

6 Verifikation der Niederschlagsvorhersage

6.1 Niederschlagssummen für Deutschland Vergleich zwischen Prognose (LM) und Analyse (FUB)

Die im vorherigen Kapitel 5 beschriebene Niederschlagsinterpolation der FUB mit Satellitendaten liefert für Deutschland einen neuartigen stündlich hochaufgelösten Niederschlagsdatensatz. Dieser Niederschlagsdatensatz wurde in einen konvektiven und stratiformen Anteil getrennt und dient als Grundlage für die Verifikation des Modellniederschlags vom Lokal-Modell des Deutschen Wetterdienstes für das Jahr 2004.

Um zunächst einen Überblick über beide Datensätze, die Niederschlagsanalyse der FUB mit Korrektur der Satellitendaten und die Vorhersagedaten des LM zu bekommen, werden die Jahresniederschläge (Kap. 6.1.1) und deren jahreszeitliche Verteilung (Kap. 6.1.2) verglichen. Dabei wird der Niederschlagsdatensatz der FUB mit der Niederschlagsvorhersage des Lokal-Modells und dessen stündlichen Feldern der 6-30 Stundenvorhersage aus dem 00 UTC – Lauf für Deutschland verglichen.

6.1.1 Jahresniederschlag des konvektiven, stratiformen und gesamten Niederschlages

Vergleicht man die räumliche Verteilung der gesamt Jahresniederschlagssumme berechnet aus den stündlichen Niederschlagsdaten der FUB (Abb. 6.1 a) und aus den 00 UTC-Läufen der Niederschlagsvorhersage vom Lokal-Modell (Abb. 6.1 b), so erkennt man regionale Unterschiede in der Niederschlagsmenge im Jahr 2004 für Deutschland. Die östlichen Regionen sowie Teile Süd- und Südwestdeutschlands sind die trockensten Gebiete Deutschlands, die sich in beiden Datensätzen wieder finden. Allerdings ist der Modellniederschlag in diesen Regionen um 150 mm/Jahr gegenüber der FUB-Analyse zu trocken, wovon besonders die Schwäbischen Alb das Fichtelgebirge der Pfälzer Wald und das Einzugsgebiet der Donau betroffen sind. Die feuchtesten Regionen liegen im Siegerland, dem Bergischen Land, dem Harz, dem Schwarzwald und dem Thüringer Wald und die Niederschlagsmaxima im Alpenvorland, welches beide Niederschlagsdatensätze zeigen.

Die Abbildung 6.2 a zeigt die Jahressumme (in mm) in Bezug auf meine Trennung bezüglich des stratiformen und des konvektiven Niederschlages der Analyse der FUB sowie ist in der Abbildung 6.2 b der stratiforme und konvektive Modellniederschlag dargestellt. Es fällt auf, dass die simulierte konvektive Niederschlagsmenge in den Mittelgebirgen, im Voralpenland und im westlichen Bereich der Nordsee deutlich geringer ist als bei der Niederschlagsanalyse der FUB. Dagegen zeigt der stratiforme Modellniederschlag, welcher auch einen konvektiven Anteil enthält besonders in den Mittelgebirgen eine größere Niederschlagssumme als die FUB Niederschlagsanalyse.

Der Modellfehler beim konvektiven Niederschlag liegt sicherlich beim ‚Massenflussschema nach Tiedtke‘ (1989), welches die Basis für die flache und hochreichende Konvektion ist und hier nicht hinreichend genau in der Modellauflösung von 7 km einsetzbar ist und gerade deshalb beinhaltet der stratiforme Niederschlag auch einen Teil des konvektiven Niederschlages. Die Aufteilung des konvektiven und stratiformen Niederschlages von der Analyse der FUB durch die Wolkentypen lässt erkennen, dass mehr konvektiver Niederschlag fällt, als das Modell simuliert.

Zusammenfassend bestehen die Unterschiede des Vergleichs beider Datensätze beim

- konvektiven Niederschlag und
(die Analyse der FUB zeigt im Mittel einen um 144 mm höheren Wert über Deutschland als der Modellniederschlag)
- stratiformen Niederschlag
(die Analyse der FUB zeigt im Mittel eine um 237 mm niedrigeren Wert über Deutschland als der Modellniederschlag)

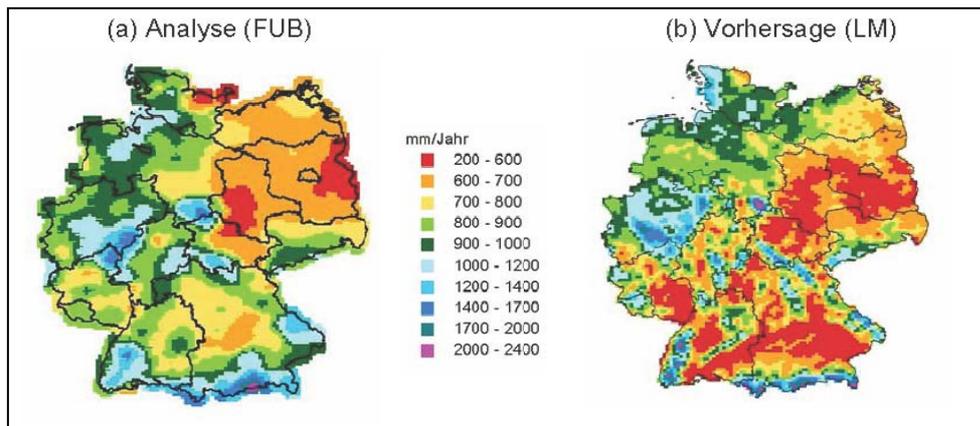


Abb. 6.1: Niederschlagssumme (in mm) der Niederschlagsanalyse der FUB (a) und der Niederschlagsvorhersage (b) vom LM der 00 UTC - Läufe für Deutschland im Jahr 2004. * ohne den Monat Januar

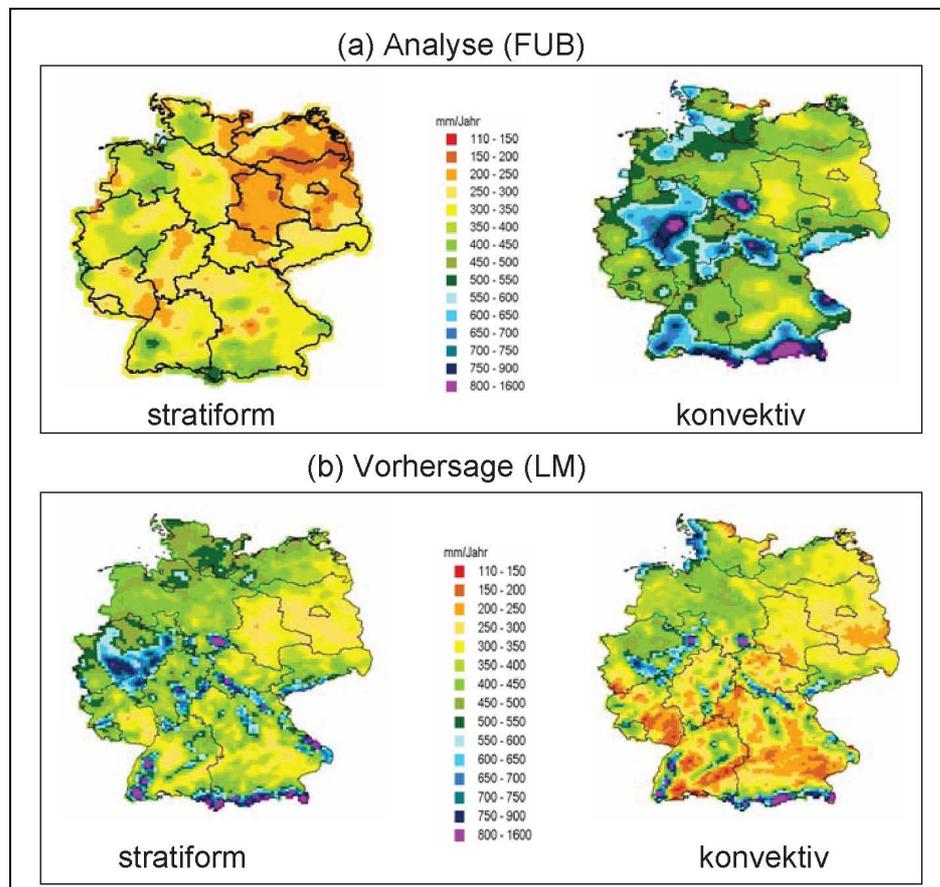


Abb. 6.2: Stratiforme und konvektive Niederschlagssummen (in mm) aus der Niederschlagsanalyse der FUB (6.2 a) und der Niederschlagsvorhersage vom LM der 00 UTC – Läufe (6.2 b) für Deutschland im Jahr 2004. * ohne den Monat Januar

6.1.2 Saisonale Verteilung des konvektiven, stratiformen und gesamten Niederschlages

Einen guten Überblick über die Verteilung des gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlages für Deutschland erhält man, indem man den jahreszeitlichen Niederschlag betrachtet. Der Winter beschränkt sich dabei auf die Monate Dezember und Februar. In den Abbildungen 6.3 und 6.4 werden die Niederschlagsverteilungen für alle vier meteorologischen Jahreszeiten der Analyse der FUB und der Vorhersage des LM dargestellt.

Beide Datensätze zeigen im Winter (Abb.6.3, obere Abbildung), dass in Ostdeutschland die Summe des Gesamtniederschlages unter einem Viertel des Jahresniederschlages liegt, während auf den Höhenlagen der Mittelgebirge das Maximum erreicht wird. Die Vorhersage ist im Vergleich zur Analyse der FUB im Süden und Westen Deutschlands zu trocken. Deutliche Unterschiede sind beim konvektiven Modellniederschlag zu erkennen der kaum eine räumliche Variabilität für Deutschland zeigt und im Gegensatz zu der Analyse der FUB zu trocken ist. Im Vergleich des stratiformen Modellniederschlag ist zu erkennen, dass dieser eher dem des konvektiven Niederschlages der Analyse der FUB entspricht. Im Frühling ist erkennbar, dass beide Datensätze gut in den Niederschlagsarten übereinstimmen. Nur der stratiforme Niederschlag der Analyse der FUB ist im Vergleich zum Modell im Norden und Osten von Deutschland zu trocken.

In der Abbildung 6.4 sind die Jahreszeiten Sommer und Herbst dargestellt. Erkennbar ist, dass im Sommer (Abb. 6.4, obere Abbildung) im westlichen und südlichen Teil Deutschlands mehr als ein Viertel des Jahresniederschlages (vgl. Abb. 6.1) beobachtet wird. Davon werden ca. 65 % des Niederschlages durch den konvektiven und ca. 35 % durch den stratiformen Anteil geprägt. Die Sommermonate sind klimatologisch gesehen die feuchtesten Monate in Deutschland, was auch von der Niederschlagsanalyse der FUB sowie dem Modell wiedergegeben wird. Die Maximalwerte treten dabei in den Mittelgebirgen und im Voralpenraum auf. Die deutlichsten Unterschiede zwischen dem Modell und der Analyse der FUB zeigt sich beim stratiformen Niederschlag, hier wurde insbesondere an der Ostseeküste vor Fehmarn, im westlichen Teil von Mecklenburg-Vorpommern und in der Lüneburger Heide mehr Niederschlag modelliert. Dagegen sind Teile des Bayerischen Waldes und des Altmühltals im Vergleich zur Niederschlagsanalyse (FUB) zu trocken. Eine gute räumliche Übereinstimmung beider Datensätze zeigt sich beim konvektiven

Niederschlag. Im Herbst (Abbildung 6.4, untere Abbildung) wird vor allem in den Mittelgebirgen und an der Nordseeküste die maximale Niederschlagsmenge beobachtet. Hier zeigt sich im Vergleich mit der Niederschlagsanalyse (FUB), dass der konvektive Modellniederschlag zu wenig Niederschlag ausgibt.

