien belegen eine qualitativ gute Korrelation zwischen den beiden Modellen. Aufgrund der Tatsache, dass davon ausgegangen werden kann, dass die GFS +6h Prognosen recht nahe an der Wahrheit liegen, zeigt dies auf den ersten Blick grob die Güte der ww-Analysen aus dem MESOCLIM Datensatz.

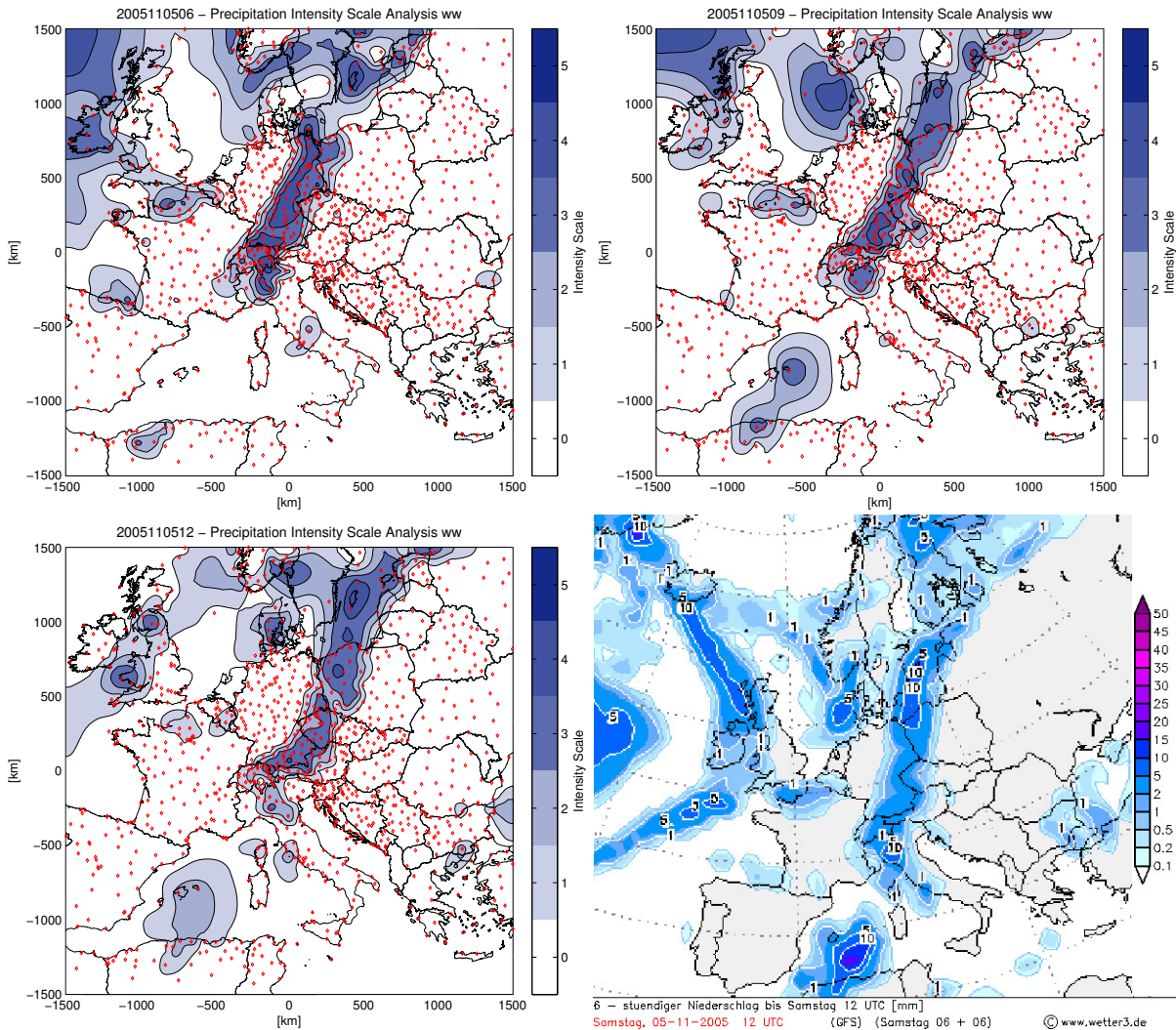


Abbildung 5.2.: Vergleich von Vera Analysen der ww-Niederschlagsskala mit GFS 6h Niederschlagssummen; oben und links: 3 Analysen der Niederschlagsintensität (rote Punkte: zum Termin meldende Stationen); rechts unten: GFS +6h Prognose der 6 stündigen Niederschlagssumme [mm] (Quelle: www.wetter3.de [5.3.2011])

5.3. Kreuzvalidierung

Eine Möglichkeit die Qualität eines Analysesystems zu testen ist die sogenannte Kreuzvalidierung (engl.: Cross Validation). Damit hat man die Möglichkeit das Endprodukt der Analyse zu überprüfen. Diese Methode erfolgt folgendermaßen: Für jeden einzelnen Termin werden n-Analysen durchgeführt (n...Anzahl der Stationen), wobei immer jeweils eine Station bei der Analyse unverwendet bleibt. Von den so ermittelten Gitterpunktwerten der einzelnen Analysen wird mittels linearer Interpolation auf die Koordinaten genau dieser einen ausgelassenen

Station hingerechnet. Folglich kann man den wahren Beobachtungswert der Station mit dem Analysewert vergleichen der ohne diesen Beobachtungswert erzeugt wurde. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde eine solche sehr rechenaufwändige Cross Validation für Österreich vom Jahr 2004 durchgeführt. Es wurden dabei alle österreichischen Stationen getestet, die Analysen wurden aber für den gesamten Europaausschnitt durchgeführt, um störende Randeffekte für den betrachteten Ausschnitt (Österreich) zu verhindern. Die Beschreibung der Qualität des Systems erfolgt über statistische Parameter. In den folgenden Abschnitten werden die Fehlermaße zuerst definiert und beschrieben. Anschließend werden diese Parameter für die Cross Validation für Österreich vom Jahr 2004 berechnet und ausgewertet.

5.3.1. Begriffe aus der Statistik

Die in den folgenden Unterabschnitten zusammengefassten Begriffe und Definitionen wurden aus den Büchern „Statistical Methods in the Atmospheric Sciences“ (Wilks, 2006 [14]) und „Forecast Verification“ (Jolliffe & Stephenson, 2003 [4]) übernommen.

5.3.1.1. Kontinuierliche Gütemaße

Für die quantitative Beschreibung der Analysen mit kontinuierlichen Gütemaßen werden lediglich Termine herangezogen an denen sowohl die jeweils ausgelassene Station, als auch die jeweilige Analyse an diesen Stationskoordinaten Niederschlag gemeldet bzw. berechnet hat. Somit ist es möglich eine brauchbare Aussage über die Qualität des Analyseverfahrens in Bezug auf die Interpolation der Niederschlagsintensität zu machen, ohne die Ergebnisse mit leicht zu interpolierenden trockenen Ereignissen zu verschönen. Anhand der im Folgenden eingeführten Fehlermaßzahlen werden Vergleiche der skalaren Werte der Niederschlagsanalysen mit den Beobachtungswerten vollzogen.

Der arithmetische Mittelwert

$$mean = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

als einfacher aber sehr wichtiger Parameter ist unerlässlich für die Bewertung der folgenden Fehlermaßzahlen. Für die Einschätzung, ob z.B. der mittlere absolute Fehler groß oder klein ist, wird als Vergleichswert der Mittelwert herangezogen.

Oft wird anstatt des Mittelwerts auch der Median verwendet:

$$\text{median} = x_{([n+1]/2)} \quad \dots \text{für } n \text{ ungerade} \quad (5.2)$$

$$\text{median} = \frac{x_{(n/2)} + x_{([n/2]+1)}}{2} \quad \dots \text{für } n \text{ gerade} \quad (5.3)$$

Dieser ist weniger empfindlich gegenüber Ausreißern und wird oft benützt, wenn die betrachteten Daten nicht normalverteilt sind. Definitionsgemäß ist die Hälfte der Daten kleiner und die andere Hälfte der Daten größer als der Median.

Der mittlere absolute Fehler

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |a_k - o_k| \quad (5.4)$$

mit

$a_k \dots$ Analysewert

und

$o_k \dots$ Beobachtungswert (observation)

gibt die Größe des mittleren Fehlers an, der durch die Analyse entsteht. Nicht betrachtet wird ob tendenziell überschätzt oder unterschätzt wird. Der mögliche Wertebereich geht von 0 bis unendlich. Der perfekte Wert beträgt $MAE = 0$.

Der mittlere quadratische Fehler, bekannt auch als Varianz

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (a_k - o_k)^2 \quad (5.5)$$

berechnet die durchschnittliche Größe des mittleren quadrierten Fehlers. Ob eine Überschätzung oder Unterschätzung stattfindet wird aufgrund der stets positiven Werte nicht bestimmt. Der Wertebereich kann im Bereich 0 bis unendlich liegen. Der Idealwert wäre $MSE = 0$.

Die Standardabweichung ist definiert als

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (a_k - o_k)^2}. \quad (5.6)$$

Sie wird oft verwendet, ist aber sehr anfällig auf Ausreißer und somit oft mit Vorsicht zu genießen. Hat der RMSE einen viel höheren Wert als der MAE ist das ein Hinweis, dass es signifikante Ausreißer gibt bzw. die Streuung sehr hoch ist. Wiederum liegt der mögliche Wertebereich zwischen 0 und unendlich und macht keine Aussage über die Richtung des Fehlers. Der bestmögliche Wert ist ebenfalls $RMSE = 0$.

Der mittlere Fehler (ME) auch bekannt als der additive Bias

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (a_k - o_k) = \bar{a}_k - \bar{o}_k \quad (5.7)$$

lässt Rückschlüsse zu, ob tendenziell durch die Analysen eher überschätzt ($ME > 0$) oder unterschätzt ($ME < 0$) wird. Er wird über die Differenz zwischen dem mittleren Analysewert und dem mittleren Beobachtungswert bestimmt. Wenn sich die Fehler gegenseig aufheben, ist trotz schlechter Analyse der Idealwert $ME = 0$ möglich. Der Wertebereich liegt hier zwischen minus unendlich und plus unendlich.

Der multiplikative Bias

$$BIAS = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n o_k} = \frac{\bar{a}_k}{\bar{o}_k} \quad (5.8)$$

vergleicht ebenso wie der mittlere Fehler den mittleren Analysewert mit dem mittleren Beobachtungswert, jedoch nicht über die Differenz sondern über den Quotient. Es ist somit wiederum eine Abschätzung möglich ob tendenziell durch die Analysen eher überschätzt ($BIAS > 1$) oder unterschätzt ($BIAS < 1$) wird. Auch hier ist es möglich den perfekten $BIAS = 1$ zu erreichen, obwohl eigentlich schlecht analysiert wurde, wenn sich die Fehler gegenseitig aufheben. Dieses Gütemaß wird oft für positive zu analysierende Werte mit Minimum 0 (z.B. Niederschlagsintensität) verwendet. Der Wertebereich reicht von 0 bis unendlich, der Idealwert beträgt $B = 1$.

5.3.1.2. Kategorische Gütemaße

Für die Beschreibung mittels der kategorischen Gütemaße werden die Beobachtungen und Analysen zu allen Terminen herangezogen und verglichen. Ausgewertet werden hierbei nur die logischen Werte Niederschlag ja oder nein. Der Zweck ist, das Analysesystem in Bezug auf die Interpolationsqualität sowohl von niederschlagsfreiem Wetter als auch von niederschlagsreichem Wetter zu testen. Wie auch in Tabelle 5.2 dargestellt, gibt es vier Möglichkeiten:

- a) 'Hit' - Beobachtung und Analyse melden Niederschlag 'ja'
- b) 'False Alarm' - Analyse meldet Niederschlag 'ja', Beobachtung jedoch 'nein'
- c) 'Miss' - Analyse meldet Niederschlag 'nein', Beobachtung jedoch 'ja'
- d) 'Correct Negative' - Beobachtung und Analyse melden Niederschlag 'nein'

Tabelle 5.2.: *Kontingenztafel: Beziehung zwischen Beobachtungswert und Analyse - Niederschlag ja/nein*

		Beobachtungswert	
		ja	nein
Analyse	ja	a	b
	nein	c	d

Der Proportion Correct ist definiert als

$$PC = \frac{a + d}{n} \quad (5.9)$$

mit

$$n \dots \text{Gesamtanzahl} = a + b + c + d.$$

Er gibt eine schnelle Auskunft über die Gesamtqualität der Analysen. Richtig analysierte Werte von sowohl 'ja' Ereignissen als auch 'nein' Ereignissen werden gleichermaßen gewichtet. Dieser Parameter ist nicht immer ideal, vor allem, wenn 'ja' Ereignisse selten sind. Bei sehr seltenen 'ja' Ereignissen könnte man dem Idealwert sehr nahe kommen, wenn man einfach immer nur 'nein' analysiert. Der PC kann Werte von 0 bis 1 mit perfektem PC = 1 annehmen.

Der Critical Success Index (Threat Score) ist definiert als

$$CSI = \frac{a}{a + b + c}. \quad (5.10)$$

Dieser Parameter ist vor allem dann sinnvoll, wenn 'ja' Ereignisse im Gegensatz zu 'nein' Ereignissen besonders selten sind. Belohnt werden nur richtige 'ja' Analysen. Bestraft werden sowohl Fehllarme (b) als auch nicht erkannte 'ja' Ereignisse (c). Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1. Der Idealwert ist CSI = 1.

Der Bias, definiert als

$$B = \frac{a+b}{a+c} \quad (5.11)$$

vergleicht jeweils die Anzahl der gesamten 'ja' Ereignisse der Analysen mit den gesamten 'ja' Ereignissen der Stationen. Somit ist eine Abschätzung möglich ob tendenziell durch die Analysen 'ja' Ereignisse eher überschätzt ($B > 1$) oder unterschätzt ($B < 1$) werden. Der Idealwert liegt bei $B = 1$ mit einem Wertebereich von 0 bis unendlich.

Der Parameter False Alarm Ratio

$$FAR = \frac{b}{a+b} \quad (5.12)$$

gibt den Anteil der zu unrecht als 'ja' analysierten Ereignisse von den gesamten analysierten 'ja' Ereignissen an. Bestraft werden Fehlalarme (b), belohnt richtige 'ja' Analysen (a), aber beachtet werden weder nicht erkannte 'ja' Ereignisse (c) noch richtig erkannte 'nein' Ereignisse (d). Der Wertebereich geht von 0 bis 1 mit einem Idealwert von $FAR = 0$.

Der wichtige Parameter Probability of False Detection, auch bekannt als False Alarm Rate,

$$POFD = \frac{b}{b+d} \quad (5.13)$$

gibt den Anteil der zu unrecht als 'ja' analysierten Ereignisse, von den gesamten beobachteten 'nein' Ereignissen an. Größen von 0 bis 1 sind möglich. Der beste Wert ist $POFD = 0$.

Zusammen mit dem POFD liefert der Parameter Probability of Detection,

$$POD = \frac{a}{a+c} \quad (5.14)$$

auch bekannt als Hit Rate, einen guten Überblick über die gesamte Qualität des Analyseverfahrens, vor allem bei zu analysierenden Werten bei denen 'ja' Ereignisse eher selten sind, wie das bei Niederschlag zutrifft. Belohnt werden richtige 'ja' Analysen (a), bestraft werden nicht erkannte 'ja' Ereignisse (c). Der Parameter kann Werte von 0 bis 1 annehmen und hat den Idealwert $POD = 1$.

5.3.2. Allgemeine Fakten zu den Niederschlagsbeobachtungen in Österreich im Jahr 2004

Die Beobachtungswerte (Stationswerte) für die Niederschlagsintensität sind, wie bereits in Abschnitt 5.1 besprochen, nach Einteilung der ww-Meldungen in 6 Niederschlagsintensitätsklassen, in ganze Zahlen festgelegt. Die Verteilung dieser Klassen für alle Beobachtungen in Österreich im Jahr 2004 ist in Tabelle 5.3 dargestellt. Sofort zeigt sich, dass Meldungen ohne Niederschlag (Stufe 0) bei weitem überwiegen. Nur in 21% der 3-stündigen Meldungen wurde Niederschlag beobachtet. Vergleiche dazu Abschnitt 5.5 die Auswertungen nach Niederschlagstagen pro Jahr.

Um einen Eindruck über die Verteilung der Niederschlagsintensität bei Niederschlagsereignissen zu erhalten, wurden die Niederschlag 'ja' Ereignisse herausgenommen und in Abbildung 5.3 als relative Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsintensitätsklassen dargestellt. Am häufigsten wird bei Niederschlag die Niederschlagsintensitätsstufe 'mäßig' gemeldet. 'Sehr leichte' und 'leichte' Niederschläge sind ebenso wie der etwas seltenere 'starke' Niederschlag auch noch relativ häufig. 'Sehr starke' Niederschläge sind mit einem Anteil von etwa 1% der Niederschlagsereignisse im Vergleich dazu recht selten. Dies zeigt eine linksschiefe Normalverteilung. Der Median ist etwas größer als der Mittelwert.

Auch die Anzahl an Meldungen in Österreich für das ganze Jahr 2004 kann, durch einfaches Summieren, aus Tabelle 5.3 abgelesen werden. Mittels Division durch alle möglichen Termine im Jahr 2004 erhält man im Mittel gerundet 25 Beobachtungen pro Termin. Der leichte Unterschied zu Abbildung 3.3 ergibt sich aus den hier herausgefilterten Automatenmeldungen, die sich zum Teil in den Datensatz eingeschlichen hatten.

