INSTITUT FÜR HYDROLOGIE ALBERT-LUDWIG UNIVERSITÄT FREIBURG IM BREISGAU

Robert Krier

Niederschlagsradardaten zur Regionalisierung von Klimaparametern

Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Dr. Ch. Leibundgut Freiburg im Breisgau Oktober 2007

INSTITUT FÜR HYDROLOGIE ALBERT-LUDWIG UNIVERSITÄT FREIBURG IM BREISGAU

Robert Krier

Niederschlagsradardaten zur Regionalisierung von Klimaparametern

Referent: Prof. Dr. Ch. Leibundgut Koreferent: Dr. Jens Lange

Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Dr. Ch. Leibundgut Freiburg im Breisgau Oktober 2007

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Dr. Christian Leibundgut für die genossene Ausbildung bei dieser Arbeit und während des gesamten Studiums am Institut für Hydrologie an der Universität Freiburg. Mein Dank richtet sich auch an Dr. Jens Lange für die Unterstützung, die wertvollen Hilfestellungen für diese Arbeit und für die Übernahme des Koreferats.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Freund und PhD-Gaststudenten am Institut Civ. Eng. Shadeed S., der mir in vielen interessanten Diskussionen mit Rat und Ideenreichtum zur Seite stand.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mein Studium erst ermöglicht haben. Mein Dank geht auch an meine Lebensgefährtin Joëlle Steinmetz, für die Motivation und die liebevolle Unterstützung während meines Studiums und darüber hinaus.

Π

Danksagung	Ι
Abbildungsverzeichnis im Text	IV
Tabellenverzeichnis im Text	V
Abbildungsverzeichnis im Anhang	vi
Taballanyarzaichnic im Anhang	
Vermine dete Service de ser d'Aldräumen ser	
verwendete Symbole und Abkurzungen	VIII
Zusammenfassung	
Extended summary, Keywords	XI
1. Einleitung	1
2. Zielsetzung	2
3. Das Jordaneinzugsgebiet	3
3.1 Das Jordaneinzugsgebiet	3
3.2 Klimatologie	4
3.2.1 Entstehungszonen der Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum	4
3.2.2 Red Sea trough	6
3.2.3 Niederschlag	6
3.2.3.1 Die räumliche Niederschlagsvariabilität	7
3.2.3.2 Die zeitliche Niederschlagsvariabilität	8
3.2.4 Strahlung	9
4. Niederschlagsradarmessung	11
5. Korrekturverfahren	15
5.1 Datengrundlage	15
5.2 Methodik	16
5.3 Korrektur der Niederschlagssaisons 1998/99 und 2002/03	17
5.3.1 Korrekturkriterien der Saison 1998/99	17
Auswertung der Einzelereignisse	19
5.3.2 Korrekturkriterien der Salson 2002/03	20
5.4 Inverse Distance Weighting (IDW)	21
5.5 Ergebnisse	22
5.6 Fazit	23
6 Niederschlagssaisonvergleich	30
6.1 Vergleich der zeitlichen Niederschlagsvariabilität	30
6.1.1 Methodik	30 30
6.1.2 Ergebnisse	36
6.2 Vergleich der räumlichen Niederschlagsvariabilität	37
6.2.1 Methodik	37
6.2.2 Ergebnisse	39
6.3 Fazit	42
7. Regionalisierung der Sonnenscheindauer	44
7.1 Methodik	44
7.2 Ergebnisse	46
7.3 Fazit	47
8. Diskussion	48
9. Ausblick	51
Literaturliste	52
Anhang	54
5	

Abbildungsverzeichnis im Text

Abb. 3.1: Jordaneinzugsgebiet und Umgebung (URL 1)	4
Abb. 3.2: Zugbahnen und Entstehungszonen der Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum	
während des Winters (September – Mai). Die Zahlen geben die mittlere	
Häufigkeit der Tiefdruckgebiete an (Air Ministry, 1962 in Goldreich, 2003).	
Die Häufigkeit der Luftmassen, die im Januar Israel erreichen, sind in den	
Kästchen mit Buchstaben angegeben (Dayan, 1986 in Goldreich, 2003).	
Luftmassensymbole:	5
Abb. 3.3: Mittlerer jährlicher Niederschlag in mm (verändert aus: U.S.G.S. 1998)	8
Abb. 3.4: Langjährige Niederschlagsaufzeichnung von Jerusalem	0
(verändert aus: U.S.G.S. 1998)	9
Abb. 4.1: Das elektromagnetische Spektrum (URL 2)	11
Abb. 5.1: Darstellung der Korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 14 der Niederschlagssaison 1998/99	24
Abb. 5.2: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 19 der	
Niederschlagssaison 1998/99	25
Abb. 5.3: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 24 der	
Niederschlagssaison 1998/99	26
Abb. 5.4:Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 12 der	
Niederschlagssaison 2002/03	27
Abb. 5.5: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 18 der	
Niederschlagssaison 2002/03	28
Abb. 5.6: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 19 der	
Niederschlagssaison 2002/03	29
Abb. 6.1: Monatliche Niederschlagssummen der Niederschlagssaisons 91/92, 98/99,	
02/03 und langjähriges Mittel	31
Abb. 6.2: Kumulativer %-Anteil der Monatssummen am Jahresniederschlag der Salsons 91/92, 98/99, 02/03 und langjähriges Mittel	32
Abb. 6.3: Boxplot-Diagramm der Tageswerte für 5 ausgesuchte Stationen der	
Niederschlagssaison 91/92	33
Abb. 6.4: Boxplot-Diagramm der Tageswerte für 5 ausgesuchte Stationen der	
Niederschlagssaison 98/99	34
Abb. 6.5: Boxplot-Diagramm der Tageswerte für 5 ausgesuchte Stationen der	
Niederschlagssaison 02/03	35
Abb. 6.6: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Zugrichtung der Niederschlagszellen	
für die Saisons 91/92, 98/99 und 02/03	42
Abb. 7.1: Sonnenstunden für den 29. November 2002	46
Abb. 7.2: Tagesniederschlag in [mm] für den 29. November 2002	47

Tabellenverzeichnis im Text

Tabelle 3.1: Monatliche und jährliche mittlere Globalstrahlung [MJ/m ² *day],	
(verändert nach Kudish and Ianetz, 1992 in Goldreich, 2003)	10
Tabelle 4.1: Gebräuchliche Wetterradarbänder und deren Frequenzen bzw. Wellenlängen,	
(verändert nach Rinehart R.T., 2001 in Heule H., 2004)	12
Tabelle 5.1: Aufteilung der Niederschlagstage in Niederschlagsereignisse für die Saison	
98/99	18
Tabelle 5.2: Aufteilung der Niederschlagstage in Niederschlagsereignisse für die Saison	
02/03	21
Tabelle 6.1: Auswertungsergebnisse der Niederschlagszellenanalyse der Saison 1991/92	39
Tabelle 6.2: Auswertungsergebnisse der Niederschlagszellenanalyse der Saison 1998/99	40
Tabelle 6.3: Auswertungsergebnisse der Niederschlagszellenanalyse der Saison 2002/03	41

Abbildungsverzeichnis im Anhang

Abb. A. 1: Neue verwendete Niederschlagsmessstationen zur Korrektur der Saison	
98/99 und 02/03	57
Abb. A. 2: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 14 der Saison 98/99	58
Abb. A. 3: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 19 der Saison 98/99	58
Abb. A. 4: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 24 der Saison 98/99	59
Abb. A. 5. Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 12 der Saison 02/03	59
Abb. A. 6: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 18 der Saison 02/03	60
Abb. A. 7 Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 19 der Saison 02/03	60
Abb. A. 8: Verwendete Niederschlagsstationen für den Vergleich der	
Niederschlagssaisons 91/92, 98/99 und 02/03. Die blauen Stationen	
sind die gemeinsamen Stationen der drei Niederschlagsaisons. Die	
roten Stationen wurden zusätzlich verwendet um die langjährigenMittel zu	
berechnen.	61

Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A. 1: Verwendete Messstationen für die Korrektur der Saison 98/99	54
Tabelle A. 2: Verwendete Messstationen für die Korrektur der Saison 02/03	55
Tabelle A. 3: Neue verwendete Jordanische Stationen für die Korrektur der	
Saison 98/99 und 02/03	56
Tabelle A. 4: Gemeinsame Niederschlagsstationen, die für den Vergleich der	
drei Niederschlagssaisons 91/92, 98/99 und 02/03 zur Verfügung standen	56
Tabelle A. 5: Zusätzlich verwendete Niederschlagsstationen zur Berechnung	
der monatlichen langjährigen Mittel	57

Verwendete Symbole und Abkürzungen

a, b	Variablen					
d	Distanz zwischen unbekanntem und bekanntem Punkt					
Di	Durchmesser des Hydrometeors [mm]					
Eh	Reale Ereignisdauer [h]					
Es	Ereignisdauer der Filmsequenz [s]					
IDW	Inverse Distance Weighting					
Ν	Anzahl der für die Interpolation verwendeten bekannten Punkte					
N(D)	Anzahl der Hydrometeore mit einem Durchmesser zwischen D und					
	D+dD pro Volumeneinheit Luft					
N_i	Anzahl der Hydrometeore pro Volumeneinheit Luft					
р	Potenzparameter. Der Parameter ist eine positive reale Zahl, dessen					
	Gewichtung mit zunehmender Distanz zum interpolierten Punkt					
	abnimmt.					
R	Niederschlagsrate [mm/h]					
RST	Red Sea Trough					
V _t (D)	Endfallgeschwindigkeit [m/s]					
Vz	Zuggeschwindigkeit der Niederschlagszellen [km/h]					
w(d)	Gewichtungsfaktor der auf einen bekannten Punkt mit bekanntem Wert					
	angewandt wird					
Z	Benötigte Zeit der Niederschlagszellen in der Filmsequenz, um eine					
	Distanz von 100 km zurückzulegen [s]					
Z	Reflektivität [mm ⁶ /m ³]					
Zi	Wert eines bekannten Punktes					
ZI	Wert des interpolierten Punktes					

Zusammenfassung

Die Radartechnik ist ohne Zweifel ein unentbehrliches Mittel in der modernen Niederschlagsmesstechnik geworden. Besonders in Regionen, in denen die Messnetzdichte herkömmlicher Niederschlagsstationen sehr gering ist oder gar keine Messstationen vorhanden sind, kommen die Stärken der Radartechnik voll zur Geltung. Das Einzugsgebiet des Unteren Jordans, mit seinen sehr starken klimatischen Gradienten auf engstem Raum und seinen stark räumlich variierenden Niederschlägen, gehört zu jenen Regionen, in denen die Radartechnik unerlässlich geworden ist.

Die Radartechnik arbeitet allerdings nicht fehlerfrei und ihre Daten müssen mit den vorhandenen Niederschlagsmessstationen verglichen und nachkorrigiert werden. Nachdem Wiesendanger (2007) diesbezüglich eine Methodik der Korrektur für die Niederschlagssaison 91/92 im Einzugsgebiet des Unteren Jordan ausgearbeitet hat, bemüht sich die hier vorliegende Arbeit die Methodik weiter zu verfeinern und mit zusätzlichen jordanischen Messstationen auf die Radardaten der Niederschlagssaisons 98/99 und 02/03 anzuwenden. Wichtige Erkenntnisse über die räumliche und zeitliche Niederschlagsvariabilität wurden gewonnen, indem sowohl die Stationsdaten als auch die Radardaten der drei Niederschlagssaisons 91/92, 98/99 und 02/03 direkt miteinander und mit dem langjährigen Mittel verglichen wurden. Wenn man die Saisons nach abnehmender Feuchte klassifiziert, steht die Saison 91/92 ganz oben. Im Vergleich zum langjährigen Mittel ist im Dezember 1991 mit 166 mm und im Februar 1992 mit 223 mm fast dreimal mehr Niederschlag gefallen. Die Saison 02/03 wurde als mittlere bis feuchte Saison eingestuft. Die Niederschläge der Saison 98/99 lagen in allen Monaten unter den jeweiligen Monatswerten des langjährigen Mittels. Die Saison wird als trocken eingestuft.

Zusätzlich wurde ein Ansatz geschaffen, die räumliche Verteilung der Niederschläge ereignisbasiert zu analysieren. Hierfür wurden für jedes Niederschlagsereignis die entsprechenden Radardaten zu Filmsequenzen zusammengefügt, um sowohl Informationen über die Zugrichtung und die Zuggeschwindigkeit der Niederschlagszellen als auch deren maximale Ausdehnung zu bestimmen. Anschließend wurden diese Informationen weiterverarbeitet und statistisch ausgewertet. Die mittleren Zugrichtungen der drei Niederschlagssaisons lagen alle in den Bereichen zwischen Süd und West/Südwest. Die mittlere Zuggeschwindigkeit und die maximale Niederschlagszellenausdehnung wurden mit Hilfe eines Maßstabs ausgehend von den Werten in den Filmsequenzen in reale Werte umgerechnet.

Um weitere wichtige Informationen den Niederschlagsradardaten zu entnehmen, wurden die Daten der astronomischen Sonnenscheindauer vom *Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory* dazu verwendet, eine regionalisierte Tageskarte des Jordaneinzugsgebietes mit Stundenwerten der tatsächlichen Sonnenscheindauer zu berechnen. Das Grundprinzip hierfür besteht darin, dass eine Stunde mit Niederschlag als himmelbedeckt gilt und eine Stunde ohne Niederschlag als Sonnenscheinstunde zählt. Als repräsentativer Versuchstag wurde der 29. November 2002 ausgewählt, der zum Ereignis 9 der Niederschlagsaison 02/03 zählt und dessen Niederschläge weit über das gesamte Einzugsgebiet verbreitet waren.

Extended summary, Keywords

Radar techniques have certainly become essential in modern precipitation measurement. Especially in regions where the density of usual raingauges is very low or even not existing, the strong points of the radar techniques are shown to advantage. The catchment of the Lower Jordan River, with its strong climatic gradients inside a very small space and its important spacial precipitation variability, is part of those regions where radar techniques have become indispensable.

However, radar ist not working error freely and its results have to be compared and corrected by the datas of the existing raingauges. After Wiesendanger (2007) elaborated a method to correct the datas of the rainseason 91/92, this paper here tries to improve the method by applying it on the rainseason 98/99 and 02/03 on the basis of further new datas supplied by jordanian raingauges. By comparing the radar datas and the datas of the raingauges of the three seasons 91/92, 98/99 and 02/03, and by comparing those with the longyeared meanvalues, important informations concerning the time and spatial precipitation variability were gained. The seasons being classified from humid to dry, the rainseason 91/92 towers above all. The amount of precipitation in December 1991 was 166 mm, in February 1992 the amount of rain was 223 mm. This was almost three times more than the amount of the longyeared meanvalues. The rainseason 02/03 was categorized as a medium to humid rainsaison. The amount of precipitation during the rainseason 98/99 was lower every month then the amount of the longyeared mean values.

It was also created a new raineventbased approach to analyse the time and spatial precipitation variability. Radardatas for each rainevent were put together to moviesequences in order to get important informations about the course direction, speed and maximum extension of the precipitation cells. These datas were statistically analysed. The mean course direction of the precipitation cells of the three rainseasons were located between south and west/southwest. The mean speed and the maximum extension of the precipitation cells were determined by upscaling from the moviesequences to the reality scale.

To get further important information out of the precipitation radar datas, datas of the astronomical sunshinehours from the *Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory* were used to calculate a regionalised hourely daymap of the actual sunshinehours in the Jordan River catchment. The basic principle to this approach is to consider an hour with precipitation as an hour with a covered sky and an hour without precipitation as a sunshinehour. November 29th 2002 was chosen as a representative test day; it belongs to the rainevent 9 of the rainseason 02/03 and its precipitations were spread all over the whole catchment.

