

5 Niederschlagsanalyse (FUB)

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsanalyse der FUB für Deutschland für das Jahr 2004 gezeigt. Das bereits vorhandene Interpolationsschema (Reimer, 1985) zur Erstellung von Gebietsniederschlag wird dahingehend erweitert, dass mit Hilfe des WMO-Parameters ‚Wolken‘ (Kap. 3.6) die Niederschlagsmenge in einen konvektiven und stratiformen Anteil getrennt wird. In einem weiteren Verarbeitungsschritt werden abgeleitete Wolkentypen aus Meteosat-7 Daten (Kap. 4.3.1), die als normierte Niederschlagshäufigkeit (Kap. 4.4) bei der Interpolation eingehen, verwendet. Im Endergebnis liegen zwei neuartige Niederschlagsdatensätze der FUB ohne und mit Korrektur durch Satellitendaten vor, die im Kap. 5.2 untereinander verglichen werden. Dieser neue Datensatz, auf der konvektiven und stratiformen Skala mit Korrektur durch Satellitendaten, dient zur Verifikation der stündlichen Niederschlagssummen des Lokal-Modells vom Deutschen Wetterdienst (Kap. 6).

5.1 Methodik der Interpolation

Dass die Beobachtungsdaten auf das Modellgitter interpoliert werden, hat den Hintergrund, dass der Niederschlag im Modell immer ein Gebietsmittel eines Gitterpunktes darstellt. Nach Osborn und Hulme, 1997, ist eine Interpolation von wenigen täglichen Niederschlagsdaten auf einen Gitterpunkt möglich. Grundsätzlich ist der Gitterpunktwert ein auf die umgebende Gitterzelle bezogenes Gebietsmittel, dessen zeitlicher Verlauf überwiegend die Entwicklung eines Niederschlagsereignisses reflektiert. Die einzelnen Punktmessungen sind dagegen stark von der konkreten Lage individueller Niederschlagszellen beeinflusst.

Eine klassische meteorologische Aufgabenstellung ist folgende: Wie lässt sich eine flächenbezogene Feldverteilung aus einzelnen Beobachtungspunkten gewinnen? Dies wirft zwei grundsätzliche Fragestellungen auf.

1. Inwieweit entsprechen die Messungen dem unbekanntem, zu interpolierenden Feld (Repräsentativität) und
2. welchen Wert hat das Feld zwischen den Messpunkten (Interpolationsproblematik) ?

In dieser Arbeit ist das Interpolationsziel eine Gitterpunktdarstellung, dafür wurde das entsprechende Koordinatensystem des Lokal-Modells mit geographischer Breite und Länge (Doms et al., 2002) verwendet. Da, die stündlichen Niederschlagsmengen von Deutschland verifiziert werden, beschränkt sich die Interpolation auf das Gebiet von Deutschland mit 7432 Gitterpunkten (Abb. 2.3, S. 18).

Die stündlichen Messdaten der unregelmäßig im Raum verteilten meteorologischen Stationen (Abb. 3.2) werden mit dem objektiven Analyseverfahren von Cressman, 1959, auf das LM-Gitter (~ 7 x 7 km) interpoliert. Als Korrektionsverfahren wird das nach Reimer, 1985, angewendet. Die Niederschlagsanalyse (FUB) verwendet den Ansatz, den Wert des einzelnen Gitterpunkts (f_o) als Linearkombination der umgebenden Niederschlagsmenge (f_i) darzustellen. Im Rahmen der Auswertung erfolgte die Trennung des Niederschlages in den konvektiven und stratiformen Anteil bereits vor der eigentlichen Interpolation. Bei der Niederschlagsanalyse ohne Satellitendaten werden die Gewichte (g_i) nur als Distanz zwischen dem Gitterpunkt und der Beobachtung betrachtet, dabei wird mit zunehmenden Abstand das Gewicht kleiner. Bei der Niederschlagsinterpolation mit Satellitendaten wird als ein wichtiges Hilfsmittel für die Bestimmung der Interpolationsgewichte (g_i) die normierte Niederschlagshäufigkeit aus Satellitendaten mit einbezogen (Gl. 5.2).

In der Formel 5.1, stellt der Gitterpunkt den mittleren Wert für das Gebiet der umgebenden Gitterbox dar:

$$f_o = \frac{\sum_{i=1}^K g_i f_i}{\sum_{i=1}^K g_i} \quad (5.1)$$

$$g_i = \frac{1}{d_i^2 |w_o - w_i|}, \quad |w_o - w_i| \geq 0.01 \quad (5.2)$$

mit $d_i = |r_o - r_i|$

K ist die Anzahl der beeinflussenden Messpunkte der Umgebung (vier Stationen), f_o der Gitterpunktwert, f_i der Beobachtungswert am Punkt i und g_i sind die Gewichte als Funktion des Abstands zwischen dem Gitterpunkt (r_o) und der Beobachtung (r_i).

w_0 ist die normierte Niederschlagshäufigkeit am Gitterpunkt und w_i die aus beobachteten Wolkentypen am Beobachtungspunkt. Aus der Tab. 4.5 wird nur die normierte Niederschlagshäufigkeit der Niederschlagsklasse von 4,0 bis 4,9 mm für die Bestimmung des Gewichtes g_i mit Satellitendaten verwendet. Diese Niederschlagsklasse wurde gewählt, da in dieser Klasse die mittleren Niederschlagsmengen auftreten, die durch die charakteristischen Wolkentypen am Besten repräsentiert werden. d_i ist der Abstand zwischen dem Gitterpunkt und der Station. Der Wichtungsansatz g_i stellt somit eine Kombination zwischen den beobachteten und den aus Meteosat-Daten abgeleiteten Wolkentypen dar. Fehlen die Satellitendaten, so wird nur der an der Station beobachtete Wolkentyp verwendet. Die Zuordnung der Meteosat-Daten zum Einflussbereich der einzelnen Bodenstationen hat zum Ziel, den Informationsgehalt der räumlich und zeitlich höher aufgelösten Satellitendaten zusätzlich zur Bodenbeobachtung zu nutzen. In der Abbildung 5.1 ist die Interpolationsmethode schematisch dargestellt. Das zu der Messung f_i gehörende Gewicht g_i legt den Einfluss des Messwertes auf den Wert des zu interpolierenden Gitterpunktes f_0 fest.

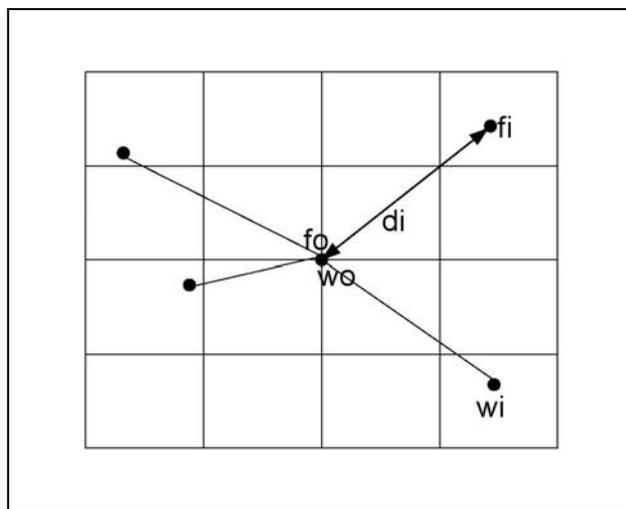


Abb. 5.1: Schema der Interpolation für die Niederschlagsanalyse der FUB.

Fehlerquellen bei der Niederschlagsinterpolation

Ein grundsätzliches Problem bereitet die Verteilung der Niederschlagsstationen und hier insbesondere die Orographie. Die Niederschlagsgeräte befinden sich meist in Tallagen und nicht in höheren Regionen der Gebirge. Dies führt dazu, dass bei der Interpolation eine Unterschätzung des Niederschlages entsteht, da dieser im Mittel mit der Höhe steigt (Peck und Brown, 1962). Dieses Verhalten wird bei dieser Interpolation nicht berücksichtigt. Weiterhin ist zu beachten, dass bereits die Stationsdaten Fehlerquellen und Unsicherheiten aufweisen (Kap. 3.3.3), aber durch die Qualitätsprüfung des Deutschen Wetterdienstes (persönliche Mitteilung von Herrn Vollbrecht, DWD) kann davon ausgegangen werden, dass die Daten der ‚bestmöglichen Wahrheit‘ entsprechen. Die bedingten Ungenauigkeiten durch systematische Messfehler sind in der Regel jedoch deutlich geringer als diejenigen, die aus einer zu geringen Stationsdichte oder indirekten Messmethoden resultieren (Reiss et al. 1992). Auch Fernerkundungsdaten (Kap.4) zeigen ihre Fehlerquellen basierend auf den Messmethoden, trotz all dieser Fehler wird vom ‚bestmöglichen Istzustand‘ aller verfügbaren Daten zur Erstellung der Niederschlagsanalyse der FUB auf einen 7-km-Gitter ausgegangen.

5.2 Unterschied zwischen den Niederschlagsanalysen (FUB) mit und ohne Satellitendaten

Für die Fehlerquantifizierung von Niederschlagsanalysen wird in der Meteorologie der RMSE (engl. Root Mean Square Error) international bevorzugt und von der WMO empfohlen (Balzer et al., 1998) und auch für die Niederschlagsanalyse der FUB berechnet. Neben dem RMSE wird der BIAS und die nach ‚Spearman‘ Rangkorrelation berechnet. Hierzu wurden die Daten von Februar bis Dezember 2004 der einzelnen Stunden von 09 bis 16 UTC ausgewählt. Die Monate Februar bis Dezember wurden auf Grund der Verfügbarkeit von LM-Vorhersagedaten gewählt, da sich die Verifikation (Kap.6) auch auf diese Monate beschränkt. Für die Sommermonate erfolgten die Berechnungen für die Zeit von 06 bis 18 UTC. Diese Tageszeiten ergaben sich aufgrund der Strahlungsverhältnisse, da zur Wolkenklassifikation der Meteosat-Daten Tageslicht erforderlich ist (vgl. Kap. 4.3).

