

ICRA

Institut für computergestützte Raumanalytik

Dumfarth, Gaisecker & Schwap OEG
Alpenstraße 8 • A-5020 Salzburg
Tel./Fax (0662) 624496
e-mail: ICRA@aon.at

Special Solutions for Spatial Problems

Forschungsprojekt „Meteorologie im Nationalpark Kalkalpen“

Endbericht zum Teilprojekt:

Modellierung der räumlichen Verteilung der Starkniederschlagsereignisse 1996 und 1997 im Nationalpark Kalkalpen

E. Dumfarth (Konzeption, Durchführung, Bericht)
T. Gaisecker (Durchführung)

Salzburg, Februar 1998

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung: Skizze der Problemstellung	3
2 Die Datenbasis für die Interpolationen	5
2.1 Explorative Datenanalyse der Starkniederschlagsereignisse in den Beobachtungsjahren 1996 und 1997	6
2.2 Nearest-Neighbour-Analyse der Niederschlagsmeßstationen im Nationalpark Oö. Kalkalpen	11
2.3 Die vertikale Dimension: Korrelationsanalyse (Seehöhen versus Niederschlagswerte) der Niederschlagsmeßstationen	14
3 Flächendeckenden Interpolation der Starkniederschläge	18
3.1 Methoden der räumlichen Interpolation	21
3.2 Evaluierung der prädiktiven Fähigkeiten der Interpolationsmethoden	24
3.2.1 Univariate Verteilung der Schätzwerte	26
3.2.2 Univariate Verteilung der Fehlschätzungen (Residuen)	30
3.2.3 Bivariate Verteilung von geschätzten und „wahren“ Werten	32
3.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die Interpolation der Starkniederschlagsereignisse	31
3.2.5 Interpolation mit Radial Basis Function (multiquadratisch)	34
4 Das ArcView Project „Starkniederschlag“	37
5 Literaturverzeichnis	40

Verzeichnis der Tabellen

<u>Tab. 2.1:</u>	Explorative Datenanalyse der Starkniederschlagsereignisse im Beobachtungszeitraum des Jahres 1996	7
<u>Tab. 2.2:</u>	Explorative Datenanalyse der Starkniederschlagsereignisse im Beobachtungszeitraum des Jahres 1997	10
<u>Tab. 2.3:</u>	„Nearest-Neighbour“-Statistik des Meßnetzes im Nationalpark Oö. Kalkalpen	13
<u>Tab. 2.4:</u>	Korrelationskoeffizienten (nach SPEARMAN) Starkniederschlägen versus Seehöhe	16
<u>Tab. 3.1:</u>	Vergleich der Verteilungen wahrer und geschätzter Werte des Starkniederschlages vom 28. 07. 1996 (20 Minuten)	25
<u>Tab. 3.2:</u>	Vergleich der Fehlschätzungen der mit verschiedenen Techniken interpolierten Oberfläche des Starkniederschlages vom 28. 07. 1996 (20 Minuten)	30

Verzeichnis der Abbildungen

<u>Abb. 2.1:</u>	Das Meßnetz der Starkniederschläge im Nationalpark Oö. Kalkalpen	5
<u>Abb. 3.1:</u>	Interpolation des Starkniederschlagsereignisses vom 28.7.1996 (20 Minuten) – Prüfung auf Plausibilität	22
<u>Abb. 3.2:</u>	Hypothetische Residuenverteilungen mit unterschiedlicher Verzerrung	27
<u>Abb. 3.3:</u>	Histogramme der Residuen (Fehlschätzungen) des Starkniederschlags vom 28.07.1996 (20 Minuten) bei Einsatz verschiedener Interpolationstechniken (IDW, Shepard, RBF)	28
<u>Abb. 3.4:</u>	Bivariate Streudiagramme Residuen (Fehlschätzungen) vs. geschätzte Werte des Starkniederschlags vom 28.07.1996 (20 Minuten) bei Einsatz verschiedener Interpolationstechniken (IDW, Shepard, RBF)	29
<u>Abb. 3.5:</u>	Korrelationsdiagramme wahre vs. geschätzte Werte des Starkniederschlags vom 28.07.1996 (20 Minuten) bei Einsatz verschiedener Interpolationstechniken (IDW, Shepard, RBF)	31
<u>Abb. 3.6:</u>	Interpolation des Starkniederschlagsereignisses vom 28.07.1996 (20 Minuten)	33
<u>Abb. 3.7:</u>	Räumliche Interpolation mit Surfer. Auswahl bzw. Definition der für die Interpolation notwendigen Parameter (Koordinatenpaare, räumliche Auflösung, Interpolationsmethode usw.)	34
<u>Abb. 3.8:</u>	Interpolation mit Radial Basis Function - Auswahl von Basis Funktion und R^2	35
<u>Abb. 3.8:</u>	Auswahl der Stützpunkte für die Interpolation	36

1 Einleitung: Skizze der Problemstellung

Starkniederschläge können unter bestimmten Umständen massive Auswirkungen auf einen gegebenen Naturraum zur Folge haben. Im Sinne eines klimatischen Monitoring beziehungsweise einer Risikoanalyse in Hinblick auf Folgewirkungen von Starkniederschlägen, wie beispielsweise Überschwemmungen oder Bodenerosion, ist daher die Vorlage von differenzierender Information unumgänglich. Neben der zeitlichen Dimension, der Beobachtung über längere Zeiträume, gilt dies in besonderem Maße für eine räumlich differenzierende Beobachtung des Phänomens. In den letzten beiden Jahren wurde im Nationalpark O.ö. Kalkalpen ein Meßnetz aufgebaut, dessen Dichte und programmatischen Ambitionen in Europa wohl einzigartig sein dürfte. Dadurch wird in der Nationalparkregion die Beobachtung des Phänomens Starkniederschläge zeitlich wie räumlich in ungewöhnlich hoher Prägnanz ermöglicht.

Bislang wurden Karten, die klimatische Element wie die dem Projekt zugrunde liegenden Messungen der Starkniederschläge im regionalen Maßstab beschreiben sollen, von erfahrenen Bearbeitern interpoliert. Die Datenbasis stellen dabei die Messungen an den vorhandenen Klimastationen. Ausgehend von diesen verhältnismäßig wenigen Punkten im Gelände werden vom Bearbeiter unter Einbeziehung von Hintergrundwissen (Prozeßverständnis, Topographie etc.) Isoplethen als Linien gleicher Niederschlagsmenge konstruiert.

Solche Karten können trotz oder gerade wegen des dabei einfließenden subjektiven Moments bei der Konstruktion der Isoplethen von durchaus hoher Qualität sein. Ausgezeichnete Beispiele dafür bilden die Klimakarten von F. FLIRI (Hrsg.: Tirol Atlas) und von F. STEINHAUSER (Hrsg.: Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft). Sehr häufig beziehen sie sich auf zeitlich aggregierte Klimaelemente wie deren Jahres- oder Monatsmittel. Verhältnismäßig selten sind demgegenüber räumlich differenzierende Beschreibungen singulärer Ereignisse wie sie Starkniederschläge im besonderen Maße darstellen. Die derart vorgenommene Schätzung der Werteverteilung, ausgedrückt in Form von Isoplethen, erfolgt mittels mehr oder minder fein differenzierenden Klassen. Das räumlich kontinuierliche Phänomen der Niederschläge wird dadurch auf einige wenige Wertestufen diskretisiert.

Dem steht der Ansatz der GIS-gestützten räumlichen Interpolation diametral gegenüber. Auch hier bilden die Meßwerte an den Stationen die Datenbasis. Ausgehend von diesen Meßwerten und unter Berücksichtigung ihrer konkreten

räumlichen Position innerhalb des Untersuchungsgebietes wird versucht, die bestmöglichen Schätzoberflächen zu konstruieren. Dabei erfolgt die Interpolation auf ein engmaschiges Rasternetz. Diese (fast)kontinuierlichen Oberflächen werden durch Isoplethen, Farbskalen, Maschennetz etc. visualisiert und können als Karte ausgegeben werden.

Die hinter diesen Karten stehenden Oberflächen wahren den Charakter der Starkniederschlagsereignisse als räumlich kontinuierliche Phänomene. Zudem sind die erzielten Schätzungen der Werte, saubere Dokumentation der Vorgehensweise vorausgesetzt, intersubjektiv nachzuvollziehen und jederzeit beliebig reproduzierbar.