Keywords:

Israel, Lower Jordan River catchment, precipitation radar, radar correction, time and spacial precipitation variability, existing raingauges, rainseasons, radar moviesequences, daymap of actual sunshinehours

1. Einleitung

Der seit Jahrzehnten andauernde Konflikt im Nahen Osten zeigt deutlich, dass die Bedeutung des Wassers in dieser Region in Zukunft immer stärker zunimmt. Das kostbare Nass des Jordans ist lebensnotwendig für das sozioökonomische Wachstum der Nahostländer Israel, Palästina und Jordanien, und sogar im Extremfall entscheidend für das blanke Überleben. Die aktuellsten Prognosen des globalen Klimawandels lassen darauf schließen, dass sich die Lage alles andere als entspannen wird. Umso wichtiger ist es, die klimatologischen und hydrologischen Bedingungen des Jordaneinzugsgebietes zu untersuchen und besser zu verstehen. Nur so ist es möglich, die Verfügbarkeit und die Qualität des Wassers für alle Menschen im Nahen Osten zu gewährleisten.

Die Niederschläge der Region unterliegen einer starken räumlichen und zeitlichen Variabilität. Immer öfter fehlende Niederschläge haben zur Folge, dass der Jordan immer stärker unter Wasserknappheit leidet. Genauere Kenntnisse über die Niederschlagsintensitäten und deren räumliche Verteilung bilden deshalb eine wichtige Grundlage um die Wasserverfügbarkeit besser abschätzen zu können. Für diesen Zweck lässt sich das Niederschlagsradar besonders gut einsetzen. Die große Stärke der Radartechnik liegt darin, dass man eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Niederschläge aus Regionen erhält, die sich bis zu 190 km vom Radar entfernt befinden und in denen herkömmliche Niederschlagsmessstationen komplett fehlen. Die Radartechnik ist aber alles andere als eine fehlerfreie Technik. Verglichen mit einer herkömmlichen Bodenniederschlagsstation liefert das Radar an einem bestimmten Punkt weniger zuverlässige Niederschlagsdaten. Es bleibt nach wie vor sinnvoll, die Niederschlagsradardaten mit Hilfe der Niederschlagsstationen zu vergleichen und zu korrigieren. Die so gewonnen räumlich verteilten Daten liefern aber nicht nur wertvolle Informationen über die Niederschlagsintensitäten, sondern verraten wichtige Details über die herrschenden Wetterlagen, die für die Charakteristiken der entsprechenden Niederschlagssaisons verantwortlich sind.

2. Zielsetzung

Die Erfassung des flächenhaften Niederschlags wird inzwischen weiträumig in vielen Orten der Welt mit Hilfe von Niederschlagsradartechnik gewährleistet. Der große Vorteil der Niederschlagsradartechnik liegt darin, dass diese Technik Daten mit einer sehr hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung liefert. Allerdings muss nach wie vor eine Korrektur mit Hilfe von Stationsdaten stattfinden, die die Niederschlagsradardaten kalibrieren. Diese Technik wird auch im Einzugsgebiet des Unteren Jordans angewendet, wobei hier eine Niederschlagsradaranlage in Tel Aviv die Radardaten liefert. Ein solches Korrekturverfahren wurde bereits von Wiesendanger (2007) ausgearbeitet und für die Saison 1991/92 angewandt.

Der erste Schritt dieser Arbeit besteht darin, die Arbeit von Wiesendanger (2007) fortzuführen und zwei weitere Niederschlagssaisons, 1998/99 und 2002/03, nach dem bestehenden Verfahren zu korrigieren. Ein direkter Vergleich der drei verschiedenen Niederschlagssaisons liefert Erkenntnisse darüber, in wie weit sich diese untereinander und vom langjährigen Mittel unterscheiden. Die unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Variabilitäten geben Auskunft über klimatische und meteorologische Bedingungen, die im Einzugsgebiet des Unteren Jordan-Tals und Umgebung herrschen.

In einem zweiten Schritt wird versucht, ein Konzept zu entwickeln das erlaubt, weitere wichtige Informationen den gemessenen Radardaten zu entnehmen, die neue regionalisierte Daten der Sonnenscheindauer im Einzugsgebiet liefern.

3. Das Jordaneinzugsgebiet

3.1 Das Jordaneinzugsgebiet

Der Jordan ist der tiefstgelegene Fluss der Erde. Die drei Quellflüsse des Jordans verteilen sich auf die Staatsgebiete Israel, Libanon und Syrien. Der Dan, mit einem durchschnittlichen Jahresabfluss von ca. 250 Mio. m³, ist der größte Quellfluss und entspringt vollständig auf israelischem Gebiet; der Hasbani, mit ca. 140 Mio. m³/Jahr im Südlibanon und der Banias, mit ungefähr 120 Mio. m³/Jahr auf den syrischen Golan-Höhen. Diese sind allerdings seit 1967 von Israel besetzt und zwischen beiden Ländern heftig umstritten. Kurz hinter der israelischen Grenze vereinen sich Dan, Hasbani und Banias zum Jordan, der nun nach einer Strecke von rund 15 km in den Tiberias-See (auch: See Genezareth genannt), dem einzigen natürlichen Wasserspeicher der Region, fließt. Aufgrund der hohen Wasserentnahme aus diesem mittlerweile stark versalzenen Reservoir fließt der Jordan nur als dünnes Rinnsal südwärts durch die Westbank, ehe er sich nach ca. 10 km mit dem Yarmuk vereint. Von der Gesamteinzugsgebietsgröße von über 15000 km² entfallen alleine knapp 7000 km² auf den Yarmuk und stellen somit das größte Teileinzugsgebiet des Jordans dar. Er entspringt in Syrien und bildet westwärts fließend über eine Strecke von 40 km die syrisch-jordanische Grenze. Nachdem er mit einem Wasservolumen von ca. 400-500 Mio. m³/Jahr in den Jordan gemündet hat, bildet er die israelisch-jordanische Grenze. Der Jordan durchfließt weiter in südlicher Richtung die so genannte Jordan-Senke zwischen Westjordanland und Jordanien und mündet schließlich als Unterer Jordan in das Tote Meer. Trotz seiner Länge von nur knapp 230 km und seiner im Vergleich zu den großen Flusssystemen der Erde äußerst geringen Durchflussmenge stellt der Jordan für Israel, die palästinensischen Gebiete und Jordanien das wichtigste Oberflächengewässer der Region dar. Syrien und der Libanon verfügen noch über weitere Wasservorkommen, jedoch ist der Zugriff eingeschränkt (Thobaben, 2004).

In der Luftlinie würde die Länge des Jordan nur etwa 170 km betragen. Durch seine starken Windungen ist er länger, wobei die Angaben aber je nach Quelle stark voneinander abweichen. Teilweise wird seine Länge mit über 400 km angegeben. In seinem Verlauf überwindet der Fluss etwa 800 Höhenmeter.



Abb. 3.1: Jordaneinzugsgebiet und Umgebung (URL 1)

Der größte Teil des Gesamtabflusses entsteht während der regenreichen Zeit der Wintermonate November bis März, so dass der Jordan während dieser Monate ungleich mehr Wasser führt. Der Obere Jordan führt dagegen am Auslass des Tiberias-Sees gleichmäßig Wasser und nimmt so die Rolle eines natürlichen Rückhaltebeckens ein. Er ist mit der wichtigste Speicher für die Wasserversorgung in der Region und wird weitestgehend vom Menschen reguliert.

3.2 Klimatologie

3.2.1 Entstehungszonen der Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum

Die meisten Tiefdruckgebiete, die einen Einfluss auf das Klima in Israel haben, haben ihren Ursprung im Mittelmeerraum. Theoretisch können Tiefdruckgebiete überall im Mittelmeerraum entstehen, allerdings gibt es drei Hauptzonen, in denen die Tiefs gebildet oder regeneriert werden:

- im Tyrrhenischen Meer, südlich des Hafens von Genua
- Auf der Lee-Seite des Atlasgebirges im Nordwesten Afrikas
- In der Nähe der Insel Zypern im östlichen Mittelmeerraum

Im Winter ist Genua die wichtigste Region, in der Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum entstehen. Sie erstreckt sich vom Golf von Lyon bis zu den Balearen. Auch hier regenerieren sich einige größere Tiefs die vom Atlantik bis nach Genua ziehen. Von hier aus ziehen die Tiefs dann weiter Richtung Osten ins Zentrum des Mittelmeerraums, zu den griechischen Inseln (Cretian low). Diese Region ist eine wichtige Sammelzone, von der aus mehr als die Hälfte aller Tiefs Richtung Nordosten bis zu den Balkanstaaten und dem Schwarzen Meer weiterziehen.

Die Region um Zypern ist die östlichste Region aller relevanten Entstehungszonen der Tiefs, die das Klima Israels beeinflussen. Abbildung 3.2 zeigt, dass 25,5 von 27 Tiefdruckgebieten in der Region um Zypern im Winter aus westlicher Richtung herüberziehen und sich dort regenerieren, und dass nur 1,5 in dieser tatsächlich entstehen (Goldreich, 2003).



Abb. 3.2: Zugbahnen und Entstehungszonen der Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum während des Winters (September – Mai). Die Zahlen geben die mittlere Häufigkeit der Tiefdruckgebiete an (Air Ministry, 1962 in Goldreich, 2003). Die Häufigkeit der Luftmassen, die im Januar Israel erreichen, sind in den Kästchen mit Buchstaben angegeben (Dayan, 1986 in Goldreich, 2003). Luftmassensymbole: T-tropical; P-polar; c- continental; m-maritime.

3.2.2 Red Sea trough

Mehr als 90% des Niederschlags in Israel kann mit den Zypern-Tiefs in Verbindung gebracht werden. Das *Red Sea Trough* ist der zweithäufigste Ursprung des Regens in Israel. Diese Tiefdruckgebiets-Wetterlage ist meistens in den Übergangsjahreszeiten zwischen Sommer und Winter aktiv. Das *Red Sea Trough* ist zum Teil verantwortlich für die *Sharav-Winde* und verursacht gelegentlich *flashfloods* in der *Negev-Wüste*. Es hat seinen Ursprung in den nördlichen Ausdehnungen des Sudan-Tiefs, das sich meistens während des gesamten Jahres über dem Sudan und Äthiopien befindet. In den meisten Fällen zieht das *Red Sea Trough* von Süden nach Norden entlang des Roten Meeres, wird aber von Hochdruckgebieten über Ägypten im Winter und von der indischen Monsoon-Wetterlage im Osten im Sommer daran gehindert bis nach Israel vorzustoßen. Zwischen Herbst und Frühjahr liegt genau der Zeitraum, in der das Tief bis nach Israel und sogar nach Syrien ziehen kann. In Kombination mit anderen Tiefs aus dem Mittelmeerraum kann das *Red Sea Trough* schwere Gewitter mit hohen Windgeschwindigkeiten verursachen (Goldreich, 2003)

3.2.3 Niederschlag

Der Niederschlag ist der bedenklichste und variabelste der klimatischen Parameter in Israel. In diesem ariden und semiariden Klima mit seinen relativ hohen Temperaturen nimmt der Regen wohl eine sehr bedeutsame Rolle ein. Der Regen ist allein bestimmend – genau wie in vielen Drittweltländern – über Leben und Tod von unzähligen Pflanzen, Tieren und auch des Menschen.

Israels Wasserversorgung wird vorwiegend durch den direkten Niederschlag gewährleistet. Nur ein kleiner Teil der Wasserversorgung ist unabhängig vom Niederschlag und liefert Wasser aus Meerwasser- und Brackwasserentsalzungsanlagen, aber auch Versorgung fossiler Grundwässer. Der größte Teil der Zufuhr an Flusswasser in Israel hängt vom Niederschlag ab; die Ausnahme bilden der *Yarmouk* River an der Grenze Israels, Jordaniens und Syriens, sowie der *Hazbani* River im Libanon und ein paar weniger bedeutende Flüsse die Israels Grenzen überschreiten.

Die jährliche Niederschlagshöhe in den meisten mediterranen Klimaregionen liegt zwischen 400 und 700 mm. Diese Menge ist viel geringer als die in den meisten tropischen Regionen. Es bestehen Zweifel, dass diese Regenmenge ausreichend ist um nicht bewässerte Landwirtschaft zu betreiben. Ist sie ausreichend im Vergleich mit anderen Ländern? Der Vergleich mit dem mittleren Jahresdurchschnitt in verschiedenen europäischen Städten zeigt, dass der jährliche Niederschlag in Israel, relativ gesehen, gar nicht so gering ist. Der jährliche Niederschlag der größten Teile Europas ist geringer als 600 mm.

Nach Goldreich (2003) gibt es drei wesentliche Faktoren, die entscheidend für den Niederschlag in Israel sind.

- Niederschlagssaison: Über zwei Drittel des gesamten Niederschlags fällt innerhalb einer kurzen Periode von etwa drei Monaten. Man spricht hier von der Niederschlagssaison die sich meist zwischen Oktober bis April erstreckt. Im Schnitt besitzt Israel nur 50 Regentage im Jahr. Zum Vergleich: London hat über 150 Regentage im Jahr, trotz sehr ähnlichem Jahresniederschlag von 611 mm.
- Niederschlagstyp: Der Niederschlag entsteht meist bei Kaltfronten und erzeugt heftige und kurze Niederschlagsereignisse.
- *Effektivniederschlag*: Die zum Teil sehr hohen Lufttemperaturen haben unweigerlich zur Folge, dass ein Großteil des Jahresniederschlags verdunstet und den Pflanzen und Tieren nicht zur Verfügung steht (Goldreich 2003).

3.2.3.1 Die räumliche Niederschlagsvariabilität

Charakteristisch für Israel und die weiträumige Umgebung ist die sehr hohe räumliche Niederschlagsvariabilität. Die Distanz zwischen *Mt. Hermon* im Norden, mit einem langjährigen Jahresniederschlag von 1500 mm und *Sedom*, mit einem Jahresniederschlag von nur 50 mm, beträgt gerade mal 250 km. Die Stadt *Efrata* im Judäa Gebirge im Westen, mit 700 mm pro Jahr, liegt nur 25 km von *En Fesh'ha*, an der Küste des Toten Meeres im Osten entfernt (Goldreich 2003).

Nicht nur die räumliche Variabilität ist ausschlaggebend für die Niederschlagsverteilung; auch die Flächen, die unterschiedliche Niederschlagsmengen auffangen, sind nicht von gleicher Größe. Das hat zum Beispiel zur Folge, dass auf 49% der Fläche Israels nur 19% des gesamten Niederschlags niedergehen und in einem anderen Gebiet, das nur 37% der Gesamtfläche Israels ausmacht, 68% des Jahresniederschlags abregnen.



Abb. 3.3: Mittlerer jährlicher Niederschlag in mm (verändert aus: U.S.G.S. 1998)

Die Faktoren, die die hohe räumliche Niederschlagsvariabilität hervorrufen sind:

- Breiteneffekt: der Niederschlag nimmt von Norden nach Süden ab
- Kontinentaleffekt: der Niederschlag nimmt mit der Entfernung zum Meer ab
- Höheneffekt: der Niederschlag nimmt mit der Höhe zu
- Luv- und Lee-Effekt: feuchte Luftmassen regnen an Gebirgshängen (Luv-Seite) ab und bewirken, dass Regionen auf der Lee-Seite des Gebirges weniger Niederschläge aufweisen (Goldreich, 2003).