Der RMSE ist definiert als:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (r^o - r^m)^2}{N}} \quad (5.3)$$

mit r^o als Größe für die Niederschlagsanalyse ohne Satellitendaten am Gitterpunkt, r^m ist die Niederschlagsanalyse mit Satellitendaten am Gitterpunkt und N ist die Anzahl der Gitterpunkte von Deutschland (7432). In dieser Arbeit stellt der RMSE ein Maß für die Abweichung der Niederschlagsanalyse ohne Satellitendaten gegenüber der Niederschlagsanalyse mit Satellitendaten dar. Im Gegensatz zur Standardabweichung ist der RMSE nicht mittelwertbereinigt und somit ein strengeres Prüfmaß. Aufgrund der quadratischen Funktion fallen große Abweichungen stärker ins Gewicht.

Der BIAS hingegen beschreibt die mittlere Abweichung und deckt systematische Fehler auf:

$$BIAS = \frac{\sum (r^o - r^m)}{N} \quad (5.4)$$

Die Ergebnisse der Mittelwerte der Fehlergrößen RMSE und BIAS sowie des Rangkorrelationskoeffizienten sind für das Jahr (Februar bis Dezember) und für die Sommermonate (Juni bis August) 2004 in der Tabelle 5.1 bzw. 5.3 dargestellt. Die mittleren Niederschlagssummen für das Jahr und die Sommermonate zeigen die Tabellen 5.2 und 5.4.

Tab. 5.1 Fehlergrößen RMSE [mm/h], BIAS [mm/h] und Korrelationskoeffizient (kor) für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag als Mittelwert für Deutschland von Februar bis Dezember 2004.

Uhrzeit [UTC]	gesamt			konvektiv			stratiform		
	kor	RMSE [mm/h]	BIAS [mm/h]	kor	RMSE [mm/h]	BIAS [mm/h]	kor	RMSE [mm/h]	BIAS [mm/h]
8-9	0.69	4.89	3.08	0.75	3.41	2.12	0.50	2.28	0.94
9-10	0.78	4.38	1.79	0.76	3.49	1.21	0.61	2.17	0.57
10-11	0.77	4.58	1.04	0.49	4.97	0.15	0.63	2.01	0.89
11-12	0.59	6.19	0.67	0.78	4.37	0.34	0.58	1.96	0.32
12-13	0.76	5.55	4.14	0.63	5.48	2.49	0.47	2.25	1.64
13-14	0.62	6.78	4.65	0.59	5.12	2.56	0.48	2.37	2.07
14-15	0.59	6.36	4.29	0.63	4.78	2.29	0.63	2.35	1.98
15-16	0.64	6.33	-3.38	0.41	11.21	-8.44	0.52	5.24	5.05

Tab. 5.2 Mittlere Niederschlagssumme (Februar bis Dezember) 2004 in mm für Deutschland des gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlages gerechnet ohne Satelliten- und korrigiert mit Satellitendaten.

Uhrzeit [UTC]	gesamt		konvektiv		stratiform	
	*FUB_ohne [mm/h]	*FUB_mit [mm/h]	*FUB_ohne [mm/h]	*FUB_mit [mm/h]	*FUB_ohne [mm/h]	*FUB_mit [mm/h]
8-9	26.80	23.72	16.91	14.79	9.88	8.94
9-10	27.84	26.05	17.49	16.28	10.34	9.77
10-11	29.13	28.09	18.75	18.60	10.38	9.49
11-12	30.20	29.53	20.92	20.58	9.28	8.96
12-13	31.15	27.01	22.26	19.77	8.89	7.25
13-14	32.07	27.42	23.09	20.53	8.97	6.90
14-15	34.08	29.79	24.53	22.24	9.54	7.56
15-16	38.37	41.75	28.37	36.81	10.00	4.95

- FUB_ohne: Niederschlagsanalyse ohne Satellitendaten, FUB_mit: Niederschlagsanalyse mit Satellitendaten

Tab. 5.3 Fehlergrößen RMSE [mm/h] und BIAS [mm/h] und Korrelationskoeffizient (kor) für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag als Mittelwert für Deutschland von Juni bis August 2004.

Uhrzeit [UTC]	gesamt			konvektiv			stratiform		
	kor	RMSE [mm/h]	BIAS [mm/h]	kor	RMSE [mm/h]	BIAS [mm/h]	kor	RMSE [mm/h]	BIAS [mm/h]
5-6	0.57	4.92	-0.98	0.78	2.18	-1.55	0.29	3.14	-1.78
6-7	0.88	1.55	4.63	0.90	1.29	0.78	0.51	0.85	0.39
7-8	0.87	1.43	4.24	0.83	1.22	0.80	0.71	0.78	0.26
8-9	0.89	1.38	4.31	0.88	1.23	0.75	0.61	0.76	0.18
9-10	0.75	1.99	4.74	0.74	1.71	0.79	0.64	0.97	0.17
10-11	0.44	2.62	5.08	0.35	2.20	-0.18	0.74	0.86	0.52
11-12	0.93	2.26	5.12	0.95	1.91	0.44	0.62	0.72	0.13
12-13	0.66	3.04	3.17	0.68	2.75	2.09	0.60	0.74	0.43
13-14	0.71	3.14	4.11	0.73	2.79	1.85	0.51	0.89	0.67
14-15	0.62	3.34	0.83	0.59	2.91	1.18	0.72	0.87	0.49
15-16	0.45	7.95	1.28	0.44	6.81	2.65	0.61	1.76	-1.37
16-17	0.19	14.96	0.92	0.22	13.98	2.14	0.70	1.51	-1.21
17-18	0.51	7.04	3.08	0.44	5.47	4.87	0.80	1.89	-1.80

Tab. 5.4 Mittlere Niederschlagssumme (Juni bis August) 2004 in mm des gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlages gerechnet ohne Satelliten- und korrigiert mit Satellitendaten.

Uhrzeit [UTC]	gesamt		konvektiv		stratiform	
	*FUB_ohne [mm/h]	*FUB_mit [mm/h]	*FUB_ohne [mm/h]	*FUB_mit [mm/h]	*FUB_ohne [mm/h]	*FUB_mit [mm/h]
5-6	12.38	13.36	6.17	7.72	3.86	5.64
6-7	13.03	8.40	6.38	5.60	2.83	2.44
7-8	8.83	4.59	5.69	4.89	2.96	2.70
8-9	16.32	12.01	6.05	5.30	2.72	2.54
9-10	26.20	21.46	7.00	6.21	3.20	3.03
10-11	21.35	16.27	7.81	7.99	3.48	2.96
11-12	13.26	8.14	10.08	9.64	2.74	2.61
12-13	11.65	8.48	10.81	8.72	2.32	1.89
13-14	18.04	13.94	11.48	9.63	2.42	1.75
14-15	28.38	27.55	12.31	11.13	2.83	2.34
15-16	9.56	8.28	6.14	3.49	3.42	4.79
16-17	9.27	8.35	5.65	3.51	3.63	4.84
17-18	13.68	10.60	9.74	4.87	3.93	5.73

* FUB_ohne: Niederschlagsanalyse ohne Satellitendaten, FUB_mit: Niederschlagsanalyse mit Satellitendaten

Die Streuung des BIAS der stündlichen Niederschlagsmenge (Tab. 5.1) ist am größten beim konvektiven Niederschlag zwischen 15 und 16 Uhr mit einem negativen Wert. Ein negativer BIAS weist daraufhin, dass die Niederschlagsanalyse (FUB) ohne Satellitendaten geringer in der Menge ist als mit Satellitendaten. Ähnliche Ergebnisse zeigt der gesamte Niederschlag, dabei ist die mittlere Abweichung des stratiformen Niederschlages größer als beim gesamten Niederschlag. Kaum Unterschiede in den einzelnen Niederschlagsarten der Analyse mit und ohne Satellitendaten zeigt der Zeitraum zwischen 11 und 12 Uhr. Ähnliche Ergebnisse (Tab. 5.3) sind für die Sommermonate (Juni bis August) zu erkennen. Generell sind die Abweichungen in den Abendstunden am größten. Der stündliche Korrelationskoeffizient nach Spearman's (kor) wird durch die Niederschlagsart und Tageszeit bestimmt. Die beiden Niederschlagsanalysen weichen besonders am späten Vormittag und zwischen 16 und 17 Uhr ab.

Die durchgeführten Betrachtungen durch die unterschiedlichen Fehlermaße zeigen, dass unter Verwendung von Satelliten die stündliche Niederschlagsmenge recht unterschiedlich im Mittel streut. Grundsätzlich reduziert sich die Niederschlagsmenge unter Anwendung von Satellitendaten. Die stärkeren Abweichungen treten insbesondere beim konvektiven Niederschlag zum Abend (17-18 UTC) im Sommer auf, wobei die stratiforme Niederschlagsmenge in dieser Zeit durch die Korrektur der Satellitendaten erhöht wird.

Im Rahmen des t-Tests wurde der Datensatz dahingehend untersucht, ob die Differenz der Mittelwerte der Niederschlagsanalyse ohne und korrigiert durch Satellitendaten zufällig zustande gekommen ist, oder ob sie auch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit in der Grundgesamtheit vorliegt, also im statistischen Sinne signifikant ist. In dem Fall der Niederschlagsanalyse der FUB liegt die Signifikanzschränke der Student-Verteilung bei 1.96 bei einer 5%-igen Irrtumswahrscheinlichkeit. Sämtliche stündlichen Ergebnisse des t-Tests des gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlages liegen zwischen zwei und sechzig und somit ist die Mittelwertdifferenz der Niederschlagsdaten signifikant.