Zudem besteht die Möglichkeit einer weiteren Verarbeitung im Rahmen des im Nationalpark bestehenden GIS. So wurden für das gegenständliche Projekt Summenkarten der Starkniederschlagsereignisse gebildet, die jene Gebiete identifizieren, welche besonders von solchen Ereignissen betroffen waren.

Auch im Rahmen der geplanten, teilweise bereits schon durchgeführten Naturrauminventur des Nationalpark O.ö. Kalkalpen könnte die Interpolationen analytisch weiter verarbeitet werden. Ebenso könnte bei Fortführen des Projekts einer Modellierung der räumlichen Verteilung der Starkniederschlagsereignisse auch die Verschneidung mit hydrologischen Daten aus dem hydrologischen Beobachtungsprogramm sehr interessante Ergebnisse erzielen.

2 Die Datenbasis für die Interpolationen

Die Datenbasis für die Interpolation der Starkniederschlagsereignisse stellen die Messungen des Niederschlagsmeßnetzes im Nationalpark Oö. Kalkalpen (siehe **Abbildung 2.1**: Das Meßnetz der Starkniederschläge im Nationalpark Oö. Kalkalpen).



Abb. 2.1: Das Meßnetz der Starkniederschläge im Nationalpark Oö. Kalkalpen.

Verschiedenfarbige Symbole repräsentieren die Positionen der Niederschlagsmeßstellen. Schwarze Punkte ● markieren die Meßstellen, durch die 1996 das Meßnetz begründet wurde; rote Punkte ● stehen für jene Meßstellen, durch die im Laufe des Jahres 1997 das bestehende Meßnetz verdichtet wurde. Die grau hinterlegten Flächen entsprechen dem Gebiet des Nationalpark Oö. Kalkalpen.

Dieses Meßnetz wurde erstmals im Sommer 1996 in Betrieb genommen und bestand anfänglich aus 14 Stationen. Am 21. August 1996 nahm zusätzlich die Station „Haslersgatter“ den Betrieb auf. Die Interpolation der Starkniederschlagsereignisse des Jahres 1996 kann sich daher nur auf 14 beziehungsweise - ab 21. August 1996 - auf 15 Stationen stützen. Diese geringe

Anzahl stellt für die Interpolation der Niederschlagsereignisse des Jahres 1996 das größte Problem dar.

Ganz allgemein kann eine Interpolation mit einem Zelt verglichen werden, das durch seine Stützen, den an bestimmten Positionen vorgenommenen Niederschlagsmessungen, in einer bestimmten Höhe und Form gehalten wird. Es kann davon ausgegangen werden, daß in Bereichen, die von zahlreichen Stützpunkten umgeben sind, das Entfernen eines oder mehrerer Stützpunkten keine oder nur geringe Auswirkungen hat, die Schätzung also sehr stabil ist; umgekehrt deuten starke Auswirkungen - ein markanter Einbruch oder jähes Hochschnellen der „Zeltplane“ - auf Gebiete hin, deren Schätzung auf Grund dieser mangelhaften Abstützung durch nahe gelegene benachbarte Punkte wesentlich problematischer ist. Dies bedeutet nicht, daß die Interpolation in solchen Gebieten tatsächlich von schlechter Qualität sein muß, doch ergeben sich auf Grund der wenigen zur Verfügung stehenden Stützpunkte schon bei der Auswahl des „besten“ Interpolationsverfahrens bzw. der geeignetsten Parameter der Interpolation Probleme. Dazu wird im **Kapitel 3.1** noch einiges anzumerken sein.

Im Laufe des Jahres 1997 (Anfang August) wurde das Meßnetz auf 31 Stationen erweitert beziehungsweise verdichtet. Aus der Perspektive der räumlichen Interpolation der Niederschlagswerte erbringt das verdichtete Meßnetz eine wesentliche Qualitätsverbesserung, dies insbesondere in Hinblick auf die Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse.

2.1 Explorative Datenanalyse der Starkniederschlagsereignisse in den Beobachtungsjahren 1996 und 1997

Eine hohe Variabilität der Daten, das Auftreten von Ausreißern und Extremwerte, Abweichungen von der Normalverteilung etc. können beträchtlichen Einfluß auf das Ergebnis einer Interpolation nehmen. Mittels einer explorativen statistischen Datenanalyse können schon im Vorfeld der eigentlichen Interpolation derart bedingte Problem erkannt und entsprechend berücksichtigt werden. Die nachfolgende Interpretation der berechneten statistischen Kennwerte (siehe **Tabellen 2.1** und **2.2**) orientiert sich somit einzig an diesem Zweck und inkludiert keine Berücksichtigung von inhaltlich-meteorologischen Fragestellungen.

Die Methodik zur Identifikation von Starkniederschlägen im Bereich des Nationalparks wurde von G. MAHRINGER, M. BOGNER und T. LEHNER entworfen und im Bericht „Die Häufigkeit von Starniederschlägen aus den Daten des Niederschlagsmeßnetzes – Endbericht 1996, Teil 7“ ausreichend dokumentiert. Alle im folgenden beziehungsweise in den **Tabellen 2.1** und **2.2** angeführten Ereignisse entsprechen den dort getroffenen Kriterien. Für die ausführliche Besprechung der meteorologischen Dimension des Phänomens kann auf diesen Bericht sowie den gegenständlichen Endbericht des Jahres 1997 verwiesen werden.

Tab. 2.1: Explorative Datenanalyse der Starkniederschlagsereignisse im Beobachtungszeitraum des Jahres 1996

Niederschlags- ereignisse	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>Q1</i>	<i>Md</i>	<i>Q3</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>IQ</i>	<i>QDk</i>	<i>Vk</i>	<i>Sch</i>
28.7. (10 min)	14	2,86	2,96	0,50	2,05	4,50	0,30	10,90	4,00	0,80	1,03	1,59
28.7. (20min)	14	4,56	4,11	0,88	3,95	7,45	0,40	14,10	6,57	0,79	0,90	0,89
28.7. (60min)	14	5,99	5,01	1,20	5,65	9,2	0,80	16,80	8,00	0,77	0,84	0,64
2.8. (10min)	14	5,54	3,30	2,55	6,00	7,88	1,00	12,10	5,33	0,51	0,60	0,25
2.8. (20min)	14	8,59	5,28	3,85	8,30	12,85	1,80	19,70	9,00	0,54	0,61	0,50
2.8. (60min)	14	11,07	5,55	6,20	11,25	15,23	3,30	22,70	9,03	0,42	0,50	0,43
12.8. (10min)	14	3,17	2,54	1,63	2,00	3,95	0,60	9,60	2,32	0,42	0,80	1,61
12.8. (20min)	14	5,15	4,56	2,58	3,50	6,10	1,20	17,70	3,52	0,41	0,89	2,02
12.8. (60min)	14	8,56	4,78	5,96	6,90	11,13	1,80	18,7	5,17	0,30	0,56	1,08
13.8. (10min)	14	3,69	1,56	2,18	3,70	4,73	1,60	7,20	2,55	0,37	0,42	0,58
13.8. (60min)	14	10,48	4,58	6,88	8,60	14,78	4,40	18,10	7,90	0,36	0,44	0,56
17.8. (20min)	14	3,90	2,69	1,78	3,00	4,98	1,60	11,10	3,20	0,47	0,69	1,64
21.8. (10min)	15	1,23	2,60	0,00	0,00	0,50	0,00	8,50	0,50	1,00	2,11	2,11
21.8. (20min)	15	1,96	4,41	0,00	0,00	0,70	0,00	15,40	0,70	1,00	2,25	2,50
22.8. (10min)	15	2,94	3,49	0,40	0,90	5,20	0,00	11,50	4,80	0,86	1,19	1,31
22.8. (20min)	15	5,38	4,28	1,90	3,60	8,50	0,90	14,00	6,60	0,63	0,80	0,93
22.8. (60min)	15	7,69	6,52	2,40	6,60	8,80	1,20	22,80	6,40	0,57	0,85	1,28
5.9. (4Std)	15	25,51	3,99	22,10	25,40	27,50	20,50	34,80	5,40	0,11	0,16	0,93
14.9. (60min)	8	6,81	7,00	0,00	8,20	13,10	0,00	18,50	13,10	1,00	1,03	0,23
14.9. (4Std)	8	19,51	19,65	0,00	23,50	38,10	0,00	49,80	38,10	1,00	1,01	0,10
14.9. (24Std)	8	54,74	53,95	0,00	79,40	107,00	0,00	126,40	107,00	1,00	0,99	-0,03
14.9. (48Std)	8	62,74	61,75	0,00	93,60	120,40	0,00	144,70	120,40	1,00	0,98	-0,04
21.10. (60min)	15	8,73	3,26	6,40	8,40	10,00	4,30	18,10	3,60	0,22	0,37	1,67
21.10. (4Std)	15	28,37	9,94	21,10	28,90	32,80	10,60	55,50	11,70	0,22	0,35	1,12
21.10. (24Std)	15	122,58	27,72	107,00	113,80	130,20	92,40	192,90	23,20	0,10	0,23	1,60
21.10. (48Std)	15	157,20	35,84	138,30	150,80	157,60	116,50	244,60	19,30	0,07	0,23	1,75
21.10. (76Std)	15	186,79	44,08	163,90	177,50	189,30	135,30	302,50	25,40	0,07	0,24	1,86