Tabelle 5.3.: Absolute und relative Verteilung aller Stationswerte zur Niederschlagsintensität in Österreich im Jahr 2004; 0 bedeutet kein, 1 sehr leichter, 2 leichter, 3 mäßiger, 4 starker und 5 sehr starker Niederschlag;

0	1	2	3	4	5
57613	3335	3259	6044	2455	220
79 %	4,6 %	4,5 %	8,3 %	3,3 %	0,3 %

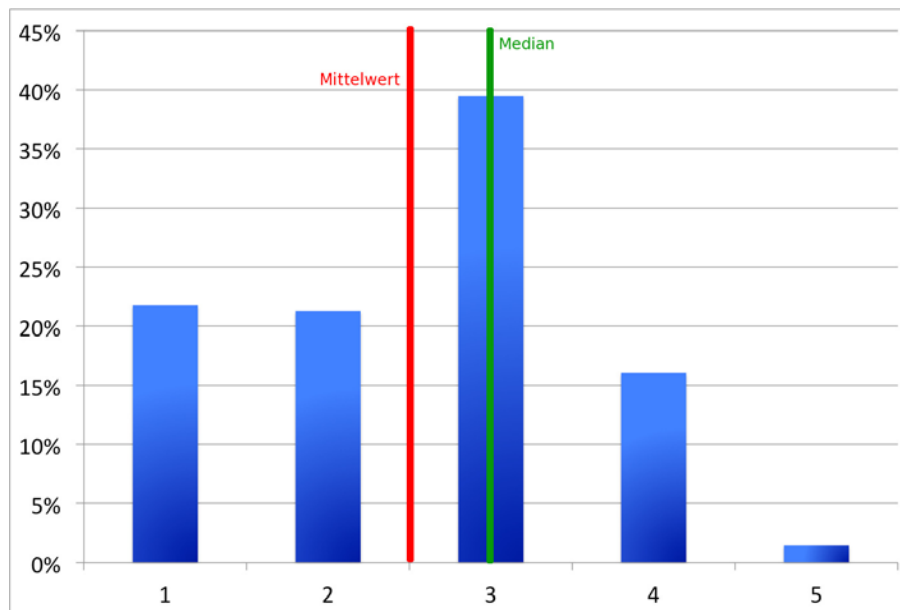


Abbildung 5.3.: *Relative Verteilung der Niederschlagsintensitätsklassen zu Niederschlagsbeobachtungen im Jahr 2004 in Österreich; rote Linie: arithmetischer Mittelwert = 2,5; grüne Linie: Median = 3; 1 bedeutet sehr leichter, 2 leichter, 3 mäßiger, 4 starker und 5 sehr starker Niederschlag;*

5.3.3. Statistische Auswertung der Kreuzvalidierung

Ein wichtiger Faktor bei der Auswertung der Ergebnisse der durchgeführten Cross Validation für Österreich für das Jahr 2004 ist die Definition ab welchem Wert Niederschlag 'ja' bzw. Niederschlag 'nein' bei den Beobachtungen und den Analysen zu vergeben ist. Bei den Beobachtungswerten, gibt es keinen Interpretationsspielraum ab welchem Wert Niederschlag 'ja' zu geben ist. 'Sehr leichter' Niederschlag (Stufe 1) des Beobachtungswertes ist eindeutig als Niederschlag 'ja' zu werten. Bei der Interpolation (Analyse) dieser Werte auf ein regelmäßiges Gitter ist dies schon etwas schwieriger. Dabei werden keine ganzen Zahlen, sondern reelle Zahlen erzeugt. Ab welchem Schwellwert (Threshold) bei diesen Analysewerten Niederschlag 'ja' zu geben ist, ist mit Interpretationsspielraum behaftet. Die erste Näherung ist die mathematische Rundung. Dabei wird ab den Werten $\geq 0,5$ Niederschlag 'ja' gesetzt. Es wurden mehrere andere Thresholds getestet, miteinander verglichen und ihre Vor- und Nachteile analysiert. Die wichtigsten werden in den folgenden Unterabschnitten beschrieben. Sinnvoll sind diese bis zum Grenzwert von 1, da definitionsgemäß die ganze Zahl 1 Niederschlag 'ja' bedeutet. Die statistische Auswertung der Cross Validation für das gesamte Jahr 2004 und alle Stationen in Österreich mit den oben eingeführten Fehlermaßzahlen, auch in Bezug auf die Thresholds, wird im folgenden beschrieben.

Die in Tabelle 5.4 dargestellten Parameter geben einen schnellen und guten Einblick in das Vermögen des Interpolationsverfahren die Niederschlagsintensität zu interpolieren. Die Fehlermaßzahlen beziehen sich auf den Vergleich zwischen den Analysewerten der Cross Validation mit den Beobachtungswerten. In die Berechnungen gehen hier lediglich Termine ein, an denen sowohl die Station als auch die Analyse Niederschlag 'ja' anzeigen. Das ist der Fall, wenn der Stationswert ≥ 1 und der Analysewert $\geq Threshold$ ist. Hierbei werden Analysewerte ab 0,5 betrachtet, um den Fehler der dadurch bei 'sehr leichten' Niederschlägen entsteht, zu berücksichtigen.

Ein mittlerer absoluter Fehler (MAE) unter 1 und eine Standardabweichung (RMSE) knapp über 1 beurteilen die Analyse recht gut. Der Wert des RMSE ist dem des MAE sehr ähnlich. Dies bedeutet, durch die Empfindlichkeit des RMSE gegenüber Ausreißern, dass große Fehler selten vorkommen bzw., dass die Streuung der Fehler gering ist. Die Niederschlagsintensität der Interpolation liegt im Mittel um knapp eine Stufe falsch. Tendenziell wird laut Bias und mittlerem Fehler (ME) durch die Interpolation die Niederschlagsintensität unterschätzt, das ist auch beim Vergleich des mittleren Beobachtungswertes und des mittleren Analysewertes sofort erkennbar.

Tabelle 5.4.: *Ergebnisse zur Cross Validation 2004 in Österreich: Kontinuierliche Gütemaße; Berechnungsgrundlage bilden hier lediglich Niederschlagsereignisse an denen sowohl die Station als auch die Analyse Niederschlag 'ja' gemeldet hat;*

Mittl. Beobachtungswert	Mittl. Analysewert	MAE	MSE	RMSE	ME	BIAS
2,678	2,205	0,969	1,501	1,225	-0,473	0,823

Eine andere Herangehensweise ist die Überprüfung auf die Qualität des Systems in Bezug auf die logischen Werte Niederschlag 'ja' oder Niederschlag 'nein'. Hier macht eine Untersuchung aller Termine Sinn, da die statistischen Parameter selbst unterscheiden welche Ereignisse in die Berechnungen miteinbezogen werden. Das Ergebnis der Auszählung ist in Tabelle 5.5 in Abhängigkeit von den Thresholds in Kontingenztabellen zusammengefasst.

Je nach Bedarf lassen sich eine große Menge an Skill Score Parameter berechnen. Einige dieser kategorischen Gütemaße sind in Tabelle 5.6 dargestellt. Bei der Auswahl der statistischen Parameter, die für die Beurteilung der Analyse herangezogen werden, muss darauf geachtet werden, dass die trockenen Ereignisse überwiegen (vgl. Tabelle 5.5). Nicht alle Skill Scores sind für die Beurteilung von seltenen Ereignissen ausgelegt. Zusätzlich ist zu beachten, dass für verschiedene Anwendungsgebiete unterschiedliche Eigenschaften der Analyse wichtig sind. Um diese Eigenschaften richtig bewerten zu können, müssen die richtigen Gütemaße betrachtet werden. Für einige Anwendungen mag die Gesamttrefferquote das Wichtigste sein, dann ist man mit dem Parameter Proportion Correct (PC) gut bedient. Für manche Zwecke mag ein 'Fehlalarm'

Tabelle 5.5.: *Cross Validation 2004 - Österreich: Kontingenztabelle - Beziehung zwischen Beobachtungswert und Analyse - Niederschlag ja/nein; oben: Threshold 0,5; mitte: Threshold 0,75; unten: Threshold 1,0;*

0,5		Beobachtungswert	
		ja	nein
Analyse	ja	12451	7823
	nein	2862	49790

0,75		Beobachtungswert	
		ja	nein
Analyse	ja	11599	5849
	nein	3714	51764

1,0		Beobachtungswert	
		ja	nein
Analyse	ja	10698	4346
	nein	4615	53267

(Analyse zeigt fälschlicherweise Niederschlag 'ja') wenig Bedeutung haben, für andere wiederum schon. Darum ist im allgemeinen Fall ein ausgewogener Mittelweg zu finden. Zu Beginn soll lediglich auf die Ergebnisse mit dem Schwellwert 0,5 Augenmerk gelegt werden, auf die anderen wird erst anschließend eingegangen.

Tabelle 5.6.: *Ergebnisse zur Cross Validation 2004 in Österreich: Kontinuierliche Gütemaße; Betrachtet werden hier alle Ereignisse.*

Threshold	PC	CSI	B	FAR	POD	POFD
0,5	0,854	0,538	1,324	0,386	0,813	0,1358
0,75	0,869	0,548	1,139	0,335	0,758	0,102
1	0,877	0,544	0,982	0,289	0,699	0,075

Der Proportion Correct (PC) zeigt, dass in 85% der gesamten Fälle das System korrekt gearbeitet hat. Das kann durchaus als positives Resultat gewertet werden. Wichtig ist dieser Parameter vor allem wenn das Interesse an korrekter Aussage von Niederschlag 'ja' und 'nein' Ereignissen gleichermaßen groß ist. Bei der in der Meteorologie üblichen Verifikation von Niederschlagsanalysen liegt jedoch meist eher das Hauptinteresse auf Niederschlag 'ja' Ereignissen, da Niederschlagsgebiete schwieriger zu interpolieren sind als Schönwettergebiete. Aus diesem Grund belohnen die folgenden Parameter die richtig interpolierten 'nein' Ereignisse nicht. Der Parameter Probability of Detection (POD) sagt in diesem Fall aus, dass 81% der gesamten beobachteten Niederschlag 'ja' Ereignisse auch von der Analyse richtig erkannt wurden. Der Wert des Probability of False Detection (POFD) zeigt, dass bei 14% der gesamten beobachteten 'nein' Ereignisse fälschlicherweise Niederschlag 'ja' analysiert wurde. Dies lässt vermuten, dass Nie-

derschlagsgebiete oft räumlich enger begrenzt sind, als durch die Interpolation angenommen. Der Critical Success Index (CSI) ist dem POD ähnlich, jedoch werden falsch analysierte 'ja' Ereignisse zusätzlich bestraft, das schlägt sich im stark sinkenden Wert nieder. Der Bias (B) ist größer als 1, das bedeutet, dass Niederschlag 'ja' Ereignisse tendenziell überschätzt werden. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass für den schwierig zu interpolierenden Parameter Niederschlag das entwickelte System befriedigend gut funktioniert und es gibt Hinweise, dass die Größe der Niederschlagsgebiete überschätzt wird. Diese Überschätzung ist bei der begrenzten Stationsdichte auch nachvollziehbar.

Nun betrachten wir wie sich die Ergebnisse in Tabelle 5.6 verändern, wenn ein anderer Threshold gewählt wird. Der Bias (B) zeigt uns, dass die Tendenz 'ja' Ereignisse zu überschätzen sich mit Erhöhung des Thresholds verringert. Die Fehlalarm Parameter FAR und POFD verbessern sich nicht übermäßig, aber doch merklich. Auch der Proportion Correct (PC) verbessert sich ein wenig, was aber nicht weiter verwunderlich ist, da die 'nein' Ereignisse im Gesamten überwiegen und durch die Erhöhung des Thresholds bei diesem Parameter noch mehr an Einfluss gewinnen. Der Probability of Detection (POD) verschlechtert sich in ähnlichem Ausmaß, wie sich der FAR verbessert. Der Critical Success Index (CSI) verbessert sich bei Erhöhung des Thresholds zuerst und verschlechtert sich dann wieder, dies ist ein Hinweis, dass mit Threshold 0,75 die höchste Systemqualität erreicht wird.

Es wurde nicht nur das Gesamtergebnis betrachtet, sondern es wurden ebenso Aufschlüsselungen nach Stationen, Jahreszeiten, Monaten und Uhrzeiten berechnet. Abbildung 5.4 stellt den POD und POFD aller österreichischen Stationen in Abhängigkeit vom Threshold dar. Es zeigt sich, dass für fast alle Stationen in Österreich ähnliche Werte gelten. Einzelne Ausreißer stellen Stationen mit nur sehr wenigen vorhandenen Meldungen dar. Im Großen und Ganzen belegen diese Auswertungen, dass die Analysen brauchbare Ergebnisse liefern, da der Parameter POD fast durchwegs hoch und der POFD meist niedrig ist. Bei Erhöhung des Schwellwertes ergeben sich zwar verbesserte Werte des POFD, jedoch verschlechtert sich der POD.

Bei der Aufschlüsselung nach Jahreszeiten in Abbildung 5.5 erstaunt, dass die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten nicht sehr groß sind, dennoch zeigt sich, dass das System im Sommer durch örtlich stark begrenzte konvektive Niederschlagsgebiete etwas mehr Probleme hat, hier ist der POD durchwegs am niedrigsten. In dieser Zeit werden am meisten Niederschlagsereignisse übersehen.

Wie auch schon zuvor festgestellt, erkennt man auch in Abbildung 5.5 sofort die Auswirkung auf die Statistischen Parameter (POD, POFD) bei Veränderung des Schwellwerts. Erhöht man

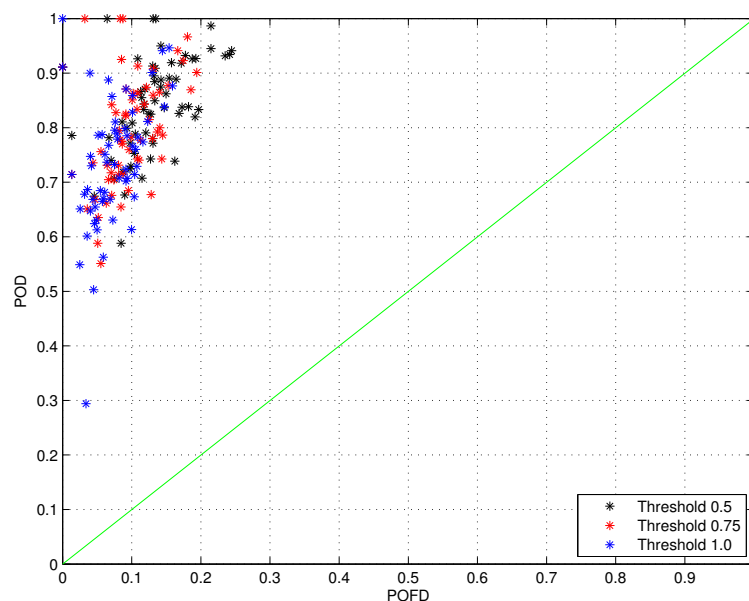


Abbildung 5.4.: *POD, POFD für 2004 aller österreichischen Stationen (Sterne) in Abhängigkeit vom Threshold (schwarz 0.5; rot 0.75; blau 1.0)*

diesen, sinkt zwar der Anteil der Fehlalarme (POFD wird kleiner), jedoch nimmt auch die Trefferquote ab (POD wird kleiner).

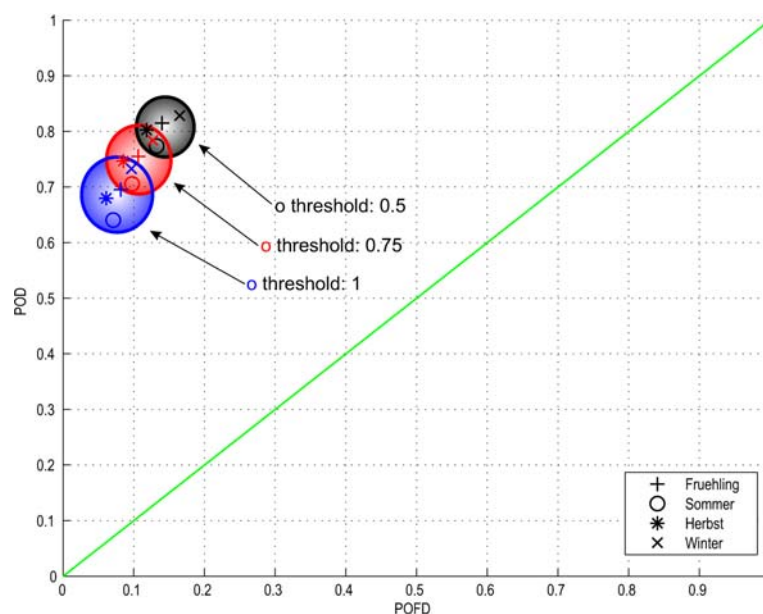


Abbildung 5.5.: *POD, POFD für 2004 - Mittelwert aller österreichischen Meldungen abhängig von der Jahreszeit und vom Threshold (schwarz 0.5; rot 0.75; blau 1.0)*

Um noch weiter in die Tiefe zu gehen werden in Abbildung 5.6 einige statistische Auswertungen, aufgelöst nach Monaten des Jahres 2004, präsentiert. Der Critical Success Index (CSI)

bringt das beste Ergebnis im März, und wiederum eine leichte Tendenz, dass der Schwellwert 0.75 der beste Kompromiss zwischen Erfassung aller Niederschlagsereignisse und einer möglichst geringen Anzahl an Fehlalarmen ist. Die übrigen berechneten Parameter zeigen nur schwache monatliche Schwankungen und unterliegen lediglich den zuvor beschriebenen Veränderungen durch Anpassung des Thresholds.