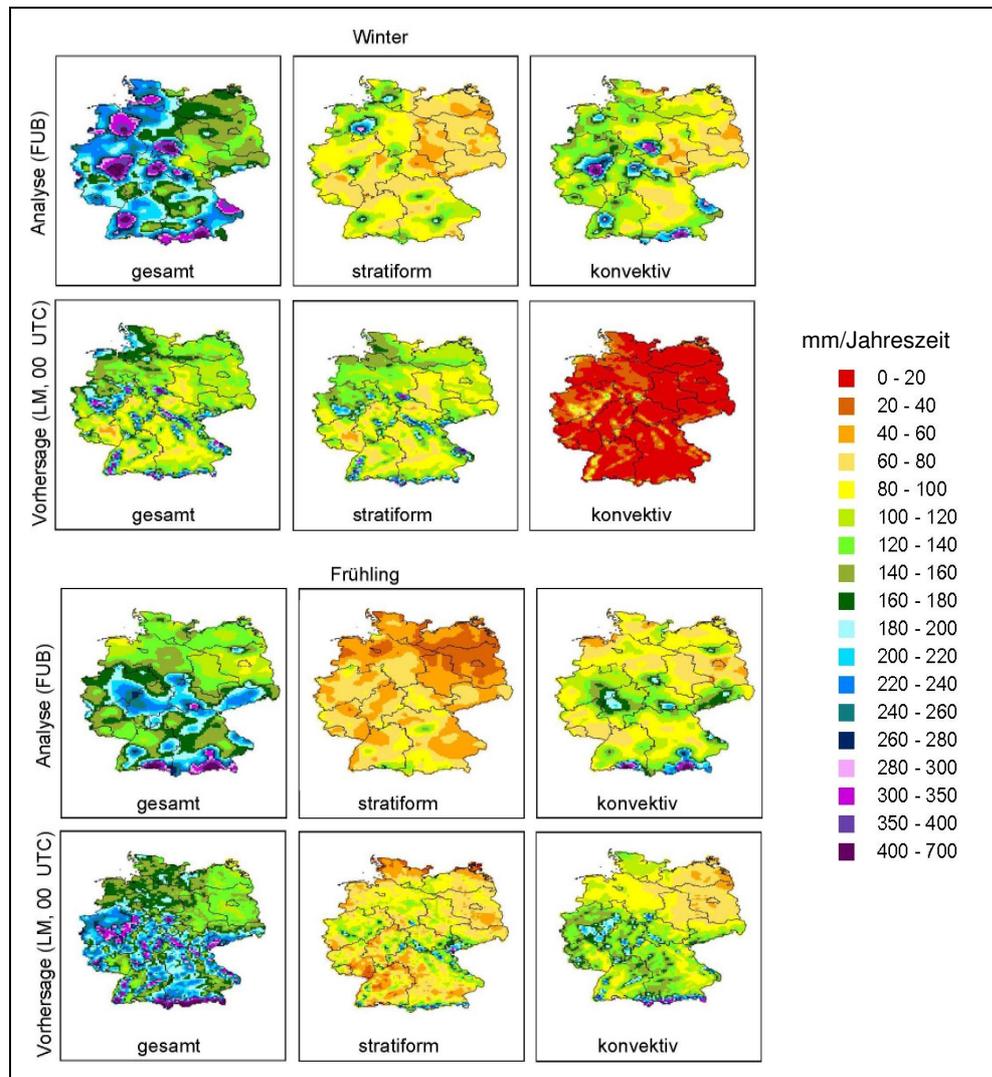


Abb. 6.3: Saisonale Niederschlagssummen der Niederschlagsanalyse (FUB) und der LM-Vorhersage (00 UTC-Lauf) für 2004: Winter und Frühling.

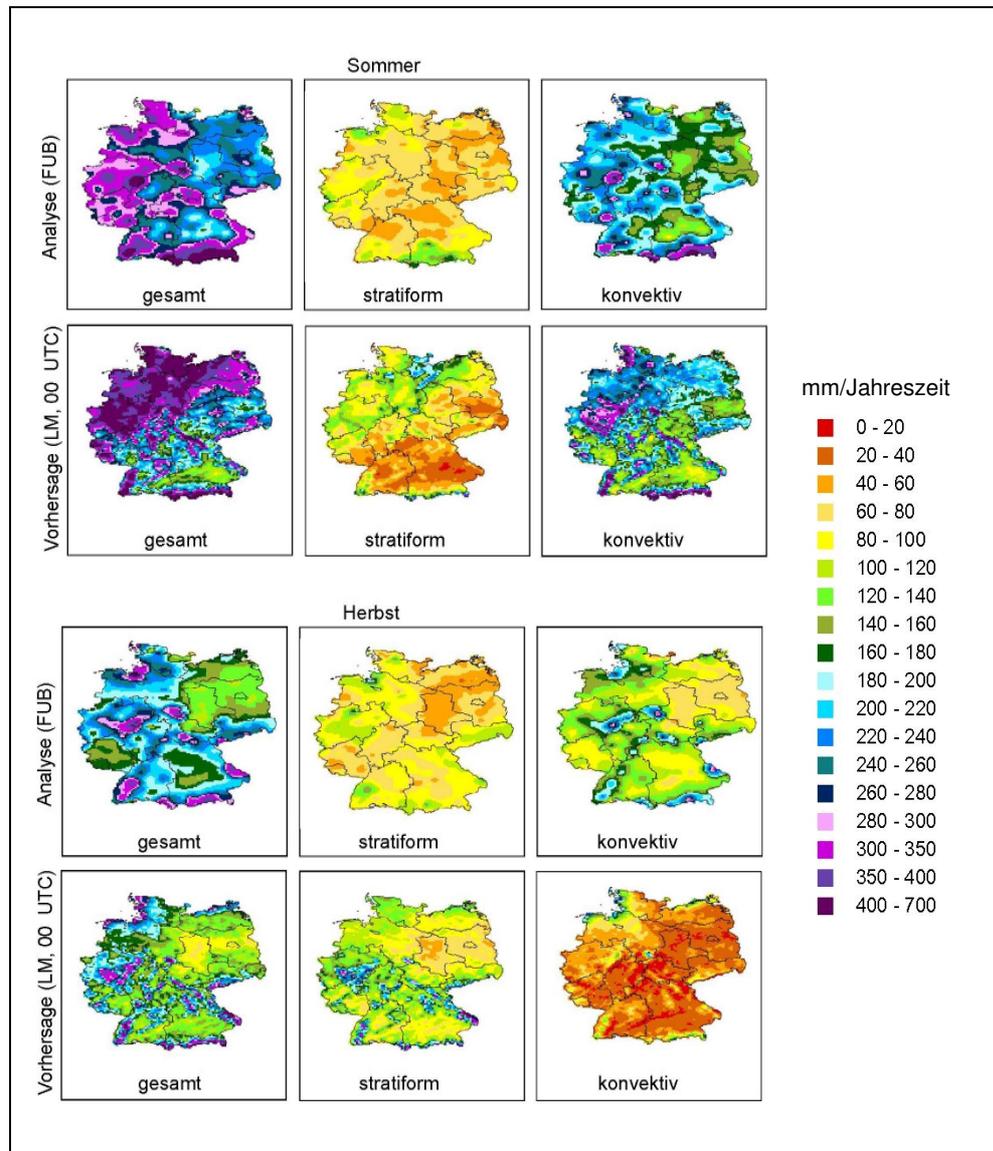


Abb. 6.4: Saisonale Niederschlagssummen der Niederschlagsanalyse (FUB) und der LM-Vorhersage (00 UTC-Lauf) für 2004: Sommer und Herbst.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aus den Untersuchungen der mittleren saisonalen Niederschlagssummen für die Modellvorhersagen des LM der konvektive Niederschlag im Vergleich zur Analyse der FUB im Winter und im Herbst zu wenig Niederschlag erzeugt. Dagegen simuliert das Modell im Vergleich zur Analyse der FUB mehr stratiformen Niederschlag.

6.1.3 Niederschlagsdifferenzen

Um einen besseren Vergleich der Niederschlagsanalyse (FUB) als Referenzdatensatz und dem vorhergesagten Niederschlag zu erhalten, wurden Differenzen an jedem Gitterpunkt gebildet und jahreszeitlich in Abbildung 6.5 dargestellt. Durch die Aufteilung der Niederschlagsarten lässt sich hier deutlich zeigen, welche Niederschlagsart besonders in der Niederschlagsvorhersage unter- bzw. überschätzt wird.

Generell ist deutlich zu erkennen, dass der gesamte Modellniederschlag für nahezu alle Jahreszeiten für die meisten Gebiete Deutschlands unterschätzt wird. Dabei ist die Unterschätzung des Modellniederschlages im Lee der Mittelgebirgsregionen besonders groß.

Der stratiforme Modellniederschlag ist im Winter, Frühling und im Herbst über ganz Deutschland zu hoch, mit einem Maxima Überschätzungen im Alpenvorland von 460 mm im Frühjahr. Im Sommer zeigt sich ein gänzlich anderes Verhalten, hier wird der stratiforme Niederschlag vom Modell flächenmäßig über Deutschland mit bis zu 100 mm unterschätzt und nur in der Region Baden-Württemberg kommt es zu einer Überschätzung mit einem Maximum im Gebiet der Schwäbischen Alp von 457 mm.

Der Herbst zeigt eine Dreiteilung Deutschlands: im Norden und Osten Deutschland kommt es zu keiner bzw. nur zu einer leichten stratiformen Niederschlagsüberschätzung. Die Mitte, das westliche Deutschland und der Bayerische Wald werden mit bis zu 380 mm/Herbst überschätzt. Wiederum zeigt die südliche Region Deutschlands außer im Voralpenraum nur eine leichte Überschätzung des Modellniederschlages.

Ausgehend vom konvektiven Modellniederschlag sind der Winter und der Herbst die zu trockensten Jahreszeiten. Allerdings finden sich die Modellüberschätzungen im Luv und Unterschätzungen im Lee der Mittelgebirge zu allen Jahreszeiten wieder. Die Maxima der Modellüberschätzung zeigt der Winter am stärksten in den Bayerischen Alpen, im Westerwald und Rothaargebirge, im Harz, am Großen Arber sowie am Feldberg. Diese Überschätzung zeigt sich in Abgeschwächter Form in den identischen Regionen auch im Herbst. Im Frühjahr zeigt sich eine fast flächenmäßige Niederschlagsüberschätzung vom LM, nur im Voralpenraum tritt eine Unterschätzung auf. Die Sommermonate zeigen überwiegend eine Niederschlagsunterschätzung, mit einer zu trockenen Region in den Bayrischen Alpen und dem Schwarzwald.

Zusammenfassend lassen sich folgende Hauptprobleme für den Modellniederschlag feststellen:

- starke Modellüber- bzw. Unterschätzungen des gesamten Niederschlages, die überwiegend durch den konvektiven Niederschlag hervorgerufen werden,
- Luv/Lee-Problematik in den Mittelgebirgsregionen (vgl. COSMO, 2006) mit der Unterschätzung beim konvektiven Niederschlag in den Mittelgebirgen,
- eine Überschätzung im Frühling durch sowohl den konvektiven als auch den stratiformen Niederschlag,
- eine Unterschätzung des stratiformen und konvektiven Niederschlages im Sommer besonders dessen Unterschätzung in den Mittelgebirgen,
- Überschätzung des stratiformen Modellniederschlags im Winter, Frühling und Herbst in den Mittelgebirgen.

