

Objektive Darstellung von Niederschlagsfeldern basierend auf einer Synthese aus Synop- und Satellitendaten

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der
Naturwissenschaften am Fachbereich Geowissenschaften der Freien
Universität Berlin

vorgelegt von

Ines Langer

aus Berlin

Betreuer und 1. Gutachten: Prof. Dr. Peter Bultjes (Freie Universität Berlin)
2. Gutachten: Prof. Dr. Ulrich Cubasch (Freie Universität Berlin)

Tag der Disputation: 06. Mai 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
1.1	Stand der Forschung.....	6
2	Die Niederschlagsverteilung für Deutschland im Jahr 2004 - Überblick	15
2.1	Der Witterungsverlauf im Jahr 2004.....	19
3	Grundlagen	21
3.1	Verfügbare Datensätze	21
3.2	Konventionelle Bodenmessdaten.....	23
3.3	Repräsentanz von Niederschlagsmessungen.....	23
3.3.1	Niederschlagsarten	24
3.3.2	Niederschlagsmessung	25
3.3.3	Fehlerquellen bei der konventionellen Messung.....	26
3.4	Wolken	29
3.4.1	Wolkenbeobachtung an Stationen	31
3.5	Angaben zum ‚Wetterzustand‘ (ww).....	33
3.6	Datenbasis für die Trennung des Niederschlages in einen konvektiven und stratiformen Anteil.....	36
3.7	Das Lokal-Modell - Niederschlag	38
3.7.1	Konvektion.....	40
3.7.2	Skalige Kondensationsprozesse	41
4	Ableitung der Wolkentypen aus Fernerkundungsdaten – Meteosat.....	43
4.1	Eigenschaften des Meteosat-Satelliten	44
4.2	Meteosat-Datenmaterial	44
4.3	Grundlagen der Wolkenklassifikation	46
4.3.1	Evaluierung der pixel-basierten Wolkenklassifikation	50
4.3.2	Fallbeispiel: 13.08.2004.....	54
4.4	Normierte Niederschlagshäufigkeit aus Wolkentypen.....	57
5	Niederschlagsanalyse	60
5.1	Methodik der Interpolation.....	60
5.2	Unterschied zwischen den Niederschlagsanalysen (FUB) mit und ohne Satellitendaten.....	63
5.2.1	Fallbeispiel: 09.06.2004	72

5.2.2	Fallbeispiel: 18.07.2004	76
5.3	Ein Vergleich Niederschlagsanalyse (FUB) mit der Analyse und Vorhersage des Lokal-Modells	79
5.3.1	Mittlere Jahresniederschlag	79
5.3.2	Der Tagesgang des Niederschlages im Jahr 2004	80
5.3.3	Der Tagesgang des Niederschlages im Sommer 2004 -ein Vergleich zwischen Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg	83
6	Verifikation der Niederschlagsvorhersage	86
6.1	Niederschlagssummen für Deutschland - Vergleich zwischen Prognose (LM) und Analyse (FUB)	86
6.1.1	Jahresniederschlag des konvektiven, stratiformen und gesamten Niederschlages	86
6.1.2	Saisonale Verteilung des konvektiven, stratiformen und gesamten Niederschlages	89
6.1.3	Niederschlagsdifferenzen	92
6.1.4	Niederschlagshäufigkeit	95
6.2	Definition der Verifikationsmaße	97
6.3	Ergebnisse der Verifikation	100
6.3.1	MAE für verschiedene Vorhersagezeiten	100
6.3.2	Jahreszeitliche Verteilung des MAE für Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg	102
6.4	Regionale Verteilung des MAE	104
6.5	Kategorische Maßzahlen	105
6.6	Saisonale Verteilung des Bias Score (FBI)	111
6.7	Saisonale Verteilung des ‚True skill statistics‘ (TSS)	114
7	Zusammenfassung und Ausblick	118
	Anhang A	122
	Abbildungsverzeichnis	126
	Tabellenverzeichnis	130
	Verzeichnis der benutzten Symbole und Abkürzungen	131
	Literatur	133
	Danksagung	146