3.2.3.2 Die zeitliche Niederschlagsvariabilität

Wie in Abbildung 3.4 gezeigt gibt es sehr große Jahresvariation was den Niederschlag in Israel betrifft. In der Zeitspanne zwischen den ersten Aufzeichnungen in Jerusalem im Jahr 1945 bis 2000 zählt das Jahr 1992 als das regenreichste Jahre überhaupt. Im Verhältnis zum trockensten Jahr 1960 ist 1992 sechsmal mehr Niederschlag gefallen als 1960. Die



regenreichste 10-Jahresperiode von 1989 bis 1998 hatte einen 1,8-mal höheren mittleren Jahresniederschlag als die trockenste 10-Jahresperiode von 1925 bis 1934 (U.S.G.S. 1998).

Abb. 3.4: Langjährige Niederschlagsaufzeichnung von Jerusalem (verändert aus: U.S.G.S. 1998)

3.2.4 Strahlung

Auf Grund der gegebenen subtropischen Breitenlage und dem allgemein schwachen Bewölkungsgrad ist Israel und Umgebung ein sonnenreiches Land. Im Hochsommer erreicht die Sonne einen Stand von über 83° über dem Horizont und die direkte Sonneneinstrahlung erreicht die Erdoberfläche mit über 90% der Sonnenscheindauer während der langen Junitagen, wobei der Mittelwert der Globalstrahlung einen Wert von 31,5 MJ/m² pro Tag erreicht (Goldreich, 2003).

Die untere Tabelle 3.1 liefert einen Überblick über die Strahlungsverhältnisse um den 32° nördlicher Breite. Die Werte der kosmischen Strahlung, die sich außerhalb der Atmosphäre befindet, sind weitgehend von Bewölkung und Luftverschmutzung unabhängig. Während der Sommermonate, wenn die Bewölkung eher spärlich ist, beträgt die am Erdboden angekommene Globalstrahlung nur noch drei Viertel der kosmischen Strahlung außerhalb der Atmosphäre.

Der Korrelationskoeffizient zwischen der jährlichen Globalstrahlung und dem Jahresniederschlag ist negativ; je feuchter und wolkenreicher ein Jahr ist, desto geringer fallen die Strahlungswerte aus. Die höchsten Strahlungswerte werden im Juni erreicht und die niedrigsten im Dezember. Ein Jahresgang der Globalstrahlung entspricht dem Jahresgang der Sonnenscheindauer mit dem längsten Tag am 21. Juni und dem kürzesten am 21. Dezember.

Monat	32° N außerhalb	Jerusalem (31,8° N)			
	uel Alliosphale	1954 - 1997			
Januar	20,2	10,02			
Februar	25,0	15,25			
März	30,8	19,50			
April	35,8	24,09			
Mai	39,5	28,02			
Juni	40,8	30,24			
Juli	40,0	29,76			
August	97,3	27,35			
September	32,6	23,68			
Oktober	26,8	18,49			
November	21,4	13,99			
Dezember	18,7	11,30			
Jahr	30,7	21,14			

 Tabelle 3.1: Monatliche und j\u00e4hrliche mittlere Globalstrahlung [MJ/m²*day], (ver\u00e4ndert nach Kudish and Ianetz, 1992 in Goldreich, 2003)

4. Niederschlagsradarmessung

Um genauere Erkenntnisse über die räumliche Niederschlagsverteilung zu erhalten, gibt es neben dem Niederschlagsradar nur die Möglichkeit, die Daten, die über Stationsmessungen gewonnen werden, zu interpolieren. Hierfür gibt es zwar mehrere Verfahren, doch keines schließt aus, dass die Interpolation auch große Unsicherheiten mit sich bringen kann. Bekanntlich treten bei Sammlern, mit einem gegenseitigen Abstand von wenigen Metern, Abweichungen in der Stunden- bzw. Tagesniederschlagshöhe von über 10% auf (Aniol 1980 in Lang P. 1997). Das Niederschlagsradar hat im Gegensatz dazu den großen Vorteil, dass es zugleich Niederschlagsdaten mit einer sehr hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung liefern kann.

Ein Niederschlagsradar funktioniert auf dem Primärradarprinzip, das sich aus der englischen Abkürzung (<u>Radio Detection And Ranging</u>) ablesen lässt. Es bedeutet soviel wie die Ortung eines Zieles sowie die Messung seiner Entfernung mit Hilfe von Radiowellen (s. Abbildung 4.1)



Abb. 4.1: Das elektromagnetische Spektrum (URL 2)

Die Antenne eines Pulsradars sendet für ein kurzes Zeitintervall eine elektromagnetische Welle in eine zuvor definierte Richtung aus. Dabei wird versucht, eine möglichst scharfe Bündelung zu erzielen. Ein Teil dieser Strahlung, genannt *Echoimpuls*, wird beim Wetterradar an Hydrometeoren, wie zum Beispiel Regentropfen, Schnee- und Eispartikel, reflektiert und zurückgestreut. Die Radarstrahlen werden von der Radarantenne empfangen, verstärkt und in ein Spannungssignal umgewandelt. Aus der Laufzeit zwischen Abstrahlung und Empfang kann über die bekannte Lichtgeschwindigkeit die Zielentfernung bestimmt werden. Der zur

Regenmessung verwendbare Frequenzbereich kann dabei nicht kontinuierlich, sondern nur in sogenannten *Bändern* genutzt werden (Heuel H., 2004). Die gebräuchlichen Bänder für Wetterradarsysteme sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Band	Frequenz (Mhz)	Wellenlänge (cm)		
L	1000 - 2000	30 - 15		
S	2000 - 4000	15 - 8		
С	4000 - 8000	8 - 4		
Х	8000 - 12000	4 - 2.5		
K	12000 - 40000	2.5 - 0.75		

 Tabelle 4.1: Gebräuchliche Wetterradarbänder und deren Frequenzen bzw. Wellenlängen, (verändert nach Rinehart R.T., 2001 in Heule H., 2004)

Operative, bodengebundene Niederschlagsradare in Europa arbeiten meistens im C-Band, das heißt in einem Wellenlängenbereich von ungefähr 5 cm (Meischner P., 2004).

Um vom Radar auf die Niederschlagsintensität (mm/h) zu schließen, wird die sogenannte Z/R-Beziehung angewandt, wobei Z die *Reflektivität* und R die *Niederschlagsrate* bezeichnen. Die *Reflektivität* ist das Maß für den Rückstreuquerschnitt von Zielen, die mit Radar erfasst werden können. Die *Reflektivität* Z ist proportional zur Energie, die von sämtlichen Hydrometeoren im Radarstrahl zur Antenne zurückgestreut wird. Sie hängt nur noch von den Eigenschaften der Ziele ab. Bei Regen ist Z umso größer, je mehr und je größere Hydrometeore in der Luft enthalten sind. Die Reflektivität Z ist definiert durch:

$$Z = \sum_{i} N_{i} D_{i}^{6} = \int_{0}^{\infty} N(D) \cdot D^{6} dD \qquad (4.1)$$

)

mit

N_i Anzahl der Hydrometeore pro Volumeneinheit Luft

D_i Durchmesser des Hydrometeors [mm]

N(D) Anzahl der Hydrometeore mit einem Durchmesser zwischen D und D + dD pro Volumeneinheit Luft

(Wilson & Brandes, 1979)

Die gesuchte Niederschlagsintensität R steht in Relation zu D durch die folgende Beziehung

$$R = \frac{\pi}{6} \int_{0}^{\infty} N(D) \cdot D^3 \cdot V_t(D) \, dD \tag{4.2}$$

mit

V_t(D) Endfallgeschwindigkeit [m/s]

D Durchmesser des Hydrometeors [mm]

N(D) Anzahl der Hydrometeore mit einem Durchmesser zwischen D und D + dD pro Volumeneinheit Luft

(Wilson & Brandes, 1979)

Allerdings müssen genauere Kenntnisse über die Beschaffenheit der Hydrometeore vorliegen, um die Beziehung zwischen Z und R auswerten zu können. Besonders der Durchmesser der Hydrometeore geht mit der 6. Potenz in die Berechnung von Z ein und kann bei Fehleinschätzungen zu hohen Fehlern führen. Zusätzlich variiert die Funktion N(D) in Abhängigkeit des Hydrometeordurchmessers.

Über die empirische Bestimmung der Endfallgeschwindigkeit V_t und durch die Gegenüberstellung der Gleichungen (4.1) und (4.2) lässt sich die Z/R-Beziehung in folgender Form darstellen:

$$Z = a \cdot R^b \tag{4.3}$$

mit

Z Reflektivität [mm⁶/m³]

R Niederschlagsrate [mm/h]

a, b Variablen

(Wilson & Brandes, 1979)

Eine weitverbreitete Form der Z/R-Beziehung lieferten Marshall und Palmer (1948) in (Wilson & Brandes, 1979) in ihrer Studie und sie sieht wie folgt aus:

$$Z = 200 \cdot R^{1,6} \quad (4.4)$$

mit

Z Reflektivität [mm⁶/m³]

R Niederschlagsrate [mm/h]

Die Beziehung hängt allerdings nach wie vor sehr stark von der Art der Niederschläge, der Fallgeschwindigkeit und des Hydrometeorspektrums ab. Eine allgemeingültige Z/R-Beziehung ist daher nicht möglich und muss von Fall zu Fall neu aufgestellt werden (Wilson & Brandes, 1979)

5. Korrekturverfahren

5.1 Datengrundlage

Wie schon bei Wiesendanger (2007) sind die Radarmessungen des am *Ben Gurion International Airport* nahe *Tel Aviv* stehenden Wetterradars die Hauptdatengrundlage. Die Radardaten sind bereits in Israel vorkorrigiert worden. Die Messintervalle sind nicht konstant. Die meisten Intervalle betragen 5 Minuten, einige aber auch 4, 6 oder 7 Minuten. Einige nicht unerhebliche Datenlücken, besonders während der Niederschlagssaison 98/99 sind im Abschnitt 5.3.1 näher beschrieben. Die Messwerte beinhalten Angaben der momentanen Niederschlagsintensität in mm/h eines jeden Erfassungspunktes, der mit Azimut- und Entfernungsangaben vom Radarstandort zugewiesen wurde. Die Abtastung des Niederschlags erfolgte in 1 km Schritten in einer Winkelbreite von 1,4°. Das Einzugsgebiet des Unteren Jordans wurde dabei komplett vom Radar abgedeckt. Das Einzugsgebiet befindet sich zwischen dem 22° und dem 127°, also innerhalb einer Reichweite von 30 km bis 191 km. Die maximale Reichweite des Radars beträgt 193 km (Wiesendanger 2007). Vorhanden waren sowohl die unkorrigierten Daten der drei Saisons 91/92, 98/99 und 02/03 als auch die bereits korrigierten Radardaten von Wiesendanger (2007). Diese Daten durchzogen jeweils den Zeitraum von Anfang Oktober bis Ende April.

Weiterhin wurden Daten von Niederschlagsmessstationen verwendet, die sowohl innerhalb als auch außerhalb des Jordaneinzugsgebietes liegen. Sie liegen als Tageswerte vor, die den Niederschlag von 8 Uhr morgens bis 8 Uhr morgens des folgenden Tages darstellen. Je nach Saison ist allerdings die Datenlage unterschiedlich groß. Größere Datenlücken, die sich über Jahre hinwegziehen, verhindern, dass immer die gleichen Stationen für alle Saisons verwendet werden können. Eine Problematik die schon bei Wiesendanger (2007) die Korrektur der Saison 98/99 unmöglich machte, bestand darin, dass von 49 Stationen mit vorhandenen Niederschlagsdaten sich nur 3 in Jordanien befanden. Die restlichen 46 Stationen befinden sich in Israel. Für diese Arbeit hier wurden allerdings Daten von 13 neuen Stationen bereitgestellt, um die Korrektur der Saison 98/99 und 02/03 erst möglich machen zu können (S. Tabelle A.3 und Abbildung A.1 im Anhang) Syrische Stationen waren sowohl bei Wiesendanger (2007) als auch bei dieser Arbeit nicht vorhanden.

5.2 Methodik

Beim Vergleich der Radarzeitreihen und der Stationsdaten stellte sich bereits bei Wiesendanger (2007) heraus, dass bei der Bildung eines ereignisbezogenen Aneichfaktors der Wert von Station zu Station teilweise erheblich variierte. Auch bei einem Vergleich der Aneichfaktoren einer Station während verschiedener Niederschlagsereignisse konnte nur selten eine Regelmäßigkeit festgestellt werden. Es ist deshalb äußerst schwierig, gar unmöglich, einen einzigen Aneichfaktor für das gesamte Gebiet und die ganze Saison zu bilden. Trotz vielleicht richtiger durchschnittlichen Niederschlagshöhen würde es zu regionalen Über- und Unterschätzungen führen. Die Idee bestand also darin, sowohl regionale Unterschiede zu berücksichtigen als auch die verschiedenen Niederschlagsereignisse voneinander zu trennen.

Die Aufteilung des Niederschlags in einzelne Ereignisse zeigte deutlich die große Variationsbreite der Aneichfaktoren. Besonders auffallend waren die unregelmäßigen Aneichfaktoren der jordanischen Stationen, die durch die Gebirge abgeschattet sind oder eine große Entfernung zum Radarstandort aufweisen (Wiesendanger 2007). Es wurde also schrittweise eine Korrektur durchgeführt, bei der sowohl jedes Ereignis einzeln betrachtet wurde, als auch regionale unterschiedliche Aneichfaktoren eingesetzt wurden. Anders als bei Wiesendanger (2007) wurden allerdings die Ausgleichfaktoren nicht auf einzelne Polygone festgelegt um so Regionen mit gleichem Aneichfaktor zu bestimmen. Es wurden vielmehr mit Hilfe der *Inverse Distance Weighting* (IDW) Methode interpolierte Aneichfaktorenkarten erstellt. Diese Interpolationsmethode ist ein deterministisches Verfahren, das im Abschnitt 5.4 näher beschrieben ist.

Die gefallenen Niederschlagshöhen waren ausschlaggebend für das Korrekturverfahren. Große (Niederschlag an mehr als 50% der Stationen und mit über 90% Anteil am Jahresniederschlag) und kleinere Niederschlagsereignisse konnten ausgemacht werden. Mit Hilfe des digitalen Höhenmodells wurden Luv- und Lee-Effekte berücksichtigt, wie zum Beispiel der Übergang von den höheren Lagen in Israel hinab ins Jordan-Tal. Wie auch bei Wiesendanger (2007) wurden nicht nur Stationen innerhalb des Jordaneinzugsgebietes verwendet, sondern auch Stationen über die Grenzen hinaus. Hervorzuheben ist, dass bei der Korrektur die Messnetzdichte eine entscheidende Rolle spielt. Je weiter entfernt sich einige vereinzelte Stationen befinden, desto geringer ist ihr Einfluss auf die Korrektur. Bei Niederschlagsereignissen, die laut Messstation vorhanden waren, jedoch im Radarbild nicht registriert wurden, wurde eine weitere Korrekturmaßnahme angewandt. Ereignisse mit einer Niederschlagsmenge unter 2 mm wurden aus der Korrektur herausgenommen, da anhand der Stationstageswerte keine genauen Uhrzeiten des Ereignisses bestimmt werden konnten. Bei weiteren Ereignissen wurden genauere Untersuchungen an den angrenzenden Polygonen der Messstationen unternommen um jene Ereignisse zeitlich und räumlich festzulegen und so die einzelnen Ereignisse nachzukorrigieren. Fälle bei denen das Radar Niederschlag aufzeichnete, jedoch vereinzelte Messstationen keinen Niederschlag registrierten, wurden separat berücksichtigt. Da es sich hierbei meistens um kleinere Niederschlagsereignisse handelte, wurde die Radarmessung mit einem Aneichfaktor gleich Null multipliziert und so als nicht vorhanden bezeichnet.

