

Kapitel 9

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Globale Niederschlagsdatensätze bieten uns die Möglichkeit unser Verständnis über den Zustand des globalen Wasserkreislaufs zu vertiefen und können zur Verbesserung von Klimamodellen zugezogen werden. Bis zum heutigen Zeitpunkt gab es einen die ganze Erde umfassenden Niederschlagsdatensatz nur auf monatlicher Basis. Erst in der letzten Dekade wurden Versuche unternommen, um die zeitliche aber auch die räumliche Auflösung zu verbessern (Huffman et al., 2001). Das Wissen über die Genauigkeit und Güte solcher Datensätze stellt sich als eine enorm wichtig heraus.

In dieser Arbeit wurde die tägliche $t + 27$ h bis $t + 51$ h Vorhersage des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage auf ihre Genauigkeit hin untersucht. Als Verifikationsgebiet diente die Domäne des Irans. Die Verifikationsperiode (Jahr 2001) erscheint sicherlich von etwas kurzer Dauer. Sie musste aber aufgrund der vorgegebenen Verfügbarkeit der neuen Version des EZMW-Modells (ab Okt.2000) und der Beobachtungsdaten aus dem Iran (nur bis Ende 2001) so gewählt werden. Es wurde eine Fallstudie untersucht, die den Zeitraum von 1.-22 Dezember 2001 enthält. In dieser Zeit haben 3 verschiedene Niederschlagssysteme aus dem Westen den Iran erreicht. Das EZMW-Modell hat in fast 80% der Fälle der Untersuchungsperiode richtig vorhergesagt aber es ist nicht in der Lage, die ganze beobachtete Niederschlagsstruktur zu prognostizieren. Wie im Kap. 8.1 erwähnt wurde, hat das EZMW-Modell die Position des beobachteten Niederschlags nur teilweise richtig vorhergesagt. Nach der Betrachtung der Boden- sowie 500 hPa-Karten wurde gezeigt, dass die hohen Werte der *True Skill Statistics* bei mit größerem Niederschlag verbundenen Strömungen (Vordersite des Troges) auftraten. An den Tagen, wo ein Rücken auf der 500 hPa Karte zu beobachten war, zeigte die TSS kleinere Werte (Kap.8.1.9).

Anhand der täglich beobachteten und prognostizierten Niederschläge wurden die Verifikationsmaßzahlen pro Monat berechnet. (Kap. 8.2) Bei Betrachtung aller Verifikationsmaßzahlen war im einzelnen im Oktober-Dezember (2001) die Vorhersagegüte am besten und genauesten (TSS=0.51). An dieser Stelle muss beachtet werden, dass *False*

Alarm Ratio (FAR) oder *Probability of Detection* (POD) stark abhängig von der Niederschlagsverteilung sind und an niederschlagsarmen Tagen kann es zu einer niedrigen *False Alarm Ratio* führen, obwohl das Modell nicht in der Lage ist, alle Niederschlagsmengen richtig zu prognostizieren. Aus diesem Grund wurde *True Skill Statistics* (TSS) als die genaueste Maßzahl, die unabhängig von der Niederschlagsverteilung und systematischen Fehlern ist, für die Modell-Verifikation betrachtet.

Nach dem Erstellen der saisonalen Verifikationsmaßzahlen wurden Herbst und Frühling als die optimalen Jahreszeiten bestimmt, in der die prognostizierten EZMW-Niederschläge mit der Beobachtung am besten übereinstimmten (Kap. 8. 3).

Kap 8.4 hat die Verifikationsergebnisse in Form von Zeitreihen untersucht. Vom 1.Januar bis 21. März.2001 weist die EZMW-Zeitreihe offensichtlich eine Phasenverschiebung von einem Tag auf, in anderen Monaten ist keine Phasenverschiebung zu bemerken. Auffallend ist, dass das EZMW-Modell die Niederschlagsmenge für den ganzen Iran generell überschätzt. Die guten Korrelationen traten an niederschlagsarmen Tagen auf. Hohe Werte von *False Alarm Ratio* wurden an Tagen berechnet, an denen die Niederschlagsmenge über dem Verifikationsgebiet gering war. Aus diesem Grund muss zur Verifikation der TSS betrachtet werden. Die TSS-Werte sind immer größer als 0.2. d. h. die Niederschlagsmenge wurde um 20% besser vorhergesagt, als mit Hilfe einer Referenzprognose (Trefferrate; siehe S.63) möglich gewesen wäre. Die Übereinstimmung des Verlaufs und der Amplitude der EZMW Zeitreihen und die Beobachtungszeitreihen sind im November und Oktober am besten.