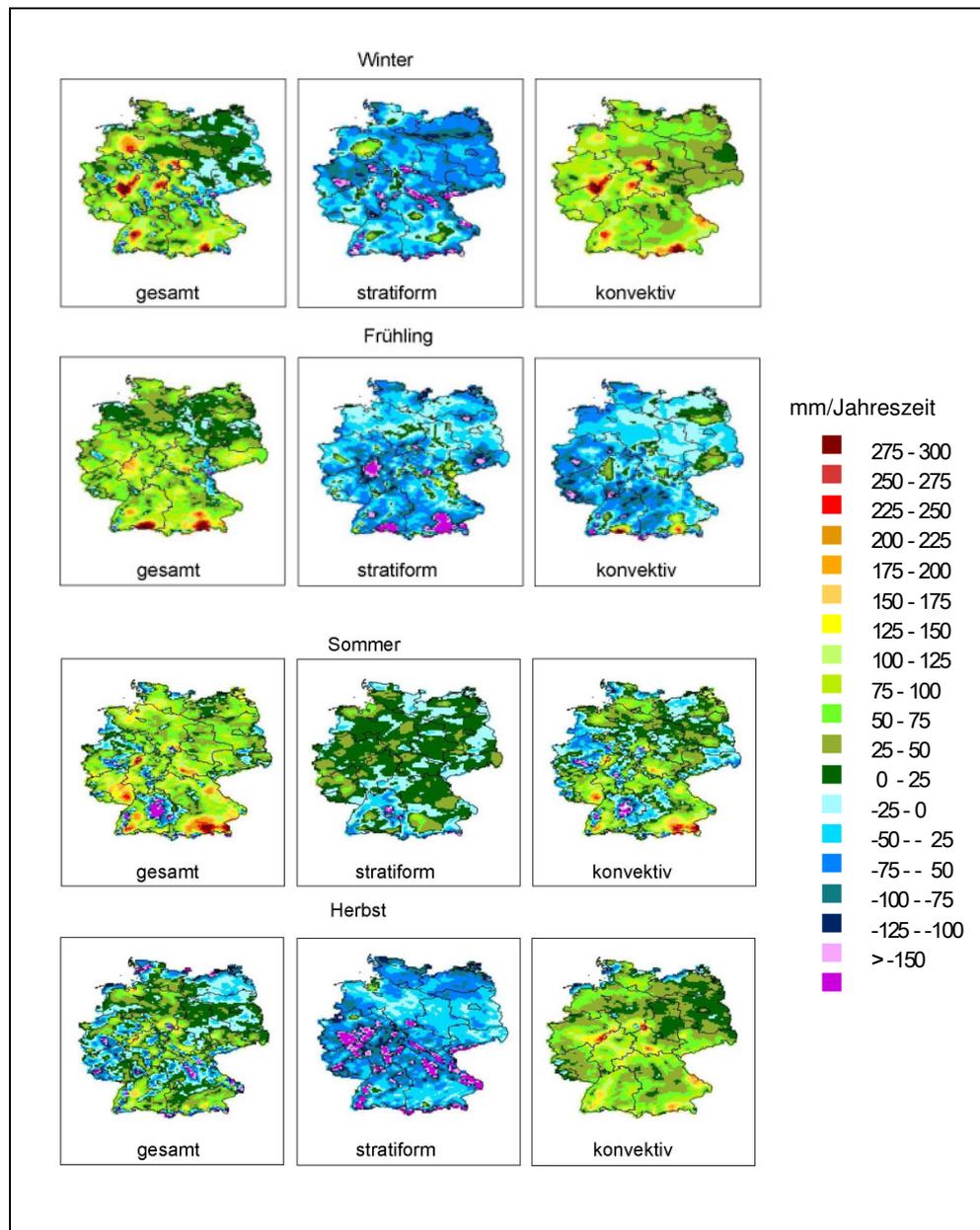


Abb. 6.5: Saisonale Niederschlagsdifferenzen zwischen der Niederschlagsanalyse der FUB und der LM-Niederschlagsvorhersage an jedem Gitterpunkt für Deutschland im Winter, Frühling, Sommer und Herbst für das Jahr 2004.

6.1.4 Niederschlagshäufigkeit

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über die relative Häufigkeit an Niederschlagsereignissen bei einer Niederschlagsmenge ≥ 0.1 mm/h des gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlags für Deutschland im Sommer des Jahres 2004. Verglichen werden wieder die stündlichen Niederschlagsereignisse aus dem Datensatz der Niederschlagsanalyse der FUB mit Satellitendaten mit dem Modellniederschlag des LM (00 UTC-Lauf) an jedem Gitterpunkt. In diesem Abschnitt soll die Frage beantwortet werden, wie häufig kommen Niederschlagsereignisse im Sommer vor.

Der Tagesgang für 3-stündige Vorhersagezeiten der Niederschlagsereignisse im Sommer ist in Abbildung 6.6 dargestellt. Verglichen werden räumlich gemittelte Werte für ganz Deutschland (Abb. 6.6 a), für die Region Baden-Württemberg (Abb. 6.6 b) und Berlin/Brandenburg (Abb. 6.6 c). Die Analyse der FUB zeigt das Maximum der relativen Häufigkeit der gesamten Niederschlagsereignisse für Deutschland zwischen 15 und 18 Uhr (38 %). Beim Modellniederschlag zeigt sich, dass das Maximum 3 Stunden früher eintritt, als bei der Analyse der FUB. Beide Datensätze zeigen, dass konvektive Niederschlagsereignisse häufiger auftreten, als stratiforme Niederschlagsereignisse.

Der Tagesgang der Häufigkeit von Niederschlagstagen ≥ 0.1 mm/h für die Region Baden-Württemberg und Berlin/Brandenburg zeigt deutliche Unterschiede in den Datensätzen. Bei der Niederschlagsanalyse der FUB ergibt sich beim gesamten Niederschlag ein Minimum zwischen 12 und 15 Uhr. Das Maximum liegt zwischen 15 und 18 Uhr; dabei treten die konvektiven Niederschlagsereignisse geringfügig häufiger auf als die stratiformen. Beim Modellniederschlag zeigt sich kein wirklicher Tagesgang das Modell simuliert mehr stratiforme Niederschlagsereignisse als konvektive, die unter 5% liegen.

Für die Region Berlin/Brandenburg zeigt der Modellniederschlag ein ähnliches Bild der Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsereignisse. Das Maximum für stündliche Niederschläge ≥ 0.1 mm/h liegt zwischen 12 und 15 Uhr. Bei der Niederschlagsanalyse der FUB tritt das Maximum 3 Stunden später auf.

Die beobachteten Unterschiede beim Maximum können einerseits durch schnell ziehende konvektive Niederschlagsereignisse entstehen, die bei der Vorhersage nicht hinreichend genau simuliert werden können, sowie generell durch die Beschreibung des konvektiven Niederschlages im Modell.

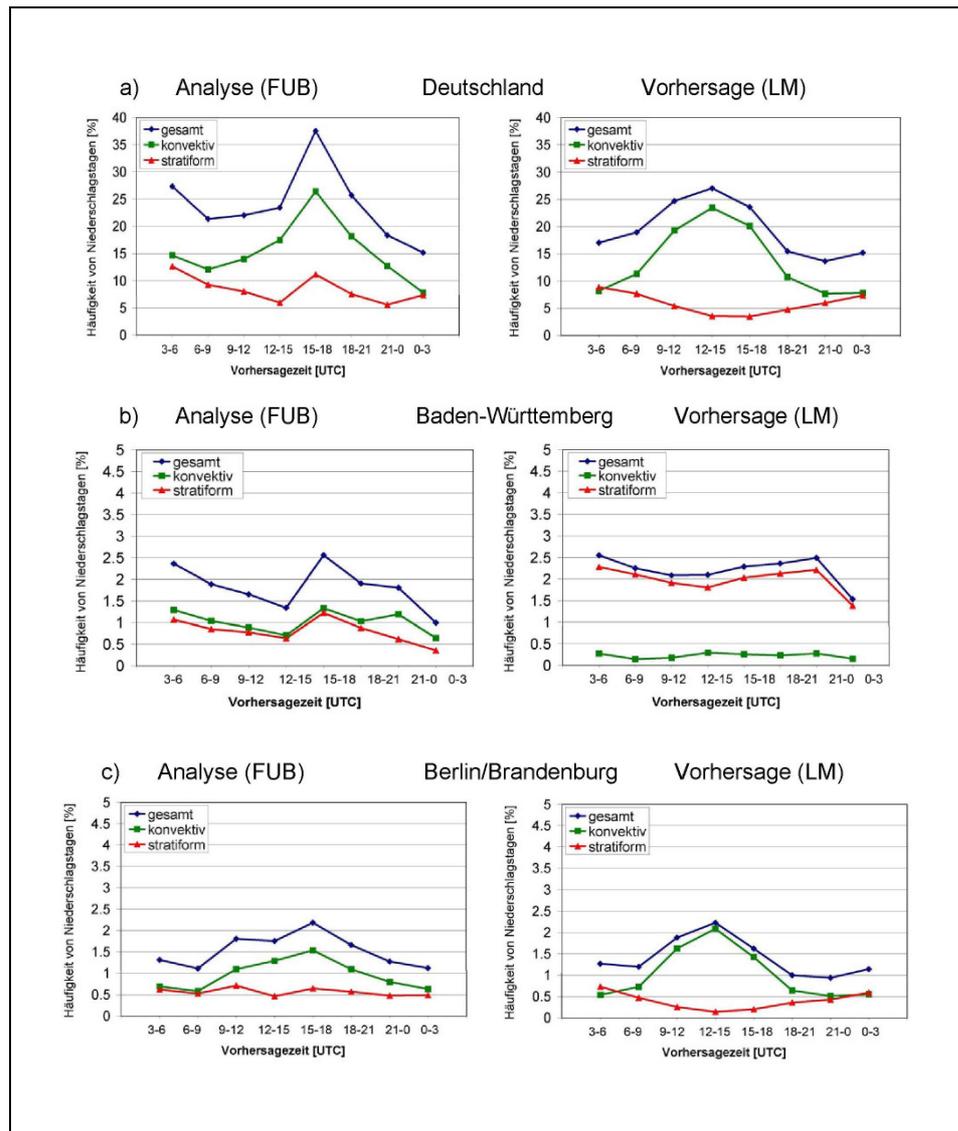


Abb. 6.6: Vergleich der Häufigkeiten von Niederschlagstagen mit Niederschlagssummen ≥ 0.1 mm in Prozent der Niederschlagsanalyse der FUB mit der Vorhersage (LM) für den Sommer 2004 an jedem Gitterpunkt. a) Deutschland, b) Baden-Württemberg und c) Berlin/Brandenburg.

6.2 Definition der Verifikationsmaße

Zur Überprüfung der Qualität eines Wettervorhersagemodells werden verschiedene Verifikationsmaße verwendet, die die Vorhersagegenauigkeit und die Güte des Modells prüfen (Balzer et al. 1998, Ghelly, 2002, Früh et al., 2007, Marsigli et al., 2005). Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Qualität einer Vorhersage nicht durch ein universelles Maß ausgedrückt werden kann. Jedes Qualitätsmaß gibt nur einen oder einige, aber nicht alle Aspekte der Prognosegüte wieder. Bei der Niederschlagsverifikation werden oftmals Standardverfahren, wie der Root Mean Square Error (RMSE) und verschiedene kategorische Fehlermaße (engl. ‚Error Scores‘), wie z.B. der Bias oder der Gilbert skill score angewandt (Wilks, 2006).

Grundsätzlich werden zwei Arten von Verifikationsmaßen unterschieden:

- kontinuierliche und
- kategorische Größen.

Dieser Abschnitt soll keine detaillierte Verifikation mit Standardmaßen enthalten. Stattdessen wird die regionale und zeitliche Variabilität der hier verwendeten Fehler- bzw. Gütemaße für den Vergleich von Gitterpunktwerten zwischen der FUB-Niederschlagsanalyse und der Niederschlagsvorhersage des Lokal-Modells gezeigt. Aus der Vielzahl der möglichen Fehlermaße werden in dieser Arbeit der ‚Mittlere Absolute Fehler‘ (MAE), der ‚Hanssen und Kuipers Score‘ oder ‚True Skill Statistics‘ (TSS) und der ‚Frequency Bias Index‘ (FBI) angewandt, die hier kurz vorgestellt werden.

Kontinuierliche Gütemaße

Um eine Aussage über die allgemeine Qualität der Prognose zu treffen wird das am häufigsten verwendete skalare Genauigkeitsmaß, der ‚Mean Absolute Error‘ (MAE), verwendet. Der mittlere absolute Fehler ist ein lineares Maß, das den mittleren Betrag eines Fehlers wiedergibt, aber nicht dessen Richtung.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |O_k - S_k| \quad (6.1)$$

Dabei bezeichnet N die Anzahl der Gitterpunkte, O_k den vorhergesagten Wert und S_k den beobachteten Wert, in diesem Fall die Werte der Niederschlagsanalyse der FUB.

Bei einer perfekten Prognose hat der MAE den Wert Null, je größer der absolute Fehler, desto schlechter ist die Vorhersage.