5.3 Korrektur der Niederschlagssaisons 1998/99 und 2002/03

5.3.1 Korrekturkriterien der Saison 1998/99

Es hat sich herausgestellt, dass die Korrektur der Niederschlagsaison 98/99 sich schwieriger realisieren ließ als ursprünglich gedacht. Das lag vor allem an der Tatsache, dass sowohl die Stations- als auch die Radardaten, die zur Verfügung standen, bei einigen Ereignissen auffällig schlecht übereinstimmten. Es häuften sich die Fälle an Tagen, an denen es laut Stationen regnete, das Radar aber keinen Regen registrierte und umgekehrt. Auch bei mehrmaligem Nachprüfen der Arbeitsschritte und Anpassungsversuche blieben die Diskrepanzen nach wie vor bestehen. Außerdem stellte sich im Laufe der Korrektur heraus, dass die Radardaten der Saison 98/99 einige nicht unerhebliche Datenlücken aufwiesen. Da die einzelnen Zeitschritte der Daten nicht exakt 5 Minuten betragen, ist es äußerst schwierig alle Datenlücken zu ermitteln. Hier die wichtigsten Lücken die während der Korrektur ausgemacht werden konnten:

-	1.1.1999	9:00	bis	4.1.1999	12:00
-	28.1.1999	10:00	bis	4.2.1999	16:00
-	9.2.1999	6:00	bis	17.2.1999	7:30
-	21.2.1999	17:00	bis	27.2.1999	12:00
-	16.3.1999	6:00	bis	19.3.1999	13:30
-	3.4.1999	1:00	bis	6.4.1999	8:00
-	8.4.1999	20:00	bis	13.4.1999	11:00

Trotz der Datenlücken wurde versucht, die Korrektur der Saison 98/99 so nah wie möglich an das Verfahren von Wiesendanger (2007) anzupassen und durchzuführen.

Die Saison 98/99 unterscheidet sich von den anderen beiden Saisons 91/92 und 02/03 nicht zuletzt dadurch, dass es eine Vielzahl sehr kleiner Niederschlagsereignisse gab, die sehr geringe Niederschlagsmengen unter 2 mm, die meisten sogar unter 1 mm, aufwiesen. Wie bei Wiesendanger (2007) wurde anhand der Stationszeitreihen die Einteilung der verschiedenen Niederschlagsereignisse festgelegt. Insgesamt konnten 36 Niederschlagsereignisse für die Saison 98/99 ausgemacht werden (s. Tabelle 5.1).

Stationen						
Ereignis	Datum	Anzahl	mit	Mittelwert	Maximum	Minimum
		der Tage	Niederschlag	(mm)	(mm)	(mm)
1	10/3/1998	1	2	0.01	0.2	0.2
2	10/6/1998	1	2	0.01	0.2	0.2
3	810.10.1998	3	2	0.13	2.8	2.8
4	15 -17.10.1998	3	7	0.07	1.0	0.2
5	25 -29.10.1998	5	20	0.58	3.2	0.2
6	1.11.1998	1	1	0.00	0.2	0.2
7	8 -12.11.1998	5	10	0.63	4.1	1
8	14 -18.11.1998	5	11	0.36	4.6	0.1
9	20 -21.11.1998	2	2	0.04	1.0	0.7
10	24 -25.11.1998	2	1	0.01	0.4	0.4
11	28 -30.11.1998	3	22	1.09	7.2	0.3
12	8 -10.12.1998	3	31	3.83	13.1	0.8
13	13 -14.12.1998	2	6	0.07	1.0	0.1
14	16 -27.12.1998	12	39	28.51	67.5	0.7
15	28 -29.12.1998	2	29	27.03	83.4	0.2
16	30.12.98-1.1.1999	3	16	4.29	31.0	0.5
17	4 -5.1.1999	2	15	0.77	8.2	0.9
18	6 -10.1.1999	5	25	1.24	5.2	0.1
19	13 -21.1.1999	9	41	47.70	93.8	8.5
20	22 -24.1.1999	7	11	1.27	16.0	0.6
21	25 -29.1.1999	5	41	8.17	24.6	0.5
22	1 -9.2.1999	9	42	13.44	31.5	5.1
23	11 -15.2.1999	5	2	0.03	1.0	0.4
24	16 -21.2.1999	6	41	14.58	32.9	1
25	22.2.1999	1	6	0.07	1.3	0.1
26	32 -36.2.1999	4	12	0.16	1.9	0.2
27	28.2.99-1.3.1999	2	17	0.88	10.7	0.1
28	2 -4.3.1999	3	15	1.42	12.0	0.7
29	7 -11.3.1999	5	2	0.01	0.2	0.2
30	12 -13.3.1999	2	17	0.54	4.5	0.1
31	14 -15.3.1999	2	6	0.22	5.2	0.1
32	18 -23.3.1999	6	39	24.71	55.9	0.3
33	28.3.99-1.4.1999	5	40	7.55	25.6	0.7
34	4 -9.4.1999	6	41	7.89	26.2	1.5
35	19 -13.4.1990	4	9	0.13	3.0	0.1
36	25.4.1999	1	1	0.02	0.8	0.8

Tabelle 5.1: Aufteilung der Niederschlagstage in Niederschlagsereignisse für die Saison 98/99

Durch die Festlegung der Ereignisse ergab sich eine unterschiedliche Bewertung bezüglich der Wichtigkeit und der Genauigkeit für eine Korrektur. Hier zusammengefasst:

- Die Ereignisse 14, 15, 19, 22, 24, 32 gelten als große Ereignisse, da bei mehr als 50% aller Stationen Niederschlag gemessen wurde. Diese Ereignisse machen 90% des Jahresniederschlags aus
- alle Niederschlagsereignisse mit einer Niederschlagsmenge unter 2 mm werden von der Korrektur ausgeschlossen

Auswertung der Einzelereignisse

Beim Betrachten der einzelnen Ereignisse wurde deutlich, dass eine genaue Analyse der einzelnen Eigenschaften wie Form, Ausprägung und Regenmenge der einzelnen Ereignisse notwendig war (Wiesendanger, 2007)

- Die Niederschlagsereignisse 1 bis 11, 13, 17, 18, 20, 23, 25 bis 31, 35 und 36 werden von der Korrektur ausgeschlossen, da 4 von ihnen weniger als 2 mm, die restlichen 21 sogar weniger als 1 mm Niederschlagsmenge aufwiesen. Insgesamt handelte es sich um so geringe Niederschlagsmengen, dass sie für die Jahresbilanz vernachlässigt werden dürfen und so die Korrektur nicht unnötig ausdehnen. Es wurde allerdings auch darauf geachtet, dass auch kleine aber bedeutende Ereignisse, die vielleicht nur an ganz wenigen Stationen stattfanden, mit berücksichtigt wurden.
- Beim Ereignis 15 gab es auch sehr große Diskrepanzen. Auffallend waren die sehr hohen Stationsniederschläge besonders an den israelischen Stationen. Auch hier stieß das Korrekturverfahren an die Grenzen der Machbarkeit. Entsprechende Ausgleichsfaktoren konnten aber gefunden werden.
- Bei Ereignis 21 wurde an den meisten Stationen Niederschlag gemessen, im Gegensatz zum Radar, das nur an den palästinensischen Stationen Anabta, 'Burqa und 'Al Bira Niederschlag registriert hat. Auch hier konnten entsprechende Ausgleichsfaktoren bestimmt werden.

- Mit einer Dauer von 9 und 6 Tagen gab es bei Ereignis 22 und 32 eine größere Übereinstimmung zwischen Stationsmessung und Radar. Fast alle Stationen wiesen sowohl am Boden als auch beim Radar Niederschlag auf. Hier konnten ebenso entsprechende Korrekturfaktoren bestimmt werden.
- Beim Ereignis 24 fiel auf, dass ein direkter Vergleich zwischen Stationen und Radar möglich nicht war. Obwohl an den Stationen keine unerheblichen Niederschlagsmengen aufgefangen wurden, zeigte das Radar an fast allen Stationen keine Niederschlagsmengen. Beim genaueren Betrachten der Radarbilder stellte sich heraus, dass doch an manchen Stellen, wie zum Beispiel im Nordosten des Einzugsgebietes, sich sehr kleinräumige Niederschlagzellen gebildet hatten, wenn auch die Niederschlagsmengen unbeachtet bleiben durften. Wegen der sehr hohen räumlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung wurde sowohl für das Ereignis 24 als auch für das Ereignis 33 und 34 nur unter sehr schwierigen Bedingungen ein Ausgleichsfaktor gefunden.

5.3.2 Korrekturkriterien der Saison 2002/03

Bei der Korrektur der Niederschlagssaison 02/03 ergaben sich weniger hohe Diskrepanzen zwischen den Stationsdaten und den Niederschlagsradardaten als bei der Saison 98/99, obwohl auch hier einige Messunterschiede zwischen Stationen und Radar herrschten.

Auffallend problematisch waren die israelische Station *Kefar Rubbin*, die ab dem 26. Februar, und die palästinensische Station '*Jericho (Ariha), die* sogar ab dem 2. Januar keinen Niederschlag mehr aufzeichneten. Das Radar verzeichnete jedoch in beiden Fällen in diesen Zeiträumen nicht unerhebliche Niederschlagsmengen. Wie bei der Korrektur der Niederschlagssaison 98/99 wurden anhand der Stationswerte die Niederschlagsereignisse festgelegt. Insgesamt wurden 23 Niederschlagsereignisse ausgemacht (s. Tabelle 5.2).
			Stationen			
Ereignis	Datum	Anzahl	mit	Mittelwert	Maximum	Minimum
		der Tage	Niederschlag	(mm)	(mm)	(mm)
1	3 -4.10.2002	2	3	0.16	6.0	0.1
2	14 -19.10.2002	6	29	3.00	21.0	0.9
3	20 -22.10.2002	3	10	0.46	8.0	0.5
4	30.10 - 2.11.2002	4	10	2.35	33.5	0.4
5	4 -7.11.2002	4	33	11.15	46.6	0.6
6	8 -9.11.2002	2	5	0.09	1.7	0.1
7	10 -15.11.2002	6	20	3.04	35.5	0.2
8	23 -27.11.2002	5	33	8.47	95.0	0.7
9	28.11 -1.12.2002	4	32	8.18	25.9	1.2
10	9 -14.12.2002	6	39	51.85	95.0	0.5
11	15 -22.12.2002	8	39	88.52	157.0	19.7
12	23 - 29.12.2002	7	39	20.98	55.0	6.5
13	30.12.02-1.1.2003	2	37	8.81	18.0	0.5
14	2 -5.2.2002	4	36	14.95	34.0	1.0
15	13 -24.1.2003	12	38	42.78	92.0	19.5
16	27 -29.1.2003	3	30	10.07	27.0	1.0
17	2 -5.2.2003	4	32	30.45	90.5	0.8
18	6 -16.2.2003	11	38	57.05	142.9	18.7
19	27.2 -1.3.2003	13	38	120.29	223.3	22.0
20	3 -15.3.2003	13	37	30.92	160.0	5.7
21	16 -29.3.2003	14	37	85.51	204.6	1.5
22	14 -17.4.2003	4	19	1.24	9.9	0.3
23	19 -20.4.2003	2	29	4.28	1.0	1.0

Tabelle 5.2: Aufteilung der Niederschlagstage in Niederschlagsereignisse für die Saison 02/03

Durch die Festlegung der Ereignisse ergab sich eine unterschiedliche Bewertung bezüglich der Wichtigkeit und der Genauigkeit für eine Korrektur. Hier zusammengefasst:

- Die Ereignisse 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21 gelten als große Ereignisse, da bei mehr als 50% aller Stationen Niederschlag gemessen wurde. Diese Ereignisse machen 90% des Jahresniederschlags aus.
- Niederschlagsereignisse mit einer Niederschlagsmenge unter 2 mm werden von der Korrektur ausgeschlossen. Das waren in diesem Fall die Ereignisse 1, 3 und 6. Wenn bei vereinzelten Stationen allerdings recht hohe Niederschläge gemessen wurden, wurden diese jedoch berücksichtigt.

Auswertung der Einzelereignisse

Die genaue Analyse der Eigenschaften aller Niederschlagsereignisse, Form, Ausprägung und Regenmenge, lieferte folgende Auswertungen:

- Beim Ereignis 4 wurde nur an 10 von 39 Stationen Niederschlag gemessen, allerdings waren an einigen davon die aufgefangenen Niederschlagsmengen nicht unbedeutend und deutlich höher als die, die das Radar erfasst hat. Somit konnten Ausgleichsfaktoren an den betroffenen Stationen ermittelt werden.
- Beim Ereignis 16 waren die recht hohen Diskrepanzen zwischen Stationen und Radar auffällig hoch. Eine Ausnahme war die Station *Maale Gilboa*, wo das Radar einen recht ähnlichen Niederschlag verzeichnete wie die Station. Außerdem schien es bei einigen Stationen im Radarbild eine Zeitverzögerung von einem Tag zu geben. Auch hier konnten entsprechende Ausgleichsfaktoren gefunden werden.
- Beim letzten Ereignis, das heißt Ereignis 23, also am 19. und 20. April, wurde an 29 Stationen Niederschlag gemessen, wenn auch das Radar in diesen letzten Tagen keinen Niederschlag registrierte. Beim Betrachten der Radarbilder hat sich jedoch herausgestellt, dass das Radar trotzdem in umliegenden Polygonen im Raum zwischen *Al Bira* und *Gitit*, im Südosten des Einzugsgebietes, Niederschlag gemessen hat. Somit konnten geeignete Ausgleichsfaktoren für die entsprechenden Stationen gefunden werden.

5.4 Inverse Distance Weighting (IDW)

Nachdem die für die Korrektur benötigten Niederschlagereignisse bestimmt waren und der für jedes Ereignis und für jede Station dazugehörige Aneichfaktor angepasst war, wurden all diese Einzelwerte repräsentativ für das gesamte Jordaneinzugsgebiet und für die jeweilige Saison auf die Fläche interpoliert. Wie schon in Kapitel 5.1 erwähnt wurde dies von Wiesendanger (2007) für die Saison 1991/92 über die Polygonmethode realisiert. Ein Problem, das bei dieser Methode unweigerlich auftreten kann, sind die nicht fließenden Übergänge von einem Korrekturpolygon zum nächsten. Diese hohen Wertesprünge mussten aufwendig ausgemacht und nachkorrigiert werden.

Um diese Problematik zu umgehen, sah eine Weiterentwicklung des Korrekturverfahrens nun vor, keine Polygone mehr zu bilden, sondern die Interpolation der verschiedenen Aneichfaktoren für jedes einzelne Niederschlagsereignis mit Hilfe der *Inverse Distance*

Weighting (IDW) Interpolationsmethode, die in der GIS Software ArcView 3.3. integriert ist, durchzuführen.

Die *Inverse Distance Weighting* ist eine Interpolationsmethode, die einem unbekannten Punkt mit Hilfe von bekannten Punkten einen Wert zuweist. Die Gewichtungsfunktion lautet:

$$w(d) = \frac{1}{d^p} \qquad (5.4)$$

mit:

- w(d) Gewichtungsfaktor der auf einen bekannten Punkt mit bekanntem Wert angewandt wird
- d Distanz zwischen unbekanntem und bekanntem Punkt
- p Potenzparameter. Der Parameter ist eine positive reale Zahl, dessenGewichtung mit zunehmender Distanz zum interpolierten Punkt abnimmt.