Kap.8.5 untersucht die räumliche Verteilung der Verifikationsmaßzahlen. Die Abbildungen von den mittleren Fehlern zeigen generell eine Überschätzung der Niederschlagsmenge in allen Monaten im Jahr 2001. Die Größe der Überschätzung ist an der kaspischen Küste am höchsten. In den Wintermonaten ist eine leichte Unterschätzung am Zagrosgebirge zu sehen (2.5 mm/Tag). Die Niederschlagsmenge an der kaspischen Küste wird in allen Monaten überschätzt. Die mittleren absoluten Fehler zeigen die Größe der Unterschätzung und Überschätzung, die im Dezember einen Wert größer als 5 mm erreicht. Die Abbildungen von TSS-Werten kennzeichnen die Vorhersagegüte für verschiedene Gebiete im Iran. Das Modell kann in allen Monaten die Niederschläge über dem Zagros-Gebirge und im Westen und Nordwesten des Irans, an der kaspischen Küste und im Nordosten des Irans mit einem TSS größer als 0.4 vorhersagen. Die Vorhersagegüte in den 2 großen Wüsten und im Gebiet 10 und 11 war sehr klein ($TSS < 0.2$). Die Jahreswerte von TSS (räumliche Verteilung) zeigt, dass das Modell die Niederschlagsmenge über dem Hochland (Gebiet 1, 2, 4, 5, teilweise 6, 7, 8) und an der Luvseite des Alborz-Gebirges besser als für andere Gebiete (Flachland: Gebiet 9, 10, 11) im Iran vorhersagen kann ($TSS > 0.4$).

Anhand der multi-kategorischen Statistik wurden die Verifikationsmaßzahlen für 5 betrachtete Schwellenwerte berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass in fast allen Monaten das EZMW-Modell die Niederschläge größer als 10 mm besser als die anderen Werte (besonders in den Wintermonaten) vorhersagen kann. ($TSS = 0.1-0.6$)

In fast allen Monaten schafft das Modell bei den Niederschlägen größer als 10 mm ein besseres Ergebnis in der Abschätzung des Niederschlags als es mit Hilfe der Referenzprognose (Trefferrate; siehe S.63) möglich wäre. Als Summenstatistik wurden die kategorischen und kontinuierlichen Verifikationsmaßzahlen für das ganze Jahr 2001 berechnet. Die mittlere tägliche Niederschlagsmenge über das gesamte Gebiet beträgt 0.53 mm und das EZMW hat 0.60 mm vorhergesagt (Überschätzung). Die Güte der Prognose war 0.45 d. h. das EZMW-Modell kann die Niederschlagsmenge im Iran mit 45% Verbesserung

vorhersagen als es mit Hilfe einer Referenzprognose (Trefferate; siehe S.63) möglich wäre. Der EZMW-Niederschlag müsste vor allem an den Tagen, an den die Niederschlagsmenge zwischen 0.11-10 mm ist in ihrer Genauigkeit verbessert werden.

Das Ergebnis könnte durch Korrektur des beobachteten Niederschlags von den systematischen Messfehlern verbessert werden. Denn: die prognostische Überschätzung der Niederschlagsmenge könnte aufgrund von Verlusten zufolge Wind und Verdunstung zustande gekommen sein, diese Verluste betragen im Mittel bei flüssigem Niederschlag 5% und bei festem bis zu 30%. Die multi-kategorische Statistik zeigt, dass das Modell die Niederschlagsmengen kleiner als 0.1 mm und größer als 10 mm überschätzt und die anderen Werte unterschätzt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind für die Iranische Meteorologische Organisation (IMO) von außerordentlicher Wichtigkeit, denn die EZMW-Niederschlagsprognose wird täglich für den gesamten Iran angewendet, weil in diesem Land bisher kein lokales Modell entwickelt wurde. Deshalb werden überall, ohne Rücksicht darauf, wie genau das Modell für die verschiedenen Regionen ist, die Prognosen des globalen Modells verwendet. Im Folgenden werde ich auf die wichtigsten Gründe eingehen, aufgrund derer eine möglichst exakte Prognose des täglichen Niederschlags im Iran von solch großer Bedeutung ist:

- Die Luft in Tehran und anderen großen Städten im Iran ist aufgrund der industriellen Infrastruktur, die am Rande dieser Städte angesiedelt ist, und auch wegen der extrem hohen Verkehrsdichte in den Ballungsgebieten (die meisten Fahrzeuge sind zudem nicht mit Katalysator ausgestattet) sehr stark belastet. Häufig überschreitet die Luftverschmutzung die noch tolerierbaren Grenzwerte, was vor allem für Ältere und Menschen mit Herzkreislauf- und/oder Atemwegsbeschwerden gefährlich werden kann. Da Regen einer der wichtigsten Faktoren ist, die zu einer Reinigung und Verbesserung der Luftqualität beitragen können, kann eine gute tägliche bzw. mehrtägige Niederschlagsprognose dabei helfen, Smog vorherzusagen und die Menschen rechtzeitig über mögliche Gefahren zu informieren.
- Als wichtigstes Exportgut des Landes wird im Iran sehr viel Reis angebaut. Da diese Pflanze für ihr Gedeihen reichlich Wasser benötigt, spielt Regen für die Bewässerung der Reisplantagen eine große Rolle. Aus diesem Grund ist auch die iranische Landwirtschaft auf eine zuverlässige mehrtägige Niederschlagsprognose angewiesen.
- Da die Verkehrswege zwischen den Städten des Landes zum Teil noch nicht besonders gut ausgebaut, oft sehr schmal und zum größten Teil nicht asphaltiert sind, können sie durch häufige starke Regenfälle beschädigt werden und Unfälle verursachen. Mit Hilfe einer guten Niederschlagsprognose können die Autofahrer früh genug vor den Gefahren durch Niederschlag gewarnt werden.
- In den Sommermonaten sinkt der Wasserspiegel in vielen Staudämmen aufgrund der Trockenheit, wodurch es zu Engpässen in der Wasserversorgung der Großstädte in dieser Jahreszeit kommen kann, und den Menschen dann an vielen Tagen kein Wasser zur Verfügung steht. Eine genaue tägliche (konvektiver Niederschlag) oder mehrtägige Niederschlagsprognose ermöglicht es den zuständigen Personen in den Wasserbetrieben, den Bewohnern der von der Wasserknappheit betroffenen Städte rechtzeitig den zu erwartenden Wassermangel mitzuteilen.

- Während der Regenzeiten fließt, insbesondere in Tehran, das Regenwasser aus dem Norden der Stadt in den Süden. Dort ist jedoch keine hinreichend ausgebaute Kanalisation vorhanden, so dass die Wassermassen nicht aufgefangen werden und deshalb große Schäden in diesen Gebieten verursachen können. Auch hier kann eine präzise tägliche Niederschlagsprognose, insbesondere die Prognose des konvektiven Niederschlags, den zuständigen Behörden rechtzeitig die nötigen Informationen liefern, um Maßnahmen gegen die voraussichtlich eintretenden Überschwemmungen einzuleiten und die Menschen in Süd-Tehran vorzuwarnen.

Im Iran wird versucht auf der Grundlage des EZMW-Modells ein lokales Modell zu entwickeln, das die Niederschläge in allen Teilen des Irans prognostiziert. Bei Betrachtung der Stärken und Schwächen des Modells bei der Lokalisierung des Niederschlags und anhand der Phasenverschiebung im Jan-März 2001 so wie der räumlichen Güte des Modells in den Gebieten 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 besonders im Gebiet 2 (Zagros-Gebirge), der Unterschätzung der Niederschlagsmenge an der Luvseite des Zagros-Gebirges und Überschätzung an der kaspischen Küste und anhand des optimalen Bereichs der EZMW-Prognose (>10 mm) kann man den Output des Modells kritisieren und dann mit Hilfe von *Modell output statistics* verbessern und auf der Grundlage des EZMW-Modells ein neues lokales Model entwickeln (zukünftiges Projekt der IMO).