Kategorische Größen

Forecast Skills geben eine relative Genauigkeit der Vorhersage in Bezug auf eine Referenzprognose an. Als ein Verifikationsmaß für kategorische Parameter wird in dieser Arbeit der ‚True Skill Statistics‘ (TSS), auch ‚Hanssen and Kuipers Score‘ genannt, und der ‚Frequency Bias Index‘ (FBI) verwendet. Der Ausgangspunkt der Scores ist eine 2 x 2 Prüfmatrix (Kontingenztafel, Tab. 6.1), mit deren Hilfe eine Vielzahl an Genauigkeitsmaßen und Qualitätsmaßen berechnet werden können (vgl., Wilks, 1995, Paulat, 2007). Dabei werden Vorhersagen mit Referenzprognosen, die auf einen Klimawert oder der Persistenz aufbauen, in Abhängigkeit von einem zu wählenden Schwellenwert verglichen (Ebert, 2007).

Skill Scores berechnen sich gemäß der Definition der Gleichung 6.2 und verwenden im Zähler oder Nenner Kombinationen der aus der Kontingenztafel (Tab.6.1) bekannten Elemente.

$$SS = \frac{A - A_r}{A_{\text{perfekt}} - A_r} \quad (6.2)$$

A stellt ein bestimmtes Maß für die Genauigkeit der Prognose dar, A_r ist die Genauigkeit der Referenzvorhersage und A_{perfekt} die Genauigkeit einer perfekten Vorhersage. Ein Ergebnis von SS gleich 0 % bedeutet, dass gegenüber der Referenzprognose keine Verbesserung erreicht wurde. Ein SS von 100 % dagegen bedeutet eine perfekte Prognose. Die Tabelle 6.1 enthält für h (hits) die Anzahl der Fälle, in denen der Schwellenwert in der Vorhersage wie auch bei der Beobachtung überschritten wird, bei f (false) werden bei der Beobachtung die Schwellenwerte nicht erreicht, aber bei der Vorhersage. Das Element m (misses) ist die Umkehrung von f, z (zero) enthält die Fälle, für die der Schwellenwert weder bei der Vorhersage noch bei der Beobachtung überschritten wird.

Tabelle 6.1: Kontingenztabelle für die Berechnung von kategorischen Gütemaßen.			
Vorhersage > Schwellwert	Beobachtung > Schwellwert		
	JA	NEIN	Total
JA	h (hits)	f (false)	h+f
NEIN	m (misses)	z (zero)	m+z
TOTAL	h+m	f+z	h+f+m+z=n

- True Skill Statistics (oder Hansen-Kuipers discriminant)

Der True Skill Statistics' (TSS) oder auch der ‚Hanssen-Kuipers discriminant‘ (Hansen und Kuipers, 1965) oder auch Peirce Skill Score, ist definiert als:

$$\text{TSS} = \frac{(h \cdot z) - (f \cdot m)}{(h + m) \cdot (f + z)} = \frac{h}{h + m} + \frac{z}{f + z} - 1 \quad (6.3)$$

Die ‚True Skill Statistics‘ verwendet als Referenzprognose die mittlere Trefferrate $A_r = [(h+m)^2 + (f+z)^2]/n^2$ (vgl. Wilks, 2006). Der TSS hat den Vorteil, dass er von der Verteilung von Niederschlagsereignissen und Nicht-Niederschlagsereignissen unabhängig ist (Woodcock, 1976). Doswell III et al. (1990) kritisiert, dass der TSS zu sehr von der "Probability of Detection" abhängt, und demzufolge dann nicht geeignet sei, um die Genauigkeit einer Vorhersage von seltenen Niederschlagsereignissen zu bestimmen. Wilks, 1995 sieht dies als eine positive Eigenschaft, da ein korrekt-prognostiziertes Niederschlagsereignis einen größeren Einfluss auf den TSS hat, wenn das Niederschlagsereignis selten ist.

- Frequency Bias Index

Der FBI (Frequency Bias Index) ist ein Fehlermaß, bei dem das Verhältnis der Häufigkeiten zwischen den Schwellwert überschreitenden Niederschlagsvorhersagen und der Beobachtung betrachtet wird.

Die Definition nach Ebert (2007) ist wie in Gl. 6.4 definiert:

$$\text{FBI} = \frac{h + f}{h + m} \quad (6.4)$$

Skill-Scores, wie der TSS ist immer unter Berücksichtigung von Zufallstreffern zu werten, deren Wertebereich und Aussagen in der Tabelle 6.2 zusammengefasst sind.

Tabelle 6.2: Übersicht der verwendeten Fehlermaße und deren Interpretation.		
Score	Aussage	Wertebereich
FBI	Das Verhältnis von vorhergesagten zu beobachteten Ja-Ereignissen < 1 = Unterschätzung , > 1 = Überschätzung	0...∞
TSS	= 0, entspricht der Güte einer Zufallsprognose, =1 ist eine perfekte Prognose, negative Werte: Vorhersage schlechter als der Zufall	- 1...1

6.3 Ergebnisse der Verifikation

In diesem Abschnitt werden die Stundensummen aus dem 00 UTC-Lauf für verschiedene dreistündige Zeitintervalle (03-06, 06-09, 09-12, 12-15, 15-18, 18-21, 21-00 und 00-03 Uhr) des gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlages mit den ausgewählten Standardmaßen (Kap. 6.2) verifiziert. Als ‚Beobachtungswerte‘ werden die stündlichen Daten der Niederschlagsanalyse der FUB mit Satellitendaten (gesamt, konvektiv und stratiform) herangezogen. Vom LM werden, wie auch schon im Kap. 6.1, die stündlichen Vorhersagefelder aus dem 00 UTC-Lauf betrachtet.

6.3.1 MAE für verschiedene Vorhersagezeiten

Die Abbildung 6.7 zeigt die Form des MAE der verschiedenen akkumulierten Zeitintervalle aus dem 00 UTC-Lauf sowie der vier Jahreszeiten für das Jahr 2004. Dargestellt ist der MAE für den gesamten, den konvektiven und den stratiformen Niederschlag als Mittelwert über alle Gitterpunkte von Deutschland sowie über alle Tage für die jeweiligen unterschiedlichen Zeitintervalle.

Grundsätzlich fällt auf, dass der Fehler zu jeder Jahreszeit im Zeitraum zwischen 03 und 06 Uhr größer ist als zu den übrigen Vorhersagezeiten, was mit dem Modell-, Spin-up' zusammenhängen kann (Doms et al., 2001). Einen ausgeprägten Tagesgang zeigt der MAE im Sommer (Juni bis August). Durch die Trennung des Niederschlages in den konvektiven und stratiformen Anteil wird hier deutlich, dass der Fehler des gesamten Niederschlages vom Fehler des konvektiven Niederschlages geprägt wird. Der stratiforme Anteil am Fehler ist generell geringer als der konvektive. Die Vorhersage des konvektiven Niederschlages ist im Sommer zum Nachmittag (15 und 18 Uhr) am schlechtesten. Da in diesen Monaten die konvektiven Ereignisse überwiegen (Abb. 6.6), zeigen sich hier auch die maximalen Fehler. Im Winter ist der Fehler des konvektiven Niederschlages zu jeder dargestellten Zeit recht niedrig, was bedeutet, dass zum einen das Modell den Niederschlag besser prognostiziert hat und zum anderen, dass gerade der konvektive Niederschlag im Winter seltener auftritt.

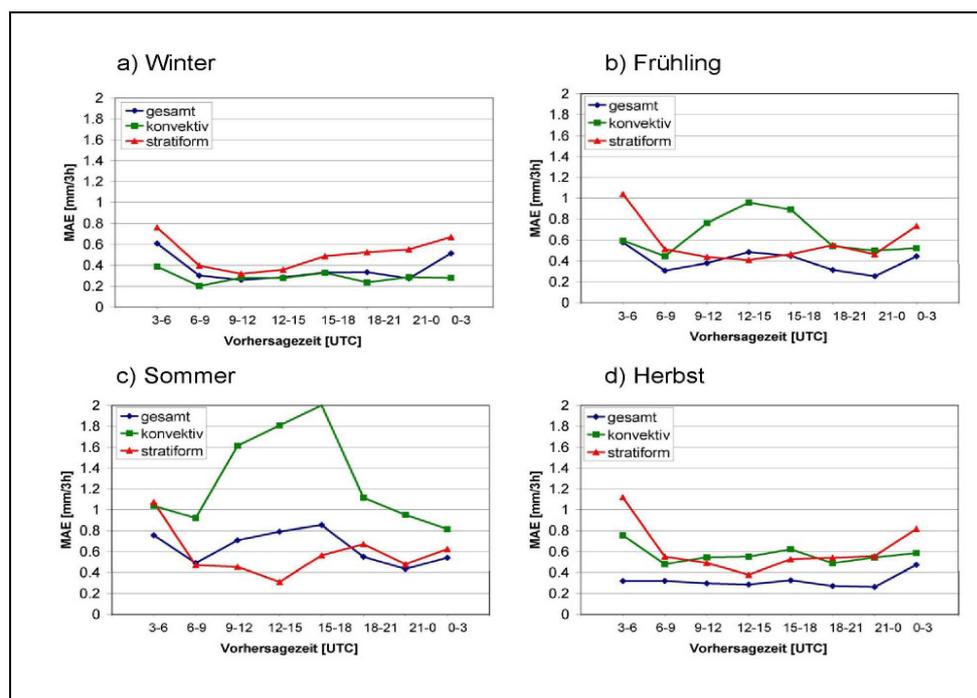


Abb. 6.7: Mittlerer absoluter Fehler des gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlages für dreistündige LM-Vorhersagen (00 UTC-Läufe), verglichen mit der Niederschlagsanalyse (FUB) für den a) Winter b) Frühling, c) Sommer und d) Herbst des Jahres 2004 für Deutschland.

6.3.2 Jahreszeitliche Verteilung des MAE für Berlin/ Brandenburg und Baden-Württemberg

Vergleicht man die Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg (Abb. 6.8) bezüglich des mittleren absoluten Fehlers für die vier Jahreszeiten, so erkennt man für die einzelnen akkumulierten Zeiten deutliche Unterschiede im Tagesgang. Folgende Aussagen kann man für den mittleren absoluten Fehler treffen:

- Für die Region Baden-Württemberg ist die Vorhersage des stratiformen und konvektiven Niederschlages im Zeitraum zwischen 03 und 06 Uhr am schlechtesten. Da die Vorhersagedaten vom Zeitraum 06-30 h verwendet werden (dabei gelten die ersten sechs Stunden als Modell-,Spin-up'), scheint die ‚Spin-up-Phase‘ noch nicht endgültig eingeschwungen zu sein, da der MAE nach 06 Uhr deutlich abnimmt.
- Zu allen Jahreszeiten und auch für beide Regionen ist der Tagesgang des gesamten Niederschlages in seiner Form hauptsächlich vom konvektiven Niederschlag abhängig.
- Da im Sommer die konvektiven Niederschlagsereignisse (Abb. 6.6) häufiger als in den übrigen Jahreszeiten auftreten, zeigt der MAE einen ausgeprägten Tagesgang beiden Regionen. In der Region Baden-Württemberg ist deutlich die schlechtere Vorhersage bei konvektiven Niederschlagsereignissen zwischen 15 und 18 Uhr und beim stratiformen zwischen 18 und 21 Uhr zu erkennen.
- Im Winter ist der MAE beim stratiformen und konvektiven Niederschlages in Baden-Württemberg nahezu gleichförmig. In diesen Monaten fielen allerdings nur 10 % des gesamten Jahresniederschlages (Tab. 2.1).

Die beiden Regionen unterscheiden sich grundsätzlich im Tagesgang, da die größten Fehler zu unterschiedlichen Tageszeiten auftreten. Zum einen hat die Orographie einen signifikanten Einfluss auf die regionale Verteilung, besonders im Bereich der konvektiven Zentren. Auch stellt sich je nach Herkunft der Luftmassen eine stark differenzierte Niederschlagsverteilung in beiden Regionen ein, die auch zeitliche Unterschiede mit sich bringt. Im Herbst und im Winter ist die Vorhersage verglichen mit den übrigen Jahreszeiten besser. In der Region Berlin/Brandenburg ist die Vorhersage des stratiformen Niederschlages im Winter schlechter als beim konvektiven

Niederschlag. Die Betrachtung der jahreszeitlichen Niederschlagssumme des stratiformen Niederschlags (Winter) ergibt bei der Niederschlagsanalyse der FUB eine Niederschlagsmenge von 70 mm und bei der LM-Vorhersage 110 mm. Generell ist der konvektive Niederschlag zu dieser Jahreszeit in der Vorhersage recht gering, und damit ist der gesamte MAE klein.