(Shepard, 1968)

Die Interpolationsformel lautet:

$$Z_{I} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{Z_{i}}{d_{i}^{p}}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_{i}^{p}}}$$
(5.5)

mit:

- Z_I Wert des interpolierten Punktes
- Z_i Wert eines bekannten Punktes
- N Anzahl der für die Interpolation verwendeten bekannten Punkte

(Shepard, 1968)

5.5 Ergebnisse

Um die Ergebnisse der vorgenommen Radarkorrektur, für die Niederschlagssaisons 1998/99 und 2002/03 anschaulich darzustellen, sind für jede Saison 3 repräsentative Ereignisse herausgegriffen worden. Es handelt sich, relativ zur jeweiligen Saison, um ein kleines, ein mittleres und ein großes Ereignis.

Saison 98/99

Das Ereignis 14 (s. Abbildung 5.1 und Abbildung A.2 im Anhang) vom 16. bis 27. Dezember 1998, ist mit einer Dauer von 12 Tagen das längste Ereignis in dieser Saison. Mit einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 28 mm zählt es aber nicht als stärkstes Niederschlagereignis. Obwohl es einige Schwierigkeiten gab bezüglich der Tage an denen das Radar Niederschlag registrierte, im Gegensatz zu den Stationen und umgekehrt, konnten die Radardaten recht nah an die Stationswerte angepasst werden. Bedeutend für die Niederschlagsmenge dieses Ereignisses sind die recht hohen kleinräumigen Niederschläge im Westen des Jordan-Tals mit über 100 mm. Besonders um das Tal herum hat das Radar die Niederschlagsmengen unterschätzt. Die Region um *Rass Muneef* wurde zum Beispiel mit 7 mm unterschätzt, konnte aber auf den Stationswert von 20 mm korrigiert werden. Ähnlich bei *Tirat Zevi*; hier konnte das Radarbild mit einem Wert von unter 1 mm auf 6 mm erhöht werden.



Abb. 5.1: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 14 der Niederschlagssaison 1998/99

Das Ereignis 19 (s. Abbildung 5.2 und Abbildung A.3 im Anhang) vom 13. bis 21. Januar 1999 war mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 47 mm während einer Dauer von 9 Tagen mit das stärkste Niederschlagsereignis der Saison 1998/99. Auch hier fielen die bedeutsamsten Niederschlagsmengen im äußersten Westen des Einzugsgebietes. Die Station *Gitit* und Umgebung zum Beispiel wurde im Radarbild mit 23 mm unterschätzt und konnte auf einen Stationswert von 30 mm korrigiert werden. Allerdings wurde der südliche Bereich des Jordan-Tals vom Radar zum Teil überschätzt. Die Region um die Niederschlagsstation *Jericho* wurde im Radarbild mit 14 mm angegeben; nach der Korrektur wurden die Werte auf die Stationsmenge von 7 mm verringert.



Abb. 5.2: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 19 der Niederschlagssaison 1998/99

Das Ereignis 24 (s. Abbildung 5.3 und Abbildung A.4 im Anhang) vom 16. bis 21. Februar 1999 zählt mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 14 mm und einer Dauer von 6 Tagen zu den mittleren bis kleineren Niederschlagsereignissen, die in die Korrektur miteinbezogen wurden. Es bestand wiederum vermehrt die Problematik, dass es Tage gab an denen das Radar Niederschlag registrierte, die Stationen allerdings keinen Regen auffingen. Auch hier gab es die entscheidenden Niederschläge im Südwesten des Jordaneinzugsgebietes, wie zum Beispiel an der Station *Beit Dajan* und Umgebung. Das Radar hatte die Niederschlagsmengen mit unter 1 mm weitgehend unterschätzt und musste mit 26 mm nach oben korrigiert werden. An der Station *Gitit* wurden die Regenmengen ebenfalls nach der Korrektur von 0,2 auf 10 mm erhöht und so an die Stationswerte angepasst.



Abb. 5.3: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 24 der Niederschlagssaison 1998/99

Saison 02/03

Das Ereignis 12 (s. Abbildung 5.4 und Abbildung A.5 im Anhang) vom 23. bis zum 29. Dezember 2002 hatte eine Dauer von 7 Tagen und eine durchschnittliche Niederschlagsmenge von 20 mm. Für die Saison 2002/03 zählt dieses Ereignis zu den mittleren bis kleineren Niederschlagsereignissen. Die stärksten Niederschläge gingen in der Region um die Niederschlagsstation *Gitit* nieder. Obwohl die Station eine Niederschlagsmenge von 50 mm registrierte, unterschätzte das Radar die Menge auf 6,2 mm. Die Werte im Radarbild um *Gitit* konnten mit Hilfe der Korrektur auf Niederschlagsmengen um 48 mm erhöht werden. Etwas nordöstlicher im Jordan-Tal, in der Nähe der Station *Argaman*, wurden die Niederschläge ebenfalls vom Radar unterschätzt. Hier konnte die Niederschlagsmenge von 22 mm auf 30 mm nach oben korrigiert werden.



Abb. 5.4:Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 12 der Niederschlagssaison 2002/03

Das Ereignis 18 (s. Abbildung 5.5 und Abbildung A.6 im Anhang) vom 6. bis 16. Februar 2003 erstreckte sich über einen Zeitraum von 11 Tagen. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge betrug 57 mm und somit zählte Ereignis 18 zu den mittleren bis großen Ereignissen. Obwohl die Ausgleichsfaktoren nicht anhand der Polygonmethode sondern mit Hilfe der IDW-Methode auf die Fläche übertragen wurden, gab es trotzdem einige Schwierigkeiten, abrupte Übergänge zwischen unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten auszuglätten. Die wichtigsten Niederschläge gingen sowohl im Westen als auch im nordöstlichen Teil des Jordan-Tals nieder. In der Region um die Niederschlagsstation *Gesher* zum Beispiel wurden laut Station 56 mm Niederschlag registriert; im Radarbild waren es nur 18 mm. Nach der Korrektur konnte der Radarwert auf 53 mm angehoben werden. Im Süden registrierte das Radar in der Region um *Gitit* nur 31 mm Niederschlag; der korrigierte Wert liegt bei der stationsgemessenen Niederschlagsmenge von 90 mm.



Abb. 5.5: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 18 der Niederschlagssaison 2002/03

Das Ereignis 19 (s. Abbildung 5.6 und Abbildung A.7 im Anhang) vom 27. Februar bis 1. März 2003 war mit einer Dauer von 13 Tagen das zweitlängste Niederschlagsereignis der Saison 2002/03. Mit einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 120 mm ist das Ereignis 19 als größtes Ereignis der Saison zu bezeichnen. Die höchsten Niederschlagsmengen wurden im nordöstlichen Bereich um das Jordan-Tal gemessen. Allerdings konnten auch hier abrupte Übergänge unterschiedlicher Niederschlagsintensitäten recht schwierig ausgeglättet werden. An der Niederschlagsstation Gesher im Norden des Jordan-Tals wurde die Niederschlagsmenge von 93 auf 139 mm nach oben korrigiert. Ebenso an der im südlicheren Teil des Tals liegenden Station Salt. Hier wurde der Niederschlag mit 21 mm vom Radar unterschätzt und auf den Wert von 176 mm nach oben korrigiert. Dies kommt recht nah an den Wert von 180 mm der Station heran. In der Region um die Station Al Majd, 20 km nordöstlich von Salt entfernt, hatte das Radar die Niederschlagsmenge mit einem Wert von 27 mm überschätzt. Nach der Korrektur wurde der Wert auf eine Menge von 21 mm verringert, was dem Stationswert von 22 mm sehr nahe kommt.



Abb. 5.6: Darstellung der korrigierten Niederschlagsradardaten für das Ereignis 19 der Niederschlagssaison 2002/03

5.6 Fazit

Da beim Vergleich der Niederschlagsradardaten mit den Stationsdaten bereits bei Wiesendanger (2007) auffiel, dass es nicht möglich ist, einen einzigen Aneichfaktor für das gesamte Gebiet und die ganze Saison zu bilden, musste hierfür eine andere Methodik angewandt werden. Trotz vielleicht richtiger durchschnittlicher Niederschlagshöhen hätte es sonst zu regionalen Über- und Unterschätzungen führen. Die angewandte Methodik besteht also darin, Ausgleichsfaktoren sowohl für jedes Ereignis als auch für jede Niederschlagsstation zu bilden. Diese Ausgleichsfaktoren wurden mit Hilfe der Inverse Distance Weighting (IDW) Methode auf die Fläche übertragen. Die Messnetzdichte spielte bei der Korrektur eine entscheidende Rolle: je weiter entfernt sich einige vereinzelte Stationen befinden, desto geringer ist ihr Einfluss auf die Korrektur. Für die Saison 98/99 wurden 36 Niederschlagsereignisse ausgemacht, wobei es sehr viele kleine Ereignisse gab und diese deshalb sehr geringe bis keinen Einfluss auf die Korrektur hatten. Für die Saison 02/03 waren es 23 Niederschlagsereignisse. In den meisten Fällen wurden die Niederschläge vom Radar unterschätzt und konnten erfolgreich durch die Korrektur an den jeweiligen Stationswert nach oben angepasst werden.

6. Niederschlagssaisonvergleich

Um die drei Niederschlagssaisons bestmöglich und repräsentativ miteinander vergleichen zu können, war es notwendig, nur die Messstationen zu berücksichtigen, von denen Niederschlagsdaten gleichzeitig während der drei Saisons zur Verfügung standen. Das waren insgesamt 23 Stationen (s. Tabelle A.4 und Abbild A.8 im Anhang), die sich alle im westlichen Bereich des Jordaneinzugsgebietes befinden und sich von Norden nach Süden um das Jordan-Tal entlang verteilen. Entscheidend für diese statistische Analyse ist, dass sich diese nur auf den westlichen Bereich des Jordaneinzugsgebietes bezieht, da sich alle hierfür verwendete Messstationen in dieser Region befinden.

6.1 Vergleich der zeitlichen Niederschlagsvariabilität

6.1.1 Methodik

Zuerst wurden anhand der Tageswerte für jede Station Monatssummen gebildet. Außerdem wurden für diese 23 Stationen und 11 weitere Stationen (s. Tabelle A.5 und Abbildung A.8 im Anhang) über einen Zeitraum von 13 Jahren, von 1990 bis 2003, die mittleren Monatssummen aller Niederschlagssaisons gebildet. Mit Hilfe der in der GIS Software ArcView 3.3 integrierten Interpolationsmethode IDW (s. Kapitel 5.3) wurden dann diese Monatssummen auf das Gebiet interpoliert. Diese Methode erlaubte es dann, einen flächenrepräsentativen Mittelwert zu bilden, sowohl für jeden Monat und für jede der drei Saisons als auch für jeden Monat der langjährigen Zeitreihe. (s. Abbildung 6.1).

Die Saison 91/92 hatte wesentlich höhere mittlere Niederschlagssummen in den Monaten November bis Februar als die anderen beiden, wobei die Saison 98/99 im Schnitt die geringsten mittleren Monatssummen aufweist. Im Verhältnis zum langjährigen Mittel lagen in der Saison 91/92 und 02/03 die Niederschläge der Monate November bis einschließlich Februar deutlich höher. Die Niederschläge der Saison 98/99 lagen in allen Monaten unter den jeweiligen Monatswerten des langjährigen Mittels. Im Monat Januar gab es im Vergleich zum langjährigen Mittel sowohl in der Saison 91/92 als auch 02/03 einen Niederschlagsrückgang, was laut Goldberg (2003) ungewöhnlich ist, da der Monat Januar langfristig betrachtet der Monat mit den höchsten Niederschlagsmengen ist. Der stärkste Monat für beide Saisons war



der Monat Februar, mit Monatsummen um die 220 mm für die Saison 91/92 und 180 mm für die Saison 02/03.

Abb. 6.1: Monatliche Niederschlagssummen der Niederschlagssaisons 91/92, 98/99, 02/03 und langjähriges Mittel

Im März und April gab es einen starken Rückgang während der Saison 91/92, mit mittleren Monatssummen um die 25 bis unter 2 mm, also deutlich unter den Werten von 02/03. Der stärkste Monat der Saison 98/99 war der Monat Januar mit knapp 40 mm. Einen leichten Anstieg gab es noch mal im März mit einer durchschnittlichen Regenmenge von 30 mm. Auffallend ist beim langjährigen Mittel die recht hohe mittlere Monatssumme von 30 mm im Oktober. Laut Goldberg (2003) müsste sie viel tiefer, nahe um 15 mm liegen.

In Abbildung 6.2 wurden die jeweiligen Monate als prozentuale Jahresniederschlagsanteile für jede Saison kumulativ aufsummiert. Auffallend ist die Tatsache, dass bereits Mitte Januar 80% des Jahresniederschlags der Saison 91/92 abgeregnet waren, Ende Januar sogar 90% und Anfang Februar 98%. Laut langjährigem Mittel regnen aber die letzten 20% des Jahresniederschlags erst in den Monaten Februar, März bis Anfang April. Die Prozentanteile der Saison 02/03 liegen bis Mitte Februar im Verhältnis unter den jeweiligen Werten des langjährigen Mittels. 80% des Jahresniederschlags sind Anfang Februar abgeregnet; bis Ende Februar sind es über 98%. Ähnlich verläuft die Saison 98/99. Auch hier liegen die Prozentanteile bis Anfang März unter den Werten des langjährigen Mittels.

Weiterhin wurden fünf Niederschlagsstationen ausgesucht, die bestmöglich die gesamte Region aller gemeinsamen Messstationen abdecken, die für die drei Saisons gleichzeitig zur Verfügung standen. Dies sind von Norden nach Süden die Stationen *Gesher, Merhavya Settlement, Moledet, Tirat Zevi* und *Gilgal*. Die Abbildungen 6.3, 6.4 und 6.5 zeigen die sechs wichtigsten statistischen Größen für diese fünf Stationen und für die jeweiligen Niederschlagssaisons.



Abb. 6.2: Kumulativer %-Anteil der Monatssummen am Jahresniederschlag der Saisons 91/92, 98/99, 02/03 und langjähriges Mittel

Um für alle Stationen einen für jede Saison repräsentativeren Tagesmittelwert zu bilden, wurde erst nach dem Ansatz von La'zaro et al (2001) alle Tagesmengen ungleich oder unter 1 mm herausgenommen und als Tag ohne Niederschlag betrachtet. Weiterhin wurden die Tagesmittelwerte aller Regentage für jede Station und für jede Saison gebildet. Während der Saison 91/92 bewegen sich die mittleren Niederschlagshöhen der fünf Stationen zwischen 14 und 8 mm pro Regentag, für die Saison 98/99 zwischen 9 und 3 und für die Saison 02/03 zwischen 12 und 7. Auffallend ist, dass besonders für die Saison 91/92 und 02/03 diese Mittelwerte recht nah beieinander liegen. Außerdem folgen die fünf Stationen in allen drei Saisons einem Trend, der von Norden nach Süden (in den Abbildungen von links nach rechts) die Tagesmittelwerte abnehmen lässt. Dies entspricht auch der räumlichen Niederschlagsverteilung nach Goldreich (2003), nach der die Niederschläge einem abnehmenden Trend von Norden nach Süden folgen.

Der Median liegt bei allen fünf Stationen und für alle drei Saisons immer unter dem Mittelwert. Die Häufigkeitsverteilung entspricht einer linkssteilen Verteilungsfunktion. Die Werte nehmen ähnlich wie die Tagesmittelwerte von Norden nach Süden ab, außer bei der Station *Tirat Zevi* in der Saison 98/99, bei der der Median außerhalb des Trends liegt. Im Verhältnis zum ersten und zweiten Quantil liegen die Median-Werte für alle fünf Stationen und für alle drei Saisons näher an den Minimum-Werten als an den Maximum-Werten. Für die Maximum-Werte scheint es wohl keinen klaren Trend zu geben, außer für die Saison 98/99, bei der auch hier die Werte von Norden nach Süden abnehmen.