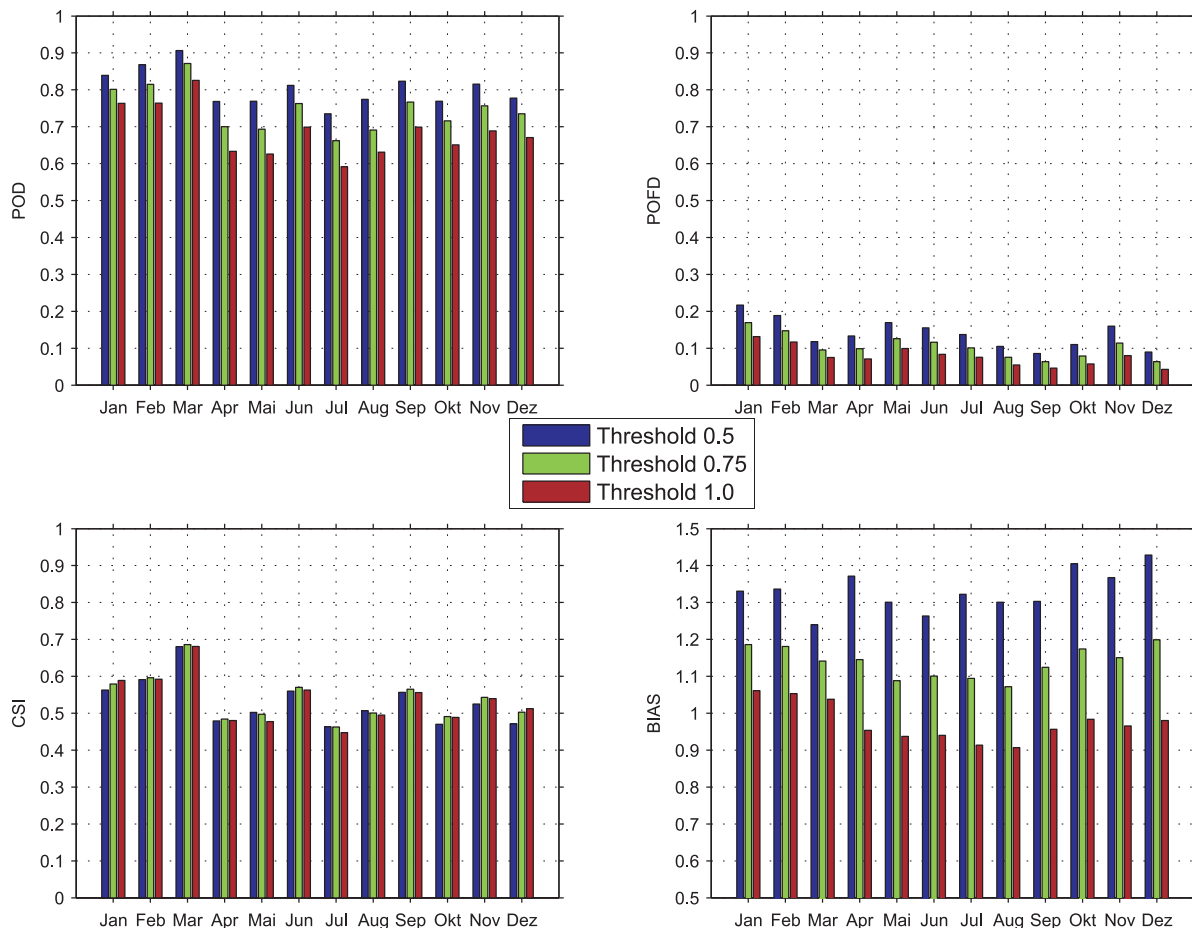


Abbildung 5.6.: Kategorische Gütemaße abhängig vom Monat (2004)

Trotz der stark schwankenden Anzahl an Meldungen durch AugenbeobachterInnen mit der Tageszeit (vgl. Abbildung 3.4) halten sich die Qualitätsunterschiede zu den verschiedenen Uhrzeiten in Grenzen. Das entwickelte System funktioniert also auch nachtsüber trotz geringerer Stationsdichte einigermaßen gut. Hierbei dürften sich zwei Umstände überlagern die sich zum Teil gegenseitig ausgleichen. Einerseits gibt es nachtsüber zwar weniger Augenbeobachtungen, andererseits sind dafür zeitlich und räumlich eng begrenzte Schauertätigkeiten in der Nacht auch weniger häufig. Vor allem im POD und CSI zeigt sich kein gravierender, dennoch erwähnenswerter Vorteil tagsüber (siehe Abbildung 5.7).

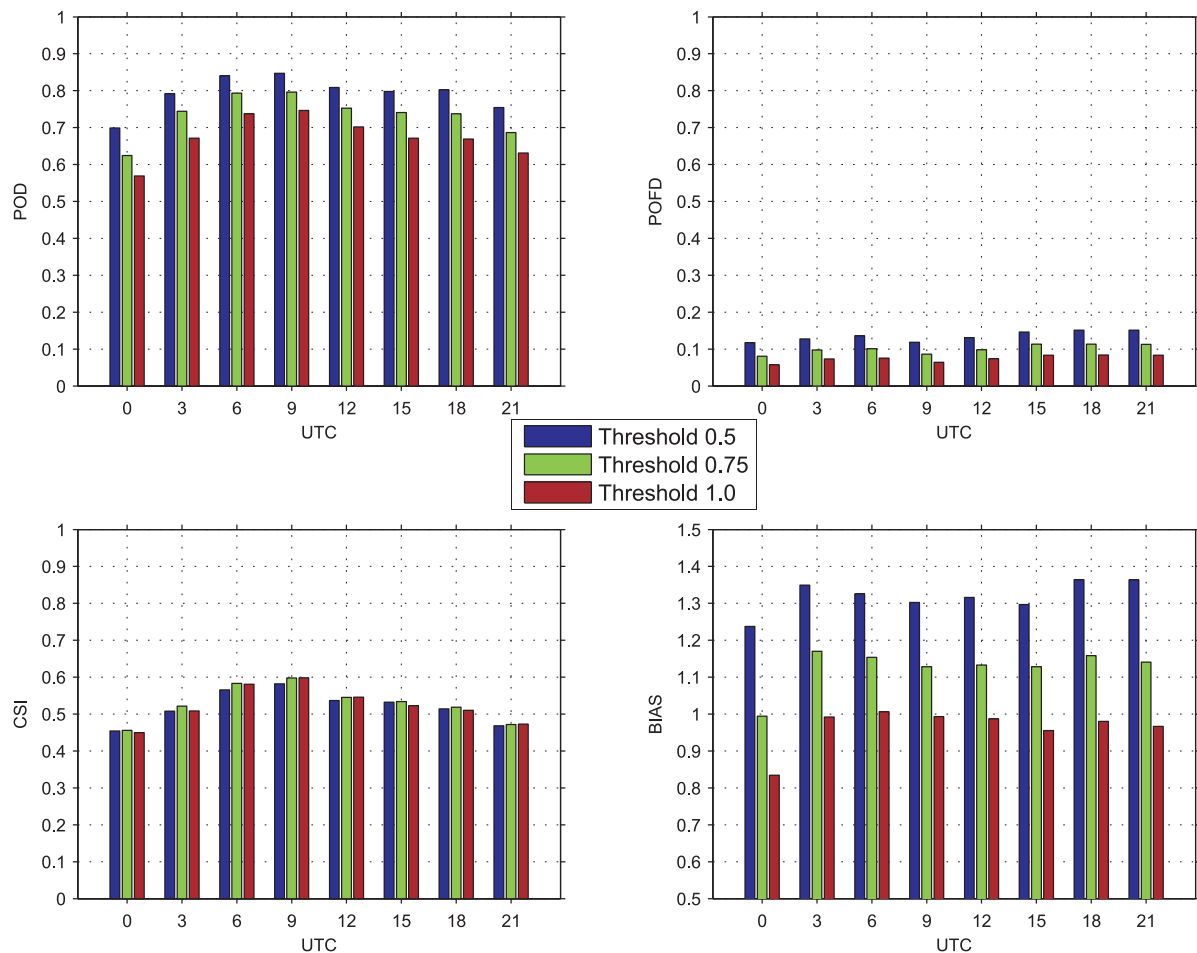


Abbildung 5.7.: Kategorische Gütemaße abhängig von der Uhrzeit (2004)

Bemerkung:

Die Untersuchungen auf monatliche und tageszeitliche Schwankungen wurden auch für die kontinuierlichen Gütemaße durchgeführt, brachten jedoch kaum erwähnenswerte Aussagen über die Variabilität in der Qualität der Analysen und werden aus diesem Grund hier nicht weiter diskutiert.

5.4. Verifikation anhand von Polizeiprotokollen

Im Zuge des Projekts „2-BE-SAFE“ wurden, zusätzlich zu den VERA Niederschlagsanalysen, Daten die aufgrund von Motorradunfällen in Österreich erhoben wurden, als Informationsquelle für Wetterinformationen herangezogen. Bei der Unfallaufnahme durch Polizeibeamte werden, zusätzlich zu vielen anderen unfallrelevanten Daten, auch Wetterinformationen festgehalten, die einen Hinweis auf die Niederschlagstätigkeit vor Ort geben. Da diese Meldungen als Tatsache angesehen werden können, eignen sich diese um die auf Gitterpunkte interpolierten Daten zu überprüfen bzw. zu verifizieren.

Vom Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV) wurden die Polizeiprotokolle von 2002 und 2003 herangezogen um die mit VERA interpolierten Wetterdaten aus diesen Jahren zu verifizieren. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Abbildung 5.8 dargestellt. Aufgrund der Tatsache, dass die VERA Analysen 3-stündig zur Verfügung stehen, die Unfälle aber meist zwischen diesen Zeitpunkten liegen, wurden für jeden Unfall jeweils die VERA Analyse vor und auch nach dem Unfallzeitpunkt herangezogen. Werden alle Motorradunfälle betrachtet (in der Abbildung ganz oben) zeigt sich, dass in nur 5% der Fälle die VERA Interpolation falsch gelegen ist. Das heißt in 95% der Fälle stimmt entweder der Analysewert vor oder nach dem Unfall, oder auch beide mit dem Unfallprotokoll „Niederschlag ja/nein“ überein. Betrachtet man nur die Unfälle an denen es laut Polizeiprotokoll trocken war (unten) zeigt sich ein fast ident gutes Ergebnis.

Wie auch schon in Abschnitt 5.3 besprochen, ergeben sich bei der statistischen Auswertung von ausschließlich Niederschlag 'ja' Ereignissen geringere Trefferquoten. Hierzu wird Abbildung 5.8 (mitte) herangezogen. An den Absolutzahlen der Unfälle fällt sofort auf, dass weitaus weniger Unfälle mit Niederschlag vorkommen. Dies soll aber die Verifikation nicht weiter stören, da die Anzahl für eine statistische Auswertung immer noch genügend groß ist. Bei dieser Betrachtung liegt die Gesamttrefferquote der Analysen nur noch bei 84%, dies ist aber immer noch als gutes Ergebnis zu bewerten.

Aus allen drei unterschiedlichen Auswertungen ergibt sich die mit Abstand immer beste Trefferquote für: „Analyse vor und nach dem Unfall ident mit dem Polizeiprotokoll.“ In den anderen Fällen ist die Trefferquote der Analyse vor dem Unfall immer höher als jene nach dem Unfall.

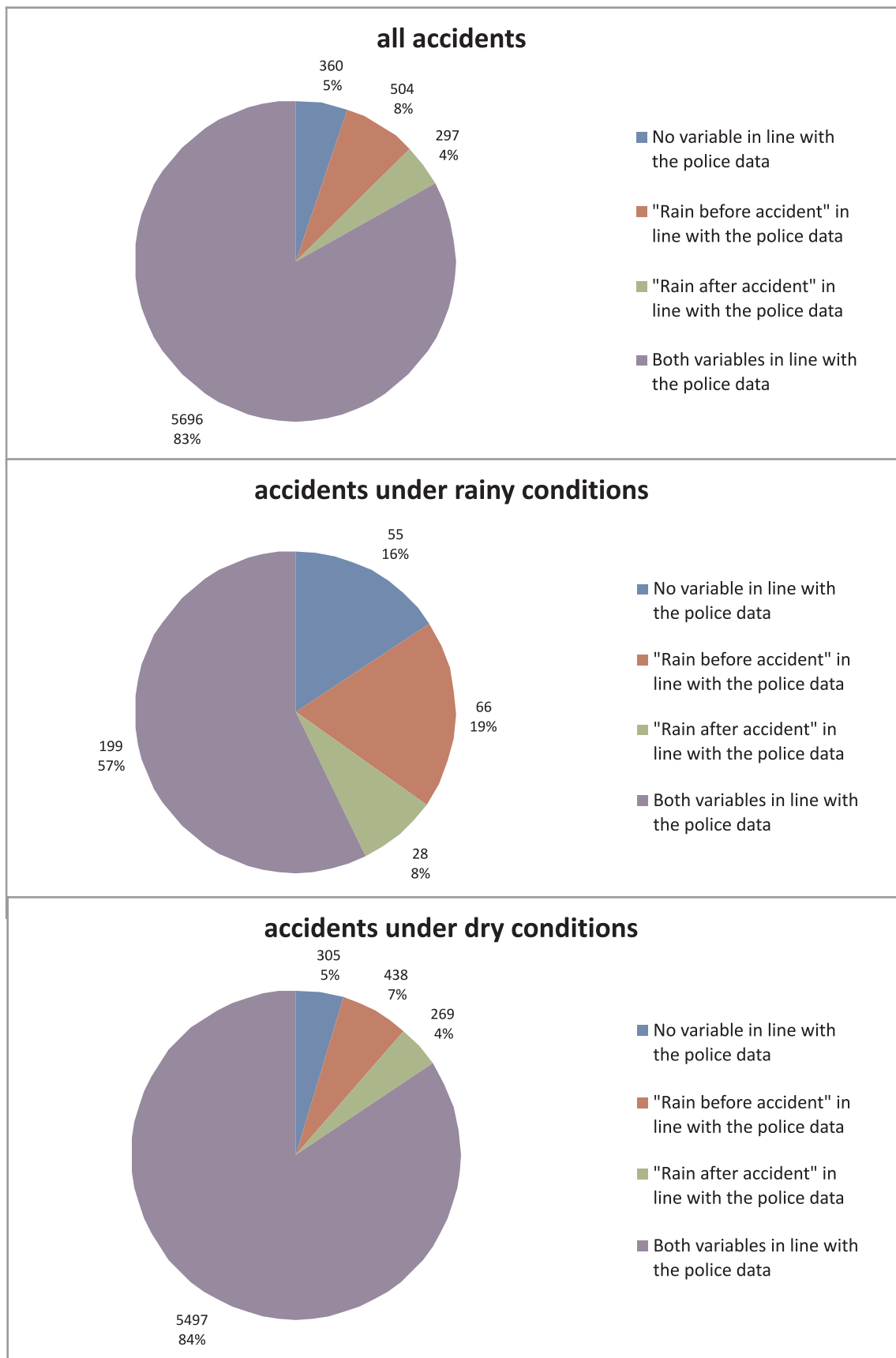


Abbildung 5.8.: Verifikation der VERA Niederschlagsanalysen mittels Polizeiprotokollen (nach Winkelbauer et al., 2010 [16])

Eine Gegenüberstellung der Skill Score Parameter aus der Cross Validation (vgl. Abschnitt 5.3) mit denen vom Vergleich Polizeiprotokoll vs. Analyse ergibt eine sehr gute Übereinstimmung (vgl. folgende Aufzählung). Die Skill Scores (PC, POD, POFD) basieren auf Werten in Tabelle 5.6 mit Threshold 0,5. Die Maßzahlen für den Vergleich Polizeiprotokoll vs. Analyse wurde aus Abbildung 5.8 abgeleitet.

Eine Gegenüberstellung der beiden Ansätze ist folgendermaßen möglich:

- PC Ergebnis = 85% - Trefferquote aus allen Polizeimeldungen (Gesamttrefferquote) Ergebnis = 95%
- POD Ergebnis = 81% - Trefferquote aus Polizeimeldungen mit Niederschlag 'ja' Ergebnis = 84%
- POFD Ergebnis = 14% - Anteil Fehllarme aus Polizeimeldungen mit Niederschlag 'nein' Ergebnis = 11%

Die in Abbildung 5.8 dargestellten Skill Score's sind zwar für die Jahre 2002 und 2003 berechnet, können aber um einen allgemeinen Überblick zu bekommen mit den Parametern aus der Cross Validation von 2004 verglichen werden. Dies ist gerechtfertigt, da es sich um eine Überprüfung des Gesamtkonzepts handelt und nicht um eine Überprüfung von Einzelereignissen. Eine Schwierigkeit ist dennoch zu beachten: da die Polizeimeldungen nur bei Motorradunfällen vorhanden sind und diese vermehrt bei 'schönem' Wetter auftreten dürfte aus diesem Grund die Gesamttrefferquote beim Polizeivergleich etwas höher liegen. Bei Betrachtung der Trefferquote der Niederschlag 'ja' Ereignisse und auch bei den Fehllarmen zeigt sich eine sehr schöne Korrelation.

5.5. Klimatologie

Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten eine Klimatologie der Niederschlagsintensitäten zu erstellen. In den Monaten der Realisierung dieser Diplomarbeit wurden viele Untersuchungen in sehr viele unterschiedliche Richtungen durchgeführt. Aus der Fülle der Verzweigungsmöglichkeiten kristallisierten sich einige signifikante Aspekte heraus, die hier präsentiert werden. Es wird wiederum nicht nur auf die Ergebnisse sondern auch stark auf die Zuverlässigkeit und die Herausforderungen der Betrachtungen eingegangen.

Bei klimatologischen Betrachtungen zur Niederschlagssttigkeit werden oftmals Niederschlags-tage pro Jahr ausgezählt und ausgewertet. In dieser Arbeit wird mit Meldungen von Augenbeob-achterInnen zur Niederschlagsintensität gearbeitet und daraus werden auch Niederschlagstage berechnet. Dies ist ein ungewöhnlicher Ansatz, denn die Definitionen eines Niederschlagstages beziehen sich meist auf die Einheit [mm/Tag] und nicht auf die Niederschlagsintensität:

„Ein Niederschlagstag ist ein Tag, mit einer 24-stndigen gemessenen Niederschlagshöhe $\geq 0,1\text{mm}$ ($0,1\text{l/qm}$)“ (www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/ [9.6.2010]).

Wobei auch die Publikation von Niederschlagstagen mit anderen 24h Summen üblich ist. Auf www.zamg.ac.at/ [9.6.2010] stehen sterreichische Klimadaten frei zur Verfügung. Dort ist unter anderem die mittlere Zahl der Tage pro Jahr mit Niederschlagssumme $\geq 1\text{mm}$ bzw. $\geq 10\text{mm}$ für viele sterreichische Stationen angeführt. Einige Werte daraus sind in Tabelle 5.7 zusammengefasst.