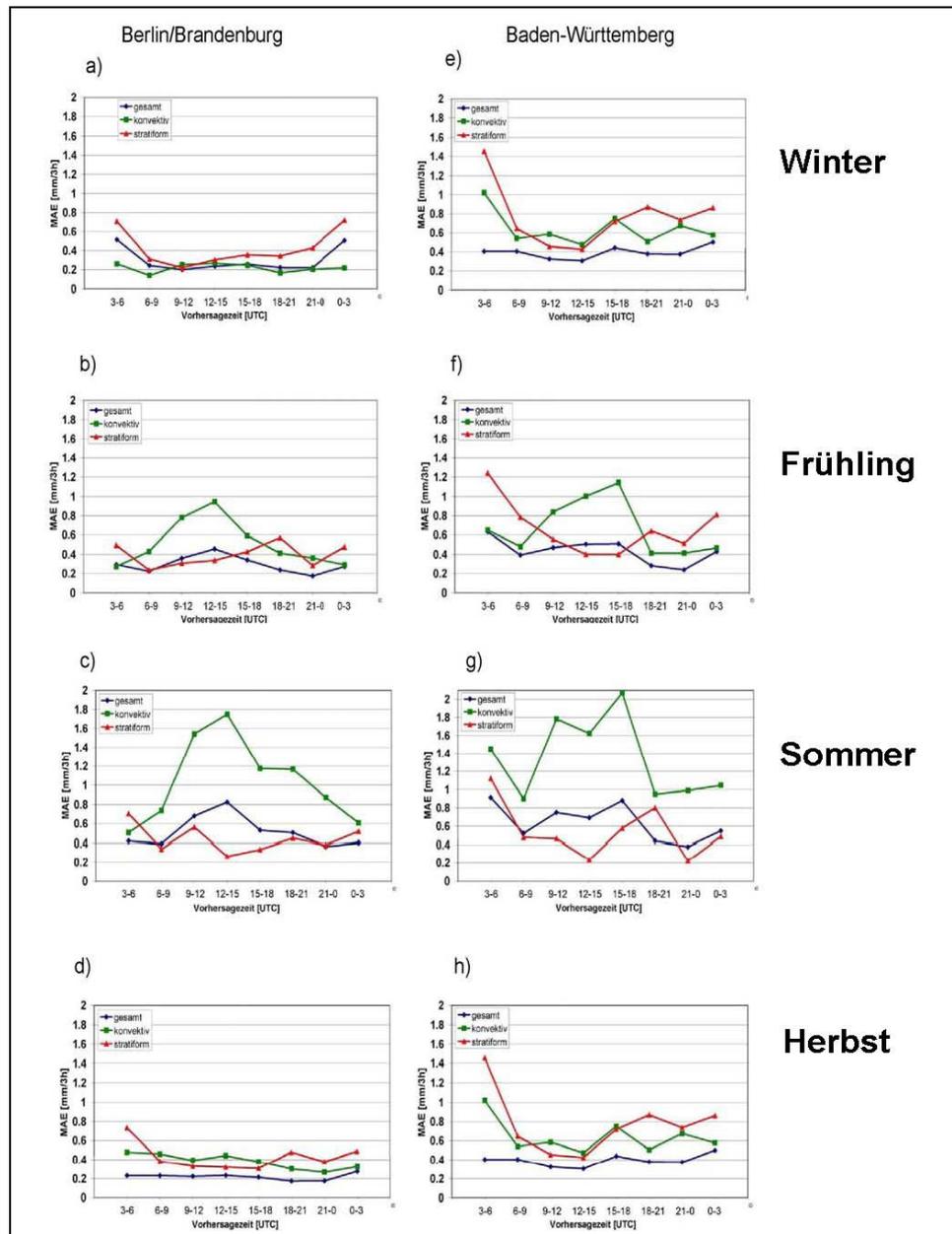


Abb. 6.8: Mittlerer absoluter Fehler für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag für drei-stündige Vorhersagen (00 UTC-Lauf), verglichen mit der Niederschlagsanalyse der FUB für die Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg. a,e) Winter b,f) Frühling, c,g) Sommer und d,h) Herbst des Jahres 2004 für die Region Baden-Württemberg.

6.4 Regionale Verteilung des MAE

Im folgenden wird die regionale Verteilung des MAE für Deutschland vorgenommen. Bereits in der Abbildung 2.2 c (Kap. 2) ist die regionale Verteilung der Niederschlagssumme des Sommers 2004 für Deutschland dargestellt. Demzufolge ist der östliche Teil Deutschlands viel trockener als das nordwestliche Deutschland. Größere Niederschläge wurden im Schwarzwald, im Harz, an der Nordseeküste und im Voralpenraum ermittelt. Insgesamt wurde in den Sommermonaten (Tab. 2.1) eine Niederschlagsmenge von 257 mm für Deutschland ermittelt, dies sind 113 % des Mittels von 1961 bis 1990.

Die Abbildung 6.9 zeigt die regionale Verteilung des MAE für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag der Sommermonate für zwei ausgewählte Vorhersagezeiträume (06 bis 09 und 15 bis 18 Uhr) für Deutschland. Weitere Ergebnisse bezüglich der Vorhersagezeit sind im Anhang A dargestellt. Generell fällt auf, dass der stratiforme Niederschlag einen kleineren Fehler hat als der konvektive. Der Fehler des stratiformen Niederschlags zeigt auch wenig Variabilität über Deutschland. Am Vormittag werden Maximalwerte mit bis zu 1.5 mm in drei Stunden im Gebiet der Kieler Bucht, im Harz, im Raum Aachen, im Alpenvorraum und im südlichen Teil des Schwarzwaldes erreicht. Am Nachmittag zeigt sich, dass der Modellniederschlag beim gesamten Niederschlag über Deutschland in der Region Ostfriesland, der Lüneburger Heide und im Alpenvorraum mit bis zu 4.5 mm für drei Stunden falsch vorhergesagt wird. Bei der Betrachtung der konvektiven Sommer-niederschläge zeigt sich, dass der Niederschlag auch in den oben genannten Regionen mit bis zu 5.5 mm für drei Stunden schlecht vorhergesagt wird. Dass der Fehler beim gesamten Niederschlag kleiner gleich dem konvektiven und stratiformen Niederschlag ist, erklärt sich durch folgende "Aufschlüsselung" des MAE und die Dreiecksungleichung:

$$\text{MAE}_{\text{ges}} = \frac{1}{N} \left| \left(x_i^{\text{strat}} + y_i^{\text{konv}} \right) - \left(y_i^{\text{strat}} + y_i^{\text{konv}} \right) \right| \quad (6.5)$$

$$\text{MAE}_{\text{ges}} \leq \frac{1}{N} \left[\left| x_i^{\text{strat}} - y_i^{\text{strat}} \right| + \left| x_i^{\text{konv}} - y_i^{\text{konv}} \right| \right] \quad (6.6)$$

$$\text{MAE}_{\text{ges}} \leq \text{MAE}_{\text{strat}} + \text{MAE}_{\text{kon}} \quad (6.7)$$

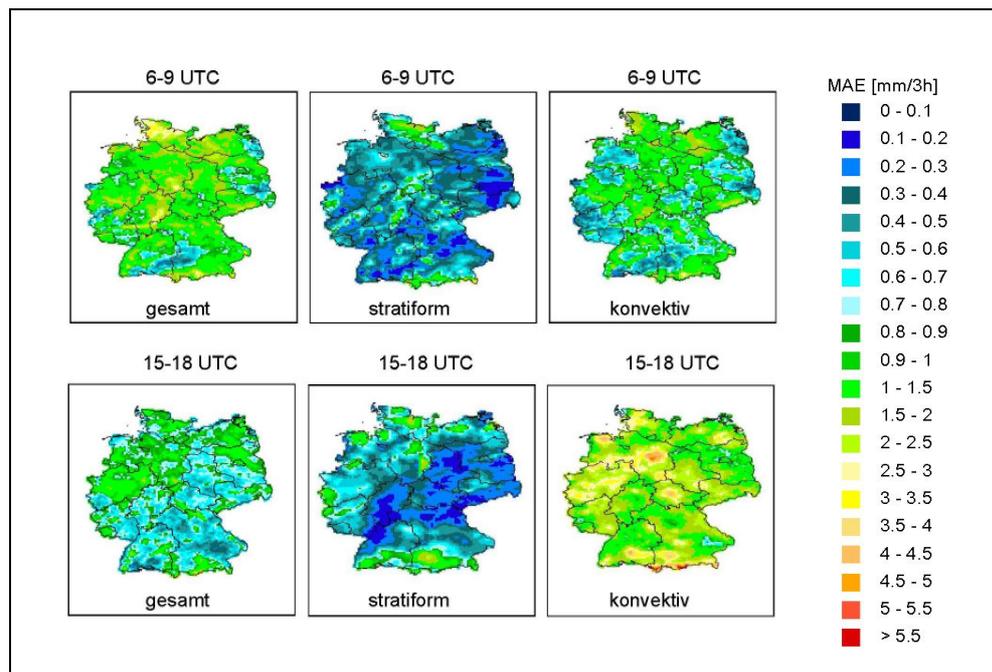


Abb. 6.9: Mittlerer absoluter Fehler des gesamten, stratiformen und konvektiven Niederschlages für dreistündige LM-Vorhersagen (00 UTC-Lauf) der Sommermonate Juni-August 2004 für Deutschland, für den Vorhersagezeitraum von 06 bis 09 und 15 bis 18 Uhr.

6.5 Kategorische Maßzahlen

Da Fehler-Scores sich auf der Grundlage der Kontingenztabelle (Tab. 6.1) in Abhängigkeit eines zu wählenden Schwellwertes (Ebert, 2007) berechnen, werden zunächst die ‚falschen‘ (m+f) bzw. ‚korrekten‘ (h+z) Prognosen sowie die prozentuale Anzahl der Fälle betrachtet, die sowohl beobachtet als auch im Vorhersagebereich von drei Stunden vorhergesagt (hits) werden. Als Schwellwert wird in dieser Arbeit eine Niederschlagsmenge von 0.1 mm angesetzt. Es zeigte sich bei der Auswertung für den TSS mit höheren Schwellwerten, die hier nicht gezeigt werden, dass bei einem höheren Schwellenwert die Ergebnisse in der Vorhersage schlechter wurden.

Die Ergebnisse der ‚falschen‘ und der ‚korrekten‘ Vorhersage sowie die Übereinstimmung eines beobachteten und vorhergesagten Niederschlagsereignisses für das Frühjahr und den Sommer für Deutschland im Jahr 2004 zeigt die Abbildung 6.10. Die Jahreszeiten Herbst und Winter sind im Anhang A dargestellt, da diese Jahreszeiten einen ähnlichen Tagesgang wie der Sommer zeigen. Das Frühjahr wie

auch der Sommer zeigen einen deutlichen Unterschied im Tagesgang der dreistündigen Vorhersagezeit für die skalenabhängigen Niederschlagsarten bezüglich der ‚falschen‘ (m+f) und ‚korrekten‘ (h+z) Vorhersage. Im Frühjahr (Abb. 6.10 a, c) zeigt sich bei der ‚falschen‘ und ‚korrekten‘ Vorhersage, dass alle Niederschlagsarten (konvektiv, stratiform und gesamt) keine grosse Amplitude aufweisen. Im Sommer (Abb. 6.10 b, d) erkennt man die schlechtere [(Ja/Ja)+(Nein/Nein)] Prognose beim gesamten Niederschlag (es wurde Niederschlag beobachtet aber nicht vorhergesagt oder es wurde kein Niederschlag beobachtet aber prognostiziert). Hinzu kommt der starke Abfall der Vorhersagegüte des konvektiven Niederschlages hin zur nächtlichen Vorhersagezeit zwischen Mitternacht und drei Uhr morgens. Grundsätzlich zeigt sich bei der Betrachtungsweise der ‚falschen‘ und der ‚korrekten‘ Vorhersage, dass generell die ‚falsche Vorhersage‘ schlechter als die ‚korrekte Vorhersage‘ ist. Die Maxima und die Minima bei der ‚korrekten Vorhersage‘ bzw. bei der ‚falschen Vorhersage‘ sind gegensätzlich in der Amplitude.