Abb. 6.3: Boxplot-Diagramm der Tageswerte für 5 ausgesuchte Stationen der Niederschlagssaison 91/92



Abb. 6.4: Boxplot-Diagramm der Tageswerte für 5 ausgesuchte Stationen der Niederschlagssaison 98/99



Abb. 6.5: Boxplot-Diagramm der Tageswerte für 5 ausgesuchte Stationen der Niederschlagssaison 02/03

6.1.2 Ergebnisse

Schon während des Korrekturverfahrens wurde deutlich. dass sich die drei Niederschlagssaisons 91/92, 98/99 und 02/03 deutlich voneinander unterscheiden. Wenn man die Saisons nach abnehmender Feuchte klassifiziert, steht die Saison 91/92 ganz oben. Das haben auch die mittleren Monatssummen verdeutlicht: im Dezember 1991 ist mit 166 mm und im Februar 1992 mit 223 mm fast dreimal soviel Niederschlag gefallen als im Verhältnis zum langjährigen Mittel; im November und Januar war es doppelt so viel. Fast der gesamte Jahresniederschlag war schon Ende Januar abgeregnet. Beim Verfolgen des Verlaufs der kumulativ aufsummierten Prozentanteile sowohl für die Saison 91/92 als auch für das langjährige Mittel (s. Abbildung 6.2) wird eine S-förmige Verteilungsfunktion deutlich, die es erlaubt, die Niederschlagssaison in 3 Zeitabschnitte zu teilen. Im Herbst, zwischen Anfang Oktober bis Ende November, stiegen die Niederschläge nur langsam an. Im Winter dagegen, von Anfang Dezember bis Ende Januar, stiegen die Niederschläge rapide an. Im Winter fielen die höchsten Niederschläge der gesamten Saison. Im Frühjahr hingegen flachten die Niederschläge wieder zwischen Anfang Februar bis Ende April ab. Dies stimmt auch mit der Einschätzung von Goldreich (2003) überein.

Die Betrachtung der Boxplot-Diagramme (s. Abbildung 6.3, 6.4 und 6.5) der fünf einzelnen Stationen bestätigt diese Aussagen. Die Tagesmittelwerte dieser fünf Stationen erzielen die höchsten Werte für die Niederschlagssaison 91/92. Diese Schlussfolgerung stimmt auch mit den Angaben der U.S. Geological Survey (1998) überein, die das Jahr 1991 als das regenreichste Jahr in der Zeitspanne zwischen 1847 und 1995 einstufen (s. Abbildung 3.4). Als zweitregenreichste der drei Niederschlagssaisons gilt die Saison 02/03. Sowohl die mittleren Monatssummen der Monate Dezember, Februar und März als auch die einzelnen Tageswerte der Niederschlagsstationen lassen darauf schließen, dass es sich bei der Saison 02/03 um eine mittlere bis feuchte Saison gehandelt hat. Dies bestätigen auch die Tagesmittelwerte in Abbildung 6.4. Im direkten Vergleich zum langjährigen Mittel ist eine hohe zeitliche Variabilität zu erkennen. In den Monaten Dezember, Februar und März liegen die mittleren Monatssummen deutlich über den Werten der jeweiligen monatlichen langjährigen Mittel; in den Monaten Oktober, November, Januar und April liegen die Werte

darunter. Die hohe zeitliche Variabilität lässt sich auch in der Abbildung 6.2 erkennen. Eine Übereinstimmung mit der Annahme, dass die Niederschlagsverteilung über die Saison einer S-förmigen Verteilungsfunktion folgt, ist hier nicht zu erkennen.

6.2 Vergleich der räumlichen Niederschlagsvariabilität

Die große Stärke der Niederschlagsradardaten gegenüber herkömmlichen Niederschlagsdaten vereinzelter Niederschlagsstationen ist die sehr gute räumliche Darstellung der Niederschlagsereignisse. Dieser Vorteil verschafft die Möglichkeit, die drei Niederschlagssaisons 1991/92, 1998/99 und 2002/03 miteinander räumlich zu vergleichen. Diese Fragestellung versucht Antworten darauf zu finden, in wie fern sich einzelne Niederschlagsereignisse innerhalb einer bestimmten Niederschlagssaison voneinander unterscheiden, aber auch in wie weit sich alle Ereignisse der drei Saisons statistisch einordnen lassen. Hierfür wurden die Niederschlagszellen der Ereignisse auf ihre Ausdehnung, Zuggeschwindigkeit und Zugrichtung hin untersucht und statistisch ausgewertet.

6.2.1 Methodik

Um den zeitlichen Verlauf eines einzelnen Niederschlagereignisses analysieren zu können, war es notwendig, alle 5-minutigen Radarbilder zu ereignisbasierten Filmsequenzen zusammenzufügen. Für diesen Zweck mussten anhand der ESRI Software ArcInfo alle Radarbilder, die ursprünglich als Grid-Dateien zur Verfügung standen, in ein weiterverarbeitbares Bildformat umgewandelt werden. In diesem Fall wurden die Radardaten als JPG-Dateien (Joint Photographic Experts Group) benötigt, um sie später als AVI-Dateien (Audio Video Interleaved) zusammenzufügen. Hierfür musste eine entsprechende AML-Datei (<u>Arc Macro Language</u>) geschrieben werden, die die benötigten Radardaten als Bild aufruft und per Screensave als JPG-Datei abspeichert. Außerdem musste dieser Arbeitsschritt für alle Radardaten automatisiert werden. Der benötigte AML-Code sieht wie folgt aus:

1	Arcplot
2	display 9999
3	shadeset rainbow
4	mape INPUT_Radarbild1
5	gridshades INPUT_Radarbild1
6	screensave OUTPUT_JPG-Bild1
7	clear
8	gridshades INPUT_Radarbild2
9	screensave INPUT_Radarbild2
10	clear

Wichtigste Befehle sind hier die Zeilen 5 und 6. Mit *gridshades* wird das entsprechende Radarbild aufgerufen und mit *screensave* als JPG-Datei abgespeichert.

Der nächste Schritt bestand darin, alle zuvor erstellten JPG-Dateien zu ereignisbasierten Filmsequenzen zusammenzufügen. Dies wurde mit der Freeware *JPGVideo* realisiert, die unter der URL 3 frei verfügbar ist. Die gebildeten Filmsequenzen wurden als AVI-Dateien abgespeichert.

Nach der Erstellung der ereignisbasierten Filmsequenzen wurden diese auf drei Niederschlagszellen-Variablen untersucht:

- Die *mittlere Zugrichtung*: hierf
 ür wurden 16 Himmelsrichtungen festgelegt, von Nord bis Nord/Nordwest. Eine genauere Bestimmung ist mit den vorhandenen Mitteln ausgeschlossen.
- Die *mittlere Zuggeschwindigkeit*: hierfür wurde ein Maßstab festgelegt, der auf den Radarbildern einer Distanz von 100 km in der Wirklichkeit entspricht. Bestimmt wurde die Zeit in Sekunden, die die Niederschlagszellen benötigten um diese Distanz von 100 km zurückzulegen. Daraus und mit der Information, wie lange die einzelnen Niederschlagsereignisse dauerten, kann mit folgender Gleichung die Zuggeschwindigkeit annähernd berechnet werden:

$$v_Z = \frac{100}{\left(\frac{E_h}{E_s} \cdot z\right)} \tag{6.1}$$

mit

- vz Zuggeschwindigkeit der Niederschlagszellen [km/h]
- E_h Reale Ereignisdauer [h]
- E_s Ereignisdauer der Filmsequenz [s]
- z Benötigte Zeit der Niederschlagszellen in der Filmsequenz, um eine Distanz
 von 100 km zurückzulegen [s]

 Die maximale Niederschlagszellenausdehnung: diese wurde mit Hilfe des gebildeten 100 km Maßstabes so genau wie möglich festgelegt. Eine mittlere Ausdehnung aller Niederschlagszellen innerhalb eines Niederschlagsereignisses konnte unmöglich mit den vorhandenen Mitteln berechnet werden.

6.2.2 Ergebnisse

Die für jedes Niederschlagsereignis gebildeten Radarfilmsequenzen sind auf der beiliegenden CD abgespeichert und können mit einem beliebigen Standard Mulimedia Player (Windows media Player) abgespielt werden. Falls es Probleme beim Abspielen geben sollte, könnte es an einem fehlenden *Codec* liegen. Hierfür ist der *CodecPac K-Lite* mit auf der CD und sollte installiert werden um die fehlenden *Codecs* zu liefern.

Alle ermittelten Eigenschaften der Niederschlagszellen für die drei Niederschlagssaisons sind in den Tabellen 6.1 bis 6.3 aufgeführt.

Ereignis	Datum	Mittlere Zugrichtung	Mittlere Zuggeschwindigkeit (km/h)	Maximale Niederschlagszellen- ausdehnung (km)
4	1214.10.1991	Süd/Südwest	26	60
9	25.11.1991	Südwest	53	110
10	10.11.1991	West/Südwest	13	5
12	13.11.1991	Süd/West	10	100
15	27.116.12.1991	West/Südwest	15	10
16	89.12.1991	Südwest	40	30
17	10.12.1991	Südwest	79	40
18	1114.12.1991	West/Südwest	15	120
19	1822.12.1991	West/Südwest	10	2
20	2329.12.1991	Südwest	23	130
21	30.12.91-3.1.1992	West/Nordwest	31	30
24	1223.1.1992	West	23	120
26 ₁	29.114.2.1992	West/Südwest	18	115
27 <mark>2</mark>	1516.2.1992	Südnord	5	2
28	19.22.3.1992	Südwest	35	40
30	45.3.1992	West/Nordwest	31	35
31	12.3.1992	Südwest	26	50
32	1415.3.1992	West/Nordwest	10	10
33	2023.3.1992	West	30	40
37	1214.4.1992	Südwest	60	10
41 ₃	20.4.1992	/	/	5
Mittelwer	t:		28	

Tabelle 6.1: Auswertungsergebnisse der Niederschlagszellenanalyse der Saison 1991/92

Bemerkungen:

- 1: Das Ereignis 27 musste wegen seiner Größe auf 3 Filme aufgeteilt werden.
- 2: Die Niederschlagszellen entstehen im Einzugsgebiet selbst. Sie ziehen sehr langsam zuerst nach Norden, dann nach Süden.

3: Vereinzelt tauchen kleine Niederschlagszellen auf, die sich gleich wieder auflösen. Eine Zuggeschwindigkeit oder Richtung konnte nicht festgestellt werden.

Die Saison 91/92 wies von insgesamt 21 Niederschlagsereignissen nur 2 Ereignisse auf, bei denen es sich um Konvektivereignisse gehandelt hat. Das waren die Ereignisse 27 und 41. Die Mehrheit aller Ereignisse entsteht durch Wolken, die außerhalb des Jordaneinzugsgebietes gebildet wurden. Dies entspricht auch den Angaben von Goldreich (2003). Die mittlere Zuggeschwindigkeit der Niederschlagszellen beträgt 28 km/h. Wie in Abbildung 6.6 zu erkennen ist, beträgt die häufigste Zugrichtung die Richtung Südwest, mit einem Häufigkeitsprozentsatz von über 40 %. Außer Ereignis 4 stammten alle anderen Niederschlagszellen von den Entstehungszonen der Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum ab. Bei Ereignis 4 könnte es sich um eine *Red Sea Trough* Wetterlage (s. Abschnitt 3.2.2) gehandelt haben.

Ereignis	Datum	Mittlere Zugrichtung	Mittlere Zuggeschwindigkeit (km/h)	Maximale Niederschlagszellen- ausdehnung (km)
14 <mark>1</mark>	16 -27.12.1998	Südwest	/	5
15	28 -29.12.1998	Süd/Südwest	75	40
16	30.12.98-1.1.1999	West/Südwest	5	120
19	13 -21.1.1999	West/Südwest	10	100
21 <mark>2</mark>	25 -29.1.1999	/	/	/
22 <mark>3</mark>	1 -9.2.1999	West	/	120
24 ₄	16 -21.2.1999	West	/	50
32 <mark>5</mark>	18 -23.3.1999	/	/	/
34 <mark>6</mark>	4 -9.4.1999	West	/	35
Mittelwer	t:		30	

Tabelle 6.2: Auswertungsergebnisse der Niederschlagszellenanalyse der Saison 1998/99

Bemerkungen:

- 1: Die Bestimmung der Zuggeschwindigkeit ist nahezu unmöglich; der Fehler wäre zu groß.
- 2: Die Radarbilder weisen auf keine eindeutigen Niederschlagszellen hin; die Auswertung ist unmöglich.
- 3 Große Datenlücken verhindern eine gleichmäßige Kontinuität der Radarbilder und machen eine genauere Analyse unmöglich.
- 4: Gleiche Problematik wie bei Ereignis 22
- 5: Gleiche Problematik wie bei Ereignis 22
- 6::Gleiche Problematik wie bei Ereignis 22

Auffallend waren die recht schwierigen Bedingungen, unter denen die Auswertung der Saison 98/99 realisiert wurde. Deutlich zu erkennen waren die Datenlücken, die bereits im Abschnitt 5.2.1 erwähnt wurden. Besonders die zweite Hälfte der Saison, also nach dem 1. Januar 1999, ist davon stark betroffen. Diese diskontinuierliche Bildfolge der Radardaten und die im Vergleich zur Saison 91/92 und 02/03 geringere Anzahl der Ereignisse lässt genauere Aussagen, besonders über die mittlere Zuggeschwindigkeit und die maximale Niederschlagszellengröße, nicht zu.

Über die Zugrichtung lässt sich jedoch festhalten, dass mit 28 % die häufigste Zugrichtung die West/Südwest Richtung ist. (s. Abbildung 6.6).

Ereignis	Datum	Mittlere Zugrichtung	Mittlere Zuggeschwindigkeit (km/h)	Maximale Niederschlagszellen- ausdehnung (km)
2	14 -19.10.2002	Südwest	11	65
3	20 -22.10.2002	West/Nordwest	4	40
4	30.10 - 2.11.2002	Süd/Südwest	5	10
7	10 -15.11.2002	West/Nordest	5	5
8	23 -27.11.2002	West/Nordwest	11	35
9	28.11 -1.12.2002	Süd	16	120
10	9 -14.12.2002	West	5	80
11	15 -22.12.2002	West	10	40
12	23 - 29.12.2002	West	7	65
13	30.12.02-1.1.2003	West	30	120
14	2 -5.2.2002	West	8	80
15	13 -24.1.2003	West	13	25
16	27 -29.1.2003	West/Südwest	12	15
17	2 -5.2.2003	West/Südwest	10	20
18 ₁	6 -16.2.2003	West	10	80
19 <mark>2</mark>	27.2 -1.3.2003	West	15	70
20	3 -15.3.2003	West	18	110
21	16 -29.3.2003	West/Südwest	5	120
22	14 -17.4.2003	West/Südwest	19	20
23	19 -20.4.2003	West	3	10
Mittelwer	t:		11	

Tabelle 6.3: Auswertungsergebnisse der Niederschlagszellenanalyse der Saison 2002/03

Bemerkungen:

1: Äußerst lang andauerndes Ereignis, dessen Analyse sich umso schwieriger erwiesen hat. Die Niederschlagszellen kommen aus westlicher Richtung und regnen im Jordan-Tal komplett aus, was eine Bestimmung der Zuggeschwindigkeit äußerst schwierig gestaltet.