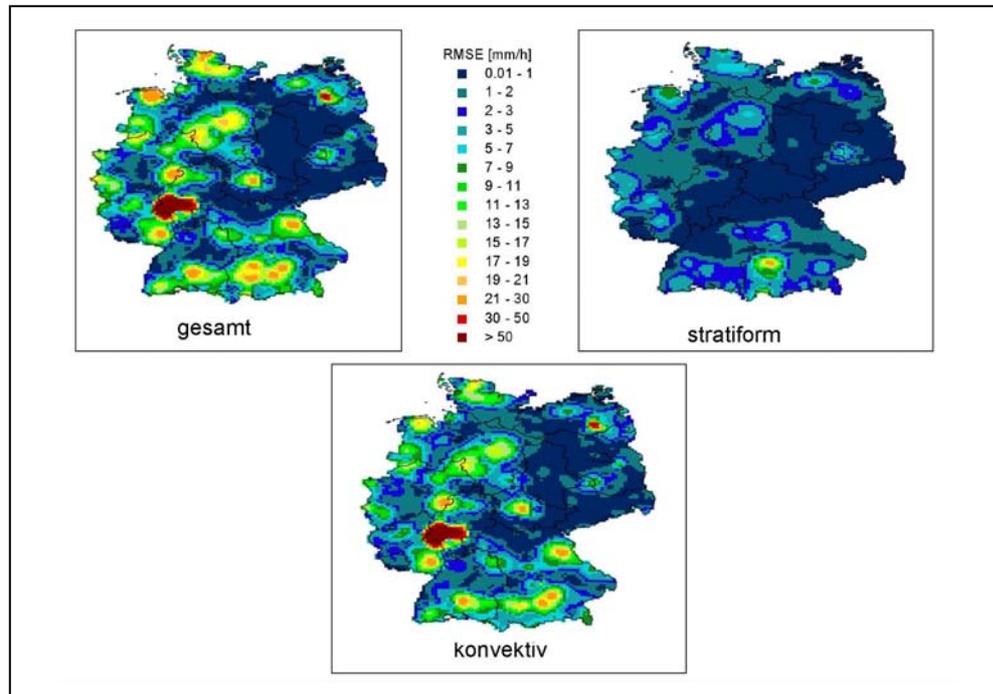


Abb. 5.2: RMSE [mm/h] berechnet für die Niederschlagsanalyse ohne und mit Satellitendaten von 06 bis 18 Uhr der Sommermonate 2004 für den gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlag.

Die räumliche Streuung von 06 bis 18 Uhr der Sommermonate 2004 berechnet für die Niederschlagsanalyse ohne und mit Satellitendaten zeigt die Abbildung 5.2. Der RMSE liegt beim stratiformen Niederschlag zwischen 0,12 und 24 [mm/h], beim konvektiven zwischen 0,23 und 54 [mm/h] und beim gesamten zwischen 0,11 und 54 [mm/h]. Die größeren Streuungen treten dabei auf der konvektiven Skala auf. Die höchsten Werte (orange bis rote Töne) sind besonders im Voralpenraum, im Taunus, im Lee des südlichen Schwarzwaldes, im Harz, der Lüneburger Heide, in Ostfriesland und Schleswig-Holstein zu finden. In diesen Regionen sind die Niederschlagsmengen der Analyse (FUB) ohne Satellitendaten kleiner. Die Fehler des stratiformen und konvektiven Niederschlages summieren sich beim gesamten Niederschlag auf. Durch die Anwendung der Satellitendaten als normierte Niederschlagswahrscheinlichkeit bei der Interpolation von Stationsdaten zu Gitterpunktwerten zeigte sich insbesondere beim konvektiven Niederschlag eine größere räumliche Streuung. Gerade bei konvektiven Niederschlagssystemen, die durch eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität lokal begrenzt sind, reduziert sich die Niederschlagsmenge. Daraus lässt sich schließen, dass die alleinige Kenntnis einer Stationsmeldung nur repräsentativ für diesen einen Standort ist und somit können durchaus Lücken im Beobachtungsnetz mit Hilfe der Satellitendaten geschlossen werden.

Analysenfehler

Da, die regionale Verteilung der Niederschlagsstationen die Qualität des Gebiets- bzw. Gitterpunktniederschlags bestimmt, wird in diesem Abschnitt der Analysenfehler mit Satellitendaten und ohne zum Stationswert bestimmt. Dazu wird die Stationsmeldung mit dem nächst gelegenen Gitterpunktwerts der Niederschlagsanalyse der FUB mit und ohne Satellitendaten verglichen. Exemplarisch ist in Abbildung 5.3 das Ergebnis des Tagesgangs des gesamten Niederschlages für die Station Berlin-Dahlem im Zeitraum von 09 bis 16 Uhr für das Jahr 2004 dargestellt. Die Niederschlagsmenge der Stationsmeldungen ist geringer als der Gitterpunktwert der Niederschlagsanalyse mit und ohne Satellitendaten. Unter Verwendung von Satellitendaten wird die Niederschlagsmenge meist reduziert und nur zum Abend erhöht. Im Mittel zur Stationsmeldung ergibt sich eine um 3,7 mm/h größere Niederschlagsmenge mit Satellitendaten und 4,8 mm/h ohne Satellitendaten. Die mittlere Abweichung (BIAS) bezogen auf die Stationsdaten zeigt keinen Unterschied und liegt bei -0,1 mm/h für die Analyse mit Satelliten- und ohne Satellitendaten. Die Streuung ausgedrückt durch den RMSE ohne Satellitendaten bezogen auf die Stationsdaten beträgt 0,27 mm/h und mit Satellitendaten 0,20 mm/h mit einem zunehmenden Anstieg zum Abend.

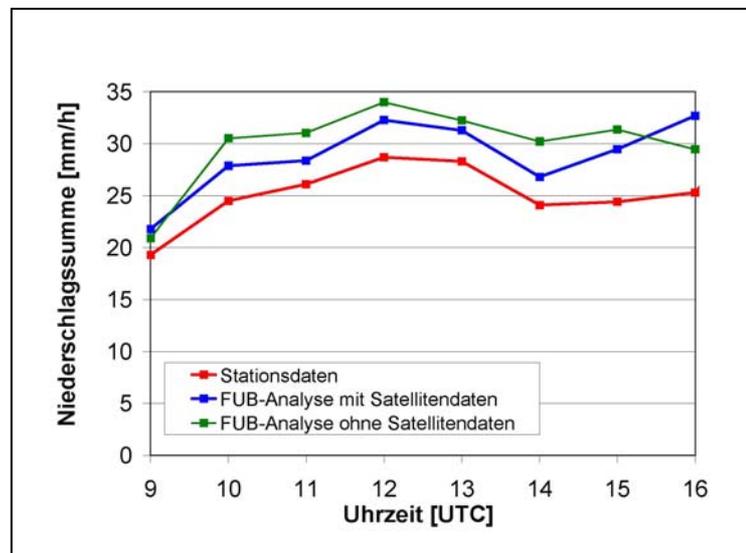


Abb. 5.3: Tagesgang des Niederschlages an der Station Berlin-Dahlem im Jahr 2004 von 09 bis 16 Uhr und des nächst gelegenen Gitterpunktes. Ein Vergleich: Stationsdaten und Analyse (FUB) gerechnet mit und ohne Satellitendaten.

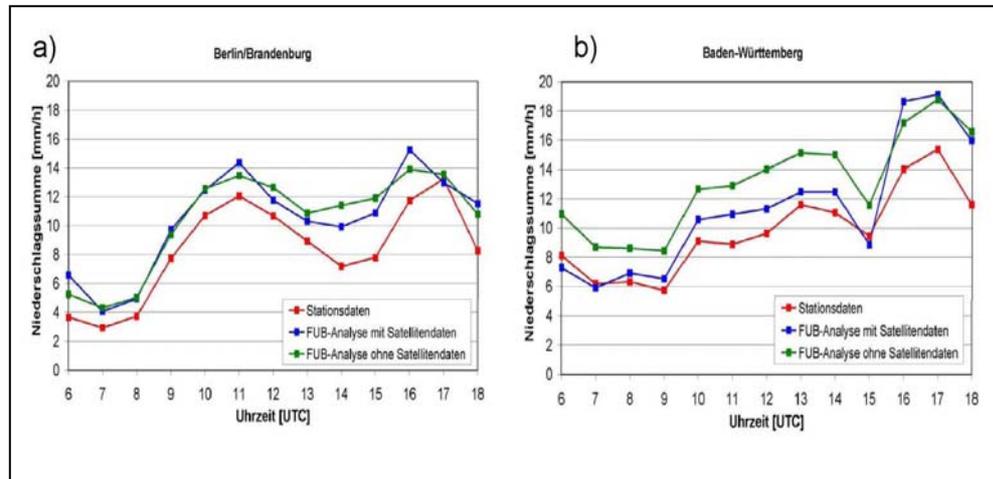


Abb. 5.4: Tagesgang des Niederschlages an den Niederschlagsstationen in der Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg im Sommer 2004 von 06 bis 18 Uhr sowie des nächst gelegenen Gitterpunktes. Ein Vergleich: Stationsdaten und Analyse (FUB) gerechnet mit und ohne Satellitendaten.