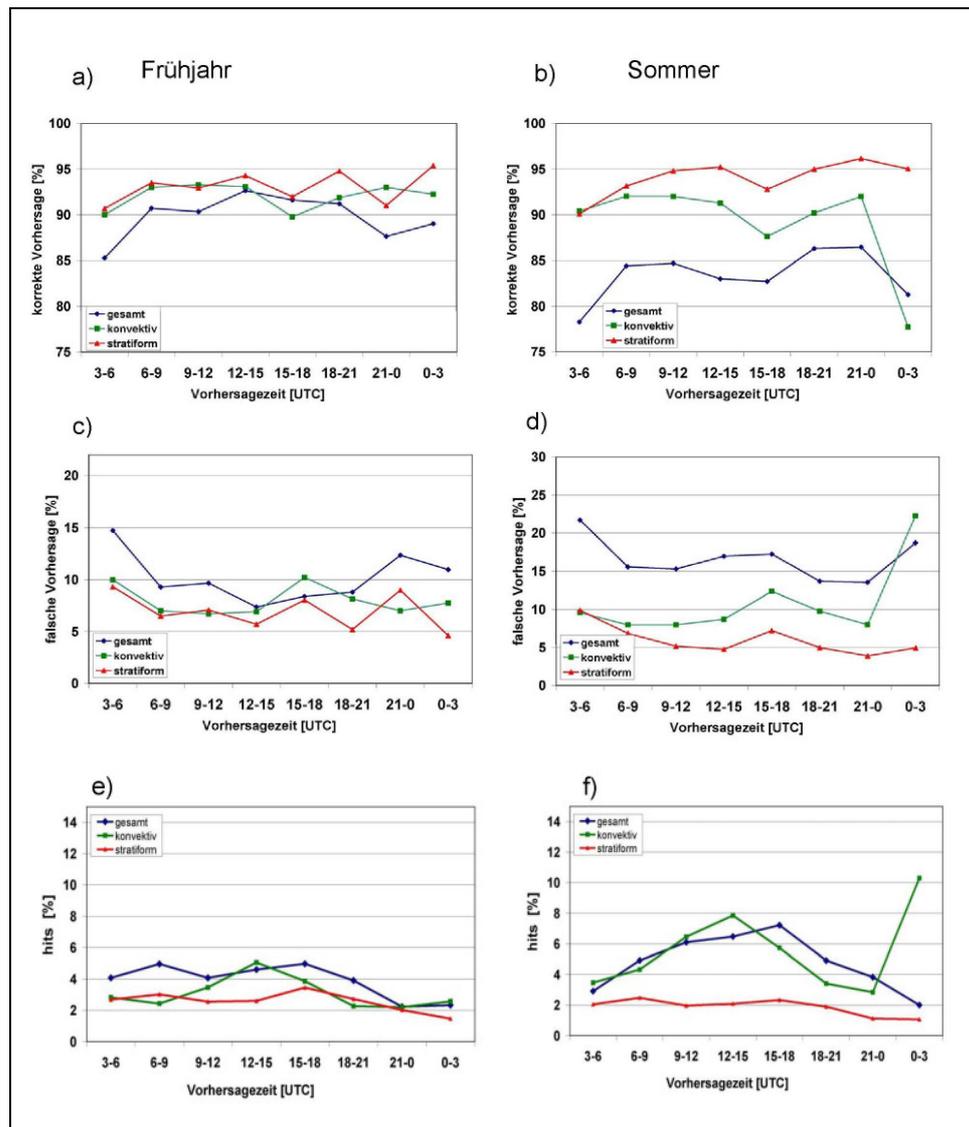


Abb. 6.10: ‚Korrekte‘ (h+z)/n und ‚falsche‘ (m+f)/n Vorhersage für Deutschland für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag für dreistündige Vorhersagezeiträume (00 UTC-Lauf) für das Frühjahr (a,c,e) und den Sommer (b,d,f) sowie den prozentualen Anteil der Fälle, die ‚richtig‘ beobachtet und prognostiziert wurden.

Abbildung 6.11 zeigt für die Bundesländer Berlin/Brandenburg (links) und Baden-Württemberg (rechts) das Ergebnis der ‚korrekten‘ und ‚falschen‘ Vorhersage. Beide Regionen zeigen nur leichte Unterschiede im Tagesgang. Es ist zu erkennen, dass in Baden-Württemberg der konvektive wie auch der stratiforme Niederschlag besonders zwischen 15 und 18 Uhr und nachts zwischen 3 Uhr und 6 Uhr falsch vorhergesagt wird. In der Region Berlin/Brandenburg zeigt sich eine ähnliche Form im Tagesgang wie in Baden-Württemberg.

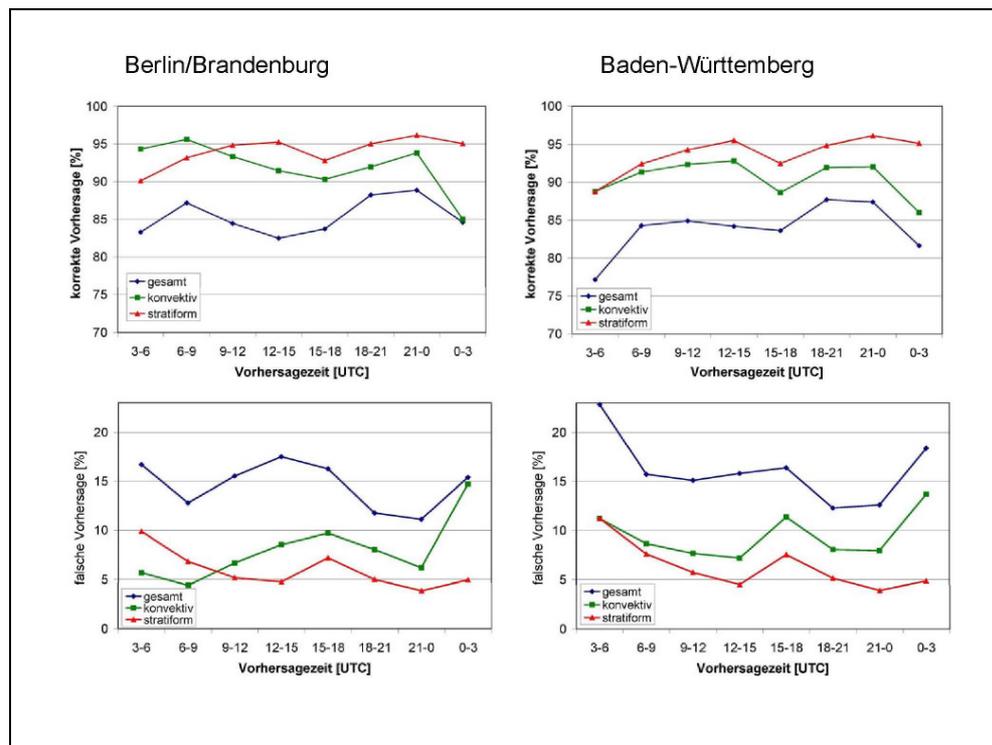


Abb. 6.11: ‚Korrekte‘ und ‚falsche‘ Vorhersage: Links Berlin/Brandenburg und rechts: Baden-Württemberg für den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag für 3-stündige Zeitintervalle (00 UTC-Lauf) für die Sommermonate (Juni bis August) 2004.

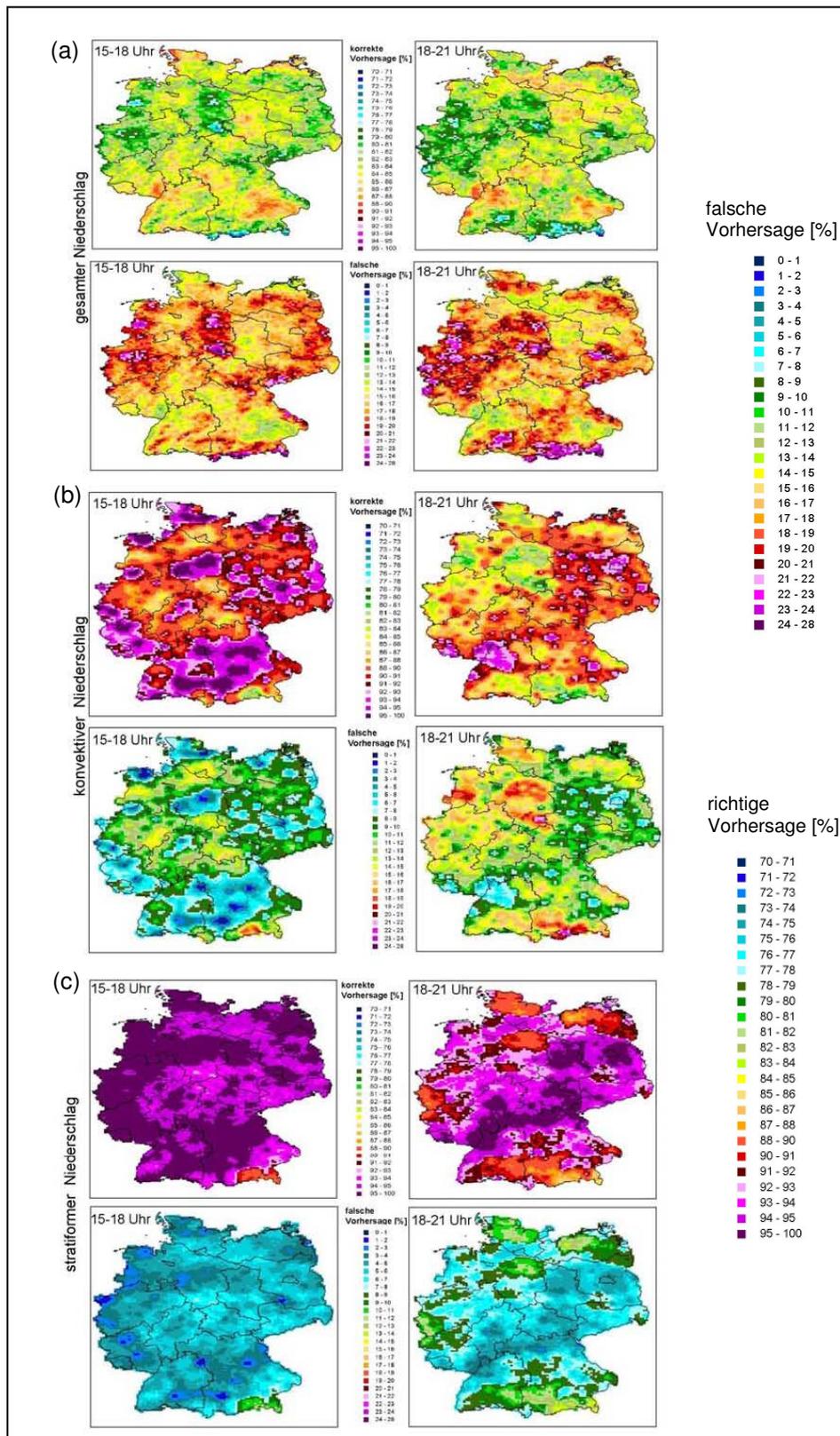


Abb. 6.12: Räumliche Verteilung der korrekten und falschen Vorhersage für den Vorhersagezeitraum von 15 bis 18 Uhr und 18 bis 21 Uhr (JJA 2004) (a) den gesamten, (b) den konvektiven und (c) den stratiformen Niederschlag.