Tabelle 5.7.: *Mittlere Anzahl der Tage pro Jahr mit Niederschlagssumme ≥ 1 bzw. ≥ 10 [mm] (Quelle: www.zamg.ac.at/klima [9.6.2010])*

Station	Tage mit Summe ≥ 1 [mm]	Tage mit Summe ≥ 10 [mm]
Wien HW	94.8	16.6
St. Pölten	101.4	18.6
Schwechat	84.1	14.2
Eisenstadt	89.9	18.0
Linz	125.1	24.3
Graz	90.9	26.5
Klagenfurt	91.9	29.1
Salzburg	140.7	40.0
Innsbruck	118.2	27.2
Bregenz	140.8	52.4
Mittelwert	107.8	26.7

Der in dieser Arbeit verwendete Parameter der Niederschlagsintensität, bestimmt durch AugenbeobachterInnen zu einem Zeitpunkt, erzeugt keine direkte Aussage über die Niederschlagsmenge in der Einheit [mm]. Somit ist ein Vergleich nur mit Einschränkungen möglich. Der Vorteil der hier behandelten Methode ist jedoch, dass bereits kurze sehr leichte Niederschläge erfasst werden und, wenn gewünscht, in die Klimatologie eingehen können. Dies kann von der obigen Definition eines Niederschlagstages abweichen, da durchaus sehr leichte Niederschläge beobachtet werden, die in der Menge gar nicht messbar sind und somit bei der üblichen Definition nicht gezählt werden. Da die Betrachtungsweise, bei der auch schon Tage mit sehr leichten, nicht messbaren Niederschlägen als Niederschlagstage gewertet werden außergewöhnlich aber

durchaus interessant ist, wird sie im Folgenden Anwendung finden. Die Ergebnisse liefern überraschend hohe Werte an Niederschlagstagen pro Jahr.

Naheliegender ist die Auswertung von Stationszeitreihen. Schnell stößt man bei dieser Herangehensweise aber an Grenzen. Wie auch schon in Abschnitt 3.1 besprochen, gibt es immer wieder Lücken in diesen Zeitreihen, somit sind nur wenige Stationen für eine klimatologische Auswertung brauchbar. Um möglichst alle vorhandenen Daten verwenden zu können, werden in dieser Arbeit die zeitlich und räumlich unregelmäßig verteilten Stationsmeldungen durch die Interpolation der einzelnen Zeitpunkte mithilfe des VERA Interpolationsschemas ausgeglichen. Ergebnisse und Qualitätstests von Einzelereignissen wurden bereits in Abschnitt 5.2 und 5.3 diskutiert, deren positive Ergebnisse legen nahe, dass auch klimatologische Auswertungen dieser produzierten Gitterpunktsdaten durchaus Sinn haben.

Der Vorteil von Stationszeitreihen im Gegensatz zu Gitterpunktszeitreihen ist, dass die Ergebnisse als Tatsachen angesehen werden können. Bei den Analysen stellt sich das etwas komplizierter dar, denn die besprochene Anwendung verschiedener Schwellwerte auf die Analysen hat hier direkte Auswirkungen auf klimatologische Aussagen. Aus diesem Grund ist wiederum eine Diskussion dieser Thresholds nötig. Es wurden klimatologische Auswertungen von fast lückenlosen Stationszeitreihen mit Gitterpunktzeitreihen verglichen um den möglichst Besten zu bestimmen. In Abbildung 5.9 wird am Beispiel Flughafen Linz (LOWL) der Unterschied von Auswertungen der Stationszeitreihen und der Gitterpunktszeitreihen mit verschiedenen Thresholds veranschaulicht. Als Beispiel herangezogen wurde diese Station aufgrund der fast lückenlosen Datenzeitreihe. Ausgewertet wurde die Anzahl der Niederschlagstage pro Jahr zwischen 1971 und 2005. Als Niederschlagstag wird bei Stationswerten ein Tag gerechnet, an dem zumindest einmal Niederschlag (vgl. Abschnitt 5.1) gemeldet wurde. Bei den Gitterpunktswerten (GP) werden jene Tage als Niederschlagstag gewertet, an denen mindestens zu einem Zeitpunkt die Analyse einen Wert $\geq$ Threshold ergibt. Dass diese Werte von denen in Tabelle 5.7 (links) stark abweichen, ist auf die Tage mit Niederschlag zurückzuführen, an denen weniger als 1mm gemessen wurde.

Es zeigt sich, dass die Niederschlagstage pro Jahr durch die Analysen mit dem Threshold 0.5 praktisch immer überschätzt werden, zum Teil auch recht deutlich. Zieht man den Threshold 1.0 heran, unterschätzt man diese. Wie auch schon im Zuge der Cross Validation in Abschnitt 5.3 zeigt sich auch hier, dass der Schwellwert von 0.75 die beste Lösung darstellt. Bei diesem wird manchmal leicht überschätzt, aber auch manchmal leicht unterschätzt.

Betrachtet man die Entwicklung der Niederschlagstage pro Jahr am Beispiel Linz, zeigen sich jährliche Schwankungen mit dem Minimum an Niederschlagstagen im Jahr 2003 und einem

Maximum im Jahr 1995. Dass das Minimum an Niederschlagstagen im Jahr 2003 liegt passt gut zu den unterdurchschnittlichen Niederschlagssummen (www.zamg.ac.at/klima (25.03.2011)) in diesem Jahr. Das Jahr 2002 mit seinen überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen sticht in der Anzahl an Niederschlagstagen nicht besonders hervor. Dies zeigt, dass die Anzahl an Niederschlagstagen pro Jahr nicht zwingend mit den Niederschlagssummen pro Jahr korrelieren muss. Ein Trend in den Niederschlagstagen pro Jahr lässt sich an diesem Beispiel nicht ablesen. Wie an der Zeitreihe von Linz in Abbildung 5.9 dargestellt ist, gibt es jährliche Schwankungen in den Niederschlagstagen pro Jahr. Diese können sehr lokal begrenzt sein und auch eine sehr stark variierende Amplitude aufweisen. Darum ist es sinnvoll, eine Mittelung über eine Klimanormalperiode von 30 Jahren durchzuführen. Eine flächige Darstellung der mittleren Niederschlagstage pro Jahr im Alpenraum mit unterschiedlichen Threshold's ist in Abbildung 5.10 dargestellt. Betrachtet wird hier eine Klimanormalperiode zwischen 1976 und 2005. Man erkennt sofort, dass die Anzahl der mittleren Niederschlagstage pro Jahr auch in dieser flächigen Darstellung stark vom gewählten Schwellwert abhängt. Mit den vorangegangenen Erkenntnissen empfiehlt sich der Threshold 0.75 als am nächsten an der Wahrheit. Klimatologisch betrachtet zeigt sich der Einfluss der Alpen sehr deutlich. Entlang bzw. nördlich der Alpen ergeben sich signifikant höhere Werte an mittleren Niederschlagstagen pro Jahr als südlich der Alpen. Der stärkste Gradient in den Isolinien liegt knapp südlich des Alpenhauptkamms. Richtung Mittelmeerraum sinkt die Anzahl der Niederschlagstage pro Jahr schnell ab. Zur Tatsache, dass Werte jenseits der 200 Niederschlagstage pro Jahr berechnet werden, sei wieder gesagt, dass bei diesen Analysen auch schon sehr leichte, sogar nicht messbare Niederschläge in die Berechnungen der Niederschlagstage miteingehen. Denkt man aber zum Beispiel an herbstliche oder winterliche Hochdrucktage an denen es zwar keinen messbaren Niederschlag gibt, es jedoch immer wieder aus dem Hochnebel heraus leicht nieselt, oder auch an Warmfronten, aus denen es nicht messbar nieseln kann, werden die Ergebnisse durchaus nachvollziehbar.

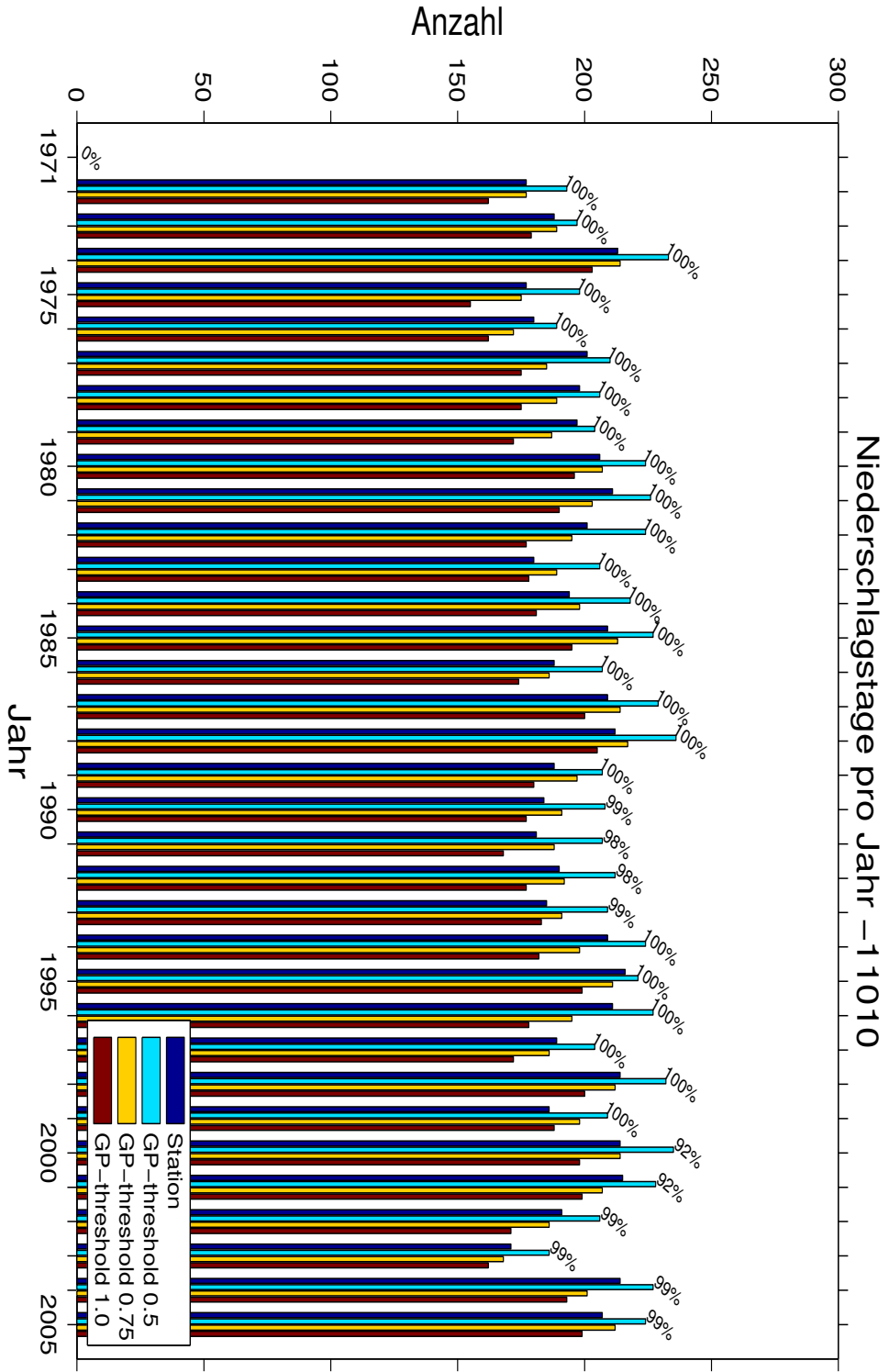


Abbildung 5.9.: Niederschlagstage pro Jahr (mitgerechnet sind auch sehr leichte Niederschläge vgl. Abschnitt 5.1) an der Station Flughafen Linz (LOWL); Vergleich von Auswertungen aus Zeitreihen der Stationswerte (Station, dunkelblau) und der Gitterpunktswerte (GP) aus VERA-Analysen mit verschiedenen Thresholds (blau: 0,5; gelb: 0,75; rot: 1,0). Relativer Anteil der vorhandenen Meldungen [%] im jeweiligen Jahr (über den Balken).

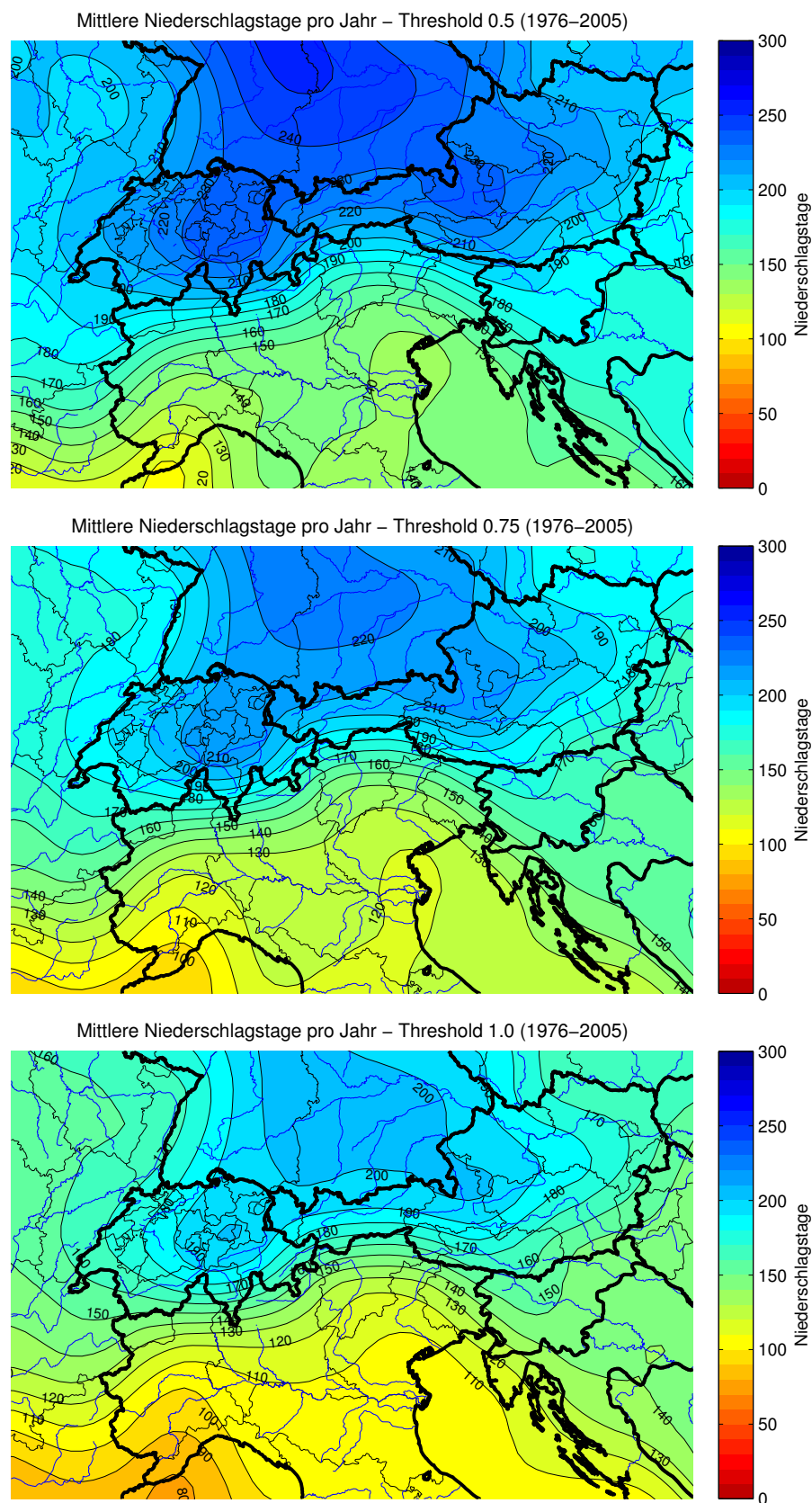


Abbildung 5.10.: Mittlere Niederschlagstage pro Jahr (Isolinienabstand 10; geglättet) im Alpenraum; berechnet für verschiedene Thresholds (oben: 0.5; mitte: 0.75; unten: 1.0)

Will man die hier berechneten Analysen mit anderen Publikationen vergleichen, empfiehlt es sich, sehr leichte Niederschläge nicht in die Berechnung der Niederschlagstage pro Jahr mitgehen zu lassen. In Abbildung 5.11 wird ein Vergleich mit den Ergebnissen eines anderen Autors durchgeführt. Dass nicht exakt der gleiche Zeitraum dargestellt ist, spielt für diesen qualitativen Vergleich keine große Rolle. Es zeigen sich verbreitet gute Übereinstimmungen, wobei mit der für diese Arbeit entwickelten Methode weniger geglättet wird und somit mehr Strukturen dargestellt werden. Zu beachten ist, dass hier bei den Auswertungen der VERA Analysen (oben) der Threshold 1,5 verwendet wurde, da sich dieser besser für den Vergleich mit anderer Literatur eignet. Grund dafür liegt in der bereits oben erwähnten unterschiedlichen Definition der Niederschlagstage pro Jahr.

Bei Betrachtung der örtlichen Verteilung fällt als erstes sofort ein starkes Nord-Süd Gefälle auf. Während die höchste Anzahl an Niederschlagstagen pro Jahr in den nordwestlichen Bereichen Großbritanniens und Irlands erzielt wird, gibt es hingegen vor allem in den südlichen Bereichen des Mittelmeerraums weitaus weniger Niederschlagstage. Ein starker Gradient verläuft dabei an den Ostalpen beginnend entlang der Alpen weiter an der südfranzösischen Mittelmeerküste über die Pyrenäen und entlang der nordspanischen Atlantikküste bis Portugal.