Abkürzungsschlüssel: *n* Anzahl der Stationen; *m* arithmetisches Mittel, *s* Standardabweichung, *Q1* 1. Quartil, *Md* Median, *Q3* 3. Quartil, *min* kleinster Wert, *max* größter Wert, *IQ* Interquartilsabstand, *QDk* Quartildispersionskoeffizient, *Vk* Variationskoeffizient, *Sch* Schiefe

Im Beobachtungszeitraum des Jahres 1996 wurden 28 Starkniederschlagsereignisse registriert. Messungen erfolgten vom 28.7. bis 17.8. an 14 Stationen, ab dem 21.8. an 15 Stationen. Durch einen Teilausfall im Meßnetz wurden die Starkniederschlagsereignisse vom 14. 9. 1996 nur an 8 Stationen aufgezeichnet. Diese geringe Anzahl sowie deren ungünstige Position am Rand des Nationalparks ermöglichen keine seriöse Interpolation, daher mußte für diese Starkniederschlagsereignisse auch darauf verzichtet werden.

Die Lage- und Streuungsmaße der Starkniederschlagsereignisse 1996 sind - von wenigen Ausnahmen abgesehen - mehr oder minder massiv durch Extremwerte beeinflusst. Am markantesten tritt dies bei den beiden kurzzeitigen Starkniederschlägen vom 21.8. (10 bzw. 20 Minuten) in Erscheinung. Nur bei 4 Stationen wurde überhaupt ein Niederschlag registriert, das Kriterium des Starkniederschlag bloß an einer einzigen Station (Haslersgatter) erreicht. Daraus erklären sich auch die Werte (0) für das 1. Quartil und den Median. Weiters bewirkt dies auch sehr hohe Werte bei den relativen Streuungsmaßen des Quartil-Dispersionskoeffizienten und des Variationskoeffizienten sowie beim Maß für die Schiefe der Werteverteilung.

Der Quartil-Dispersionskoeffizient bezieht sich auf die Streuung der mittleren 50 Prozent aller Datenwerte. Er berechnet sich aus dem Verhältnis des Interquartilabstandes zur Summe aus 1. und 3. Quartil ($IQ / (Q1 + Q3)$). Je kleiner der Quartil-Dispersionskoeffizient ist, desto geringer ist die Streuung der mittleren 50 Prozent der Datenwerte. Umgekehrt deuten Werte nahe 1 auf eine sehr hohe Variabilität der an den Stationen registrierten Niederschlagssummen hin. Ganz allgemein läßt sich für das Jahr 1996 eine Dominanz verhältnismäßig hoher Quartil-Dispersionskoeffizienten feststellen.

Dies gilt sinngemäß beziehungsweise verstärkt auch für den Variationskoeffizient. Der Variationskoeffizient definiert sich als das Verhältnis von Standardabweichung und arithmetischem Mittel (s/m). Werte von nahe oder über 1 deuten auf Verteilungen hin, die massiv durch Extremwerte beeinflusst werden. 6 von insgesamt 27 Starkniederschlagsereignisse weisen Koeffizienten von über 1 auf, 18 Koeffizienten von über 0,5. Dies kann als deutliches Anzeichen für die im Verhältnis zur Dichte des Meßnetzes bestehende hohe räumliche Variabilität der Niederschlagsereignisse gedeutet werden.

Das Maß für die Schiefe einer Verteilung orientiert sich an der Normalverteilung. Ein Wert nahe 0 deutet auf eine annähernd symmetrische Gruppierung der Werte um das arithmetische Mittel an. Hohe positive Werte für die Schiefe beschreiben

eine linkssteile bzw. rechtsschiefe Verteilung: an einer oder einigen wenigen Meßstationen - wurden gemessen an allen anderen Stationen - besonders hohe Niederschlagswerte registriert. Hohe negative Werte beschreiben eine rechtssteile bzw. linksschiefe Verteilung: an einer oder einigen wenigen Stationen wurden - gemessen an allen anderen Stationen - besonders niedrige Niederschlagswerte registriert. Auch bei der Schiefe sind zum Teil beträchtlich hohe Werte festzustellen. Bei der Mehrzahl der Ereignisse ist eine starke Abweichung der an den Stationen gemessenen Niederschlagssummen von einer symmetrischen Anordnung um deren arithmetisches Mittel gegeben.

Zwar gibt es auch Ereignisse, die durch eine verhältnismäßig gleichförmige Streuung der Niederschlagswerte gekennzeichnet sind. Das deutlichste Beispiel dafür bieten die mehrstündigen Ereignisse vom 21.10. (60 Minuten, 4, 24, 48 und 76 Stunden) mit Quartil-Dispersionskoeffizienten von 0,22 bis 0,07 und Variationskoeffizienten von 0,37 bis 0,23. Dessen ungeachtet weisen die berechneten hohen positiven Werte für die Schiefe (1,12 bis 1,86) auf eine deutliche Abweichung von der Normalverteilung hin. Auch hier gibt es eine oder einige wenige Stationen die überproportional viel Niederschlag verzeichneten.

Im allgemeinen können diese Befunde auch auf die Meßwerte des Beobachtungsjahres 1997 (siehe **Tabelle 2.2**) übertragen werden. Auch die Ereignisse dieses Jahres werden häufig durch eine markante räumliche Variabilität der Niederschlagsereignisse geprägt, wenngleich auch die Werte bei den relativen Streuungsmaßen Quartil-Dispersionskoeffizient und Variationskoeffizient deutlich hinter jenen des Vorjahres zurückbleiben.

Die im Lauf des Beobachtungszeitraums erfolgte Verdichtung des Meßnetzes - ab August 1997 erhöht sich die Anzahl der Stationen auf 31 – und die dadurch bedingte Abnahme der durchschnittlichen Distanz zwischen den Stationen (siehe dazu die Werte der Nearest-Neighbour-Statistik in der **Tabelle 2.3**) scheinen eine klare Verringerung der räumlichen Variabilität der Meßwerte bewirkt zu haben. Phänomene, die durch isolierte Extremwerte geprägt werden, sind wesentlich schwieriger durch Interpolation flächendeckend zu beschreiben, zumindest aber muß lokal mit wesentlich höheren Unsicherheiten in Bezug auf die örtliche Prägnanz der Schätzung gerechnet werden. Daher wird sich die aus den statistischen Kennwerten ableitbare Reduktion der räumlichen Variabilität der Werte durchaus positiv in der anzunehmenden höheren Qualität der Interpolation ausdrücken.