2: Gleiche Gegebenheiten wie bei Ereignis 18

Ähnlich wie bei der Saison 91/92 stammten außer Ereignis 4 die Niederschlagszellen der 20 Niederschlagsereignisse der Saison 02/03 von den Entstehungszonen der Tiefdruckgebiete aus dem Mittelmeerraum ab. Laut den vorhandenen Daten gab es in dieser Saison keine offensichtlichen großräumigen Konvektivereignisse. Beim Ereignis 4 könnte es sich um eine RST Wetterlage handeln. Die Mittlere Zuggeschwindigkeit war mit 11 km/h wesentlich geringer als bei den anderen beiden Saisons. Mit einer prozentualen Häufigkeit von 50 % kamen die meisten Niederschlagszellen aus westlicher Richtung (s. Abbildung 6.6).



Abb. 6.6: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Zugrichtung der Niederschlagszellen für die Saisons 91/92, 98/99 und 02/03

Da die Radarbilder zu kleinräumig für die Großwetterlagen sind, lassen sich leider keine genaueren Aussagen über die Herkunftsräume der Niederschlagszellen treffen.

6.3 Fazit

Um die Niederschlagsstationsdaten der drei Niederschlagsaisons miteinander vergleichen zu können, wurden nur die Messstationen berücksichtigt, von denen Niederschlagsdaten gleichzeitig während der drei Saisons zur Verfügung standen. Das waren insgesamt 23 Stationen. Es wurden anhand der Tageswerte für jede Station Monatssummen gebildet. Außerdem wurden für diese 23 Stationen und 11 weitere Stationen über einen Zeitraum von 13 Jahren, von 1990 bis 2003, die mittleren Monatssummen aller Niederschlagssaisons gebildet. Über die *Inverse Distance Weighting* (IDW) wurden flächenrepräsentative mittlere Monatssummen gebildet, sowohl für jeden Monat, und für jede der drei Saisons, als auch für jeden Monat der langjährigen Zeitreihe. Weiterhin wurden fünf Niederschlagsstationen ausgesucht, die bestmöglich die gesamte Region aller gemeinsamen Messstationen abdecken, die für die drei Saisons gleichzeitig zur Verfügung standen. Anhand der jeweiligen

Tageswerte wurden die sechs wichtigsten statistischen Größen (Min, Max, 1 Quantil, 2 Quantil, Mittelwert und Median) genauer analysiert.

Um die räumliche Verteilung des Niederschlags der drei Saisons vergleichen zu können, wurden alle 5-minutigen Radarbilder zu ereignisbasierten Filmsequenzen zusammengefügt. Diese wurden auf die mittlere Zugrichtung, mittlere Zuggeschwindigkeit und maximale Niederschlagszellenausdehnung hin untersucht.

7. Regionalisierung der Sonnenscheindauer

Wie schon mehrmals erwähnt liegt die Stärke des Radars darin, den Niederschlag räumlich gut abbilden zu können. Angesichts dieser Tatsache liegt die Idee nahe, diesen Radardaten weitere nützliche regionalisierte Informationen zu entnehmen.

Da das Radar jeweils ein aktuelles Bild der Wolkenlage liefert, stellt sich die Frage, ob anhand dieser Wolkenbilder Aussagen zu treffen sind, die die Strahlungsverhältnisse am Erdboden widerspiegeln. Über einen Abschwächungsfaktor, der die Globalstrahlung in direkte und diffuse Strahlung aufteilt, könnte annähernd die Strahlungsenergie berechnet werden, die am Erdboden ankommt.

Es gibt allerdings eine wesentliche Einschränkung was die Datenlage dieser hier vorliegenden Arbeit betrifft. Die Radardaten liegen nicht mehr als Rohdaten vor, sondern sind bereits vorkorrigiert (s. Abschnitt 5.1). Die Radardaten dieser Arbeit liefern also nur Informationen über Wolken, die abregnen und enthalten keine Informationen mehr über die Wolken, die nicht abregnen. Trotzdem wurde versucht, eine Methodik zu finden, die es erlaubt, die Sonnenstunden pro Tag zu berechnen und auf das Jordaneinzugsgebiet zu regionalisieren. Dieser Schritt wäre im Falle der regionalisierten Strahlungsberechnung unumgänglich.

7.1 Methodik

Als Versuchstag wurde der 29. November 2002 gewählt, da dieser Tag zu dem Ereignis 9 gehört, das eine Dauer von 4 Tagen hatte und über das gesamte Einzugsgebiet weit verbreitet war (s. Filmsequenz "Saison 02/03, event9" auf der beiliegenden CD).

Um regionalisierte Daten der Sonnenstunden pro Tag zu erstellen, waren vier Hauptschritte notwendig:

 Der erste Schritt bestand darin, die astronomische Sonnenscheindauer repräsentativ für das Einzugsgebiet und für den 29. November 2002 zu berechnen. Die verwendeten Daten stammen vom Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory.. Unter der URL 4 kann man beim USNO für jeden Ort eine Tabelle berechnen lassen, die den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs und des Sonnenuntergangs für jeden Tag eines ganzen Jahres angibt. Das Rechenverfahren basiert auf einem komplexen Algorithmus von Meeus J. (1998). Benötigt werden die Koordinaten, das Datum und die Uhrzeit für den zu berechnenden Ort. Einen für das Jordaneinzugsgebiet repräsentativen Ort wurde mit 32° 30' N und 35° 30' O angegeben. Der berechnete Zeitpunkt des Sonnenaufgangs am 29. November 2002 für diese Koordinaten war 6:40. Der Sonnenuntergang fand um 16:40 statt. Insgesamt hatte der Tag 10 astronomische Sonnenstunden.

- Weiterhin mussten die Niederschlagsradardaten, die als 5 Minuten Werte vorlagen, zu Stundenwerten aufsummiert werden. Hierfür wurde eine entsprechende AML-Datei geschrieben, die es erlaubte, mit Hilfe von ArcInfo diesen Arbeitsschritt für alle 10 astronomischen Sonnenstunden zu automatisieren.
- Die berechneten Karten, die die Stundenwerte des Niederschlags angeben, mussten in Karten umgerechnet werden, die nur die Information enthielten, ob es in besagter Stunde bewölkt war oder nicht. Hierfür wurde eine AML-Datei geschrieben, die den Arbeitsschritt mit ArcInfo automatisierte. Der AML-Code sieht wie folgt aus:

1	grid
2	$OUTPUT_Radarbild1 = con(INPUT_Radarbild1 > 0, 0, 1)$
3	$OUTPUT_Radarbild2 = con(INPUT_Radarbild2 > 0, 0, 1)$
4	
5	
6	q

Über die Funktion *con* wird jeder Wert in jeder Zelle im Radarbild der Prüfung unterzogen, ob er größer 0 ist. Ein Wert größer 0 bedeutet Niederschlag in dieser Zelle, also auch Bewölkung. Der Wert 1 steht aber für eine Stunde Sonnenschein in eben dieser Zelle.

 Der letzte Schritt besteht darin, alle Sonnenscheinkarten der 10 Stunden zu einer Tageskarte zu addieren.

7.2 Ergebnisse

Die addierte Sonnenstundenkarte für den 29. November 2002 ist in Abbildung 7.1 dargestellt.



Abb. 7.1: Sonnenstunden für den 29. November 2002

Da die Sonnenstunden über die Stundenwerte des Tagesniederschlags berechnet wurden (s. Abbildung 7.2), gab es die meisten Sonnenstunden im äußersten Nordosten und Südosten des Jordaneinzugsgebietes. Das Hauptregenereignis fand östlich des Jordan-Tals in der Mitte des Einzugsgebietes statt. Hier sind die geringsten Sonnenstunden verzeichnet.

Allerdings unterliegt das Ergebnis sowohl einer Über- als auch einer Unterschätzung:

Da für jede Stunde alle Niederschlagsmengenzeitschritte innerhalb dieser Stunde addiert wurden um Stundenwerte zu erhalten, wurden die so berechneten Sonnenstunden unterschätzt. Ob es innerhalb einer Stunde nur 5 Minuten oder die ganze Stunde durchgehend geregnet hat, macht in der Berechnung keinen Unterschied. Die Problematik besteht darin, dass die 5 Minuten Radardaten nicht genau in 5 Minuten Werten vorliegen. Die Zeitschritte sind nicht konstant. Wären die Zeitschritte der Radardaten konstant, so könnten die Ausgangsradardaten durch Nullen und Einsen ersetzt (0=Regen, 1=Sonnenschein) werden, dann pro Stunde addiert werden und durch die Anzahl der Zeitschritte geteilt werden.



Abb. 7.2: Tagesniederschlag in [mm] für den 29. November 2002

 Die in Abbildung 7.1 berechneten Sonnenstunden wurden allerdings auch überschätzt, da nur Wolken in die Berechnung einflossen, die tatsächlich Regen ergeben haben. Die vorhandenen Radardaten enthalten keine Informationen über solche Wolken, die keinen Regen ergeben haben

7.3 Fazit

Um die Strahlungsverhältnisse anhand der zur Verfügung stehenden Niederschlagsradardaten abschätzen zu können war es zunächst von Bedeutung, Informationen der tatsächlichen Sonnescheindauer aus den vorhandenen Radardaten zu berechnen. Trotz einer Über- und Unterschätzung wurden über die astronomische Sonnenscheindauer und anhand der Informationen der Niederschlagsverhältnisse, die die Niederschlagsradardaten enthalten, Tageskarten erstellt, die die Sonnenscheindauer in Stunden angeben

8. Diskussion

Ausschlaggebend für die Durchführung der Radarkorrektur der Saison 98/99 und 02/03 waren die zusätzlichen jordanischen Niederschlagsmessstationen, die bei Wiesendanger (2007) noch nicht zur Verfügung standen. Obwohl es nur sechs zusätzliche Stationen für die Saison 98/99 und sieben für die Saison 02/03 waren, konnte jedoch ein recht gutes Ergebnis in vielen Bereichen erzielt werden. Ein großer Vorteil gegenüber Wiesendanger (2007) lag darin, die berechneten Ausgleichsfaktoren nicht auf Polygone zu beschränken, sondern die Werte mit Hilfe der IDW-Methode auf die Fläche zu übertragen. Dadurch wurde die Problematik behoben, abrupte Übergänge zwischen Polygonen ausgleichen zu müssen, die ansonsten unrealistische Werte liefern würden, grad eben in diesen Grenzbereichen zwischen den Polygonen. Da dieser zusätzliche Korrekturschritt bei Wiesendanger (2007) recht mühselig und zeitaufwändig war, hat sich durch die IDW-Methode der Zeitaufwand des Korrekturverfahrens nicht unerheblich verkürzt.

Da die Messnetzdichte beim Korrekturverfahren die entscheidende Rolle spielt und so über die Qualität der Ergebnisse bestimmt, gibt es nach oben hin keine Grenze, die die Anzahl der Stationen einschränken würde. Obwohl die Anzahl und auch die Verteilung der Messstationen ausreichte um die Radarkorrektur der Saison 98/99 und 02/03 zu ermöglichen, drängt sich die Tatsache auf, dass immer noch keine Stationen den syrischen Bereich, also den nordöstlichen Bereich des Jordaneinzuggebietes abdecken. Die östlichsten Stationen, die zur Verfügung standen, wie zum Beispiel *Zarka* oder *Khanasri*, repräsentieren fast 50% des gesamten Einzugsgebietes. Hinzu kommt, dass gerade eben diese Regionen auch am weitesten vom Radar in Tel Aviv entfernt sind, über 150 km. Das bedeutet, in den Regionen in denen die Radarkorrektur am nötigsten wäre, fehlen die Messstationen, die die Radarkorrektur ermöglichen würden.

Eine weitere größere Problematik trat insbesondere bei der Korrektur der Saison 98/99 auf. Viele kleinere und größere Lücken durchziehen die Radardaten besonders in den Monaten Januar, Februar und März und erschweren die Datenbearbeitung nicht unerheblich. Ein komplettes Fehlen der Daten lässt in diesen Zeitabschnitten auch keine Korrektur zu. Leider ist nicht nachzuprüfen, ob die Daten fehlen weil das Radar keinen Niederschlag registriert hat oder weil die Daten tatsächlich verloren gegangen sind. Falls es zu diesen Zeitpunkten doch geregnet hat und die Daten tatsächlich verloren gegangen sind, muss wohl damit gerechnet werden, dass die Niederschlagsmengen der betroffenen Ereignisse in der jetzigen Datenlage unterschätzt werden.

Auffallend während der Saison 98/99 waren unter anderem auch die recht schlechten Übereinstimmungen der Radardaten mit den Stationsdaten. Die direkte Gegenüberstellung der Tageswerte zeigte nicht wenige Tage, an denen das Radar Niederschlag registrierte, während die Stationen keinen Niederschlag auffingen, und umgekehrt. Dies erschwerte die Einteilung und die Bestimmung der einzelnen Niederschlagsereignisse erheblich. Am größten waren die Diskrepanzen während der Saison 98/99. Auch während der Saison 02/03 traten solche Fälle auf. Ein Vergleich mit der Datenlage der Saison 91/92 von Wiesendanger (2007) lässt vermuten, dass je mehr Niederschlag fällt, desto besser die Radardaten und die Stationsdaten übereinstimmen. Je weniger Niederschlag fällt, desto größer sind die Diskrepanzen und desto schwieriger gestaltet sich die Korrektur.

Der zeitliche und räumliche Vergleich der 3 Niederschlagssaison 91/92, 98/99 und 02/03 zeigt in aller Deutlichkeit, wie hoch die zeitliche und räumliche Niederschlagsvariabilität in dieser Region ist. Allein der Vergleich zwischen den mittleren Monatssummen der Saison 91/92 und 98/99 verdeutlichen, wie groß die Unterschiede sein können zwischen einer sehr trockenen und einer sehr feuchten Niederschlagssaison. Im Monat Februar sind die mittleren Niederschlagsmonatssummen der Saison 91/92 etwa dreizehnmal höher als die mittleren Monatssummen der Saison 98/99. Auch anhand der Tageswertanalyse konnte eindeutig die hohe räumliche Niederschlagsvariabilität und ein klarer Nord-Süd Trend ausgemacht werden.

Um die räumliche Niederschlagsverteilung besser analysieren zu können, waren die ereignisbasierten Filmsequenzen klar im Vorteil. Obwohl sich die Bestimmung der mittleren Windgeschwindigkeit durch den großen Maßstabsunterschied recht aufwändig und schwierig gestaltete, konnte die wichtigste Information, nämlich die Windrichtung, ohne Probleme ausgemacht werden. Diese Methode der Radarauswertung liefert aber nicht nur Daten über Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Niederschlagszellenausdehnung, sondern erlaubt es auch, einen ersten guten visuellen Überblick über die vorhandenen Radardaten zu erlangen. Die zuvor angesprochenen Datenlücken der Saison 98/99 sind in den entsprechenden Ereignisfilmsequenzen deutlich zu erkennen. Die Idee liegt also nah, die Visualisierung der Radardaten durch Filmsequenzen fest in das Radarkorrekturverfahren mit einzubinden. Dies würde erlauben, einen besseren Gesamtüberblick über die Datenlage zu erhalten, erste

Datenlücken frühzeitig festzustellen und die einzelnen Ereignisse genauer einteilen zu können.