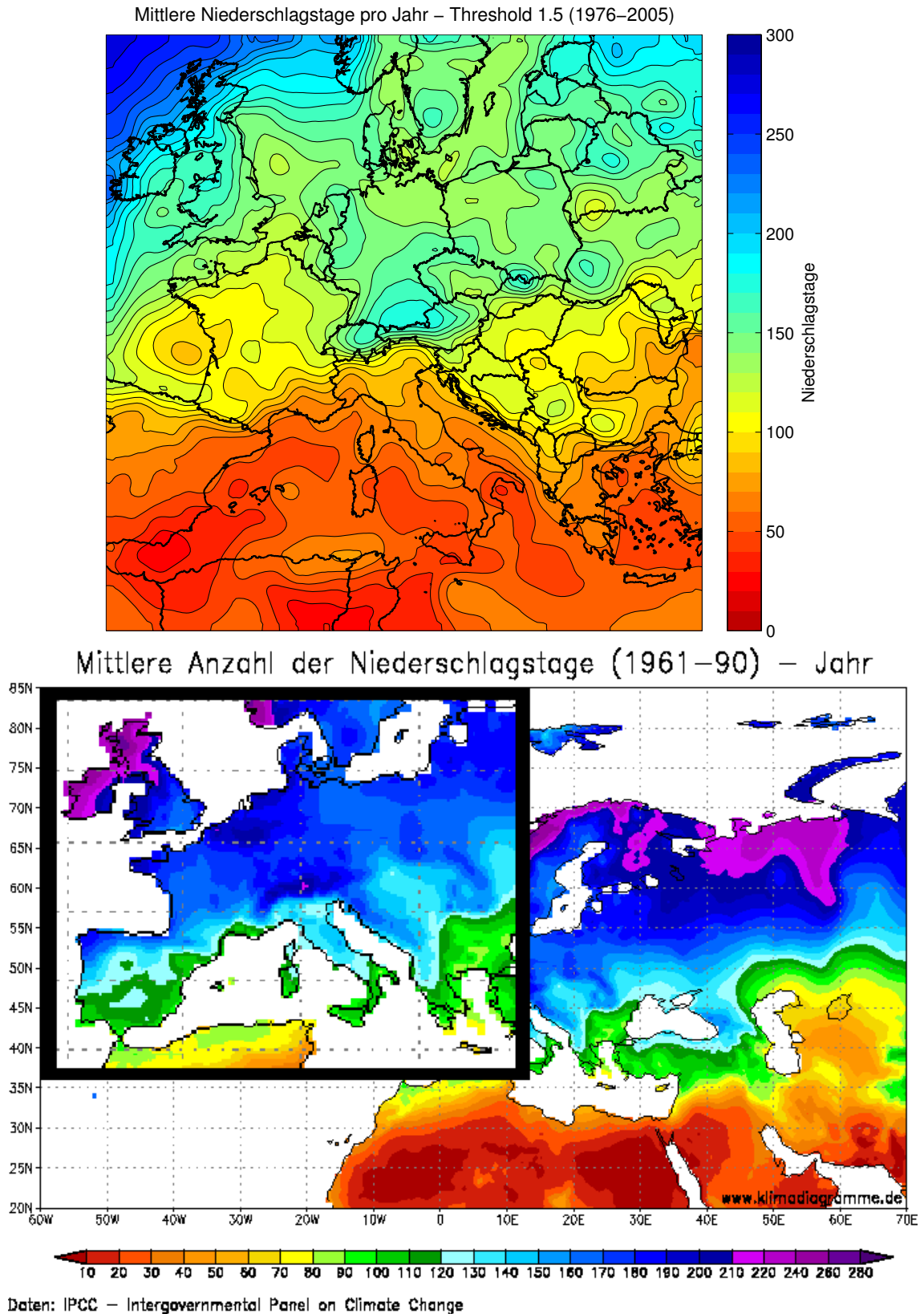


Abbildung 5.11.: Mittlere Niederschlagstage pro Jahr; oben: MESOCLIM-Europaausschnitt berechnet aus VERA-Analysen (Isolinienabstand 10; geglättet; Threshold: 1,5); unten: Großraum Europa (Quelle: www.klimadiagramme.de [28.06.2010])

5.5.1. Trend

Auf der Suche nach Trends in der Anzahl der Niederschlagstage pro Jahr soll hier die Differenz zwischen dem Mittel des letzten Jahrzehnts (1996-2005) und dem Mittel des Gesamtzeitraums (1976-2005) herangezogen werden (siehe Abbildung 5.12). Betrachtet man den Alpenraum, bildet sich ein nur schwacher Trend ab, der in Richtung Reduktion der Niederschlagstage zeigt. Eine starke Abweichung von minus 15 Niederschlagstagen liegt im Bereich der italienischen Provinz Lombardei bzw. den schweizer Kantonen Tessin und Graubünden, im Südalpenbereich.

Auch der gesamte Mittelmeerraum und die atlantischen Küstengebiete zeigen mit Ausnahme des südlichsten Teils Italiens Richtung Reduktion an Niederschlagstagen. Während sich in Mitteleuropa kaum Trends abzeichnen, ist die Anzahl der Niederschlagstage Richtung Osteuropa auch gefallen.

Der negative Extremwert von minus 25 Niederschlagstagen pro Jahr in der Nordsee sollte aufgrund des dortigen ausserordentlich geringen Stationsdichte (vgl. Abbildung 3.2) nicht überinterpretiert werden.

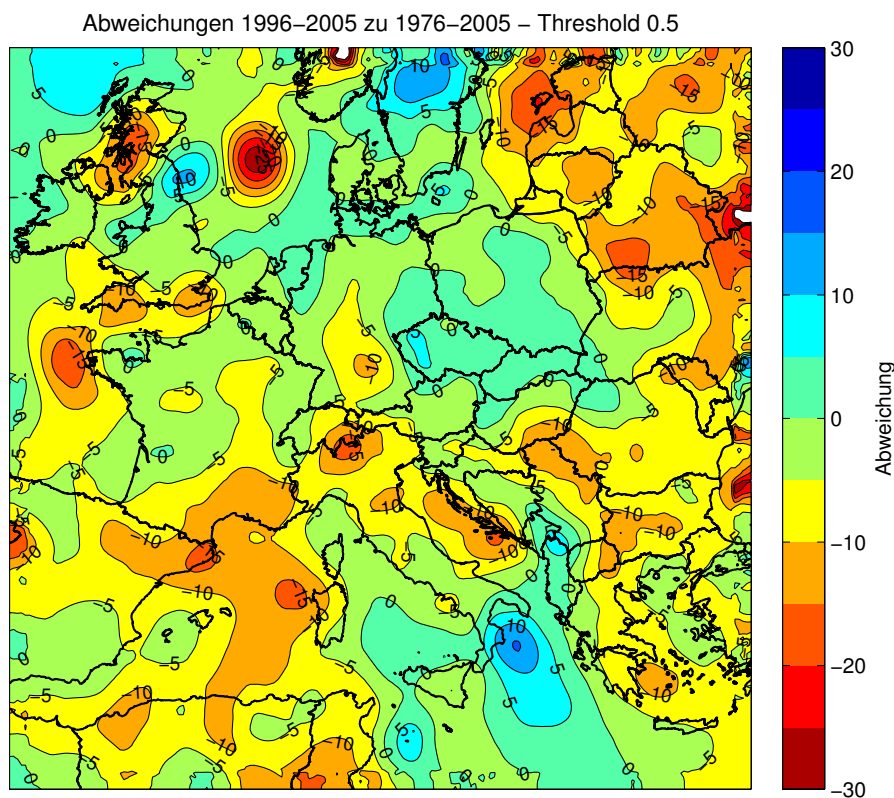


Abbildung 5.12.: Abweichungen der mittleren Niederschlagstage 1996 bis 2005 im Vergleich zum 30 jährigen Mittel (Isolinienabstand 5; geglättet)

5.6. Niederschlagstyp

Nicht nur die Niederschlagsintensität ist von Interesse, sondern auch der Niederschlagstyp. Betrachtet wird hier die Unterscheidung „schauerartiger“ und „stratiformer“ Niederschlag.

- Schauerartiger Niederschlag (auch als konvektiver Niederschlag bezeichnet): hierbei handelt es sich um zeitlich und räumlich enger begrenzte Niederschlagsereignisse. Typische Wolkentypen aus denen Niederschlag dieser Art fällt sind Cumulonimbus praecipitatio oder Cumulus praecipitatio Wolken.
- Stratiformer Niederschlag (auch als Landregen bekannt): so werden relativ zum „Schauer“ zeitlich und räumlich ausgedehntere Niederschlagsereignisse bezeichnet. Stratiformer Niederschlag fällt klassischerweise aus Nimbostratus praecipitatio Wolken.

„Beim Niederschlag muss man zwei Arten unterscheiden, so den Regen bzw. Schneefall aus Schichtwolken, der regelmäßig fällt und längere Zeit anhält, und die Schauer in Form von Regen, Schnee, Graupel oder Hagel, die aus Cumuluswolken fallen, stark in der Intensität wechseln, räumlich eng begrenzt sind (einige Kilometer) und nur wenige Minuten bis zu einer halben Stunde andauern.“ (Klose, 2008, S. 126 [5])

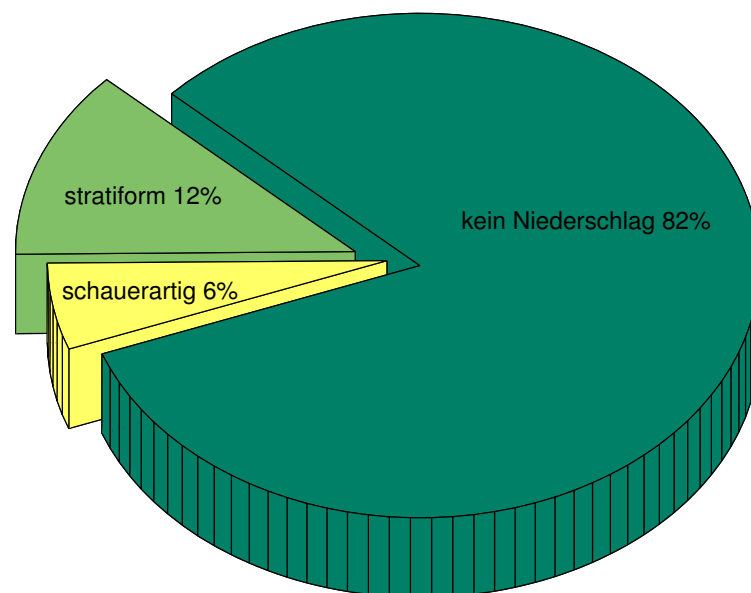


Abbildung 5.13.: Relative Verteilung aller vorhandenen Meldungen im Großraum Europa 1971-2005: kein Niederschlag; stratiformer Niederschlag; schauerartiger Niederschlag (Gesamtanzahl der Meldungen: 81307882)

Ähnlich der Einteilung für die Niederschlagsintensität (vgl. Abschnitt 5.1) werden die 100 möglichen ww-Wettermeldungen in kein Niederschlag, stratiformer Niederschlag und schauerartiger Niederschlag eingeteilt. Für das Projekt „2-BE-SAFE“ war es ein Ziel, für alle aus der Niederschlagsintensitätsanalyse hervorgebrachten Niederschlagsereignisse die Zusatzinformation Niederschlagstyp zu berechnen. Es wurden Programme entwickelt die mittels 'nearest neighbor' Interpolation zu jedem Gitterpunkt und jedem Zeitpunkt mit Niederschlagsereignis die geforderte Zusatzinformation berechnet. Die 'nearest neighbor' Interpolation zieht für jeden Gitterpunkt den Wert der geographisch nächstliegenden Station heran. Diese Interpolationsmethode wurde aus folgendem Grund gewählt: anders als bei Parametern wie Niederschlagsintensität, Druck, Temperatur usw. macht z.B. eine lineare oder spline Interpolation hier keinen Sinn, da es keinen Bereich zwischen stratiform und schauerartig gibt. Es gibt nur entweder stratiformen oder schauerartigen Niederschlag. Aufgrund der für die AugenbeobachterInnen manchmal schwer zu unterscheidenden Niederschlagsformen, kann es natürlich vereinzelt vorkommen, dass manchmal abrupte Wechsel zwischen den beiden Formen entstehen.

Hier wird aber nicht auf die Verknüpfung mit den Niederschlagsintensitäten, sondern auf den Niederschlagstyp im einzelnen eingegangen. Es werden Auswertungen durchgeführt, die nicht auf interpolierten Gitterpunktsdaten beruhen, sondern es werden die ursprünglichen Stationswerte herangezogen. Es gibt im Zeitraum 1971-2005 (102272 Termine) insgesamt ca. 81 Millionen ww-Meldungen von gesamt 3828 Stationen. 82% aller ww-Meldungen im Großraum Europa zeigen keinen Niederschlag, 18% zeigen Niederschlag an (vgl. Abbildung 5.13). Von den ca. 14 Millionen gemeldeten Niederschlagsereignissen sind 2/3 vom Typ stratiform und nur 1/3 schauerartig.

Abbildung 5.14 zeigt die Verteilung aller ww-Meldungen in Abhängigkeit von der Uhrzeit. Ein leichter Tagesgang in der Anzahl der trocken Meldungen ist zu erkennen. Diese bewegen sich zwischen 80 und 85% der Gesamtmeldungen. Die meisten Niederschlagsereignisse wurden tagsüber zum 15 UTC Termin gemeldet. Stratiforme Niederschläge sind relativ gleichmäßig über alle Termine verteilt, hingegen schauerartige Niederschläge finden vermehrt tagsüber statt. Die meisten Schauertätigkeiten finden zum 15 UTC Termin statt, da die konvektiven Phasen durch den Tagesgang der Sonneneinstrahlung am Nachmittag ihr Maximum haben.

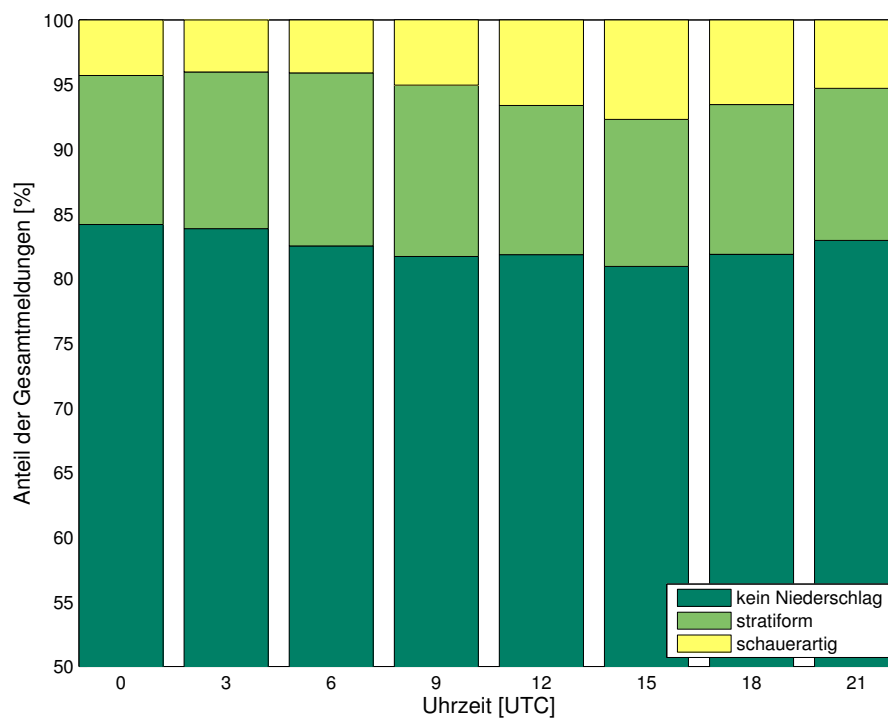


Abbildung 5.14.: Unterteilung aller vorhandener Meldungen im Großraum Europa 1971-2005 in Abhängigkeit von der Uhrzeit: kein Niederschlag; stratiformer Niederschlag; schauerartiger Niederschlag

6. Gewitteranalyse

6.1. Methodik

Wie bei der Niederschlagsanalyse (vgl. Abschnitt 5.1) werden hier die 100 möglichen ww- Verschlüsselungen der BeobachterInnen in Gewitter 'ja' oder Gewitter 'nein' eingeteilt. Anschließend wird mittels VERA eine Interpolation auf ein regelmäßiges 16x16km Gitter durchgeführt. Gewitter 'ja' geht in die Analysen als die Zahl 1 ein, Gewitter 'nein' als 0. Diese Interpolationen wurden wieder für jeden Zeitpunkt (3-stündig) für den MESOCLIM Europaausschnitt für den Zeitraum 1971 bis 2005 durchgeführt, wobei erst ab 1976 ausreichend Daten vorhanden waren.

Da durch die Interpolation der ganzen Zahlen von den Stationswerten, reelle Zahlen an den Gitterpunkten entstehen, wird für die Auswertung der Analysen folgende Konvention eingeführt, die gute Ergebnisse erbringt:

- Analysewert $\geq 0,5$ bedeutet Gewitter 'ja'
- Analysewert $\leq 0,5$ bedeutet Gewitter 'nein'

6.2. Klimatologie

Um die Gewitterhäufigkeiten von verschiedenen Orten vergleichen zu können, hat sich der Ke-raunische Pegel etabliert. Dieser gibt die Anzahl der Gewittertage pro Jahr an einem bestimmten Ort an.