Für die Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg zeigt die Abbildung 5.4 den Vergleich der Stationsmessung mit dem nächst gelegenen Gitterpunkt für die Sommermonate 2004 von 06 bis 18 Uhr. Die Stationsdaten zeigen auch hier wieder eine geringere Niederschlagsmenge als die bei der Interpolation mit und ohne Satellitendaten erstellte Menge. Wie schon in der Abbildung 5.3 zeigt sich, dass unter Verwendung von Satellitendaten die Niederschlagsmenge besonders in Baden-Württemberg reduziert wird, allerdings kommt es in den Abendstunden eher zu einer Erhöhung der Niederschlagsmenge.

Zusammenfassend ist in Tabelle 5.5 der RMSE für den Zeitraum von 06 bis 18 Uhr berechnet. Das Ergebnis zeigt, dass die Region Berlin/Brandenburg bei der Berechnung ohne Satellitendaten und mit Satellitendaten sich zwar im Mittel nicht unterscheidet, aber sowohl im Tagesgang, besonders frühmorgens und am späten Nachmittag. Für die Region Baden-Württemberg zeigt der RMSE gerechnet ohne Satellitendaten im Mittel eine größere Streuung als für die Region Berlin/Brandenburg, aber auch als der RMSE gerechnet mit Satellitendaten. Die durchgeführte Berechnung des RMSE zeigt, dass die erreichte Genauigkeit der Niederschlagsmenge zu den Stationsdaten durchaus abhängig von der Region ist. Obgleich die Satellitendaten die unter Kap. 4.3.1 genannten Fehler in sich tragen, sind diese durchaus bei der Interpolation geeignet, da die Niederschlagsmenge in Richtung der Stationsdaten reduziert wird.

Tabelle 5.5: RMSE zwischen Stationsdaten und Analysedaten (FUB) gerechnet mit und ohne Satellitendaten.				
	Berlin/Brandenburg		Baden-Württemberg	
Uhrzeit [UTC]	Stationsdaten- Analyse mit Sat.Daten	Stationsdaten- Analyse ohne Sat.Daten	Stationsdaten- Analyse mit Sat.Daten	Stationsdaten- Analyse ohne Sat.Daten
	RMSE [mm/h]	RMSE [mm/h]	RMSE [mm/h]	RMSE [mm/h]
5-6	0.30	0.17	0.09	0.30
6-7	0.12	0.14	0.03	0.26
7-8	0.13	0.14	0.06	0.24
8-9	0.21	0.17	0.08	0.28
9-10	0.18	0.19	0.15	0.37
10-11	0.24	0.15	0.22	0.42
11-12	0.11	0.20	0.18	0.46
12-13	0.14	0.20	0.09	0.37
13-14	0.29	0.44	0.15	0.41
14-15	0.32	0.43	0.06	0.22
15-16	0.36	0.23	0.48	0.33
16-17	0.03	0.03	0.39	0.36
17-18	0.34	0.26	0.46	0.52
Mittelwert	0.21	0.21	0.19	0.35

5.2.1 Fallbeispiel: 09.06.2004

Das erste Beispiel beruht auf einem Niederschlagsereignis vom 09.06.2004 zwischen 11 und 12 UTC. Am 09.06.2004 bestimmt zunächst noch das Hochdruckgebiet VINCENT (Abb. 5.5) mit seinem Kern über den Alpen das Wettergeschehen in weiten Teilen Deutschlands. Die Temperatur entlang des Rheins stieg auf über 30°C an, dagegen lag die Höchsttemperatur an der Nord- und Ostseeküste unter 20°C. Eine scharf ausgeprägte Luftmassengrenze verlief vom Emsland über Sachsen hinweg weiter nach Südosten, dabei entstand ein Gewittercluster, das vom nördlichen Deutschland rasch nach Südosten zog. Das von Warmlufteinschubgewittern durchsetzte Regengebiet erfasste unter Abschwächung am späten Vormittag den Berliner Raum. In Berlin-Dahlem fielen innerhalb einer Stunde (11-12 UTC) 7,2 Liter pro Quadratmeter.

Die Abbildung 5.6 zeigt auf der linken Seite den Infrarot-Kanal und auf der rechten Seite das Ergebnis der Wolkenklassifikation. Über dem nördlichen Berlin wurde Cumulus/Stratocumulus und dem westlichen Teil der Stadt Altostratus mit Altostratus/Nimbostratus klassifiziert. Dagegen zeigt der südliche Stadtrand einen Stratus fractus und im südlichen Brandenburg wurde Cumulonimbus/Nimbostratus bestimmt.

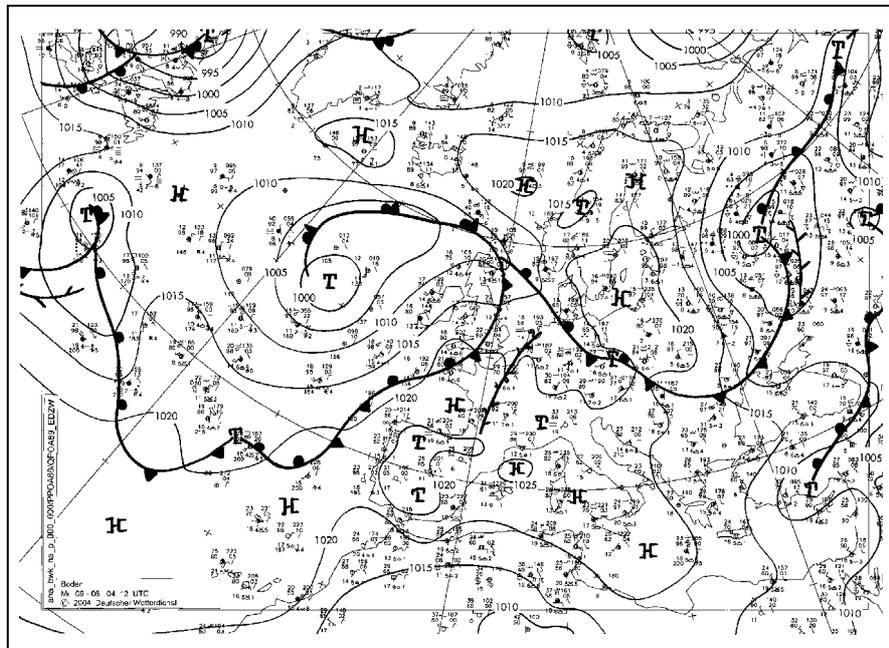


Abb.5.5: Bodenanalyse vom 09.06.2004, 12 UTC.

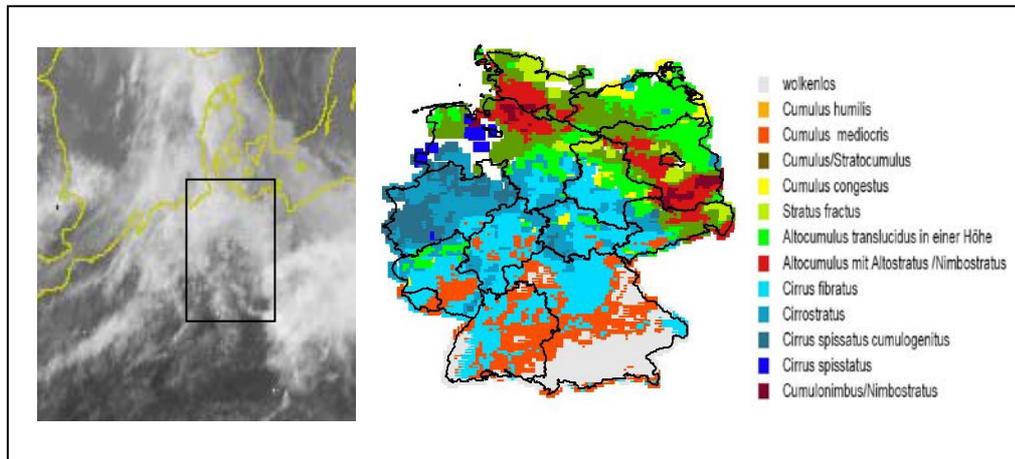


Abb.5.6: Links: IR-Kanal* und rechts: Wolkenklassifikation vom 9. Juni 2004, 12 UTC erstellt aus Meteosat-Daten. * (Das Viereck umfasst das Gebiet von Deutschland)

In Abbildung 5.7 sind die Ergebnisse der Interpolationsarten mit Satellitendaten (a) und ohne (b) für den 9. Juni 2004 gegenübergestellt. Bei der Berechnung mit Satellitendaten (Abb. 5.7 a) befindet sich am nord-westlichen Stadtrand von Berlin (dunkles Rot) ein Niederschlagsgebiet, welches um 2 mm geringer ist als bei dem Interpolationsergebnis ohne Satellitendaten. Der aus Meteosat-Daten abgeleitete Wolkentyp ist Cumulus/Stratocumulus. Dieser Wolkentyp verringert die Niederschlagsmenge des stratiformen wie auch des konvektiven Niederschlages in der Fläche. Grundsätzlich zeigt dieses Beispiel, dass sich der Niederschlag aus dem stratiformen und konvektiven Anteil zusammensetzt. Diese Niederschlagsarten ergeben sich aus Beobachtungen an einer Station. So meldet zum Beispiel die Station Berlin-Dahlem um 12 UTC konvektiven Niederschlag („ww“ 80) mit Cumulonimbus. Dagegen melden die Stationen Berlin-Tegel, -Tempelhof und -Schönefeld stratiformen Niederschlag mit Stratocumulus. Die Wolkentypen aus Meteosat-Daten zeigen über dem Berliner Stadtgebiet Alto cumulus mit Altostratus/Nimbostratus und Cumulus/Stratocumulus. Dabei ist das berechnete stratiforme Niederschlagsfeld mit Satellitendaten in seiner Form kompakter (Abb. 5.7 a) und in der Niederschlagsmenge deutlich homogener gegenüber dem konvektiven. Die Niederschlagsmenge am 9. Juni 2004 wird schwerpunktmäßig durch die konvektive Niederschlagsmenge bestimmt.