Tab. 2.2: Explorative Datenanalyse der Starkniederschlagsereignisse im Beobachtungszeitraum des Jahres 1997

Niederschlagsereignisse	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>Q1</i>	<i>Med</i>	<i>Q3</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>IQ</i>	<i>QDk</i>	<i>Vk</i>	<i>Sch</i>
12.6. (10 min)	14	3,00	2,36	1,28	3,00	5,38	0,70	8,10	4,10	0,62	0,79	0,59
12.6. (20 min)	14	5,38	3,68	1,93	5,55	9,68	1,30	10,90	7,75	0,67	0,68	0,12
12.6. (60 min)	14	10,00	4,61	5,45	10,15	14,08	3,70	17,30	8,63	0,44	0,46	0,05
13.6. (10 min)	14	2,49	2,62	0,28	1,45	4,00	0,20	8,60	3,73	0,87	1,05	1,20
13.6. (20 min)	14	3,74	3,35	0,48	2,65	6,50	0,30	10,20	6,03	0,86	0,90	0,72
6.7.(5 Tage)	10	190,40	29,33	164,05	186,70	217,18	153,80	244,20	53,13	0,14	0,15	0,55
10.7.(10 min)	14	2,79	3,78	0,23	2,00	2,93	0,00	14,30	2,70	0,86	1,35	2,51
10.7.(20 min)	14	5,00	6,76	1,75	3,25	5,70	0,00	26,60	3,95	0,53	1,35	2,85
10.7.(60 min)	14	9,10	10,07	3,88	6,55	10,95	0,00	40,20	7,08	0,48	1,11	2,52
10.7. (4std)	14	11,71	9,97	5,93	8,35	13,00	4,10	43,40	7,08	0,37	0,85	2,78
17.7.(10min)	14	4,57	4,42	0,55	3,55	7,80	0,00	12,90	7,25	0,87	0,97	0,65
17.7.(10min)	14	4,49	3,82	1,90	3,00	6,43	0,40	12,60	4,53	0,54	0,85	1,19
17.7.(20min)	14	6,37	6,12	0,78	4,40	12,55	0,00	16,60	11,78	0,88	0,96	0,47
17.7.(20min)	14	7,86	5,79	3,43	5,75	12,70	1,60	19,70	9,28	0,58	0,74	1,08
17.7.(60min)	14	11,52	10,49	1,95	9,65	20,20	0,80	34,80	18,25	0,82	0,91	0,88
17.7.(60 min)	14	16,77	11,70	7,83	11,75	26,33	6,70	46,80	18,50	0,54	0,70	1,53
17.7.(4 Std)	14	33,11	17,45	15,00	32,40	46,88	12,40	61,80	31,88	0,52	0,53	0,43
17.7.(24 Std)	14	51,81	20,05	30,93	52,00	66,23	28,20	88,70	35,30	0,36	0,39	0,42
17.7.(2 Tage)	14	126,17	26,80	104,78	129,60	147,65	78,80	178,40	42,88	0,17	0,21	0,01
17.7.(3 Tage)	14	143,24	31,98	116,20	146,35	164,33	84,40	199,70	48,13	0,17	0,22	-0,13
17.7.(5 Tage)	14	187,63	41,73	148,13	195,40	211,73	113,50	262,90	63,60	0,18	0,22	-0,28
24.7.(10 min)	13	1,88	2,78	0,55	0,90	1,55	0,50	10,60	1,00	0,48	1,48	3,01
24.7.(20 min)	13	2,90	3,93	1,30	1,50	2,40	0,70	15,60	1,10	0,30	1,35	3,28
24.7.(60 min)	13	4,21	4,05	2,70	3,00	3,35	2,10	17,40	0,65	0,11	0,96	3,36
31.7.(10 min)	14	5,14	2,62	2,93	4,95	7,53	1,70	9,00	4,60	0,44	0,51	0,10
31.7.(20 min)	14	7,76	4,26	3,93	7,75	10,38	3,00	16,20	6,45	0,45	0,55	0,61
31.7.(60 min)	14	11,81	4,65	7,50	13,25	15,73	5,70	19,00	8,23	0,35	0,39	-0,01
2.8.(10 min)	30	3,46	2,19	2,18	3,45	4,60	0,00	7,50	2,43	0,36	0,63	0,07
9.8.(10 min)	31	2,64	1,64	1,40	2,20	3,50	0,50	8,00	2,10	0,43	0,62	1,44
9.8.(20 min)	31	4,36	2,42	2,50	3,70	5,50	1,20	11,50	3,00	0,38	0,56	1,21
9.8.(10 minb)	31	2,57	2,01	1,20	1,90	3,40	0,50	8,60	2,20	0,48	0,78	1,54
9.8.(20 minb)	31	3,60	2,97	1,50	2,60	5,20	0,60	12,30	3,70	0,55	0,83	1,64
15.8.(10 min)	30	3,45	2,48	1,55	2,95	5,10	0,30	9,70	3,55	0,53	0,72	0,79
15.8.(20 min)	30	4,91	3,42	2,38	4,35	6,85	0,50	14,30	4,48	0,49	0,70	1,01
17.8.(10 min)	30	5,34	4,24	1,53	4,10	8,05	0,40	16,10	6,53	0,68	0,79	0,89
17.8.(20 min)	30	8,12	7,10	2,13	6,35	10,85	0,50	27,80	8,73	0,67	0,88	1,28
17.8.(60 min)	30	9,61	7,77	3,78	7,80	12,20	1,10	34,10	8,43	0,53	0,81	1,47
17.8.(240 min)	30	10,88	8,37	4,38	8,10	14,83	1,90	39,10	10,45	0,54	0,77	1,65
4.9.(10 min)	30	8,16	5,20	3,93	6,30	12,73	0,30	20,60	8,80	0,53	0,64	0,58
4.9.(20 min)	30	11,74	7,44	6,30	9,20	17,60	0,40	27,00	11,30	0,47	0,63	0,55
4.9.(60 min)	30	14,36	9,11	8,03	12,35	20,45	0,50	33,90	12,43	0,44	0,63	0,66
4.9.(240 min)	30	19,64	13,81	8,98	14,00	32,23	1,90	55,20	23,25	0,56	0,70	0,73

Abkürzungsschlüssel: *n* Anzahl der Stationen; *m* arithmetisches Mittel, *s* Standardabweichung, *Q1* 1. Quartil, *Med* Median, *Q3* 3. Quartil, *min* kleinster Wert, *max* größter Wert, *IQ* Interquartilsabstand, *QDk* Quartildispersionskoeffizient, *Vk* Variationskoeffizient, *Sch* Schiefe

2.2 Nearest-Neighbor-Analyse der Niederschlagsmeßstationen im Nationalpark Oö. Kalkalpen

Für die Interpolation von Vorteil ist die Konzentration der Stationen auf verhältnismäßig kleinen Raum. Dieser Effekt verstärkt sich noch durch deren horizontale Streuung über das Untersuchungsgebiet. Ganz allgemein wird das Ergebnis jeder Interpolation maßgeblich durch die räumliche Verteilung der Interpolationsstützpunkte - den Niederschlagsmeßstationen - beeinflusst. Dabei stellt eine möglichst homogene und dichte Verteilung von Interpolationsstützpunkten ein Optimum dar. Abweichungen von diesem Ideal werden sich entsprechend ihrem Ausmaß auf das Ergebnis der Schätzung auswirken. Mittels der Methode der „Nearest Neighbor“-Analyse kann die Qualität der räumlichen Streuung des Meßnetzes gemessen und in Form einer einzigen Zahl, der Nearest-Neighbor-Statistik, ausgedrückt werden.

Grundsätzlich können Punkte regelmäßig, zufällig oder gruppiert - „geclustert“ – über ein bestimmtes Gebiet gestreut sein. Normalerweise wird die räumliche Verteilung beliebiger Daten keinem dieser Extreme absolut Folge leisten, sondern innerhalb in dem durch diese drei Möglichkeiten festgelegten Bereich einzuordnen sein. Die „Nearest-Neighbor“-Analyse ermöglicht nun die Lokalisierung eines bestimmten Datensatzes in dem durch die angesprochenen Extreme definierten „Spielraum“ möglicher Verteilungsmuster. Diese Einordnung erfolgt über das Messen der Distanzen zwischen gepaarten Datenpunkten. Gepaart werden dabei die Punkte mit der geringsten räumlichen Distanz zueinander - die „Nearest Neighbor“. Aus der Summe der Distanzen wird der Beobachtungswert d der mittleren Distanz zwischen den Punkten berechnet. Dieser Beobachtungswert d der mittleren Distanz wird mit jenem Wert der mittleren Distanz verglichen, der sich ergäbe, wenn die Punkte zufällig über das Untersuchungsgebiet gestreut wären. Selbstverständlich ist eine bestimmte zufällige Verteilung der Punkte im Raum stets nur eine von unendlich vielen Möglichkeiten, wie die Punkte räumlich gestreut sein könnten. Diese unendlich vielen Möglichkeiten werden summarisch durch den Erwartungswert des Mittelwertes beschrieben. Die in die Gleichung einfließende Fläche des Untersuchungsgebietes berechnet sich aus einem die Datenpunkte umschließenden Rechteck, dessen Umfang durch die in den Haupthimmelsrichtungen am exponiertesten gelegenen vier Datenpunkte - in der vorliegenden Arbeit Niederschlagsmeßstationen - festgelegt wird. Da auch die zur Auswahl stehenden Interpolationstechniken (siehe **Kapitel 3.1**) sich auf gleiche Weise den Umfang der zu schätzenden Oberfläche definieren, ist dies einer Bewertung der Qualität der räumlichen Streuung der Stationen des Meßnetzes in Hinblick auf die Interpolation durchaus dienlich.