„Ein Gewittertag ist per Definition ein lokaler Kalendertag, in dessen Verlauf mindestens ein Donner gehört wird, wobei der mittlere Hörbarkeitsbereich eines Donners bei 15 km liegt, der maximale bei 25 km.“ (Klose, 2008, S. 307 [5])

Die meisten Gewittertage treten dort auf, wo am Oberrand der Atmosphäre die größte jährliche Sonneneinstrahlung herrscht, also im innertropischen Bereich (siehe Abbildung 6.1). Die kontinentalen Gewitter treten hauptsächlich in den Nachmittagstunden auf, die nächtlichen Gewitter haben ein Maximum über den tropischen Meeren. Mehr als 180 Gewittertage pro Jahr werden zum Beispiel in Teilen des Amazonas- und Kongobeckens, in Oberguinea und im Südwesten Kenias gemeldet. Für Mitteleuropa wird eine Gewitterhäufigkeit von 20 bis 30 Tagen pro Jahr angegeben. Nordskandinavien liegt mit 5 Gewittertagen pro Jahr im unteren und das Alpenvorland mit bis zu 40 Tagen im oberen Bereich. (nach Klose, 2008 [5])

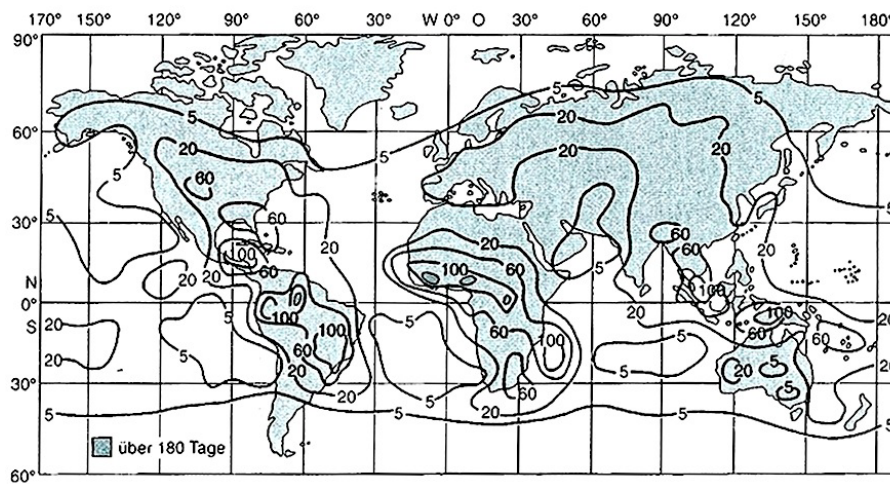


Abbildung 6.1.: Anzahl der mittleren Gewittertage pro Jahr (Keraunischer Pegel); (Quelle: Häckel, 1999 [3]);

Auswertungen der 3-stündigen VERA-Interpolationen für den Zeitraum 1976 bis 2005 sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Diese zeigt mit stärkeren Strukturen den mittleren Keraunischen Pegel für den MESOCLIM Europaausschnitt. Sofort erkennt man, dass in den nördlichen Teilen, im speziellen in Großbritannien und in Skandinavien kaum Gewittertage auftreten. Viele Tage mit Gewitter sind im nördlichen Alpenvorland (Oberbayern und Salzburg) zu finden. Die meisten Gewittertage treten südlich der Alpen, von Kärnten bis zum Adria Raum, dem Gebiet um Istrien, auf. Kontinentale Maxima befinden sich zum Beispiel in Rumänien. Ansonsten sind bevorzugte Gewittergebiete eher auf die Küstengebiete konzentriert. Erwähnenswert die Kroatische Adriaküste, die orographisch bedingt durch das Dinarische Gebirge, Gewitterbildung fördert. Entlang dieser Küste bis über Griechenland sind immer wieder Maxima an Gewittertagen pro Jahr zu finden. Ebenfalls auffällig mit sehr beachtlichen Werten, die Küstengebiete von Tunesien und Algerien.

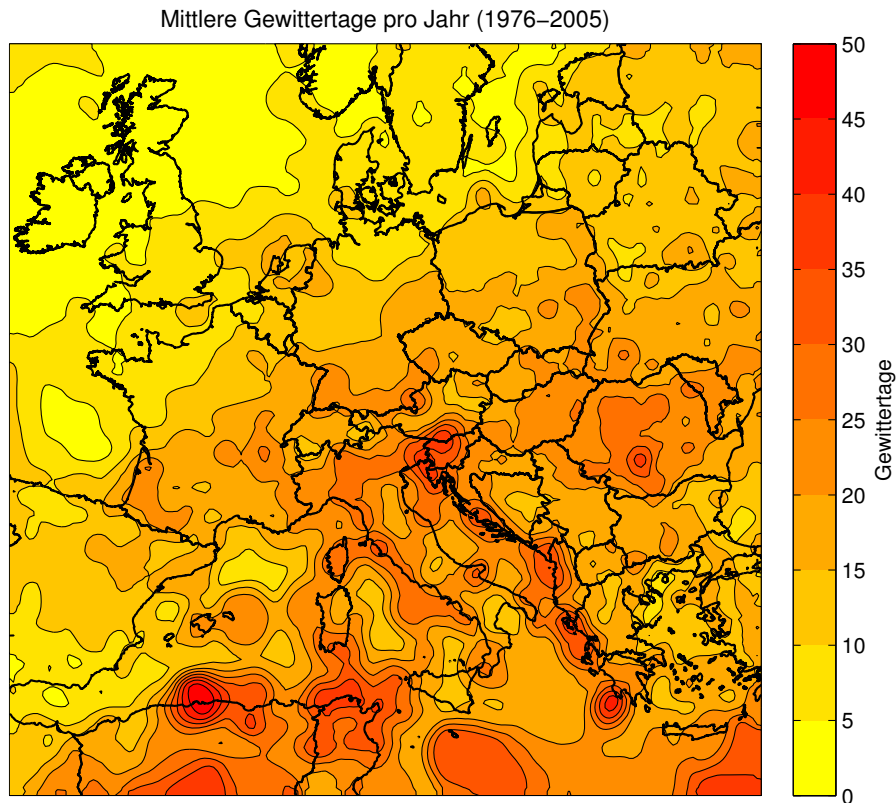


Abbildung 6.2.: Anzahl der mittleren Gewittertage pro Jahr (Keraunischer Pegel); Auswertungen aus VERA Analysen - MESOCLIM Europaausschnitt (Isolinienabstand 5; geglättet)

Für einen genaueren Blick auf den Alpenraum und im speziellen auf Österreich, sind in Abbildung 6.3 sowohl Auswertungen aus fast lückenlosen Stationszeitreihen der österreichischen Flughäfen (oben) als auch flächige Auswertungen der Gitterpunktszeitreihen aus den VERA Interpolationen (unten) zu finden. Betrachtet man die Berechnungen aus den Stationszeitreihen ergeben sich für Österreichs Flughäfen im Mittel gut 20 bis knapp 45 Gewittertage pro Jahr. Am meisten Gewittertage werden in Klagenfurt aufgezeichnet, die wenigsten in Schwechat bzw. Linz. Vergleicht man die erste mit der zweiten Hälfte des Zeitraums 1976 bis 2005, zeigt sich in ganz Österreich ein leichter Rückgang in der Gewittertätigkeit. Als Vergleich dazu sind in Abbildung 6.3 (unten) die Auswertungen aus den Gitterpunktszeitreihen der mittels VERA interpolierten Einzelereignisse flächig dargestellt. Es zeigt sich ein recht ähnliches Bild, wie bereits die Auswertungen aus den Stationszeitreihen vermuten ließen. Es finden sich ausgeprägte Maxima an Gewittertagen im Alpenvorland und inneralpine Minima. Die stärkste Gewittertätigkeit gibt es im Südalpenbereich speziell vom Kärntner Unterland bis in den oberen Adria-raum. Die geringen Werte im Grenzgebiet zwischen Niederösterreich und der Steiermark im Wechselgebiet überraschen etwas und werden daher in Abschnitt 6.2.4 noch näher behandelt.

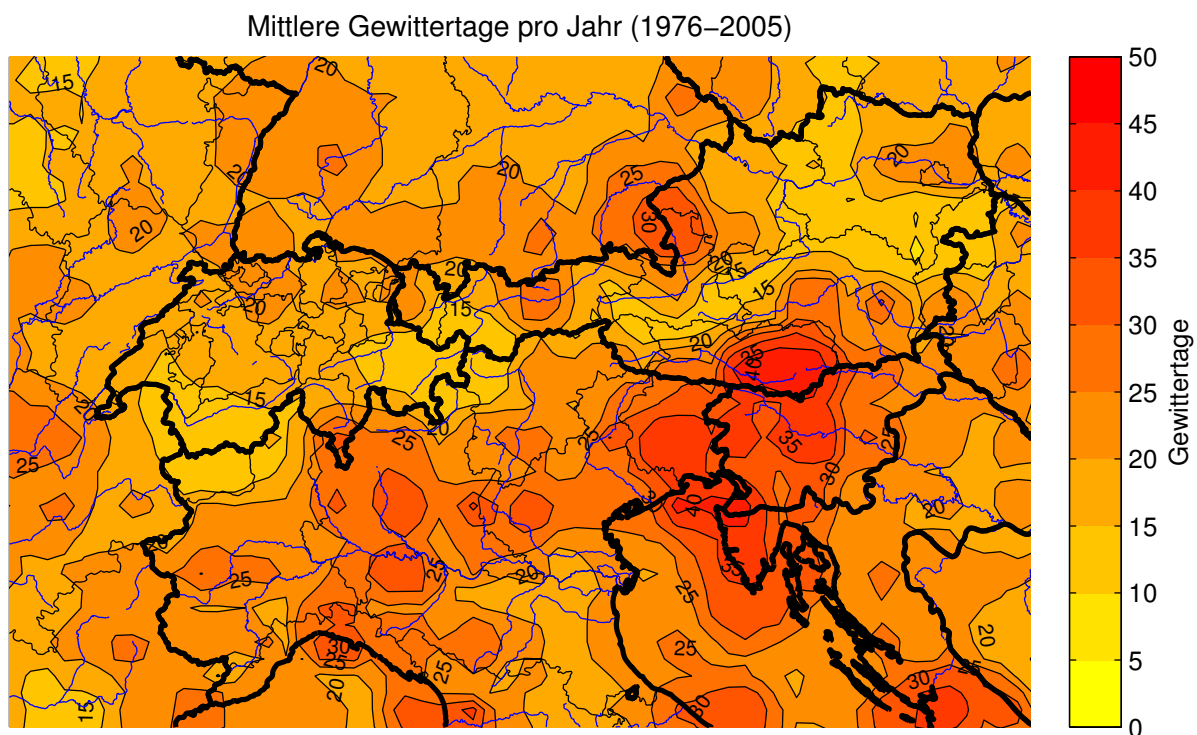
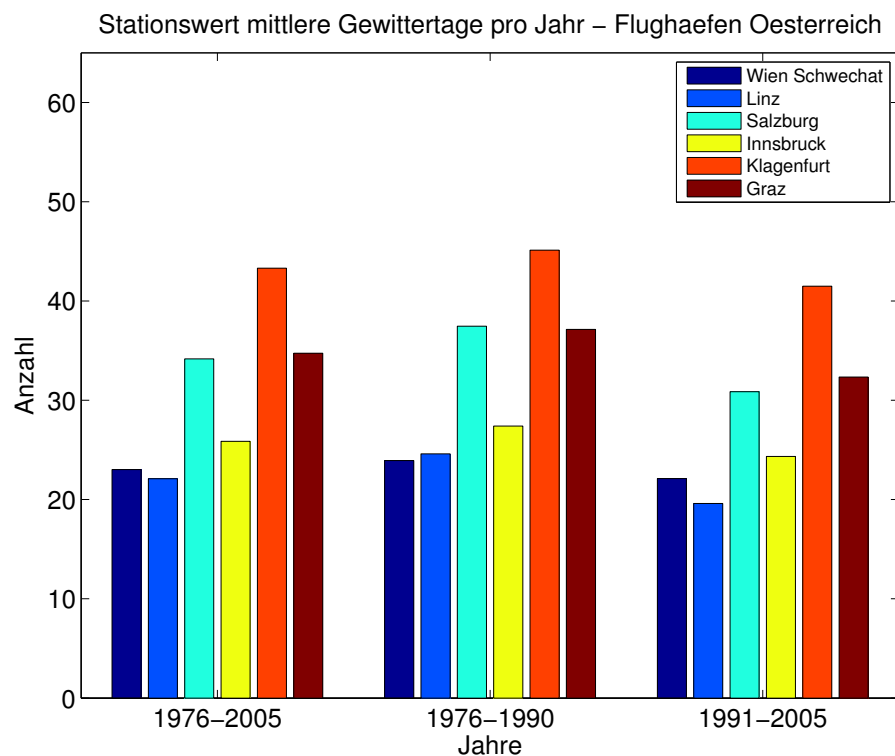


Abbildung 6.3.: *Mittlere Gewittertage pro Jahr in Österreich; oben: Auswertungen aus Stationszeitreihen der österreichischen Flughäfen - Mittelwert für verschiedene Zeiträume; unten: Auswertungen aus VERA-Analysen für den Alpenraum - Mittelwert für 1976 bis 2005 (Isolinienabstand 5; geglättet);*

6.2.1. Trend

Um einen Trend im Keraunischen Pegel zu erkennen wird hier die Abweichung zwischen dem Zeitraum 1996 bis 2005 und dem langjährigen Mittel 1976 bis 2005 herangezogen (siehe Abbildung 6.4). Beinahe im gesamten west- und mitteleuropäischen Raum ist fast keine Tendenz oder eine leichte Abnahme der Gewittertage pro Jahr zu erkennen.

Im Mittelmeerraum wurde eine teils bedeutend geringere Anzahl an Gewittertagen beobachtet, dagegen treten im kontinentalen Osteuropa etwas mehr Tage mit Gewitter auf.

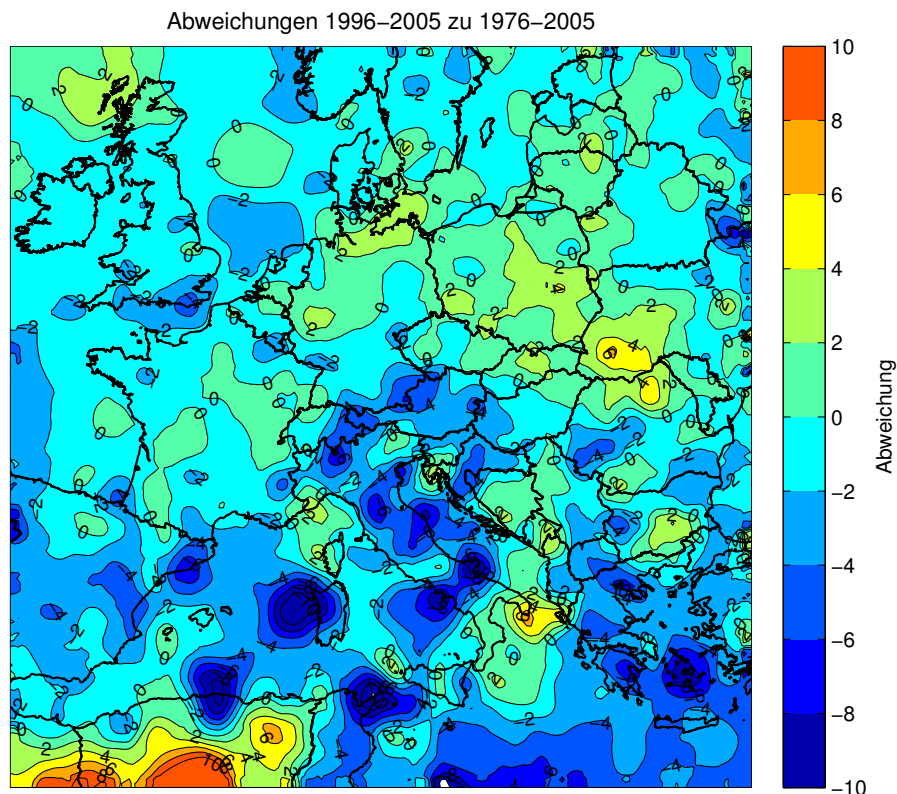


Abbildung 6.4.: Abweichungen der mittleren Gewittertage 1996 bis 2005 im Vergleich zum 30 jährigen Mittel (Isolinienabstand 2; geglättet)

6.2.2. Verteilung der Gewitterhäufigkeiten abhängig von der Tageszeit

Eine weitere Fragestellung lautet: Sind Gewittertätigkeiten von der Tageszeit abhängig? Um dieser Frage nachzugehen wurden verschiedene Ansätze überlegt und getestet. Der Sinnvollste schien zu sein, die Gewitter in zwei Typen einzuteilen: nächtliche Gewitter zwischen 0 und 9 UTC und tageszeitliche Gewitter zwischen 12 und 21 UTC;

In Abbildung 6.5 ist die mittlere Anzahl der Gewittertage pro Jahr dargestellt wenn man jeweils nur nächtliche Gewitter (links) bzw. tageszeitliche Gewitter (rechts) heranzieht. Am Beispiel Nordostösterreich erkennt man, dass bei alleiniger Betrachtung von nächtlichen Gewittern im langjährigen Mittel nur 0 bis 5 Gewittertage pro Jahr beobachtet wurden.

Nächtliche Gewitter beschränken sich hauptsächlich auf die Küstengebiete. Erwähnenswert ist dabei nicht nur der gesamte Mittelmeerraum und die französische Atlantikküste, interessant ist auch ein lokales Maximum an der Nordseeküste der Beneluxstaaten. Tagsüber werden die Gewitter im allgemeinen häufiger und auch innerkontinental treten sie vermehrt auf.