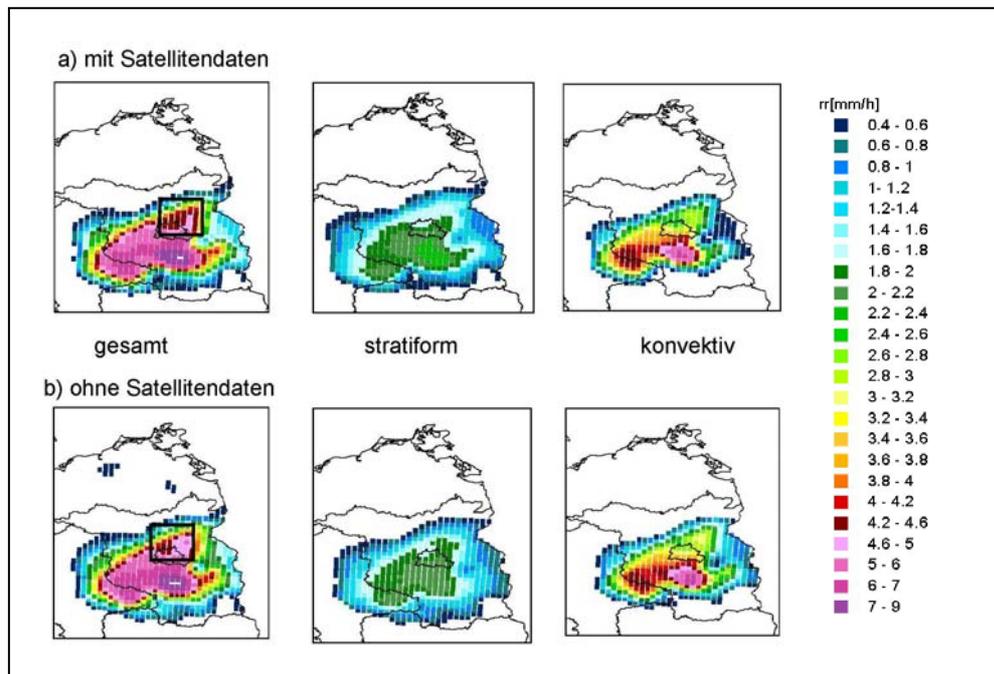


Abb. 5.7: Niederschlagsmenge [mm/h] a) unter Verwendung von Satellitendaten und b) ohne Satellitendaten für den 09.06.2004, 11-12 UTC.

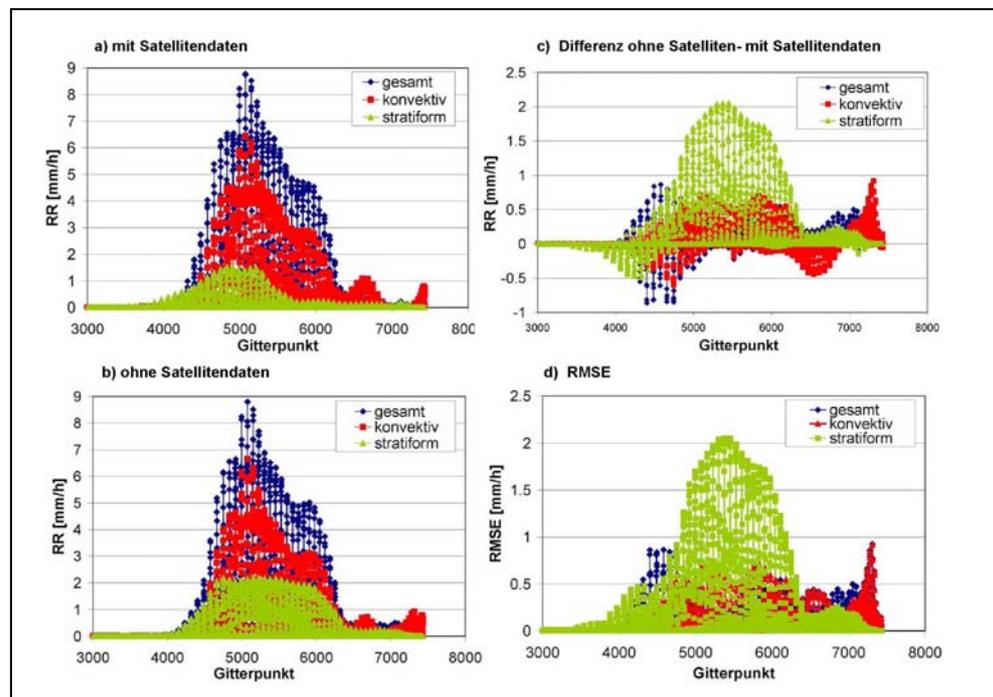


Abb. 5.8: Niederschlagsmenge [mm/h] für Berlin/Brandenburg (aus Abb. 5.4). a) Niederschlagsanalyse mit Satellitendaten, b) Niederschlagsanalyse ohne Satellitendaten, c) Differenz der Niederschlagsanalyse ohne und mit Satellitendaten und d) RMSE [mm/h] für den 09. Juni 2004, 11-12 UTC.

In der Abbildung 5.8 sind die Gitterpunkte von Deutschland dargestellt, die hier das Niederschlagsgebiet von Berlin/Brandenburg (Abb. 5.7) zeigen. Analysiert man den Verlauf des Niederschlages, so fällt auf, dass der stratiforme Niederschlag bei der Interpolation ohne Satellitendaten (Abb. 5.7 b) höher ist. Bei der Interpolation des Niederschlages auf den Gitterpunkt wird die Niederschlagsmenge durch das Vorhandensein von Altocumulus mit Altostratus/Nimbostratus reduziert. Die maximale Abweichung beträgt bis zu 2 mm/h. Positive Abweichungen (Abb. 5.8 c) treten überwiegend beim stratiformen Niederschlag auf, was besagt, dass das Interpolationsergebnis mit Satellitendaten die Niederschlagsmenge reduziert. Dieses Beispiel zeigt recht gut die Verteilung beider Niederschlagsarten mit der entsprechenden Summe an den jeweiligen Gitterpunkten sowie die Unterschiede in der Erhöhung bzw. Verringerung der Niederschlagsmenge unter Verwendung von Satellitendaten. In Abbildung 5.8 d zeigt der RMSE beim stratiformen Niederschlag eine größere Streuung mit maximalen Werten bis zu 2 [mm/h] als beim konvektiven. Im Ergebnis zeigt sich an diesem Fallbeispiel, dass bei der Niederschlagsinterpolation ohne Satellitendaten die konvektiven Niederschläge verringert, aber auch erhöht werden. Allerdings zeigt der konvektive Niederschlag eine geringere Streuung als der stratiforme.

5.2.2 Fallbeispiel: 18.07.2004

Ein weiteres Beispiel für die Niederschlagsinterpolation mit und ohne Satellitendaten diesmal für sehr geringe Mengen an gefallendem Niederschlag ist der 18. Juli 2004 zwischen 15 und 16 UTC. Ein Höhenhochkeil über Mitteleuropa steilte sich weiter auf und wanderte mit seiner Achse ostwärts. West- und Mitteleuropa verblieben unter einer süd-westlichen Höhenströmung. Über dem Westen und Südwesten Deutschlands entstanden im Zusammenhang mit einer Konvergenzlinie zahlreiche Gewitter, die teils unwetterartigen Charakter hatten und mit der süd-westlichen Höhenströmung rasch weiter nach Nordosten zogen, welches auch anhand der Wolkenklassifikation zu erkennen ist (Abb. 5.10).

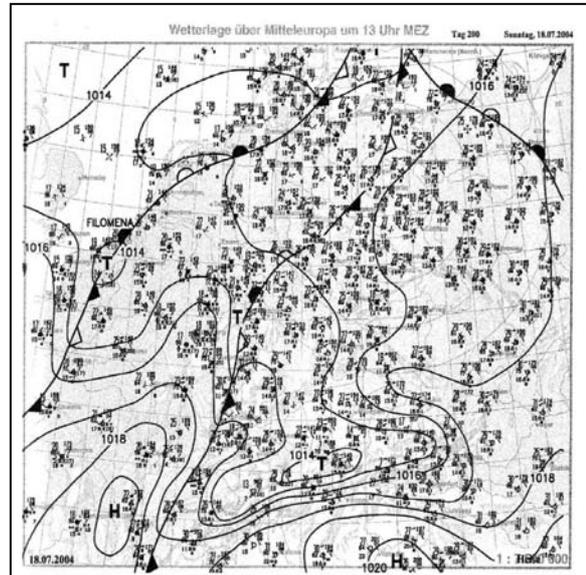


Abb. 5.9: Wetterlage vom 18.7.2004, 12 UTC.

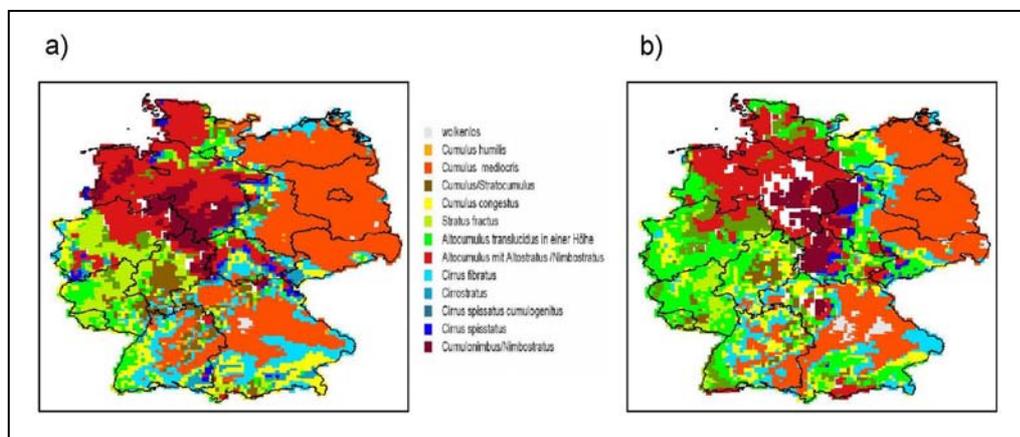


Abb. 5.10: Meteosat-Wolkenklassifikation: 18 Juli 2004, a) 15 UTC und b) 16 UTC.