Wie bei jedem Mittelwert kann auch das Ausmaß der Streuung der theoretisch zu erwartenden Distanzen um den Erwartungswert der mittleren Distanz durch die Varianz der Distanzen ausgedrückt werden. Der Standardfehler der mittleren Distanz zwischen benachbarten Punkten definiert sich als die Standardabweichung der mittleren Distanzen anderer möglicher Zufallsverteilungen der Punkte im Raum. Je kleiner der Standardfehler der mittleren Distanz von benachbarten Punkten ist, desto präziser wird der berechnete Erwartungswert δ der mittleren Distanz das tatsächliche Mittel der Distanz zwischen benachbarten Punkten aus den theoretisch unendlich vielen Möglichkeiten einer zufälligen Streuung der Punkte über den Raum widerspiegeln.

Die Verteilung des Erwartungswertes δ ist normal, wenn n - die Anzahl der Punkte im Raum - größer als 6 ist. Daher kann mit einem einfachen Z-Test die Hypothese überprüft werden, ob der Beobachtungswert d gleich dem Erwartungswert δ ist. Die Teststatistik Z gibt Aufschluß über die Wahrscheinlichkeit, daß der aus den tatsächlich über den Raum gestreuten Punkten berechnete Beobachtungswert d einem der theoretisch unendlich vielen möglichen Ergebnissen des Erwartungswertes δ entspricht. Sie wird als der Anteil der Differenz zwischen dem Beobachtungswert d und dem Erwartungswert δ am Standardfehler des Erwartungswertes δ definiert. Wenn zwischen dem Beobachtungswert d und dem Erwartungswert δ vollkommene Übereinstimmung herrscht, d somit eine Realisierung des Erwartungswertes δ ist, hat die normalverteilte Teststatistik Z einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von 1. Weist die Teststatistik hingegen sehr hohe Werte auf, liegt der Schluß nahe, daß die beiden mittleren Distanzen - jene des Beobachtungswertes d und des Erwartungswertes δ - voneinander verschieden sind. Die tatsächlich gegebene Streuung der Punkte entspricht dann wahrscheinlich nicht einer der theoretisch unendlich vielen möglichen Realisierungen einer zufälligen Verteilung der Punkte. Üblicherweise werden diese Wahrscheinlichkeiten in Form von Signifikanzniveaus zum Ausdruck gebracht. Eine Abweichung von 1,96 Standardabweichungen entspricht einem Signifikanzniveau von 5%, bei 3 Standardabweichungen sinkt die Wahrscheinlichkeit, daß die gegebene Streuung der Punkte ein mögliches Ergebnis einer zufälligen Streuung ist, auf 0,27%.

Aus dem Erwartungswert δ und dem Beobachtungswert d der mittleren Distanz benachbarter Punkte kann ein Index räumlicher Verteilungsmuster berechnet werden - die „Nearest-Neighbor“-Statistik R . Der Betrag von R liegt stets zwischen 0 und 2,15. Ein R von nahe 0 beschreibt eine stark geclusterte räumliche Punkteverteilung. Ist die räumlichen Streuung der Punkte zusammenhangslos,

also zufällig, wird R um 1 liegen. Ein Wert nahe bei 2,15 beschreibt eine homogene, hexagonale Anordnung der Punkte - jeder Punkt ist von den sechs ihm benachbarten Punkten annähernd gleich weit entfernt.

Tab. 2.3: „Nearest-Neighbor“-Statistik des Meßnetzes im Nationalpark Oö. Kalkalpen

	Meßnetz 1996	Meßnetz 1997
n	15	31
A	304777000	381762000
n/A	4,921631225453e-8	8,120242454723e-8
A/n	20318466,7	12314903,3
δ	2253,8	1754,6
d	3148	2236,3
s_e	314,9	167,5
R	1,4	1,3
Z	2,8	2,9

Abkürzungsschlüssel: n Anzahl der Meßstationen; A Fläche des Untersuchungsgebietes, n/A Dichte der Punkte (Niederschlagsmeßstellen) im Untersuchungsgebiet, A/n Flächenanteil pro Punkt (Niederschlagsmeßstellen), δ Erwartungswert der mittleren Distanz, d Beobachtungswert der mittleren Distanz, s_e Standardfehler des Erwartungswertes der mittleren Distanz, R Nearest-Neighbor Statistik, Z Teststatistik für Erwartungswert und Beobachtungswert der mittleren Distanz

Wie schon erwähnt übt die räumliche Verteilung der Stationen des Niederschlagsmeßnetzes einen nicht unbeträchtlichen Einfluß auf die lokale Qualität der Schätzung aus. Ein gewisses Maß an räumlicher Konzentration mag zwar lokal der Interpolation durch eine bessere Abstützung der Schätzoberfläche dienlich sein, dennoch ist im Sinne einer möglichst gleichmäßigen Qualität der Schätzung über das gesamte Untersuchungsgebiet hinweg eine homogene oder zumindest zufällige Streuung der Stützpunkte vorzuziehen, um einer tendenziellen Fehlschätzung bestimmter Gebiete vorzubeugen.

Selbstverständlich sind die konkreten Positionen der verschiedenen Stationen durchaus an bestimmte Überlegungen und Vorbedingungen geknüpft, die Fragen der Zugänglichkeit (Straßenanbindung) ebenso berühren können wie meteorologische Fragestellungen. „Zufällig“ bezieht sich daher einzig auf die bestehende räumliche Verteilung der Stationen unabhängig von den Gründen, die für die Wahl der Positionen der Meßstationen ausschlaggebend waren.

Das 1996 begründete Meßnetz, aber auch jenes des Jahres 1997 mit der erfolgten Verdichtung durch die Hinzunahme von 16 zusätzlichen Stationen weisen *R*-Werte (Nearest-Neighbor-Statistik) von größer 1 auf. Die Meßnetze der beiden Jahre sind somit in Summe ungeclustert, die Stationen im wesentlichen zufällig über das Untersuchungsgebiet gestreut mit einer leichten Tendenz in Richtung einer regelmäßigen Anordnung. Die angesprochene zufällige Streuung bezieht sich dabei einzig auf die Einordnung in ein horizontales (xy-) Koordinatensystem und vernachlässigt zur Gänze die vertikale Verteilung der Stationen über das Gelände. Eine unter Umständen mangelhafte Repräsentierung höherer oder tieferer Lagen ist nicht auszuschließen. Für die Belange einer flächendeckenden Interpolation der Starkniederschlagsereignisse ist dies aber nicht von Nachteil (siehe **Kapitel 2.3**).

Durch die Verdichtung des Meßnetzes im Laufe des Jahres 1997 verkürzt sich die durchschnittliche Distanz zwischen den Stationen um 911,7 Meter (=minus 29%) und beträgt anstelle von 3148 Meter (1996) nur mehr 2236,3 Meter (August 1997). Die Verdichtung erfolgte nicht vollkommen gleichmäßig über den gesamten Bereich des Untersuchungsgebietes. Daher verringert sich von 1997 auf 1996 der Wert von *R* geringfügig. Dennoch ist in Hinblick auf die räumliche Interpolation der Niederschlagswerte die Verteilung der Stationen durchaus befriedigend. Im allgemeinen kann wegen des Fehlens einer „Clustering“ der Stationen mit einer gleichmäßigen „Informationsdichte“ über den Bereich des Untersuchungsgebietes gerechnet werden. Örtliche Informationsdefizite bezüglich der Niederschlagswerte, verbunden mit „Überbestimmung“ an anderer Stelle, ist nicht gegeben. Die Abstützung der interpolierten Oberflächen ist für weite Teile des Untersuchungsgebietes von annähernd gleicher Qualität.