Bezüglich der Entstehung konvektiver Niederschläge sind für Deutschland die meteorologischen Sommermonate Juni bis August von besonderem Interesse, die überwiegend niederschlagsreicher sind als die Wintermonate. Die räumliche Verteilung des ‚falsch‘ prognostizierten und des ‚korrekt‘ vorhergesagten gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlages der Vorhersagezeiträume 15 bis 18 Uhr und 18 bis 21 Uhr der Sommermonate JJA 2004 ist in der Abbildung 6.12 a-c dargestellt. Bei der Betrachtung des gesamten Niederschlages (Abb. 6.12 a) fällt auf, dass im Alpenvorland, in der Schwäbischen Alb, im Harz, in der Lüneburger Heide und im westlichen Teil Deutschlands der prozentuale Anteil der ‚falschen‘ Vorhersage in beiden Zeiträumen am höchsten ist. Dementsprechend gering ist auch die ‚korrekte‘ Vorhersage (blau bis grün). Beim konvektiven Niederschlag (Abb. 6.12 b) zeigen sich bei der Vorhersagezeit zwischen 15 bis 18 Uhr größere flächenartige Strukturen (dunkles Lila), die sowohl beobachtet als auch vorhergesagt wurden mit dem Luv/Lee-Problem im Schwarzwald (Paulat, 2007). Während im Vorhersagezeitraum zwischen 18 und 21 Uhr die großen flächenartigen Strukturen der ‚korrekten‘ Vorhersage nur noch nördlich des Schwarzwaldes zu erkennen sind, beschränken sich deutlich ‚falsche‘ Vorhersagen auf das Alpenvorland, den Harz, die Lüneburger Heide, Schleswig-Holstein und das Emsland. Beim stratiformen Niederschlag (Abb. 6.12 c) in der Vorhersagezeit von 15 bis 18 Uhr ist die Prognose für die Region um das Alpenvorland schlechter als in den übrigen Gebieten Deutschlands. Ansonsten zeigt sich ein fast einheitliches Bild für Deutschland mit einer relativ korrekten Vorhersage von nahezu 99 % (dunkles lila). Zwischen 18 bis 21 Uhr zeigt sich in der Region Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, im Alpenvorland und in der Eifel, dass die Übereinstimmung zwischen der Niederschlagsanalyse und der Vorhersage im Bereich zwischen 88 % und 90 % liegt.

Das Ergebnis zeigt, dass die stratiforme Vorhersage von größerer Genauigkeit ist als die konvektive. Beim gesamten Niederschlag scheint in einigen Regionen die Genauigkeit größer zu sein als beim konvektiven und stratiformen Niederschlag, da sich offenbar Fehler kompensieren.

6.6 Saisonale Verteilung des Bias Score (FBI)

Beim Fehler-Maß (FBI) wird das Verhältnis der Häufigkeiten des Modellniederschlags zur Niederschlagshäufigkeit der Analyse (FUB) größer 0.1 mm betrachtet. Abbildung 6.13 zeigt den Vergleich des Modellniederschlags mit der Niederschlagsanalyse der FUB für die jeweiligen dreistündigen Vorhersagezeiträume in der saisonalen Aufteilung. Für die stündlichen Daten liegt der Anteil der Ereignisse mit einer Niederschlagsbeobachtung (h) beim *gesamten Niederschlag* in allen Jahreszeiten bei ca. 3 % und ohne Niederschlag (z) bei 88 %. Es ist zu erkennen, dass zu allen Jahreszeiten sowohl der konvektive als auch der stratiforme und der gesamte Niederschlag unterschätzt wird. Die stärkere Unterschätzung zwischen 15 und 18 Uhr im Winter, Sommer und Frühling entsteht durch das Maximum in der Niederschlagsbeobachtung (Abb. 6.6). Generell wird der konvektive Niederschlag noch schlechter unterschätzt als der stratiforme, nur im Herbst ist das Verhältnis der Niederschlagsarten umgekehrt. Im Sommer zeigt sich, dass alle betrachteten Niederschlagsarten gleich schlecht unterschätzt werden.

Das LM scheint sowohl den konvektiven als auch den stratiformen Niederschlag in der Häufigkeit der Niederschlagsereignisse zu unterschätzen.

Beim *stratiformen Niederschlag* zeigt sich bei der Beobachtung und der Vorhersage ein prozentualer Anteil mit Niederschlag zwischen 1.8 % (Winter, Sommer und Herbst) und 2.5 % im Frühling. Dagegen treten die Ereignisse ohne Niederschlag zu 92 % (Winter, Sommer und Herbst) und zu 89 % im Frühling auf. Der Anteil der *konvektiven Niederschlagsereignisse* liegt im Frühling bei ca. 3.1 %, im Winter und Herbst bei ca. 4.3 % und im Sommer bei 5 %. Der Anteil der nicht Niederschlagsereignisse liegt bei 86 % (Winter, Frühling, Herbst) und im Sommer bei 84 %. In allen Jahreszeiten sind die Tage ohne Niederschlag deutlich häufiger als Tage mit Niederschlag. Im Sommer dagegen gibt es mehr Tage mit Niederschlag als zu den übrigen Jahreszeiten.

Die Abbildung 6.14 zeigt ein Beispiel für die regionale Verteilung des FBI in Deutschland für die Monate Juni bis August 2004 und zwei ausgewählte Vorhersagezeiträume (12 bis 15 Uhr und 18 bis 21 Uhr). Es fällt auf, dass der FBI in der Vorhersagezeit zwischen 12 und 15 Uhr beim stratiformen Niederschlag im nördlichen Deutschland sehr hohe Überschätzungen (bis zu 2) aufzeigt.

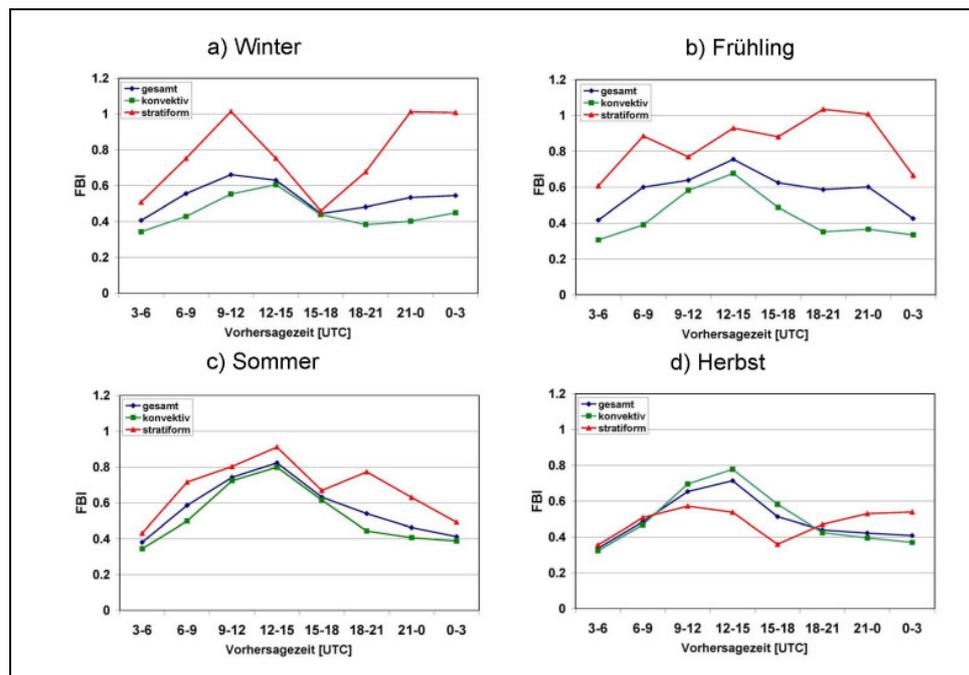


Abb. 6.13: Bias Score (FBI) für dreistündige Vorhersagezeiten aus LM Vorhersagen (00 UTC-Lauf, verglichen mit der Niederschlagsanalyse der FUB) getrennt in den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag als Mittel für Deutschland a) Winter, b) Frühling, c) Sommer, d) Herbst.

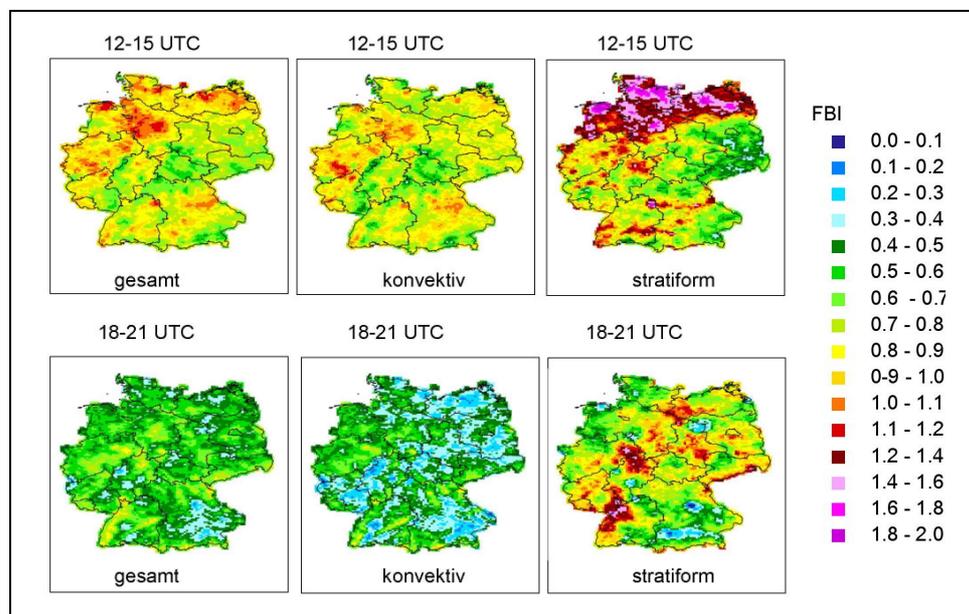


Abb. 6.14: Räumliche Darstellung des Bias Score (FBI) für den Sommer im Vorhersagebereich zwischen 12 und 15 Uhr sowie 18 bis 21 Uhr für Deutschland.

Bereits drei Stunden später (18-21 Uhr) wird der stratiforme Niederschlag in Norddeutschland unterschätzt, wobei die Überschätzungen sich auf die Mitte Deutschlands, dem Erzgebirge und Schwarzwald konzentrieren. Der FBI des gesamten Niederschlages (18-21 Uhr) zeigt in nahezu ganz Deutschland wenig Variabilität. Der FBI erreicht einheitliche Werte im Bereich von 0.4 bis 0.9 mit der deutlichen Abgrenzung des Schwarzwaldes. Der konvektive Niederschlag zeigt im Vergleich zur vorherigen dreistündigen Vorhersagezeit (12-15 Uhr), dass die Niederschlagsereignisse stark unterschätzt werden. In allen Abbildungen sind die Bänder mit Überschätzungen bzw. Unterschätzungen im Luv bzw. Lee des Schwarzwaldes zu erkennen. Die Unterschätzung der konvektiven Ereignisse reduziert den absoluten Fehler im gesamten Niederschlag.

Der Vergleich des FBI in den Sommermonaten zwischen der Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg (Abb. 6.15) zeigt eine unterschiedliche Amplitude im Tagesgang des stratiformen Niederschlages. Der starke Abfall des stratiformen Niederschlages in der Region Baden-Württemberg resultiert aus der höheren Niederschlagssumme der Analyse der FUB. Auch zeigt sich in den Abb. 6.15 durch die Auswertung des FBI das sämtliche Niederschlagsarten unterschätzt werden, welche in den Morgen- und Abendstunden stärker sind.

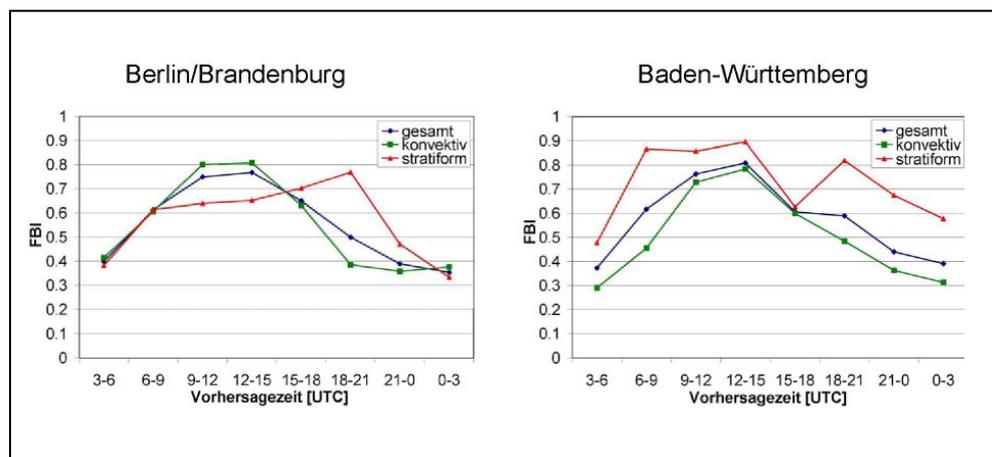


Abb. 6.15: Vergleich des Bias Score (FBI) für die Sommermonate des Jahres 2004 für die Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg.