Das zentrale Niederschlagsband (Abb. 5.11) befindet sich im Gebiet zwischen Osnabrück, Herford und Kassel mit Maximalwerten beim gesamten Niederschlag im Inneren des Niederschlagsgebietes. Die zu diesem Niederschlagsgebiet gehörenden Wolkentypen sind sowohl stratiform als auch konvektiv. Das Ergebnis der aus Meteosat-Daten abgeleiteten Wolkentypen (Abb. 5.10) zeigt Altocumulus mit Altostratus/Nimbostratus und Cumulonimbus/ Nimbostratus.

5. Niederschlagsanalyse

Weitere Niederschlagsgebiete mit geringer Niederschlagsmenge befinden sich im westlichen Raum nahe Trier sowie auf der Linie Rothenburg o.d.T. und Fürth und in der Region Garmisch-Partenkirchen. Nahe Garmisch-Partenkirchen wird um 15 Uhr Cumulus/Stratocumulus und um 16 UTC Altocumulus mit Altostratus/Nimbostratus klassifiziert. Die Station Garmisch selbst meldet um 15 Uhr 0,2 mm Niederschlag. Die Station Hohenpeissenberg meldet um 16 Uhr Gewitter mit Niederschlag während der letzten Stunde mit 0,2 mm Niederschlag. Alle Beobachtungen zeigen in der Umgebung Garmisch-Partenkirchen konvektive Wolkentypen und somit ist die Zuordnung des Niederschlagstyps eindeutig gegeben.

Dieses zweite Fallbeispiel zeigt durch die Differenz der Niederschläge (Abb. 5.12 c) beider Interpolationsverfahren, dass die stratiforme Niederschlagsmenge erhöht wird, wenn Satellitendaten verwendet werden. Der konvektive Niederschlag wird durch den Einsatz der Satellitendaten überwiegend erniedrigt. Bei der Berechnung des RMSE (Abb. 5.12 d) zeigen alle Niederschlagsarten zu gleichen Anteile eine geringere Streuung der Niederschlagswerte.

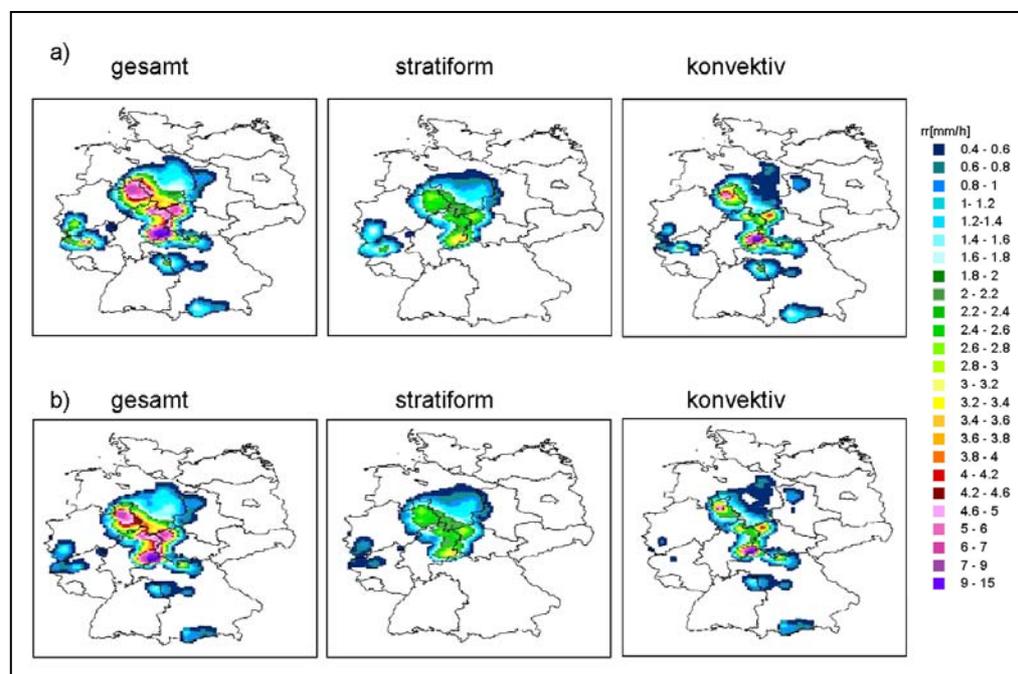


Abb. 5.11: a) Niederschlagsmenge [mm/h] unter Verwendung a) durch Satellitendaten und b) ohne Satellitendaten für den 18.07.2004, 15-16 UTC.

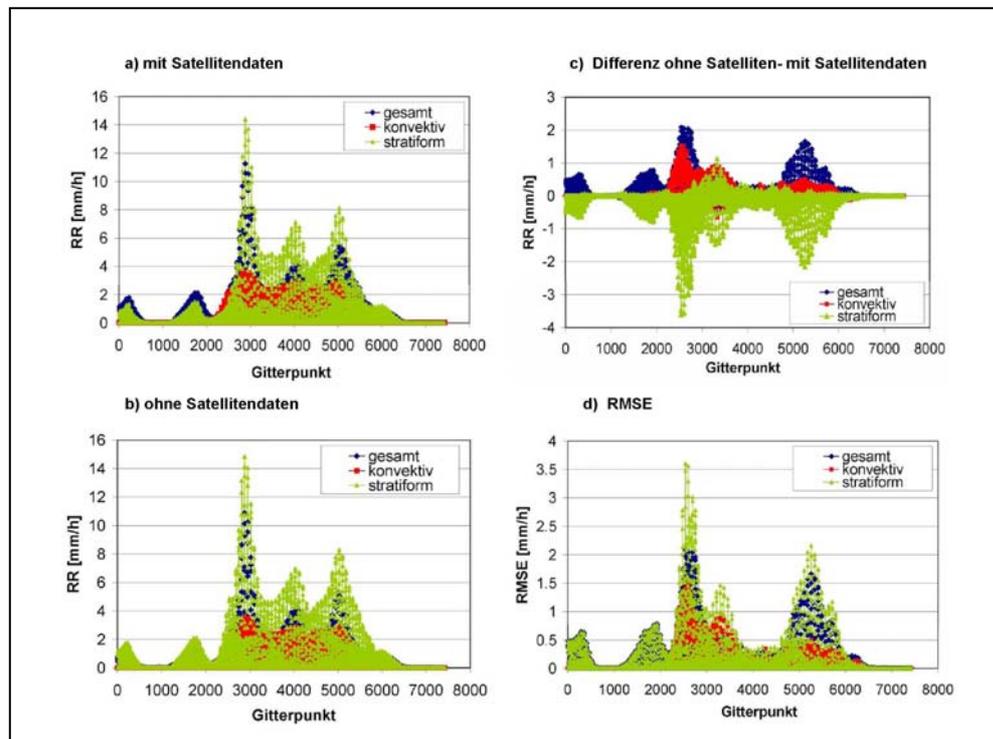


Abb. 5.12: Niederschlagsmenge [mm/h] von Deutschland (aus Abb. 5.9). a) Niederschlagsmenge mit Satellitendaten, b) Niederschlagsmenge ohne Satellitendaten, c) Differenz der Niederschlagsanalyse ohne und mit Satellitendaten, d) RMSE [mm/h] für den 18. Juli 2004, 15-16 UTC.

5.3 Ein Vergleich Niederschlagsanalyse (FUB) mit der Analyse und Vorhersage des Lokal - Modells

5.3.1 Mittlere Jahresniederschlag

Beim Vergleich des mittleren Jahresniederschlages (Tab. 5.6) für Deutschland mit den Angaben des DWD aus dem Witterungsreport von 2004 zeigt sich, dass die LM-Analyse des gesamten Niederschlages in guter Übereinstimmung zu den Angaben aus dem Witterungsreport ist. Dagegen weicht die mittlere Jahressumme der LM-Vorhersage um +116 mm im Jahr ab. Die Abweichung der Analyse der FUB ohne Satellitendaten und mit Satellitendaten zur Beobachtung (Witterungsreport, 2004) beträgt -56 bzw. -23 mm/Jahr. Der Unterschied der Niederschlagsmenge zur Beobachtung des DWD liegt in den Sommermonaten, die hier nicht als Tabellenwerte gezeigt werden, bei -27 mm/JJA ohne Satellitendaten und mit Satellitendaten bei -24 mm/JJA. Die skalenabhängigen Niederschläge der LM-Analyse zeigen eine Unterschätzung (konvektiv) bzw. Überschätzung (stratiform) bezogen auf die beiden Analysen der FUB. Der vorhergesagte stratiforme Niederschlag ist mehr als doppelt so hoch wie der aus der korrigierten Analyse der FUB, dagegen ist der konvektive zu gering.

Tabelle 5.6 Mittlere Niederschlagssumme in mm pro Jahr für den gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlag. Im Vergleich Analyse (FUB) unkorrigiert und korrigiert durch Satellitendaten, Daten des Lokal-Modells und der Stationsmeldungen (Witterungsreport, 2004) vom DWD der Monate Februar bis Dezember 2004.