2.4 Die vertikale Dimension: Korrelationsanalyse (Seehöhen versus Niederschlagswerte) der Niederschlagsmeßstationen

Wie schon erwähnt wurde die vertikale Verteilung der Meßstellen im Nationalpark Oö. Kalkalpen nicht untersucht. Grundsätzlich ist die Einbringung der Seehöhe als zusätzlich steuernde Variable der Schätzung bei bestimmten Interpolationstechniken (z.B. Cokriging) möglich. Für den Bereich der Interpolation des Jahres- und der Monatsmittel der Lufttemperatur (siehe den diesbezüglichen Abschlußbericht) wurde mit einer Kombination aus horizontaler Interpolation und Regression – Seehöhe als unabhängige „erklärende“ Variable – gearbeitet.

Auch bei Niederschlagsmeßwerten, den mittleren Jahresniederschlagssummen, ist zwischen der Seehöhe der Stationen und den an den Stationen registrierten Niederschlagsmessungen eine eindeutige Abhängigkeit statistisch nachweisbar (G. BELINA, 1993, S 23-29). Die Einbringung der Seehöhe als zusätzliche Stütze der örtlichen Schätzung wäre in diesem Fall durchaus sinnvoll.

Vor der Entscheidung für oder wider eine bestimmte Interpolationstechnik muß daher festgestellt werden, ob die Seehöhe substanziell auch bei den zeitlich verhältnismäßig flüchtigen Starkniederschlagsereignissen etwas zur „Erklärung“ des Geschehens beizutragen vermag. Die Lösung dieser Frage erfolgt mittels Korrelation des an den Stationen des Meßnetzes verzeichneten Starkniederschlages und der Seehöhe der jeweiligen Stationen (siehe **Tabelle 3.1**).

Da die Niederschlagsmeßwerte der einzelnen Ereignisse teilweise sehr stark von einer Normalverteilung abweichen (siehe **Kapitel 2.1**), basiert die Berechnung der Korrelationskoeffizienten auf dem verteilungsunabhängigen Rangkorrelationskoeffizient nach SPEARMAN. Ebenso wie beim gängigen Produktmoment-Korrelationskoeffizient nach PEARSON kann SPEARMAN'S Rangkorrelationskoeffizient nicht kleiner als -1 und nicht größer als $+1$ werden. Generell kann ein Betrag nahe bei 1 als starker, ein Betrag nahe bei 0 als schwacher oder überhaupt kein Zusammenhang interpretiert werden. Negative Koeffizienten weisen auf einen gegenläufigen Zusammenhang hin: je größer der Wert der einen Variablen wird, desto kleiner wird der Wert der anderen. Der numerische Ausdruck des Korrelationskoeffizient kann verbal wie folgt ausgelegt werden:

0	<	r	<	0,2	sehr geringe Korrelation
0,2	<	r	<	0,5	geringe Korrelation
0,5	<	r	<	0,7	mittlere Korrelation
0,7	<	r	<	0,9	hohe Korrelation
0,9	<	r	<	1	sehr hohe Korrelation

Ein Wert von $r_s = 0$ bedeutet, daß zwischen den beiden Variablen Seehöhe und Niederschlag kein Zusammenhang besteht. Ein Wert von $r_s = +1$ impliziert eine perfekte Übereinstimmung zwischen Niederschlagswerten und Seehöhen der Meßstationen: je höher eine Station liegt, desto höher ist auch der dort verzeichnete Niederschlag. Ein Wert von $r_s = -1$ hingegen würde bedeuten, daß Seehöhe und Niederschlag einander perfekt diametral gegenüberstehen: je niedriger eine Station liegt, desto höher wäre dann der dort verzeichnete Niederschlag.

Tab. 2.4: Korrelationskoeffizienten (nach SPEARMAN) Starkniederschlägen versus Seehöhe

Starkniederschläge 1996		Starkniederschläge 1997	
28.7. (10min)	-0,0166	12.6. (10min)	-0,1356
28.7. (20min)	0,0066	12.6. (20min)	-0,0595
28.7. (60min)	-0,0751	12.6. (60min)	-0,0573
2.8. (10min)	0,6938	13.6. (10min)	-0,1894
2.8. (20min)	0,6542	13.6. (20min)	-0,2183
2.8. (60min)	0,6960	6.7. (120Std)	0,6485
12.8. (10min)	-0,1462	10.7. (10min)	0,0863
12.8. (20min)	-0,1907	10.7. (20min)	0,0617
12.8. (60min)	-0,2643	10.7. (60min)	-0,1522
13.8. (10min)	0,2406	10.7. (4Std)	-0,1630
13.8. (60min)	0,4157	17.7. (10min)	-0,3433
17.8. (20min)	0,1945	17.7. (10min)	0,3675
21.8. (10min)	-0,0620	17.7. (20min)	-0,2393
21.8. (20min)	-0,0620	17.7. (20min)	0,3612
22.8. (10min)	-0,1210	17.7. (60min)	-0,3175
22.8. (20min)	0,1531	17.7. (60min)	0,3172
22.8. (60min)	-0,0251	17.7. (4Std)	-0,0518
5.9. (4Std)	-0,0483	17.7. (24Std)	0,1057
14.9. (60min)	-0,5978	17.7. (48Std)	0,5396
14.9. (4Std)	-0,5506	17.7. (72Std)	0,4229
14.9. (24Std)	0,5506	17.7. (120Std)	0,3370
14.9. (48Std)	0,5336	24.7. (10min)	0,0083
21.10. (60min)	0,4369	24.7. (20min)	0,0913
21.10. (4Std)	0,2737	24.7. (60min)	0,3508
21.10. (24Std)	0,2147	31.7. (10min)	0,2428
21.10. (48Std)	0,2200	31.7. (20min)	0,1665
21.10. (76Std)	0,3202	31.7. (60min)	0,1366
		2.8. (10min)	0,1421
		9.8. (10min)	-0,0032
		9.8. (20min)	0,0476
		9.8. (10min)	-0,0214
		9.8. (20min)	-0,0093
		15.8. (10min)	0,0188
		15.8. (20min)	0,1079
		17.8. (10min)	0,2902
		17.8. (20min)	0,2912
		17.8. (60min)	0,2415
		17.8. (4Std)	0,2341
		4.9. (10min)	0,3040
		4.9. (20min)	0,2625
		4.9. (60min)	0,2363
		4.9. (4Std)	0,2134
	Seehöhe		Seehöhe

Im Beobachtungszeitraum des Jahres 1996 wurden im Bereich des Nationalparks 27 Starkniederschlagsereignisse registriert. Von diesen weisen 12 auf keinen oder nur einen sehr geringen Zusammenhang zwischen der Seehöhe der Meßstationen und den dort verzeichneten Niederschlagswerten hin. 8 Ereignisse scheinen einen

geringen Zusammenhang anzudeuten. Mittlere Koeffizienten weisen 7 Ereignisse auf, starke oder sehr starke Korrelationen zwischen Seehöhe und Niederschlag ist bei keinem einzigen Ereignis festzustellen. Bemerkenswert sind jene 12 Ereignisse mit negativen Koeffizienten, durch die ein gegenläufiger Zusammenhang zwischen Seehöhe und Niederschlag markiert zu werden scheint.

Der Beobachtungszeitraum des Jahres 1997 umfaßt 42 Starkniederschlagsereignisse. Die Hälfte dieser Ereignisse läßt keinen oder nur einen sehr geringen Zusammenhang zwischen der Seehöhe der Stationen und deren Niederschlagswerte erkennen. 19 Ereignisse weisen geringe, 2 mittlere, keines hohe oder sehr hohe Koeffizienten auf. Auch 1997 wurden Ereignisse registriert, deren Niederschlagswerte zu den Seehöhen negativ korrelieren.

Langjährige mittlere Niederschlagssummen stehen in einer eindeutig nachweisbaren sehr starken Abhängigkeit von der Seehöhe. Höher gelegene Bereiche haben in Summe größere Niederschlagsmengen zu verzeichnen.