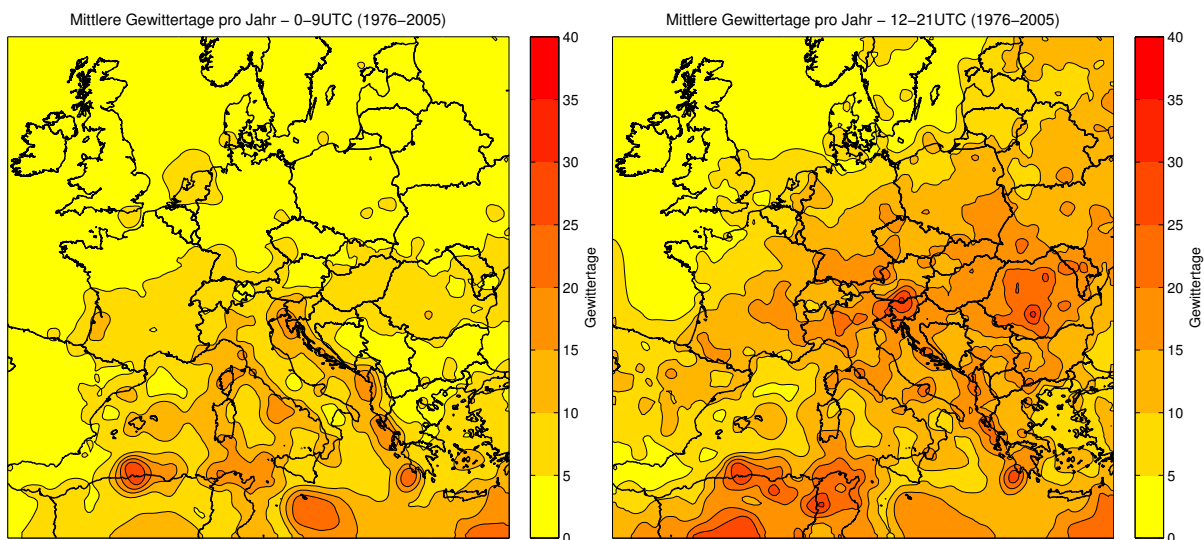


Abbildung 6.5.: Gewitterhäufigkeiten abhängig von der Tageszeit - links: mittlere nächtliche Gewittertage pro Jahr; rechts: mittlere tageszeitliche Gewittertage pro Jahr; (Isolinienabstand 5; geglättet)

6.2.3. Verteilung der Gewitterhäufigkeiten abhängig von der Jahreszeit

Um ein Gefühl für die Unterschiede in den Gewittertätigkeiten mit den Jahreszeiten zu bekommen wurden die Gewittertage auch nach diesem Kriterium ausgewertet (siehe Abbildung 6.6).

Im Frühling kommt es überall vereinzelt zu Gewittern, die Anzahl ist aber sehr gering. Die weitaus meisten Gewittertage finden sich fast durchwegs in den konvektiv aktivsten Sommermonaten. Kontinentale Gewitter treten fast ausschließlich in diesem Zeitraum auf. Im Herbst ziehen sich die Gewitter in die südlichen maritimen Gebiete zurück. Ausnahmen finden sich in den Küstengebieten der Nordsee. Im Mittelmeerraum werden zum Teil im Herbst sogar mehr

Gewitter beobachtet als im Sommer. Im Winter werden nennenswerte Gewittertage nur noch in den südlichsten Küstengebieten aufgezeichnet.

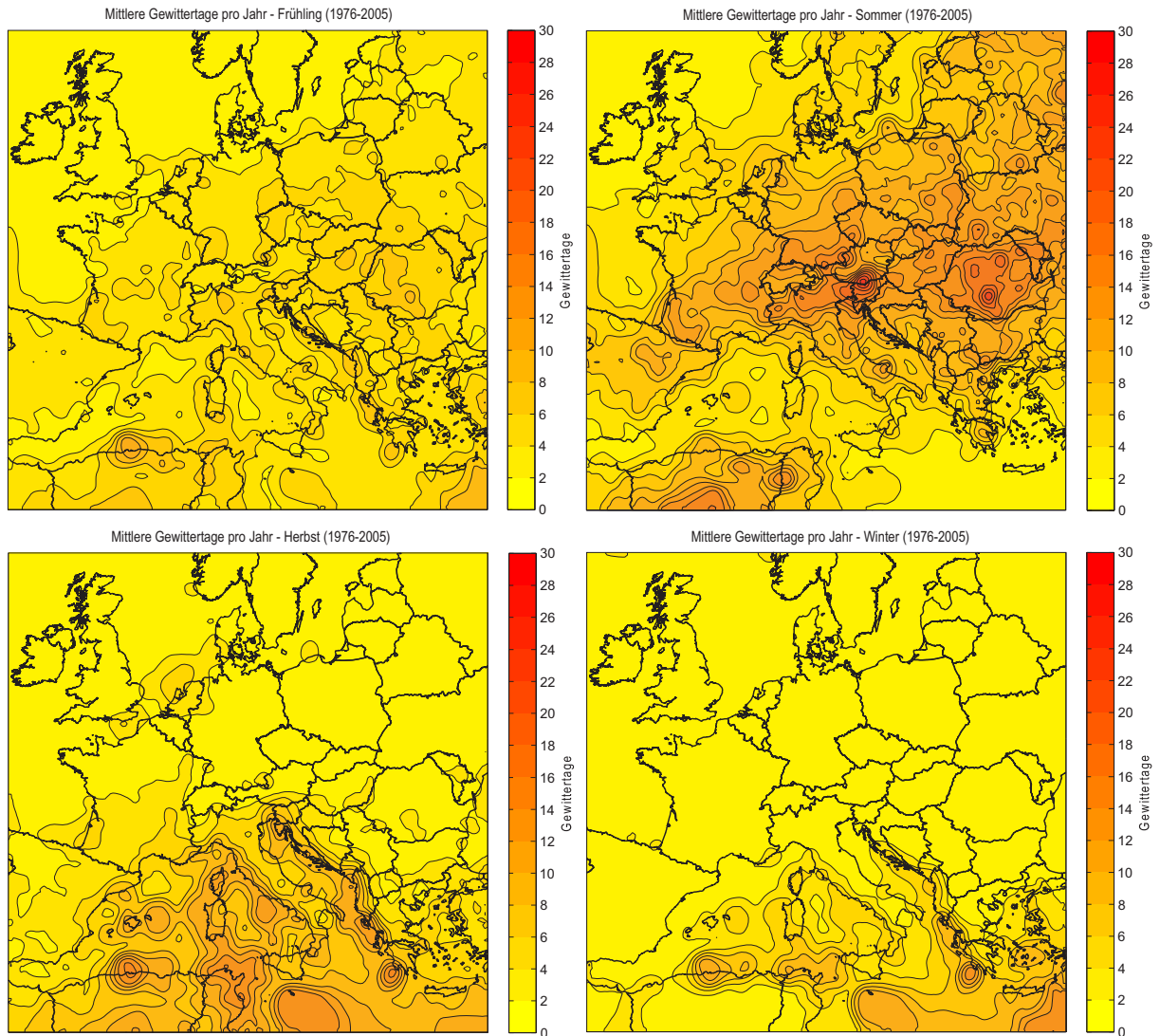


Abbildung 6.6.: *Mittlere Gewittertage pro Jahr abhängig von der Jahreszeit - links oben: Frühling; rechts oben: Sommer; links unten: Herbst; rechts unten: Winter; (Isolinienabstand 2; geglättet)*

6.2.4. Vergleich mit ALDIS

Bis jetzt haben wir Gewitteraufzeichnungen ausschließlich von AugenbeobachterInnen besprochen. Eine völlig andere Methode Gewittertätigkeiten aufzuzeichnen ist die Detektion von Blitzen mittels physikalischer Messmethoden. Jeder Blitz sendet elektromagnetische Impulse an seine Umgebung aus, die mittels Sensoren gemessen werden können. Die Sensoren bestehen

aus magnetischen Antennen, welche die von Blitzen ausgesendeten elektromagnetischen Wellen empfangen können. Mit verschiedenen Methoden kann dann der Zeitpunkt und der Ort der Entladung sehr genau lokalisiert werden. In Österreich betreibt ALDIS (Austrian Lightning Detection and Information System) ein eben solches Messnetz. Mit momentan 8 Blitzortungssensoren werden in Österreich damit flächendeckend Blitze geortet. (vgl. www.aldis.at [07.06.2010])

Abbildung 6.7 zeigt die Gegenüberstellung von klimatologischen Auswertungen zwei unterschiedlicher Datenquellen. Zum einen die mittleren Gewittertage pro Jahr berechnet aus den ww-Analysen (siehe vorangegangene Abschnitte), zum anderen die mittlere Blitzdichte pro Jahr berechnet aus ALDIS Aufzeichnungen.

Nach Norm ENV 61024-1:1995 kann die empirische Formel

$$N = 0,04 \cdot T^{1,25} \quad (6.1)$$

mit N... Blitzdichte [$km^{-2}a^{-1}$] und T... Gewittertage [a^{-1}]

angewendet werden, um vom Keraunischen Pegel auf die Blitzdichte umzurechnen. Sinnvolle Beispiele dieser Umrechnungen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1.: *Umrechnung der Gewittertage (T) in die Blitzdichte (N) nach Formel 6.1*

T [a^{-1}]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
N [$km^{-2}a^{-1}$]	0,3	0,7	1,2	1,7	2,2	2,8	3,4	4,0	4,7	5,3

Ein Maximum in der Anzahl von Gewittertagen im Raum Udine und Slowenien korreliert sehr gut mit den klimatologischen Auswertungen der Blitzmessungen von ALDIS. Auch der eher gewitterschwache westliche inneralpine Bereich wird von beiden Methoden gut abgebildet. Im Wechselgebiet scheint jedoch die ALDIS Klimatologie besser zu sein. Durch die relativ geringe räumliche Dichte an Augenbeobachtungen in diesem Bereich werden viele Gewitter übersehen, da der mittlere Hörbarkeitsbereich von einem Donner im Mittel bei nur 15 km liegt (vgl. Abschnitt 6.2). Im Großen und Ganzen zeigt aber auch dieser Vergleich die Brauchbarkeit der für diese Diplomarbeit entwickelten Methoden.

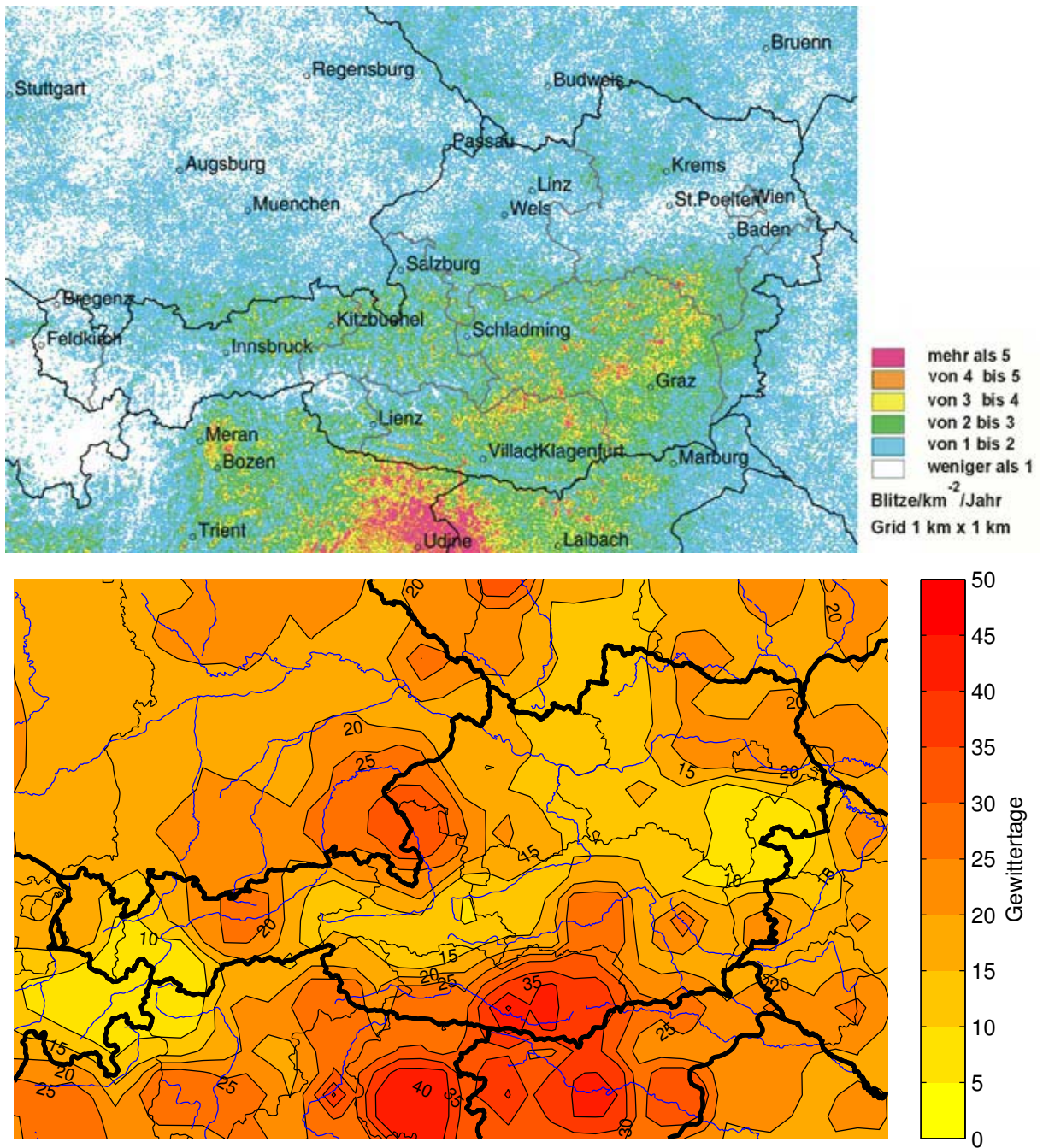


Abbildung 6.7.: oben: Mittlere Blitzdichte 1992-2001 (Quelle: www.aldis.at/statistik/dichte.html [07.06.2010]); unten: Mittlere Gewittertage pro Jahr 1992-2001 berechnet aus VERA Analysen (Isolinienabstand 5; ungeglättet)

7. Conclusio

Der Anstoß für diese Arbeit, der Beitrag zum EU-Projekt „2-BE-SAFE“, kann mit den dafür erstellten qualitativ hochwertigen Niederschlagsanalysen als Erfolg gewertet werden. Die ersten Ergebnisse der Untersuchungen, die Wetter und Motorradunfälle in Zusammenhang bringen, lassen für die Zukunft noch Einiges erwarten und geben Anlass zu diesem Thema noch weitere Forschungen anzustellen.

Die weiterführenden Versuche in dieser Arbeit beschäftigten sich zum großen Teil mit der Frage ob die von AugenbeobachterInnen durchgeführten synoptischen Wetterbeobachtungen sinnvoll klimatologisch auswertbar sind. Dies kann nach dieser Arbeit durchaus mit ja beantwortet werden. Gerade die Zeitreihen von Messdaten der AugenbeobachterInnen, sind stark durch zeitliche und räumliche Inhomogenität geprägt. Der Versuch dieses Faktum durch Interpolation der Daten von jedem Termin auf ein regelmäßiges Gitter auszugleichen und erst anschließend klimatologisch auszuwerten, ist bis zu einem gewissen Grad ganz gut geglückt. Eine Interpretation der Auswertungen ist vor allem dann sinnvoll, wenn man sehr kleinräumige Strukturen in den Ergebnissen kritisch betrachtet.

Synoptische Augenbeobachtungen beinhalten noch eine Menge anderer, als die hier diskutierten, Informationen. Die positiven Ergebnisse dieser Diplomarbeit sollen den Anstoß liefern diese vielfältigen Informationen zu nützen und weitere Untersuchungen und Auswertungen durchzuführen. So wären zum Beispiel Auswertungen zu Nebelhäufigkeitsverteilungen oder auch Auswertungen zu Extremereignissen wie zum Beispiel Hagel sicherlich von Interesse.

Literaturverzeichnis

- [1] BAUER, Siegfried J. ; GUTDEUTSCH, Rudolf ; HANTEL, Michael ; REUTER, Heinz ; RUCKER, Helmut O. ; SIEDLER, Gerold ; SPOHN, Tilman ; STEINACKER, Reinhold ; ZENK, Walter ; RAITH, Wilhelm (Hrsg.): *Bergmann - Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik - Band 7: Erde und Planeten*. Walter de Gruyter, 2001
- [2] HERMANT, Alex: *Gewitter - Faszination eines Phänomens*. Delius Klasing, 2002
- [3] HÄCKEL, Hans: *Meteorologie*. Ulmer, 1999
- [4] JOLLIFFE, Ian T. ; STEPHENSON, David B.: *Forecast Verification - A Practitioners Guide in Atmospheric Science*. Wiley, 2003
- [5] KLOSE, Brigitte: *Meteorologie. Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre*. Springer- Verlag, 2008
- [6] KURZ, Manfred: *Synoptische Meteorologie - Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst*. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1990
- [7] LILJEQUIST, Gösta H. ; CEHAK, Konrad: *Allgemeine Meteorologie*. Vieweg, 1990
- [8] SCHÖNWIESE, Christian-Dietrich: *Klimatologie*. Ulmer, 2003
- [9] STEINACKER, Reinhold ; HÄBERLI, Christian ; PÖTTSCHECHER, Wolfgang: A Transparent Method for the Analysis and Quality Evaluation of Irregularly Distributed and Noisy Observational Data. In: *Monthly Weather Review* 128 (2000), S. 2303–2316
- [10] STEINACKER, Reinhold ; MAYER, Dieter ; STEINER, Andrea: Data Quality Control Based on Self Consistency. In: *Monthly Weather Review* (2011)
- [11] STEINACKER, Reinhold ; RATHEISER, Matthias ; BICA, Benedikt ; CHIMANI, Barbara ; DORNINGER, Manfred ; GEPP, Wolfgang ; LOTTERANER, Christoph ; SCHNEIDER, Stefan ; TSCHANNETT, Simin: A Mesoscale Data Analysis and Downscaling Method over Complex Terrain. In: *Monthly Weather Review* 134 (2006), S. 2758–2771

- [12] STULL, Roland B.: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer, 1991
- [13] WALLACE, John M. ; HOBBS, Peter V.: *Atmospheric Science - An Introductory Survey*. Academic Press, 1977
- [14] WILKS, Daniel S.: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, Elsevier, 2006
- [15] WINKELBAUER, Martin ; BRANDSTÄTTER, Christian ; RIEGLER, Sebastian ; STEIN-ACKER, Reinhold ; TIEFGRABER, Michael ; DÜH, Julia (Hrsg.) ; HUFNAGL, Hartwig (Hrsg.) ; JURITSCH, Erhard (Hrsg.) ; PFLIEGL, Reinhard (Hrsg.) ; SCHIMANY, Helmut-Klaus (Hrsg.) ; SCHÖNEGGER, Hans (Hrsg.): *Data and Mobility - Transforming Information into Intelligent Traffic and Transportation Services - Proceedings of the Lakeside Conference 2010 - How Motorcycle Collisions Depend on Weather*. Springer- Verlag, 2010
- [16] WINKELBAUER, Martin ; BRANDSTÄTTER, Christian ; RIEGLER, Sebastian ; STEIN-ACKER, Reinhold ; TIEFGRABER, Michael ; VLAHOGIANNI, Eleni I. ; GOLIAS, John ; YANNIS, George ; PAPANTONIOU, Panagiotis ; BALDANZINI, Niccolò ; GRASSI, David: *Interaction between Weather Conditions and Powered Two Wheeler Accidents*. In: *2-BE-SAFE Project Deliverable* (2010)
- [17] WMO: *Manual on Codes*. In: *WMO-No. 306* (1995)

**A. Poster zum EU-Projekt „2-BE-SAFE”,
3. Österreichischer
MeteorologInnentag Graz, 2009**

Michael Tiefgraber¹⁾, Reinhold Steinacker²⁾
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien

Einführung: Motorisierte ZweiradfahrerInnen sind in Bezug auf Unfälle mit tödlichem Ausgang überrepräsentiert. Das EU-Projekt 2-Be-Safe (beteiligt sind europaweit über 25 Institutionen und Firmen) setzt sich als Ziel die Sicherheit für motorisierte ZweiradfahrerInnen zu erhöhen. Das Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien beteiligt sich an der Arbeitsgruppe 1.3. Mittels zeitlich und räumlich hochaufgelöster Wetterinformationen sollen Zusammenhänge zwischen den Witterungsverhältnissen und den Unfällen gefunden werden.

ww	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
60	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
70	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
80	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
90	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

a) Abweichung von WMO-Symbolen 11: und 12:

Fig. 1: Einteilung der Stationsmeldungen ww (aktuelles Wetter) in eine Niederschlags-Intensitäts-Skala von 0 (kein Niederschlag) bis 5 (sehr starker Niederschlag).