Zusammenfassung

Die kurzfristige Niederschlagsvorhersage weist wegen der starken räumlichen und zeitlichen Variabilität des Niederschlages Defizite in der Modellierung auf. Um diese Defizite begrenzen zu können, leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur skalenabhängigen Verifikation der quantitativen Niederschlagsvorhersage vom Lokal-Modell des Deutschen Wetterdienstes. Dazu wurde zunächst ein neuer Beobachtungsdatensatz für Deutschland in stündlicher Auflösung, der den Niederschlag in einen konvektiven und stratiformen Anteil trennt für das Jahr 2004, erstellt.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Cressman-Interpolationsschema verwendet, um die Punktdaten auf das regelmäßige Gitter entsprechend dem des Lokal-Modells zu interpolieren. Die Idee dabei ist, die niederschlagsrelevanten Wolkentypen des konventionellen Beobachtungsmessnetzes und abgeleitete Wolkentypen aus Meteosat-Daten bei der Interpolation zu verknüpfen, da die einzelnen Wolkentypen direkt den Zustand und die Vorgänge in der Atmosphäre anzeigen und somit die Wahrscheinlichkeit für Regenschauer und Gewitter. Um die Effizienz der abgeleiteten Wolkentypen aus Meteosat-Daten hinsichtlich der Genauigkeit zu prüfen, wurde anhand einer Fehlermatrix für den Zeitraum von 1992 bis 2004 synoptische Beobachtungen der Wolken mit abgeleiteten Wolkentypen aus Meteosat-Daten verglichen. Im Ergebnis wurden insgesamt 13 Wolkentypen aus Fernerkundungsdaten erfolgreich abgeleitet. Für die niederschlagsgebenden Wolken wurde eine Nutzergenauigkeit von 12 % für Cumulus congestus, 9 % für Cumulus/Stratocumulus, 63 % für Stratus fractus, 89 % für Altocumulus mit Altostratus/Nimbostratus und 97 % für Cumulonimbus/Nimbostratus berechnet.

Die Trennung der konvektiven und stratiformen Niederschlagsereignisse erfolgte unter Verwendung der stündlichen Wolkenbeobachtungen sowie des Wetterzustandes und der Niederschlagsmenge. Auf der konvektiven Skala wurden die Wolkentypen Cumulus, Cumulus congestus sowie Cumulonimbus/Nimbostratus und für stratiforme Niederschlagsereignisse Stratus fractus, Stratocumulus sowie Altocumulus mit Altostratus /Nimbostratus ermittelt. Damit nun diese Wolkentypen für die Interpolation nutzbar gemacht werden können, wurden sie in dieser Arbeit in eine normierte Niederschlagshäufigkeit umgesetzt.

Bei der Berechnung der Niederschlagsanalyse ‚mit‘ und ‚ohne‘ Satellitendaten konnte gezeigt werden, dass sich für Deutschland "mit Satellitendaten" eine um 33 mm niedrigere Jahressumme ergab. Der Anteil des konvektiven Niederschlages ergab eine um 10 mm höhere Niederschlagssumme, wohingegen der stratiforme Niederschlag um 43 mm im Jahr reduziert wurde. Durch diesen neuen skalenabhängigen Niederschlagsdatensatz wird erstmalig eine flächendeckende Analyse des Tagesgangs des Niederschlages durchgeführt. Es wird gezeigt, dass der Tagesgang des Niederschlages für Deutschland stark vom Tagesgang des konvektiven Niederschlages abhängt.

Im Vergleich der Niederschlagsvorhersage des DWD vom Lokal-Modell mit der Niederschlagsanalyse "mit Satellitendaten" der Freien Universität zeigte sich, dass in der Simulation des Tagesganges vom konvektiven Niederschlag die Tageszeit des maximalen Regens drei Stunden zu früh vorhergesagt wird. In der Jahressumme wird der konvektive Modellniederschlag im Gegensatz zur Niederschlagsanalyse der Freien Universität Berlin um 144 mm unterschätzt und der stratiforme um 237 mm überschätzt. Auch die Gegenüberstellung der räumlichen Verteilung der Niederschlagsmenge macht die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten deutlich. Hier zeigte sich, dass gerade der konvektive Niederschlag vom Modell im Winter und im Herbst in Deutschland stark unterschätzt wird.