Nach der Korrelationsanalyse der Starkniederschlagsereignisse im Nationalpark Oö. Kalkalpen ist ein solcher eindeutiger allgemeiner Zusammenhang zwischen den hier verzeichneten kurzzeitigen Niederschlagsereignissen und der Seehöhe der Meßstationen nicht gegeben. Die Steuerung des Geschehens von Starkniederschlägen steht nicht in Abhängigkeit von der Seehöhe. Ihre regionalen Realisierungen ereignen sich unabhängig von der örtlichen Seehöhe über dem Gebiet des Nationalparks. Die Seehöhe vermag somit substanziell nichts zur Erklärung des örtlichen Starkniederschlaggeschehens beizutragen. Ihre Einbringung in die Interpolation als zusätzliche Steuerungsvariable der Schätzung ist nicht sinnvoll. Darüber hinaus würden dadurch die Ergebnisse einer horizontalen Interpolation der Niederschlagswerte systematisch verfälscht und verzerrt.

3 Flächendeckenden Interpolation der Starkniederschläge

Der Weg zu einer interpolierten Oberfläche der Starkniederschläge wird über einige Zwischenschritte in spezifischer Abfolge verlaufen:

Datenerfassung, Kontrolle, Aufbereitung

Explorative Datenanalyse

Interpolation

Evaluierung der Methode (Parameter)- neuerliche Interpolation

Klassifizierung und kartographische Darstellung

Analyse und Interpretation

Die Erfassung, Kontrolle und Aufbereitung erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Meteorologie im Nationalpark Kalkalpen“ (siehe dazu G. MAHRINGER, M. BOGNER und T. LEHNER, 1996 sowie den entsprechenden Bericht des Jahres 1997). Die Explorative Analyse der Starkniederschlagsdaten wurde im **Kapitel 2** des vorliegenden Berichtes durchgeführt. Der nächsten beiden Schritte in der schematischen Abfolge bezieht sich auf die Auswahl der Interpolationsmethode und deren Durchführung. Im **Kapitel 4** wird die Klassifizierung und kartographische Darstellung beziehungsweise den Aufbau des gegenständlichen ArcView-Projcts „Starkniederschlag“ beschreiben.

Der letzte Punkt in der schematisch dargestellten Abfolge, die inhaltliche Analyse und Interpretation der interpolierten Oberflächen aus meteorologischer Sicht, wird durch die Meteorologen des Forschungsprojektes erfolgen.

3.1 Methoden der räumlichen Interpolation

Für die Schätzung kontinuierlicher Oberflächen stehen prinzipiell eine Reihe von Interpolationstechniken zur Verfügung. D. WATSON (1992) gibt einen umfassenden Überblick über den wild wuchernden Dschungel an Varianten und Varianten von Varianten. Die tatsächlichen Möglichkeiten werden aber durch die verwendete Software von vornherein stark eingeschränkt. In der im Nationalpark Kalkalpen in Verwendung stehenden GIS-Software ArcView sind dies die Verfahren TREND

(Polynomiale Regression), IDW (Inverse distance weighting) KRIGING und SPLINE. Andere Produkte, die speziell dem Zweck der räumlichen Interpolation dienen, bieten mehr beziehungsweise zusätzliche Techniken an. Das Surface Mapping System Surfer umfaßt insgesamt 8 verschiedene Techniken, die aber teilweise ident sind mit jenen, die ArcView zur Verfügung stellt. Neben der schon angeführten Einschränkung auf die zur Verfügung stehenden Softwarepakete – im Fall des vorliegenden Projektes ArcView und Surfer - wird die Wahl der geeigneten Technik von den Besonderheiten der zur Verfügung stehenden Daten abhängig sein. Für die Zwecke der Interpolation der Starkniederschläge wurden eine Reihe von Techniken der angeführten Softwareprodukte in Hinblick auf eine entsprechende Tauglichkeit überprüft. Die wichtigsten davon werden daher kurz mit ihren Stärken und Schwächen dargestellt.

TREND (ArcView, Surfer) ist ein globaler Interpolator. Vergleichbar zu einer Regressionslinie wird eine Fläche durch den Raum gelegt, welche die gesamte Punktwolke, die verschiedenen Stationen des Meßnetzes, am besten repräsentiert. Selbst bei Polynomen höherer Ordnung gehen lokale Erscheinungen in der Darstellung großräumiger Trends und Muster unter. Die Technik TREND ist deshalb nicht geeignet für die Schätzung regional differenzierender Oberflächen.

Beim Verfahren IDW (ArcView, Surfer), ebenso wie die nachfolgenden Techniken ein lokaler Interpolator, verläuft die interpolierte Oberfläche exakt durch die Werte an den Stützpunkten, die zur Interpolation herangezogen wurden. Die Technik beruht auf der für alle Interpolationsverfahren unabdingbaren Grundannahme, daß räumlich benachbartes einander ähnlicher sein wird, als räumlich weit voneinander entferntes: je näher ein bestimmter Punkt mit unbekannter Wertausprägung zu einem Punkt mit bekannter Wertausprägung ist, desto ähnlicher werden die Werte dieser beiden Punkte sein. IDW ist ein eher simpler, aber sehr rascher Interpolator, dessen grundsätzliche Technik verhältnismäßig leicht erklärt werden kann - wohl mit ein Grund für seine große Beliebtheit. Ein besonderes, häufig negatives Charakteristikum von IDW ist die Erzeugung sogenannter „bull-eyes“ um die Positionen der Stützpunkte. Dabei gruppieren sich die interpolierten Isoplethen annähernd kreisförmig um die Datenpunkte, die zur Interpolation herangezogen wurden.

KRIGING (ArcView, Surfer) gilt als sehr flexible Methode, die häufig die beste Interpretation der Daten zu liefern imstande ist. Als Vorverarbeitung zur Gewinnung der notwendigen Parametereinstellungen des Verfahrens ist die Durchführung einer sogenannten Explorativen Variographie unumgänglich. Um

diese durchführen zu können, ist eine entsprechend hohe Anzahl an Stützpunkten notwendig. Dieser Anspruch ist trotz des dichten Stationsnetzes im Bereich des Nationalparks nicht ausreichend erfüllt. Zudem setzt das Verfahren im wesentlichen eine homogene Variabilität der Werte über den Raum - a-räumlich betrachtet möglichst eine Normalverteilung - voraus. Stets dann, wenn in den Werten extreme Ausreißer vorhanden sind, müssen entweder die vorhandenen Daten vor der Interpolation durch eine reversible Transformation an eine Normalverteilung herangeführt werden oder es wird auf ein diesbezüglich weniger anspruchsvolles Interpolationsverfahren ausgewichen.

Eine mit SPLINE (ArcView) konstruierte Oberfläche ist einer dünnen Platte vergleichbar, die approximativ die Interpolationsstützpunkte ansteuert und durch diese zu Auf- und/oder Abstieg gezwungen wird. Dabei gilt für alle Interpolationstechniken, die auf Splinefunktionen beruhen, daß die konstruierte Raumkurve so nahe und zugleich so glatt als möglich an die Datenpunkte heranführen soll. Andere Ansätze der Interpolation mittels Splinefunktionen - Thin Plate Spline (Surfer), Minimum Curvature (Surfer) - erfüllen zwar diese beiden Forderungen, produzieren aber in Gebieten mit hoher Variabilität der Werte markante „Overshoots“. Die interpolierte Oberfläche übersteigt dabei weit den durch die Minimal- und Maximalwerte der Eingangsdaten definierten Wertebereich. Durch die Einbringung spezieller Parameter („tension“, „smoothing“) kann dieser Effekt reduziert beziehungsweise unterdrückt werden. Die Anpassung der Interpolationsfunktion an die Datenpunkte vollzieht sich durch Aufteilung des Untersuchungsgebietes in kleinere rechteckige Teilgebiete gleicher Größe von denen jedes eine bestimmte Mindestanzahl an Stützpunkten enthalten muß. Die geringe Anzahl an Stützpunkten im Beobachtungsjahr 1996 ermöglichen eine solche Regionalisierung der Interpolationsfunktion in nur sehr beschränktem Ausmaß.

Die Interpolation nach SHEPARD (Surfer) ist eine „inverse distance weighted least square“ Technik und als solche ähnlich der Interpolation mit IDW (inverse distance weighted). Im Gegensatz zu IDW reduziert SHEPARD aber die Erzeugung artifizierlicher „bull-eyes“. Nachteilig ist, daß die interpolierte Oberfläche den durch Minima und Maxima der Daten definierten Wertebereich unter Umständen deutlich über- oder unterschreiten kann.