Bei der Regionalisierung der Sonnenscheindauer lag von Anfang an die Problematik in der Tatsache, dass die vorhandenen Radardaten keine Informationen über jene Wolken enthalten würden, die nicht geregnet hatten. Dies würde natürlich eine Überschätzung der Sonnenscheindauer mit sich bringen. Andererseits wurden die Daten auch unterschätzt, da auch kleinere Niederschläge mit einer Dauer unter einer Stunde als volle Stunde mit Wolkenbedeckung in die Rechnung mit einbezogen wurden. Die Frage die sich stellt, besteht darin, in wie fern sich die Über- als auch die Unterschätzung gegenseitig aufheben. Wie groß ist der Anteil an Wolken die nicht geregnet haben? Diese Problematik könnte nur beantwortet werden, wenn die berechneten Daten mit direkt gemessenen Daten verglichen werden könnten. Leider standen zum Zeitpunkt dieser Arbeit keine Daten der Sonnenscheindauer aus dem Jordaneinzugsgebiet zur Verfügung.

9. Ausblick

Die Radarkorrektur zwei weitere Niederschlagssaisons hat deutlich gezeigt, dass sich nicht jede Saison gleich einfach oder schwer korrigieren lässt. Jede Niederschlagsaison unterscheidet sich von allen anderen. Deshalb muss die Methodik der Korrektur ständig angepasst und verfeinert werden. Eine gute Hilfestellung bieten hierfür die gebildeten ereignisbasierten Filmsequenzen, deren großer Vorteil darin besteht, einen guten ersten visuellen Überblick über die Datenlage zu verschaffen und erste Schwachstellen der Daten zu erkennen. Außerdem ist es weiterhin absolut von großer Bedeutung, sich weiterhin um eine bestmögliche Messnetzdichte zu bemühen, da die Qualität der Ergebnisse am meisten von der Anzahl und der Verteilung der Messstationen im Jordaneinzugsgebiet abhängt.

Die Methodik zur Berechnung der Sonnenscheindauer hat deutlich gezeigt, dass Unsicherheiten sowohl durch Über- als auch durch Unterschätzung entstehen können, die den Fehler der Ergebnisse erheblich beeinflussen können. Interessant wäre zu wissen, in wie fern die berechneten Werte der Sonnenscheindauer von tatsächlich gemessenen Werten abweichen. Dadurch könnte abgeschätzt werde, wie groß der Anteil an Wolken ist, die nicht abregnen. Es wäre erdenklich, die Daten der berechneten Sonnenscheindauer über ereignisbasierte und stationsbezogene Ausgleichsfaktoren nachzukorrigieren, ähnlich wie bei der Korrektur der Niederschlagsradardaten.

Literaturliste

- ALLAN, J. A. (2001): The Middle East Water Question. Hydropolitics and the Global Economy, I.B. Tauris, London/New York.
- HEUEL, E. (2004): Quantitative Niederschlagsbestimmung aus Radardaten. Ein Vergleich von unterschiedlichen Verfahren unter Einbeziehung der Statistischen Objektiven Analyse. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Bonn.
- GOLDREICH, Y. (2003): The Climate of Israel. Observations. Research an Application, Kluwer Academic, New York.
- KUDISH, A.I & IANETZ, A. (1992): Analysis of the solar radiation data for Beer Sheva. Israel, and its environs. Solar Energy.
- LANG, P. (1997): Niederschlagsquantifizierung auf der Basis von Radardaten. PROMET Jahrgang 26 Heft ¹/₂, Meteorologische Fortbildung, Deutscher Wetterdienst, Schweinfurt.
- LA'ZARO, R., RODRIGO, F. S., GUTIE'RREZ, L., DOMINGO F., and PUIGDEFA'BREGAS J., (2001): Analysis of a 30-year rainfall record (1967-1997) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation. Journal of Arid Environments, 48:373-395.
- MEEUS, J. (1998): Astronomical Algorithms. 2. Auflage, Atlantic Books, Richmond.
- MEISCHNER, P. (2004): Weather Radar, Principles and Advanced Applications. Springer, Berlin.
- MORIN, E. and GABELLA, M. (2006): Radar-based quantitative precipitation estimation over arid, semiarid and Mediterranean climate regimes in Israel. Submitted to: Journal of Geophysical Research Atmosphere. Until now unpublished.

- RINEHART, R.E. (1991): Radar for Meteorologists or You, too, can be a Radar Meteorologist. Part III. Knight Printing Company, Fargo, North Dakota.
- SHEPARD, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings of the 1968 ACM National Conference.
- THOBABEN, H. (2004): Der Wasserkonflikt im Jordanbecken aus funktionalistischer Perspektive. Kooperative Zusammenarbeit im Wassersektor als Beitrag zur Lösung des Nahostkonflikts? TU Braunschweig.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (1998): Overview of Middle East. Water Resource of Palestinian, Jordanian an Israeli Interest: The Executive Action Team, Middle East Water Data Banks Project.
- WIESENDANGER, CH. (2007): Ereignisbasierte Datenkorrektur der Radarniederschlagsmessung. Eine Anwendung im Einzugsgebiet des Unteren Jordans. Diplomarbeit am Institut für Hydrologie Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau.
- WILSON, J.W. & BRANDES, E. A. (1979): Radar Measurement of Rainfall-A Summary. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 60, Issue 9, pp.1048-1060.
- URL 1: http://www.glowa.org/de/jordan/jordan_uebersicht.htm# (Stand: 18. Juli 2007)
- URL 2: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f4/Electromagnetic_ spectrum.svg/800px-Electromagnetic_spectrum.svg.png (Stand: 20. Juli 2007)
- URL 3: http://www.ndrw.co.uk/free/jpgvideo/ (Stand: 19. September 2007)
- URL 4: http://aa.usno.navy.mil/index.php (Stand: 25. September 2007)

Anhang

Stationsnamo	Höhe m	New Israel Grid		Radar-Koordinaten	
Stationshame	ü. NN	X-Wert	Y-Wert	Azimut	Range
KEFAR HA HORESH	430	226000	734000	24.1	86.5
TAVOR AGRIC. SCHOOL	150	238000	734000	31.1	91.5
IKSAL	150	230000	732000	26.9	85.5
KEFAR TAVOR	120	239000	732000	32.6	90.5
MIZRA PLANTATION	99	227000	730000	25.5	82.5
GINNEGAR	100	224000	730000	24.1	81.5
SARID	110	221000	729000	22.7	79.5
MIZRA	100	227000	728000	26.9	81.5
GAZIT	125	242000	727000	35.4	87.5
GESHER	-200	252000	725000	41	92.5
MERHAVYA	60	229000	723000	29.7	77.5
MERHAVYA SETTLEMENT	60	229000	722000	29.7	76.5
MOLEDET	50	240000	721000	36.8	81.5
KEFAR YEHEZQEL	30	234000	719000	34	76.5
GIVAT OZ	110	219000	718000	24.1	68.5
TEL YOSEF	17	237000	718000	36.8	77.5
GILBOA	-62	237000	716000	36.8	76.5
SEDE NAHUM	-105	245000	714000	42.4	79.5
HAMADYA	-165	249000	714000	45.2	82.5
BET ALFA	-75	240000	713000	41	75.5
NIR DAVID	-100	243000	712000	42.4	76.5
MESILLOT	-120	244000	711000	43.8	76.5
MAOZ HAYYIM	-240	251000	711000	46.6	81.5
SHELUHOT	-110	245000	708000	45.2	75.5
SEDE ELIYYAHU	-180	248000	705000	49.4	75.5
TIRAT ZEVI	-220	249000	703000	50.8	75.5
'Anabta	160	211200	690400	39.7	40.5
Burqa	600	218500	689800	38.2	44.5
Beit Dajan	520	235000	677000	65.5	49.5
Al Bira		220170	650900	98.6	29.5
Jericho (Ariha)	-260	243000	640000	105.7	54.5
Shuqba		233500	708500	38.2	68.5
AMMAN-A-P	779	293500	653800	90.2	103.5
BAQURA	-170	265000	710000	53.6	92.5
IRBED	616	280300	717000	55.1	108.5
KHANASIRA		298500	700300	67.7	116.5
RASS_MUNEEF	1150	262000	715000	49.4	92.5
ZARKA		303000	663800	86	112.5
MAALE GILBOA	430	239000	709000	42.4	72.5
MERAV	430	239000	706000	43.8	69.5
GITIT	0	237000	667000	76.1	47.5
KOKHAV HA SHAHAR	600	233000	652000	94.4	42.5
GILGAL	-250	243000	656000	88.8	52.5

Tabelle A. 1: Verwendete Messstationen für die Korrektur der Saison 98/99

Stationsname	Höhe m	New Isra	New Israel Grid		Radar-Koordinaten	
Stationshame	ü. NN	X-Wert	Y-Wert	Azimut	Range	
MAALE GILBOA	430	239000	709000	42.4	72.5	
MERAV	430	239000	706000	43.8	69.5	
GITIT	0	237000	667000	76.1	47.5	
KEFAR RUPPIN	-250	252000	707000	49.4	79.5	
ARGAMAN	0	249000	675000	71.9	61.5	
GILGAL	-250	243000	656000	88.8	52.5	
IKSAL	150	230000	732000	26.9	85.5	
GAZIT	125	242000	727000	35.4	87.5	
MIZRA PLANTATION	99	227000	730000	25.5	82.5	
GINNEGAR	100	224000	730000	24.1	81.5	
SARID	110	221000	729000	22.7	79.5	
MIZRA	100	227000	728000	26.9	81.5	
MERHAVYA	60	229000	723000	29.7	77.5	
MERHAVYA SETTLEMENT	60	229000	722000	29.7	76.5	
MOLEDET	50	240000	721000	36.8	81.5	
GIVAT OZ	110	219000	718000	24.1	68.5	
KEFAR YEHEZQEL	30	234000	719000	34	76.5	
TEL YOSEF	17	237000	718000	36.8	77.5	
HAMADYA	-165	249000	714000	45.2	82.5	
NIR DAVID	-100	243000	712000	42.4	76.5	
SHELUHOT	-110	245000	708000	45.2	75.5	
GESHER	-200	252000	725000	41	92.5	
MAOZ HAYYIM	-240	251000	711000	46.6	81.5	
SEDE ELIYYAHU	-180	248000	705000	49.4	75.5	
TIRAT ZEVI	-220	249000	703000	50.8	75.5	
As Samu'		210000	595000	161.9	63.5	
Tubas		232250	691900	48	55.5	
Jericho (Ariha)	-260	243000	640000	105.7	54.5	
Al Bira		220170	650900	98.6	29.5	
Shuqba		233500	708500	38.2	68.5	
Al Majd		280000	680000	74.7	92.5	
Ithna		198000	608000	171.8	47.5	
DEIR-ALLA	-224	258500	678000	71.9	71.5	
JORDAN_UN	890	288000	650000	93	97.5	
MAFRAQ	695	314000	695000	71.9	129.5	
RAMTHA	520	294500	718800	57.9	121.5	
RASS-MUNEEF	1150	262000	715000	49.4	92.5	
SALT	796	269000	660500	86	78.5	
SWAILEH	1050	290000	680000	76.1	102.5	

Tabelle A. 2: Verwendete Messstationen für die Korrektur der Saison 02/03

Saison	Stationsname	Höhe m	Radar-Koordinaten		New Israel Grid	
5815011		ü. NN	Azimut	Range	X-Wert	Y-Wert
98/99	AMMAN-A-P	779	90.2	103.5	293500	653800
	BAQURA	-170	53.6	92.5	265000	710000
	IRBED	616	55.1	108.5	280300	717000
	KHANASIRA		67.7	116.5	298500	700300
	RASS_MUNEEF	1150	49.4	92.5	262000	715000
	ZARKA		86	112.5	303000	663800
02/03	DEIR-ALLA	-224	71.9	71.5	258500	678000
	JORDAN_UN	890	93	97.5	288000	650000
	MAFRAQ	695	71.9	129.5	314000	695000
	RAMTHA	520	57.9	121.5	294500	718800
	RASS-MUNEEF	1150	49.4	92.5	262000	715000
	SALT	796	86	78.5	269000	660500
	SWAILEH	1050	76.1	102.5	290000	680000

Tabelle A. 3: Neue verwendete Jordanische Stationen für die Korrektur der Saison 98/99 und 02/03

Tabelle A. 4: Gemeinsame Niederschlagsstationen, die für den Vergleich der drei Niederschlagssaisons91/92, 98/99 und 02/03 zur Verfügung standen

Stationsnamo	Höhe m	New Isr	ael Grid	Radar-Koordinaten		
Stationshame	ü. NN	X-Wert	Y-Wert	Azimut	Range	
IKSAL	150	230000	732000	26.9	85.5	
MIZRA PLANTATION	99	227000	730000	25.5	82.5	
GINNEGAR	100	224000	730000	24.1	81.5	
SARID	110	221000	729000	22.7	79.5	
MIZRA	100	227000	728000	26.9	81.5	
GAZIT	125	242000	727000	35.4	87.5	
GESHER	-200	252000	725000	41	92.5	
MERHAVYA	60	229000	723000	29.7	77.5	
MERHAVYA SETTLEMENT	60	229000	722000	29.7	76.5	
MOLEDET	50	240000	721000	36.8	81.5	
KEFAR YEHEZQEL	30	234000	719000	34	76.5	
GIVAT OZ	110	219000	718000	24.1	68.5	
TEL YOSEF	17	237000	718000	36.8	77.5	
HAMADYA	-165	249000	714000	45.2	82.5	
NIR DAVID	-100	243000	712000	42.4	76.5	
MESILLOT	-120	244000	711000	43.8	76.5	
MAOZ HAYYIM	-240	251000	711000	46.6	81.5	
TIRAT ZEVI	-220	249000	703000	50.8	75.5	
Al Bira		220170	650900	98.6	29.5	
Jericho (Ariha)	-260	243000	640000	105.7	54.5	
MERAV	430	239000	706000	43.8	69.5	
KOKHAV HA SHAHAR	600	233000	652000	94.4	42.5	
GILGAL	-250	243000	656000	88.8	52.5	
Stationsname	Höhe m ü. NN	New Israel Grid		Radar-Koordinaten		
---------------------	-----------------	-----------------	--------	-------------------	-------	
		X-Wert	Y-Wert	Azimut	Range	
KEFAR HA HORESH	430	226000	734000	24.1	86.5	
TAVOR AGRIC. SCHOOL	150	238000	734000	31.1	91.5	
KEFAR TAVOR	120	239000	732000	32.6	90.5	
GILBOA	-62	237000	716000	36.8	76.5	
SEDE NAHUM	-105	245000	714000	42.4	79.5	
BET ALFA	-75	240000	713000	41	75.5	
MESILLOT	-120	244000	711000	43.8	76.5	
SEDE ELIYYAHU	-180	248000	705000	49.4	75.5	
YIZREEL	100	230000	718000	32.6	73.5	
BET HASHITTA	0	241000	717000	39.6	79.5	
JENIN	138	228500	707500	35.4	64.5	

Tabelle A. 5: Zusätzlich verwendete Niederschlagsstationen zur Berechnung der monatlichen langjährigen Mittel



Abb. A. 1: Neue verwendete Niederschlagsmessstationen zur Korrektur der Saison 98/99 und 02/03



Abb. A. 2: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 14 der Saison 98/99



Abb. A. 3: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 19 der Saison 98/99



Abb. A. 4: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 24 der Saison 98/99



Abb. A. 5. Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 12 der Saison 02/03



Abb. A. 6: Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 18 der Saison 02/03



Abb. A. 7 Ausgleichsfaktoren für das Ereignis 19 der Saison 02/03



Abb. A. 8: Verwendete Niederschlagsstationen für den Vergleich der Niederschlagssaisons 91/92, 98/99 und 02/03. Die blauen Stationen sind die gemeinsamen Stationen der drei Niederschlagsaisons. Die roten Stationen wurden zusätzlich verwendet um die langjährigen Mittel zu berechnen.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Dienstag, 9. Oktober 2007

Robert Krier