Die erste wichtige Frage im Projekt 2-Be-Safe: Wie war der Straßenzustand vor und während der Unfälle? Zu diesem Zweck werden die 3-stündig vorhandenen Stationsmeldungen ww (aktuelles Wetter) in eine Niederschlags-Intensitäts-Skala von 0 (kein Niederschlag) bis 5 (sehr starker Niederschlag) eingeteilt (Fig.1). Anschließend werden diese Stationswerte mit dem am Institut entwickelten Analyseverfahren VERA²⁾ (Vienna Enhanced Resolution Analysis) auf ein regelmäßiges 16x16 km Gitter interpoliert (Fig.2).

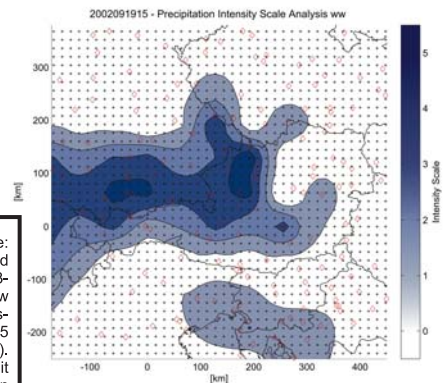


Fig. 2 (Tiefgraber M. 2009): Beispiel einer VERA Niederschlagsanalyse (Österreich Ausschnitt) mittels ww-Wettermeldungen vom 19.09.2002 15 UTC. Niederschlags-Intensitäts-Skala: 0 (kein Niederschlag) bis 5 (sehr starker Niederschlag). Stationen die zu diesem Termin ww gemeldet haben, sind in rot eingezeichnet, +... Gitterpunkte des 16x16km Gitters

MESOCLIM^{2),3)}

Als Datengrundlage dient der im Zuge des Projekts MESOCLIM vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien erstellte und i. W. auf ERA-40 Rohdaten basierende umfangreiche synoptische Datensatz. Dieses Datenarchiv beinhaltet ausführliche 3-stündige Wetterinformationen von europaweiten Messstationen für den Zeitraum 1971 bis 2005.

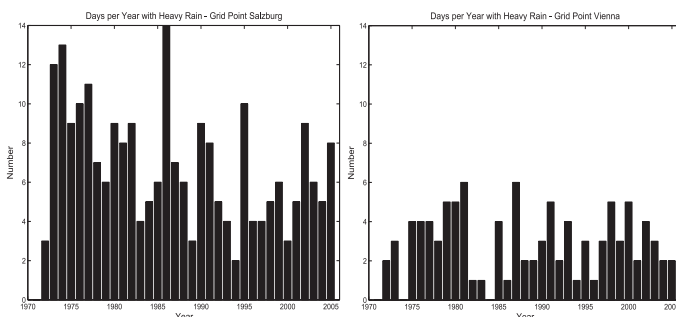


Fig. 4 (Tiefgraber M. 2009): Anzahl der Tage pro Jahr mit sehr starkem Niederschlag. Links Gitterpunkt Salzburg, rechts Gitterpunkt Wien.

Ausblick:

- ⇒ Gewitteranalysen mittels ww (aktuelles Wetter)
- ⇒ Zeitreihen aller Gitterpunkte in Europa für den Zeitraum 1971 bis 2005
- ⇒ Untersuchung auf Trends und Inhomogenitäten
- ⇒ Cross Validation

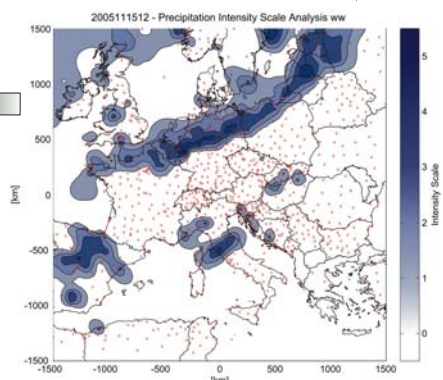


Fig. 3 (Tiefgraber M. 2009): Beispiel einer VERA Niederschlagsanalyse (gesamter MESOCLIM Ausschnitt) mittels ww-Wettermeldungen vom 15.11.2005 12 UTC. Niederschlags-Intensitäts-Skala: 0 (kein Niederschlag) bis 5 (sehr starker Niederschlag). Stationen die zu diesem Termin ww gemeldet haben, sind in rot eingezeichnet.

B. Ausschnitt aus WMO: Manual on Codes (WMO, 1995 [17])

4677

ww Present weather reported from a manned weather station

ww = 00–49 *No precipitation at the station at the time of observation*

ww = 00–19 No precipitation, fog, ice fog (except for 11 and 12), duststorm, sandstorm, drifting or blowing snow at the station* at the time of observation or, except for 09 and 17, during the preceding hour

	Code figure		
No meteors except photometeors	00	Cloud development not observed or not observable	} Characteristic change of the state of sky during the past hour
	01	Clouds generally dissolving or becoming less developed	
	02	State of sky on the whole unchanged	
	03	Clouds generally forming or developing	
Haze, dust, sand or smoke	04	Visibility reduced by smoke, e.g. veldt or forest fires, industrial smoke or volcanic ashes	
	05	Haze	
	06	Widespread dust in suspension in the air, not raised by wind at or near the station at the time of observation	
	07	Dust or sand raised by wind at or near the station at the time of observation, but no well-developed dust whirl(s) or sand whirl(s), and no duststorm or sandstorm seen; or, in the case of ships, blowing spray at the station	
	08	Well-developed dust whirl(s) or sand whirl(s) seen at or near the station during the preceding hour or at the time of observation, but no duststorm or sandstorm	
	09	Duststorm or sandstorm within sight at the time of observation, or at the station during the preceding hour	
	10	Mist	
	11	Patches	} shallow fog or ice fog at the station, whether on land or sea, not deeper than about 2 metres on land or 10 metres at sea
	12	More or less continuous	
	13	Lightning visible, no thunder heard	
	14	Precipitation within sight, not reaching the ground or the surface of the sea	
	15	Precipitation within sight, reaching the ground or the surface of the sea, but distant, i.e. estimated to be more than 5 km from the station	
	16	Precipitation within sight, reaching the ground or the surface of the sea, near to, but not at the station	
	17	Thunderstorm, but no precipitation at the time of observation	
	18	Squalls	} at or within sight of the station during the preceding hour or at the time of observation
	19	Funnel cloud(s)**	

ww = 20–29 Precipitation, fog, ice fog or thunderstorm at the station during the preceding hour but not at the time of observation

20	Drizzle (not freezing) or snow grains	} not falling as shower(s)
21	Rain (not freezing)	
22	Snow	
23	Rain and snow or ice pellets	
24	Freezing drizzle or freezing rain	

* The expression "at the station" refers to a land station or a ship.

** Tornado cloud or water-spout.

(Code table 4677 — continued)

Code
figure

25	Shower(s) of rain
26	Shower(s) of snow, or of rain and snow
27	Shower(s) of hail*, or of rain and hail*
28	Fog or ice fog
29	Thunderstorm (with or without precipitation)

ww = 30–39 Duststorm, sandstorm, drifting or blowing snow

30	Slight or moderate duststorm or sandstorm	– has decreased during the preceding hour – no appreciable change during the preceding hour – has begun or has increased during the preceding hour
31		
32		
33	Severe duststorm or sandstorm	– has decreased during the preceding hour – no appreciable change during the preceding hour – has begun or has increased during the preceding hour
34		
35		
36	Slight or moderate drifting snow	generally low (below eye level)
37	Heavy drifting snow	
38	Slight or moderate blowing snow	generally high (above eye level)
39	Heavy blowing snow	

ww = 40–49 Fog or ice fog at the time of observation

40	Fog or ice fog at a distance at the time of observation, but not at the station during the preceding hour, the fog or ice fog extending to a level above that of the observer		
41	Fog or ice fog in patches		
42	Fog or ice fog, sky visible	}	has become thinner during the preceding hour
43	Fog or ice fog, sky invisible		
44	Fog of ice fog, sky visible	}	no appreciable change during the preceding hour
45	Fog or ice fog, sky invisible		
46	Fog or ice fog, sky visible	}	has begun or has become thicker during the preceding hour
47	Fog or ice fog, sky invisible		
48	Fog, depositing rime, sky visible		
49	Fog, depositing rime, sky invisible		

ww = 50–99 Precipitation at the station at the time of observation**ww = 50–59 Drizzle**

50	Drizzle, not freezing, intermittent	slight at time of observation
51	Drizzle, not freezing, continuous	
52	Drizzle, not freezing, intermittent	moderate at time of observation
53	Drizzle, not freezing, continuous	
54	Drizzle, not freezing, intermittent	heavy (dense) at time of observation
55	Drizzle, not freezing, continuous	

* Hail, small hail, snow pellets. French: grêle, grésil ou neige roulée.

(continued)

(Code table 4677 — continued)

Code
figure

56	Drizzle, freezing, slight
57	Drizzle, freezing, moderate or heavy (dense)
58	Drizzle and rain, slight
59	Drizzle and rain, moderate or heavy

ww = 60–69 Rain

60	Rain, not freezing, intermittent	}	slight at time of observation
61	Rain, not freezing, continuous		
62	Rain, not freezing, intermittent	}	moderate at time of observation
63	Rain, not freezing, continuous		
64	Rain, not freezing, intermittent	}	heavy at time of observation
65	Rain, not freezing, continuous		
66	Rain, freezing, slight		
67	Rain, freezing, moderate or heavy		
68	Rain or drizzle and snow, slight		
69	Rain or drizzle and snow, moderate or heavy		

ww = 70–79 Solid precipitation not in showers

70	Intermittent fall of snowflakes	}	slight at time of observation
71	Continuous fall of snowflakes		
72	Intermittent fall of snowflakes	}	moderate at time of observation
73	Continuous fall of snowflakes		
74	Intermittent fall of snowflakes	}	heavy at time of observation
75	Continuous fall of snowflakes		
76	Diamond dust (with or without fog)		
77	Snow grains (with or without fog)		
78	Isolated star-like snow crystals (with or without fog)		
79	Ice pellets		

ww = 80–99 Showery precipitation, or precipitation with current or recent thunderstorm

80	Rain shower(s), slight		
81	Rain shower(s), moderate or heavy		
82	Rain shower(s), violent		
83	Shower(s) of rain and snow mixed, slight		
84	Shower(s) of rain and snow mixed, moderate or heavy		
85	Snow shower(s), slight		
86	Snow shower(s), moderate or heavy		
87 }	Shower(s) of snow pellets or small hail, with or without rain or rain and snow mixed	{	– slight
88 }			– moderate or heavy
89 }	Shower(s) of hail*, with or without rain or rain and snow mixed, not associated with thunder	{	– slight
90 }			– moderate or heavy

* French: grêle.

(Code table 4677 — continued)

Code
figure

91	Slight rain at time of observation	}	Thunderstorm during the preceding hour but not at time of observation
92	Moderate or heavy rain at time of observation		
93	Slight snow, or rain and snow mixed or hail* at time of observation		
94	Moderate or heavy snow, or rain and snow mixed or hail* at time of observation		
95	Thunderstorm, slight or moderate, without hail*, but with rain and/or snow at time of observation	}	Thunderstorm at time of observation
96	Thunderstorm, slight or moderate, with hail* at time of observation		
97	Thunderstorm, heavy, without hail*, but with rain and/or snow at time of observation		
98	Thunderstorm combined with duststorm or sandstorm at time of observation		
99	Thunderstorm, heavy, with hail* at time of observation		

* Hail, small hail, snow pellets. French: grêle, grésil ou neige roulée.

C. Danksagung

Großer Dank gilt Herrn O. Univ.-Prof. Dr. Reinhold Steinacker, nicht nur für die geduldige und fachlich hochwertige Betreuung dieser Diplomarbeit, sondern vor allem auch für die immer wieder inspirierende gelebte Begeisterung für die Meteorologie. Bedanken möchte ich mich auch beim Kuratorium für Verkehrssicherheit, insbesondere bei Herrn DI Martin Winkelbauer für die hervorragende Zusammenarbeit im Projekt „2-BE-SAFE“. Außerordentlicher Dank gebührt auch meiner Familie, die mir immer ein beruhigendes Gefühl an stabilem Rückhalt geboten und somit einen großen Anteil am Abschluß dieser Diplomarbeit hat. Nicht zu vergessen die vielen hilfsbereiten Kolleginnen und Kollegen die fachlich und mental eine große Stütze waren, all jenen möchte ich ganz besonders danken.

D. Lebenslauf



Michael Tiefgraber

Persönliche Daten

Name Michael Tiefgraber
Geburtsdatum 10.09.1982
Geburtsort Salzburg
Nationalität Österreich

Ausbildung

2003 – heute **Universität Wien**, *Diplomstudium der Meteorologie und Geophysik*, gewählter Studien-
enzweig: Meteorologie.
2002 – 2003 **Universität Salzburg**, *zwei Semester Studium der angewandten Informatik*.
1993 – 2001 **Akademisches Gymnasium**, Salzburg, Ablegung der Reifeprüfung: 2001.
1989 – 1983 **Volksschule Morzg**, Salzburg.

Berufstätigkeit

09/2010 – heute **MeteoServe Wetterdienst GmbH**, *Vorhersagemeteorologe im operationellen Dienst*.
08/2010 – **Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik**, *Praktikum - Abteilung Wetter-
08/2010 vorhersage*.
03/2010 – **Universität Wien**, *Tutor für die Lehrveranstaltung Wetterbesprechung*.
07/2010
03/2009 – **Universität Wien**, *Wissenschaftlicher Mitarbeiter im EU-Projekt: '2-BE-SAFE'*.
09/2010
05/2007 – **Universität Wien**, *Wissenschaftlicher Mitarbeiter für COPS 2007 im Projekt: 'Analyse
08/2007 und Nowcasting von konvektiven Systemen mit VERA'*.
08/2006 – **METEOTEST - Bern**, *Praktikum - Abteilung Windenergie*.
09/2006
Sommermonate **diverse Ferialtätigkeiten**, *unterstützende Tätigkeiten im elterlichen Installateursbe-
1998-2001 trieb; verschiedene Anstellungen als Promotor*.

Zivildienst

10/2001 – **abgeleistet**, *Arbeiter Samariterbund - Salzburg*.
09/2002

Sprachkenntnisse

Deutsch	Muttersprache
Englisch	Maturaniveau
Französisch	Grundkenntnisse
Latein	großes Latinum

EDV-Kenntnisse

Programmiersprachen	Matlab, Fortran, <i>Shell Script</i> , <i>Java</i>
Betriebssysteme	MacOSx, MS Windows, Linux
Anwendungen	MS Office, $\text{\LaTeX}$, CorelDRAW
Sonstige	SQL

Publikationen

Winkelbauer, M., C. Brandstätter, S. Riegler, R. Steinacker und M. Tiefgraber, 2010, *Data and Mobility - Transforming Information into Intelligent Traffic and Transportation Services - Proceedings of the Lakeside Conference 2010 - How Motorcycle Collisions Depend on Weather*, Springer Verlag, 2010.

Tiefgraber, M., und R. Steinacker, 2009, *Posterpräsentation zum EU-Projekt: '2-BE-SAFE'*, 3. Österreichischer Meteorologentag 2009 Graz.

Cattin, R., S. Kunz, A. Heimo, G. Russi, M. Russi, und M. Tiefgraber, 2007, *Wind Turbine Ice Throw Studies in the Swiss Alps*, EWEC 2007, Mailand, Conference poster.

Cattin, R., S. Kunz, A. Heimo, G. Russi, M. Russi, und M. Tiefgraber, 2007, *Wind Turbine Ice Throw Studies in the Swiss Alps*, EWEC 2007, Mailand, Conference paper.

Cattin, R., A. Heimo, S. Kunz, G. Russi, M. Russi, M. Tiefgraber, S. Schaffner, und B. E. Nygaard, 2007, *Alpine Test Site Guetsch Meteorological measurements and wind turbine performance analysis*, IWAIS 2007, Yokohama, Conference paper.

Cattin, R., S. Kunz, A. Heimo, G. Russi, M. Russi, und M. Tiefgraber, 2006, *Alpine Test Site Guetsch: Monitoring of a Wind Turbine under Icing Conditions*, DEWEK 2006, Bremen, Conference paper.