Mit dem "True skill statistics", welcher eine geeignete Größe darstellt, um die Güte von Ja/Nein Ereignissen auch mit ungünstiger Verteilung zu bewerten, wurde gezeigt, dass zum Beispiel konvektive Niederschläge am Nachmittag schlecht vorhergesagt werden. Die Trefferquote liegt im Sommer bei nur 6%.

In dieser Arbeit wurde durch die Trennung des Niederschlages in einen konvektiven und stratiformen Anteil der Nachweis erbracht, dass die Komplexivität des Niederschlages auf der konvektiven Skala liegt. Als Gesamtergebnis der Beurteilung der Niederschlagsprognose vom Lokal-Modell ist festzuhalten, dass Strukturen, die in Wirklichkeit noch regional ausgeprägte Heterogenität aufweisen, nicht ausreichend vom Modell auf der konvektiven Skala erfasst werden.

Abstract

Short-term precipitation prediction shows modelling deficits, which are partly based on the strong spatial and temporal variability of precipitation. To limit these deficits, this work will contribute to the scale-dependent verification of precipitation forecasts of the German Weather Service's *Lokal-Modell*. A new observational dataset separating stratiform and convective precipitation at a one-hour temporal resolution was produced for Germany for the year 2004.

Here the Cressman-schema was used to interpolate the amount of precipitation from rain gauge measurements to the regular grid of the *Lokal-Modell*. The underlying idea is to connect rain producing cloud types taken from synoptic observations and derived cloud types from Meteosat data by the interpolation scheme, because the individual cloud types describe the situation and the processes in the atmosphere and thereby the probability of precipitation. The accuracy of the cloud types derived from Meteosat data are compared with observed cloud types by in an error matrix for the period of 1992 to 2004. The results show, that 13 cloud types could be derived from satellite data. For the relevant clouds in connection with precipitation an accuracy of 12 % for cumulus congestus, 9 % for cumulus/ stratocumulus, 63 % for stratus fractus, 89 % for altocumulus with altostratus/nimbostratus and 97 % for cumulonimbus/nimbostratus is obtained.

The distinction between convective and stratiform precipitation was made by using hourly observations of clouds, 'weather watch' and the amount of precipitation. In summary the clouds of the convective scale are cumulus, cumulus congestus as well as cumulonimbus/nimbostratus and for stratiform precipitation events stratus fractus, stratocumulus as soon as altocumulus with altostratus/nimbostratus. In order to be able to use cloud types for the interpolation, these data are normalized to yield values of frequency of rainfall.

A precipitation analysis is created, first without satellite data and in a second step using satellite data. The comparison shows that the rainfall record for Germany in 2004 "including satellite data" is approximately 33 mm higher than without satellite data. The proportion of convective rainfall is 10 mm higher with satellite data; for stratiform precipitation, it is 43 mm lower with satellite data than without.

For the first time, a country-wide analysis of the diurnal cycle of scale dependent precipitation could be performed. It was shown that the diurnal cycle of precipitation in Germany highly depends on the diurnal cycle of convective precipitation.

The analysis at the Free University using satellite data is compared with model precipitation from the *Lokal-Modell* of the German Weather Service. It is shown that compared with the rainfall record maximum, precipitation events generated by the model (both total rainfall and convective rainfall) are forecast three hours too early in the diurnal cycle. In contrast to the rainfall analysis performed by the Free University of Berlin, the model precipitation underestimates the sum of annual convective precipitation by 144 mm, while stratiform precipitation is overestimated by 237 mm. These results show that spatial distribution of rainfall clearly indicates the difference between the seasons. It is demonstrated that convective rainfall in winter and autumn is greatly underestimated in the model.

Using the "true skill statistics", which is a suitable statistics, which gives the quality of yes/no events also for an unfavourable distribution, it was shown that convective precipitation in the afternoon is poorly predicted. The highest 'hit rate' in summer is by only 6%.

By separating convective and stratiform rainfall, it was shown that the complexity of rainfall is manifested in the convective scale. As a result of the overall assessment of precipitation forecast using the *Lokal-Modell*, it should be noted that structures that show pronounced regional heterogeneity are not adequately represented at the convective scale.