6.7 Saisonale Verteilung des TSS

Der TSS ist ein weiteres Maß, welches die ‚Differenz‘ der Treffer der richtigen und der falschen Vorhersage für ein Niederschlagsereignis ausdrückt (vgl. 6.2). Die Abbildung 6.16 zeigt die jahreszeitliche Verteilung des TSS für drei-stündliche Vorhersagezeiten. Der Tagesgang des TSS zeigt zu allen Jahreszeiten beim gesamten und stratiformen Niederschlag einen Anstieg bis zum Tagesmaximum zwischen 12 und 15 Uhr. Anschließend nimmt die Vorhersagequalität des Niederschlags stark ab und erreicht beim konvektiven Niederschlag ein Minimum zwischen 18 und 21 Uhr. Generell liegen die Werte TSS zwischen 0.2 und 0.6, sie liegen also in der Mitte zwischen einer perfekten Prognose und der Güte der ‚Referenzprognose‘.

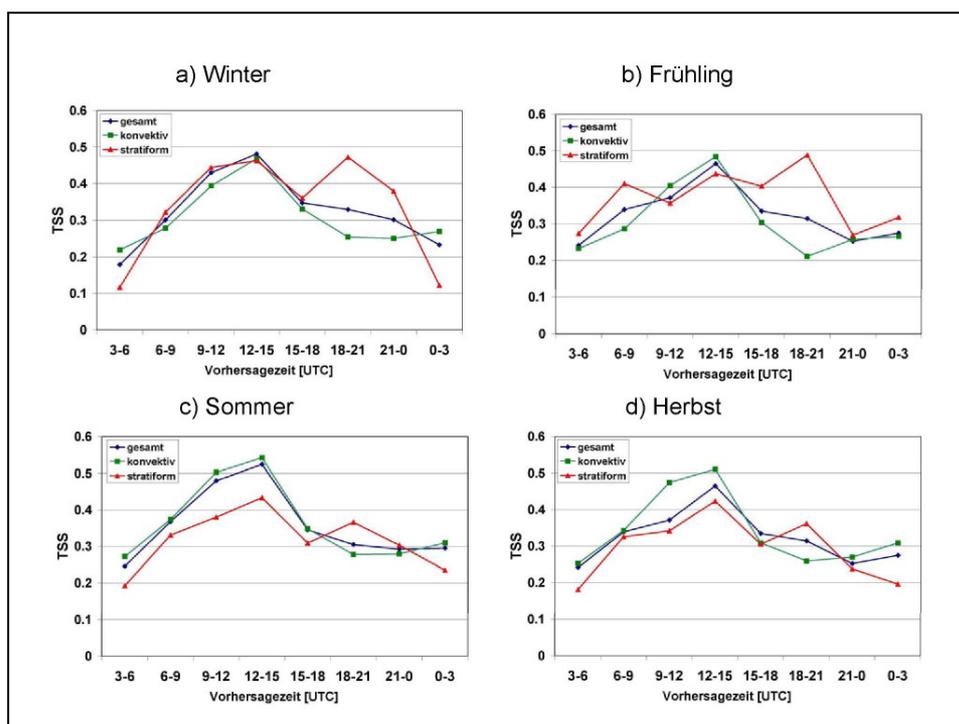


Abb. 6.16: True skill statistics (TSS) für dreistündige Vorhersagezeiten aus LM-Vorhersagen (00 UTC-Lauf, verglichen mit der Niederschlagsanalyse der FUB) getrennt in den gesamten, konvektiven und stratiformen Niederschlag als Mittel für Deutschland für das Jahr 2004 a) Winter, b) Frühling, c) Sommer, d) Herbst.

Exemplarisch, wie auch schon beim FBI, wird für die Sommermonate (2004) die regionale Verteilung des TSS für Deutschland (Abb. 6.17) für die Vorhersagezeiträume von 12 bis 15 Uhr und von 18 bis 21 Uhr dargestellt. Im Sommer zeigt der TSS beim konvektiven Niederschlag zwischen 18 und 21 Uhr die schlechtesten Werte. In nahezu ganz Deutschland wird diese Niederschlagsart schlecht vorhergesagt. Im Vorhersagebereich von 12 bis 15 Uhr sind beim konvektiven Niederschlag kleinräumige Strukturen (Ostfriesland, Kieler Bucht, Harz, Donau und Lech, Hunsrück, Eifel und Mosel) zu erkennen, die eher im Bereich einer perfekten Prognose liegen. Allen Abbildungen gemeinsam ist die bekannte Lee/Luv-Problematik im Schwarzwald und in der Schwäbischen Alb. Auf der Luv-Seite geht die Tendenz in Richtung zwischen einer perfekten Prognose und der Güte der ‚Referenzprognose‘ (TSS=0.5-0.6). Auf der Lee-Seite eher in die Tendenz der schlechteren Vorhersage. Hier zeigt sich, dass der prognostizierte Niederschlag vom LM im gebirgigen Gebiet nicht ausreichend genau in der konvektiven Skala simuliert wird (Crewell et al., 2005).

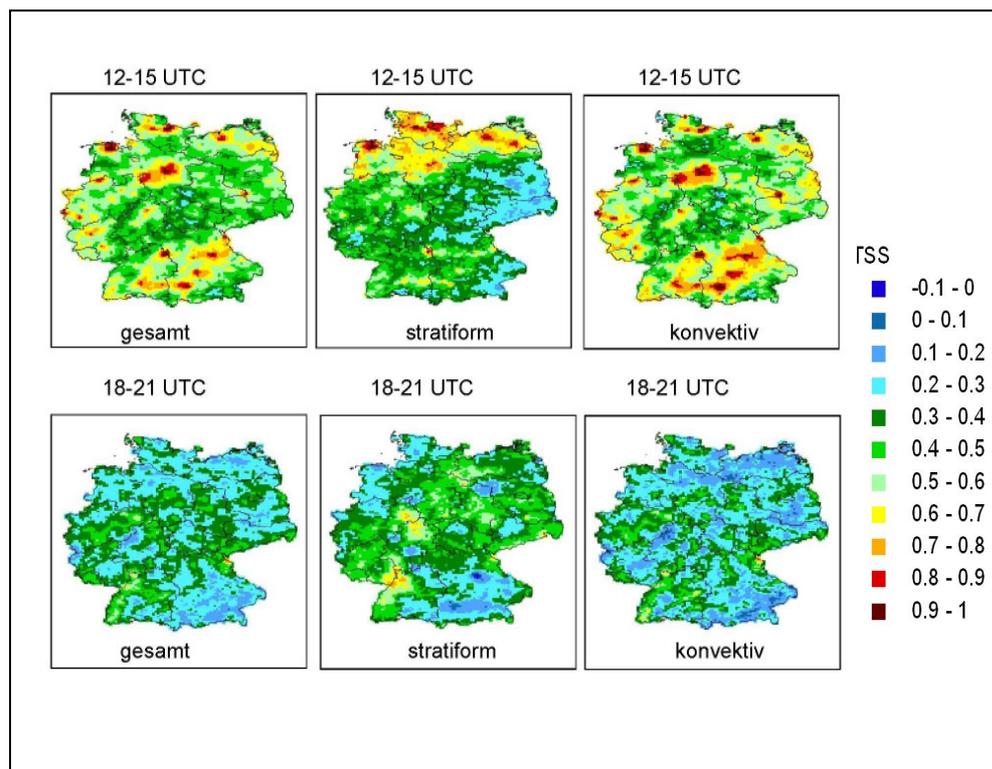


Abb. 6.17: Räumliche Darstellung des TSS für den Sommer im Vorhersagebereich zwischen 12 und 15 Uhr sowie 18 bis 21 Uhr für Deutschland von 2004.

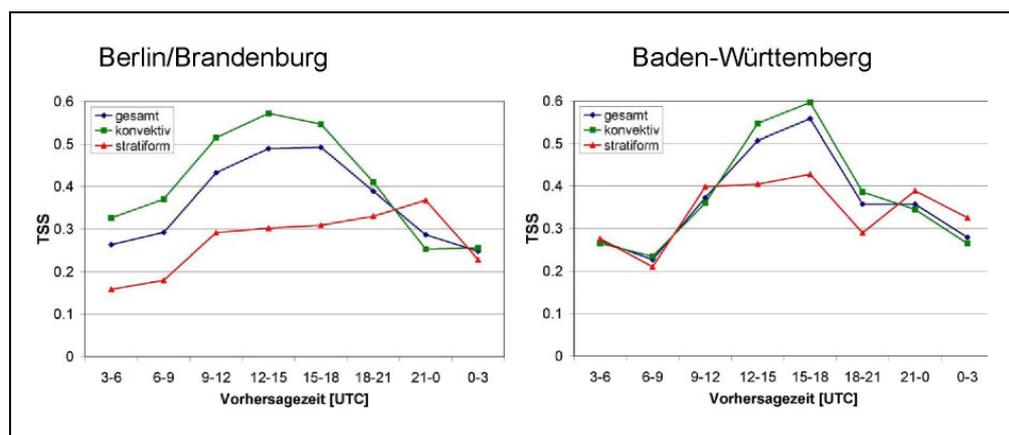


Abb. 6.18: Vergleich des TSS für die Sommermonate des Jahres 2004 für die Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg.

Die Abbildung 6.18 zeigt den TSS für die Region Berlin/Brandenburg und Baden-Württemberg für den Sommer. Die Region Berlin/Brandenburg zeigt der TSS für den gesamten und konvektiven Niederschlag eher eine Gauss-Verteilung, dagegen zeigt der TSS für die Region Baden-Württemberg einen steileren Anstieg bis zum Maximum zwischen 15 und 18 Uhr. Grundsätzlich ist der TSS des stratiformen Niederschlages in der Vorhersagegüte schlechter als der konvektive und gesamte Niederschlag. Ab einer Vorhersagezeit zwischen 21 und 00 Uhr geht der TSS in die Richtung einer Zufallsprognose.

Zusammenfassung der Verifikation

Durch die objektive Trennung des Niederschlages in einen konvektiven und stratiformen Anteil konnte eine skalenabhängige Verifikation der Niederschlagsvorhersage des LM durchgeführt werden. Die Verifikation war nur möglich, weil die Niederschlagsanalyse der FUB in gleicher räumlicher und zeitlicher Auflösung wie das LM erstellt wurde. Die vorgestellten Ergebnisse der Fehlermaße zeigen für dreistündige Vorhersagezeiträume die Schwächen des LM im Jahr 2004 bei der Niederschlagsvorhersage auf. Die Fehler-Scores basieren auf Ergebnissen, die sich auf ein bestimmtes Zeitintervall beziehen und vor allem einen Mittelwert für eine Gitterbox darstellen. Daher kann besonders in der konvektiven Skala nicht jedes Ereignis aufgeklärt werden, da konvektive Niederschläge zeitlich begrenzt sind. Auch bedeutet naturgemäß jede Kategorisierung einen Informationsverlust, da die Häufigkeits-

verteilung der interessierenden Variablen mit der kategorischen Betrachtungsweise "geglättet" wird. Zusammenfassend konnte mit diesen Beispielen gezeigt werden, dass der Vorhersagefehler beim gesamten Niederschlag oftmals durch den Fehler im konvektiven Skalenbereich verursacht wird. Dieser Fehler nimmt in den Nachmittagszeiten meistens zu. Leider zeigen diese Fehlermaße nicht die genauen Charakteristiken der Modelldefizite, zum Beispiel ob der Fehler in der Amplitude oder nur in einer Verschiebung des Niederschlagesfeldes liegt.

Als Gesamtergebnis der Beurteilung der LM-Niederschlagsprognosen ist festzuhalten, dass für Deutschland eine hohe Güte erreicht wird, dass aber in verschiedenen Skalenbereichen die in Wirklichkeit stark regional ausgeprägte Heterogenität der Niederschläge nicht ausreichend erfasst wird. Die höhere Fehlerquote bei der Vorhersage von dreistündigen Niederschlagssummen beschränkt sich beim konvektiven und stratiformen Niederschlag überwiegend auf die Nachmittags- und Nachtzeiten.