Jahres- summe* [mm/Jahr]	DWD Witterungs- Report (2004)	FUB- korrigiert	FUB- unkorrigiert	LM- Vorhersage	LM- Analyse
gesamt	673	696	729	789	644
konvektiv	keine Angabe	497	487	353	265
stratiform	keine Angabe	199	242	436	379

- ohne den Monat Januar

5.3.2 Der Tagesgang des Niederschlages im Jahr 2004

In dem folgenden Abschnitt werden primär die stündlich aufgelösten Niederschlagsdaten der FUB mit und ohne Satellitendaten mit denen des Lokal-Modells verglichen. Dazu werden die Niederschlagsvorhersagen des 00 UTC-Laufs und die Analysedaten des Lokal-Modells herangezogen. Die Analysedaten des Lokal-Modells sind ein Abbild der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt und werden als Anfangszustand für die Vorhersage genutzt. Im Kontext der Datenassimilation sind die Werte zwei- bzw. drei-dimensionale Beobachtungen (Doms, et al. 2001). Alle drei Stunden wird ein Assimilationszyklus neu gestartet, der über drei Stunden läuft, d.h zum Beispiel ein 00 UTC-Lauf erstellt Analysen für ein, zwei und drei Uhr.

Die Abbildung 5.13 zeigt den mittleren Tagesgang des gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlages über Deutschland von Februar bis Dezember 2004. Dargestellt sind vier Datensätze: stündliche Niederschlagsanalyse (FUB) mit Korrektur durch Satellitendaten (blau), stündliche Niederschlagsanalyse (FUB) ohne Korrektur (rot), LM-Vorhersage (braun) und LM-Analyse (grün).

In den Datensätzen der Niederschlagsanalyse der FUB ist der typische Tagesgang der Niederschlagsmenge zu beobachten, der eine Doppelwelle zeigt. Die Maxima der Doppelwelle treten zwischen 06 und 07 UTC und zwischen 16 und 18 UTC auf (vgl. auch Steinhauser, 1965). Steinhauser, 1965, erklärt in seiner Arbeit, dass das morgendliche Maximum vor dem durchschnittlichen Sonnenaufgang liegt. In der Amplitude des konvektiven Niederschlages zeigt sich das vorwiegend auf die Wirkung der thermischen Konvektion zurückzuführende Hauptmaximum stärker am Nachmittag. Dieses Maximum zeigt sich auch in der Amplitude des gesamten Niederschlages, welches unter der Verwendung von Satellitendaten etwas erhöht wird.

Im Vergleich zur Analyse der FUB zeigt der Tagesgang des modellierten konvektiven und gesamten LM-Niederschlags ein zu schnelles Ansteigen bis zum Maximum. Dieses Ergebnis zeigt auch Paulat, 2007, in seiner Arbeit beim Tagesgang des gesamten Niederschlages vom aLMo. Auch zeigt der vorhergesagte konvektive Niederschlag eher eine Gauss-Kurve, mit viel zu geringem Niederschlag in den Abend- und Morgenstunden, und einem Maximum welches zu früh simuliert wird. Dieses Ergebnis zeigt, dass die reale Situation vom Modell nicht wiedergegeben wird.

5. Niederschlagsanalyse

Da der konvektive Niederschlag mit seinem Maximum um die Mittagszeit den gesamten Niederschlag zu dieser Tageszeit prägt, stellt sich hier die Frage, inwieweit auch der gesamte Niederschlag der Wirklichkeit entspricht. Beim Tagesgang (Abb. 5.13) des vorhergesagten stratiformen Niederschlags ist die Überschätzung der Niederschlagsmenge zur Analyse der FUB zu erkennen, wobei das morgendliche Maximum gegen 06 Uhr simuliert wird. Der stratiforme Niederschlag der LM-Analyse zeigt allerdings die beste Übereinstimmung zur Niederschlagsanalyse der FUB.

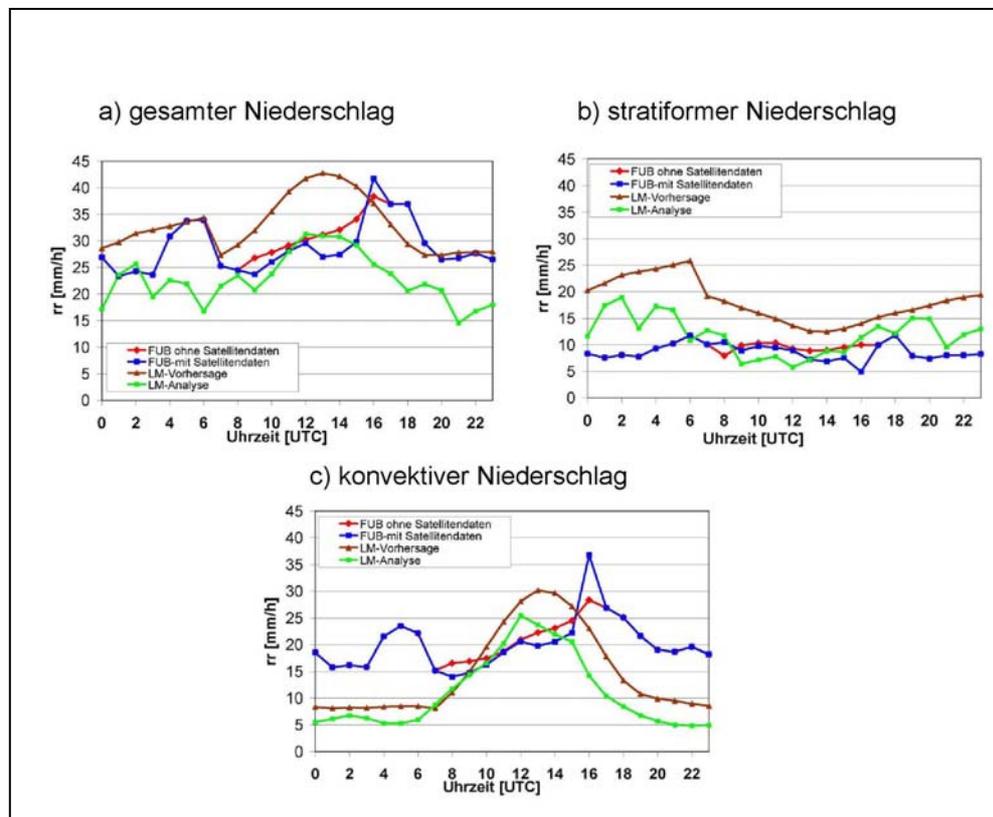


Abb. 5.13: Tagesgang des (a) gesamten, (b) stratiformen und (c) konvektiven Niederschlags als Summe über alle Tage von Februar bis Dezember 2004 in [mm/h] als Mittelwert über Deutschland. Rot: Analyse (FUB) ohne Korrektur, blau: Analyse (FUB) mit Korrektur, grün: LM-Analyse und braun: LM-Vorhersage.

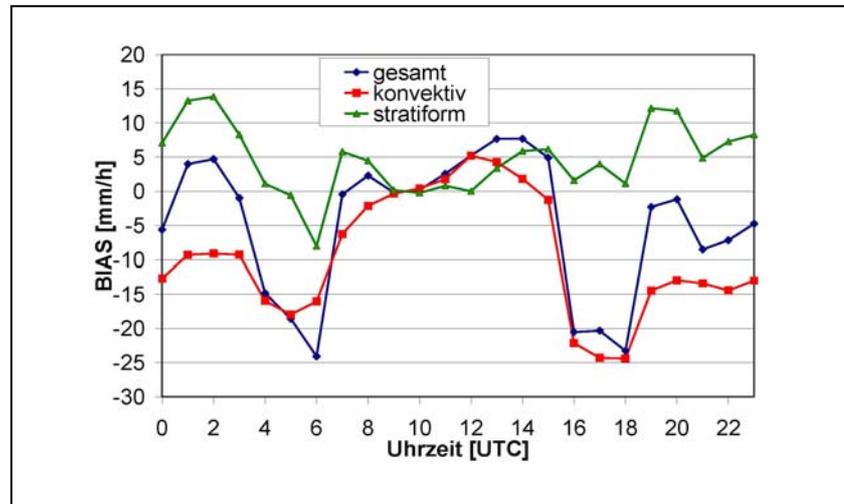


Abb. 5.14: Tagesgang des BIAS für den gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlag von Februar bis Dezember 2004 in [mm/h] als Mittelwert über Deutschland.

Des Weiteren wird der Unterschied zwischen der LM-Analyse und der Niederschlagsanalyse (FUB) auf stündlicher Basis (Abb. 5.14) durch den BIAS als Mittelwert für Deutschland betrachtet. Dabei wird die Differenz der LM-Analyse minus FUB-Analyse mit Satellitendaten berechnet. Durch die Skalen-Trennung der Niederschlagsarten zeigt sich hier insbesondere, dass der Tagesgang des Fehlers beim gesamten Niederschlag durch den Fehler des konvektiven Niederschlages geprägt wird (vgl. auch Lorenz, 1993). Die größten Fehler treten während der morgendlichen und abendlichen Maxima (vgl. Abb. 5.13) auf. Da für diesen Vergleich die LM-Analysedaten angewendet werden, zeigt sich auch hier, dass bereits dieser Datensatz einen falschen Tagesgang aufweist und somit die Vorhersage bereits Defizite aufweist.

Zusammenfassend lässt sich für den Tagesgang des Niederschlages feststellen:

- Die Niederschlagssumme des gesamten Niederschlages über alle Stunden wird vom LM in der Vorhersage überschätzt und unterschätzt von der LM-Analyse.
- Die vorhergesagte maximale Niederschlagsmenge tritt beim gesamten und konvektiven Niederschlag zu früh am Tag ein (vgl. auch Baldauf et al., 2006).
- Der konvektive Niederschlag der LM-Analyse und LM-Vorhersage ist in den Morgen- und Abendstunden zu gering und die LM-Analyse wie auch die LM-Vorhersage zeigen eine nahezu identische Amplitude.

- Die stratiforme Niederschlagsmenge wird von der LM-Vorhersage im Tagesgang überschätzt, während die LM-Analyse den Tagesgang der FUB-Analyse besser beschreibt.
- Beim gesamten und konvektiven Niederschlag der FU-Analyse zeigt sich tagsüber und besonders um die Mittagszeit eine Niederschlagsverringerung unter Verwendung von Satellitendaten.
- Der stratiforme Niederschlag der FUB-Analyse mit und ohne Satellitendaten zeigt im Tagesgang nur geringe Unterschiede.

5.3.3 Der Tagesgang des Niederschlages im Sommer 2004 - ein Vergleich zwischen Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg

Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, fand im Jahr 2007 eine internationale Feldmesskampagne im Schwarzwald bezüglich der Grundlagenforschung zum Niederschlag statt. Um sich einen Eindruck über die regionale Verteilung des Tagesganges des Niederschlages verschaffen zu können, wird in diesem Abschnitt die Region Baden-Württemberg (752 Gitterpunkte) mit Berlin/Brandenburg (628 Gitterpunkte) für das Jahr 2004 verglichen. Für den Vergleich der FUB-Analyse mit Satellitendaten, den Niederschlagsdaten der LM-Vorhersage aus dem 00 UTC-Lauf und der LM-Analyse werden 21 Stationen für die Region Baden-Württemberg und 17 Stationen für Berlin/Brandenburg hinzugezogen. In Abbildung 5.15 ist der Tagesgang für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag für die beiden Regionen exemplarisch für die Sommermonate Juni bis August 2004 gegenübergestellt. Die Unterschiede der geographischen Lage der Gebiete bewirken auch Unterschiede in der Amplitude des Tagesganges. Während in der Region Baden-Württemberg die morgendlichen und abendlichen Maxima (Abb. 5.15 a) deutlich zu erkennen sind, zeigt sich im Gebiet Berlin/Brandenburg das erste Maximum um die Mittagszeit und ein zweites zwischen 16 und 18 Uhr. Die typische Sommer-Konvektion in Baden-Württemberg zeigt das Hauptmaximum zwischen 16 und 18 Uhr, dagegen tritt in Berlin/Brandenburg das Hauptmaximum erst gegen Ende des Tages auf.

Die Gegenüberstellung der mittleren Tagesniederschläge im Sommer zeigt die klimatisch doch recht unterschiedlich geprägten Regionen Deutschlands. Der vorhergesagte Niederschlag simuliert einen Tagesgang mit einem deutlich überschätzten Maximum und einem zu schnellen Ansteigen bis zum Maximum, das auch

5. Niederschlagsanalyse

noch zu früh eintritt. Ein Problem des Modells stellt das Tagesmaxima beim Niederschlag dar, der am Tag zu früh eintritt. Wie auch schon von Baldauf et al., 2006, und auch Trenberth et al., 2006, erwähnt, zeigt sich, dass die Tageszeit des maximalen Niederschlages zwei bis drei Stunden zu früh simuliert wird.

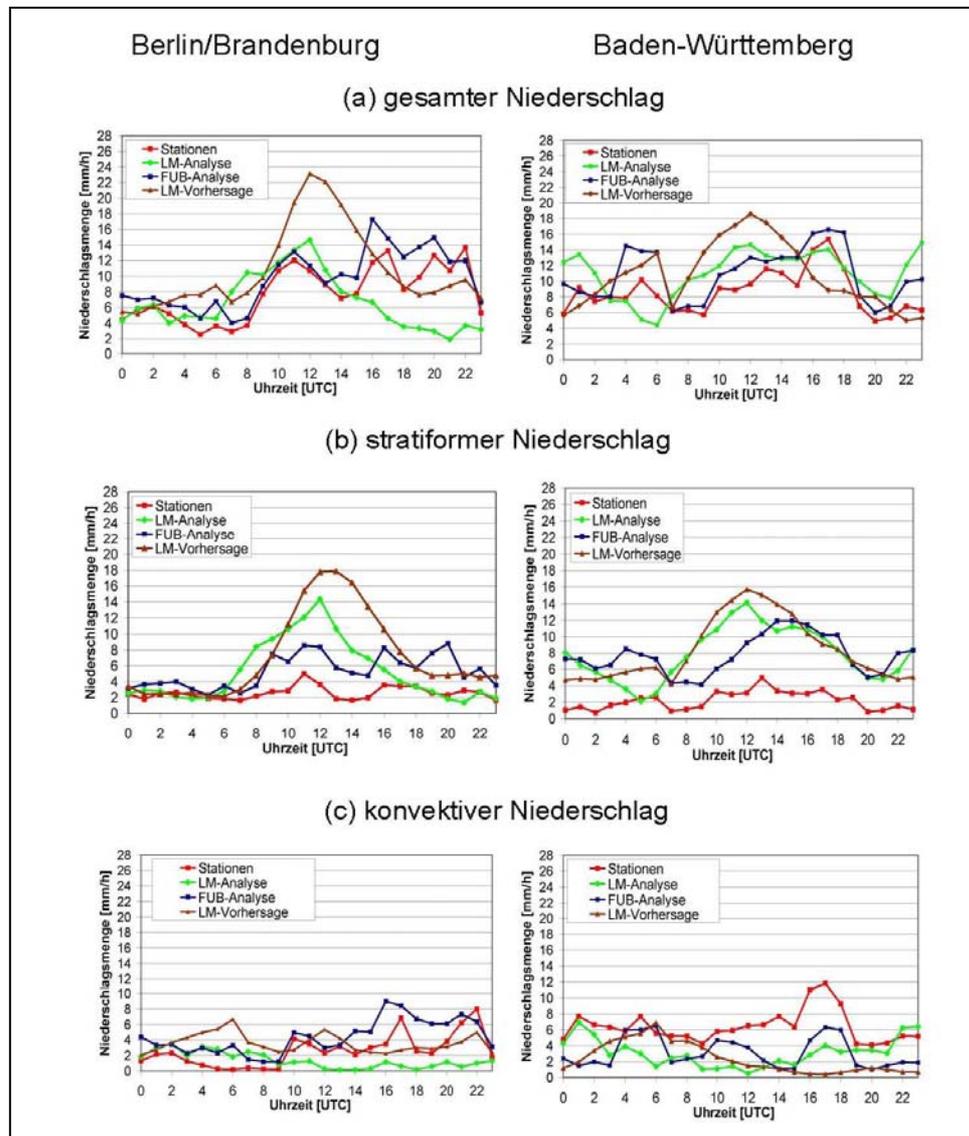


Abb. 5.15: Tagesgang des (a) gesamten, (b) stratiformen und (c) konvektiven Niederschlages für Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg für die Sommermonate 2004. Rot: Stationsdaten, Blau: Analyse (FUB), für 6-18 UTC mit Satellitendaten, Grün: LM-Analyse und Braun: LM-Vorhersage.

Zusammenfassung der Niederschlagsanalyse (FUB) mit und ohne Satellitendaten

Primäre Zielsetzung der vorgestellten Ergebnisse ist die Erstellung eines Niederschlagsdatensatzes bestehend aus Beobachtungen in stündlicher und räumlicher hoher Auflösung, die zugleich den Niederschlag skalenabhängig darstellt. Es zeigt sich, dass aus routinemäßigen synoptischen Beobachtungen sich recht einfach zweckmäßige stündliche Niederschlagsmengen ableiten lassen. Die flächenmäßige Niederschlagsstruktur bleibt deutlich heterogen. Dabei spielte für diese Arbeit die entscheidende Rolle, dass stratiforme und konvektive Niederschlagsvorhersagen des LM verifiziert werden sollen. Dessen Vorgaben in der horizontalen und vertikalen Auflösung des Lokal-Modells sollte daher auch der Niederschlagsdatensatz der FUB entsprechen. Dazu wurden Beobachtungsdaten des Niederschlages mit der normierten Niederschlagswahrscheinlichkeit für Wolkentypen aus Satellitendaten kombiniert, um den Niederschlag in einen stratiformen und konvektiven Anteil zu trennen. Die Trennung des Niederschlages wird in einem zweiten Schritt durch abgeleitete Wolkentypen aus Meteosat-Daten, die sich auf einem 7 km-Gitter befinden, konkretisiert. Die vorgestellten Ergebnisse konnten qualitativ eine Verringerung des stratiformen und des gesamten Niederschlages sowie eine geringe Erhöhung der Niederschlagsmenge des konvektiven durch das Hinzufügen der Satellitendaten bei der Interpolation zeigen. Der räumliche Unterschied der Niederschlagsanalyse ohne und mit Satellitendaten ist im Mittel für Deutschland gering, jedoch liegt der mit Satellitendaten korrigierte Niederschlagsdatensatz näher an den Ergebnissen aus den Beobachtungen des DWD (Witterungsreport) und wird zur weiteren Verifizierung verwendet. Dagegen zeigen einzelne Niederschlagsgebiete in der Niederschlagsanalyse bei der Korrektur mit Satellitendaten gerade durch die hochreichende Bewölkung eine Optimierung im Bereich des konvektiven und stratiformen Niederschlages. Weiterführend wäre damit eine Langzeitbeobachtung denkbar und die Möglichkeit gegeben, die derzeit aus Satellitendaten abgeleiteten Wolken in den gegenwärtigen QNV Modellen mit zu verarbeiten, die derzeit noch nicht in Modellen der QNV assimiliert werden. Dazu ist auch die Umbenennung der Wolkentypen die als Synop-Code verschlüsselt werden zwingend erforderlich, da diese für die Modellierung ungeeignet sind.