Die Interpolation mittels einer RADIAL BASIS FUNCTION (Surfer) gilt als ein qualitativ besonders hochstehendes Verfahren, dessen Ergebnisse den Vergleich mit KRIGING nicht zu scheuen brauchen. RADIAL BASIS FUNCTIONS umfaßt eine Gruppe verschiedener Interpolationstechniken. Die verschiedenen zur

Auswahl stehenden Funktionen (multiquadratisch, Thin Plate Spline, invers multiquadratisch, etc.) fließen als Gewichte in die Schätzung ein und können analog zum Variogramm im KRIGING-Verfahren gesehen werden. Die multiquadratische Funktion gilt als eine der bewährtesten Techniken innerhalb der RADIAL BASIS FUNCTIONS. Die Anpassung der Oberfläche an die räumliche Variabilität der Daten, die der Interpolation zugrunde liegen, erfolgt über einen eigenen Parameter (R^2 -Parameter). Je größer dieser gesetzt wird, desto „glatter“ verlaufen die interpolierten Isoplethen. Für die Bestimmung eines optimalen Wertes für R^2 gibt es keine allgemein akzeptierte Regel. Als Anhalt für erste Versuche wird häufig die durchschnittliche oder halbe Distanz der Datenpunkte zueinander herangezogen.

Andere Interpolationstechniken, wie z.B. TRIANGULATION/LINEARE INTERPOLATION (Surfer) oder NEAREST NEIGHBOR (Surfer) liefern wegen der geringen Anzahl von Stützpunkten unbrauchbare Ergebnisse und scheiden somit von vornherein für die Interpolation der Starkniederschläge im Nationalpark Oö. Kalkalpen aus. Auf eine Beschreibung dieser Techniken wird daher verzichtet.

3.2 Evaluierung der prädiktiven Fähigkeiten der Interpolationsmethoden

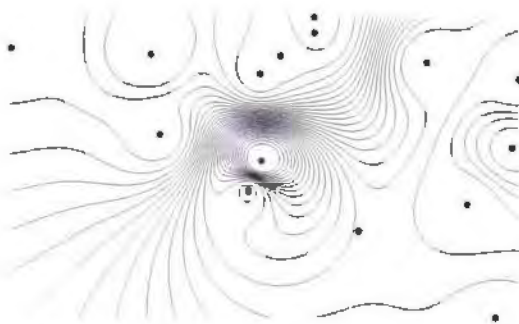
Die Einschränkung auf die in ArcView und Surfer zur Verfügung stehenden Techniken sowie die im **Kapitel 2** angeführten Besonderheiten der Daten schränken die tatsächlich in Frage kommenden Verfahren stark ein. Im wesentlichen wurden 3 Verfahren in die engere Auswahl gezogen: IDW, SHEPARD und RADIAL BASIS FUNCTIONS wobei letztere, wie schon erwähnt, eine ganze Reihe von Techniken umfassen. Besonders Augenmerk wurde bei diesen auf die multiquadratische Funktion gelegt.

Mit den Mitteln geographischer Informationsverarbeitung ist sowohl die Konstruktion als auch die kartographische Darstellung von interpolierten Oberflächen verhältnismäßig einfach. Vielfach bleibt dabei aber die Frage der Güte der eingesetzten Methoden und Parameter und die Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Methode unklar.

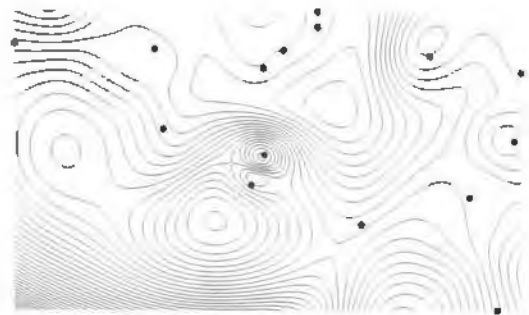
„Unfortunately, all too often the black box of the computer, as well as the software it houses, provides attractive graphical output that is accepted uncritically, in part because the neatly printed output looks so authoritarian and contains generic, appealing titles“ (D.A. GRIFFITH und C.G. AMRHEIN 1991, S 415).

Absolut unverzichtbar für das erfolgreiche Konstruieren von Oberflächen ist eine intersubjektiv nachvollziehbare Prüfung der Qualität der Interpolationen beziehungsweise der Methoden, mit denen diese erstellt wurden (J. HU 1995, o.S., E.H. ISAAKS und R.M. SRIVASTAVA 1989, S 249-277).

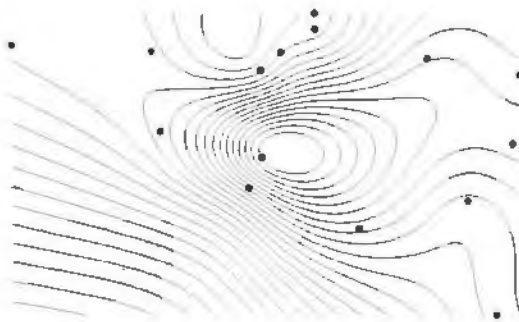
Die Auswahl zwischen diesen Verfahren vollzog sich zum einen durch Überprüfung einer allgemeinen Plausibilität der Ergebnisse, zum anderen mittels ausgiebiger Tests auf das Ausmaß ihre prädiktiven Fähigkeiten den Niederschlagswert für bestimmte Stichprobenpunkte zu bestimmen. Methode und Ergebnisse des Auswahlverfahrens werden nachfolgend exemplarisch am Starkniederschlagsereignis vom 28. 7. 1996 (20 Minuten) dargestellt.



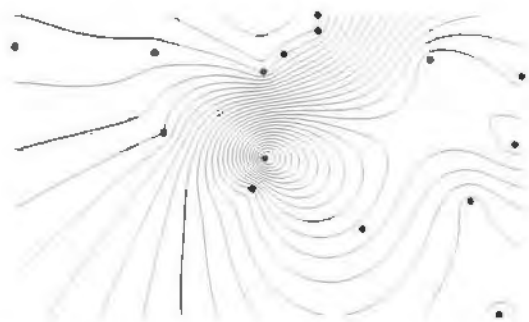
(a) Interpolation mit IDW



(b) Interpolation mit Shepard



(c) Interpolation mit Radial Basis Function
(Thin Plate Spline)



(d) Interpolation mit Radial Basis Function
(multiquadratisch)

Abb. 3.1: Interpolation des Starkniederschlagsereignisses vom 28.7.1996 (20 Minuten) - Prüfung auf Plausibilität.

(a) Die Interpolation mit IDW ist stark durch Bull-Eye's geprägt. (b) Dieser Effekt wird bei Interpolation mit Shepard's Technik reduziert. Dafür verhält sich die Oberfläche in Bereich mit geringer Stützpunktdichte unkontrollierbar und zeigt Werte weit unter Null (-41) an. (c) Die Interpolation mit Radials Basis Function (Thin Plate Spline) weist keinerlei Bull-Eye-Effekte auf. Aber auch bei diesem Verfahren sind höhere negative Werte (-12) nicht auszuschließen. (d) Im Gegensatz dazu unterbleibt bei einer Interpolation mit Radial Basis Function (multiquadratisch) auch in schlecht abgestützten Bereichen die Generierung markanter Overshoots. Auch prägen keinerlei artifizielle „Bull-Eye's die interpolierte Oberfläche.

Letzteres erfolgte über das Verfahren der sogenannten „Cross Validation“. Cross Validation überprüft die Qualität der Interpolationsmethode und deren verschiedene Parametereinstellungen an den Positionen der in die Interpolation einfließenden Niederschlagsmeßwerte. Dazu wird ein Meßwert an einer bestimmten Position vorübergehend aus der Menge aller Meßwerte entfernt. Mit den verbleibenden Daten wird unter Auswahl einer bestimmten Methode und bestimmten Parametern dieser Methode interpoliert. Der nicht in die Interpolation einfließende Meßwert fungiert als Prüfgröße. Er enthält den wahren Wert eines Phänomens an einer bestimmten Position. Derart wird nun jeweils ein Meßwert, und zwar immer ein anderer, aus der Menge der Stützpunkte entfernt und mit der einmal gewählten Methode und Parametereinstellungen interpoliert. Am Ende wurde jeder Meßwert einmal nicht in die Interpolation einbezogen. Dadurch existiert für jeden „wahren“ Wert ein Schätzwert. Jene Methode beziehungsweise jene Parametereinstellungen sind dann die „Besten“, die die geringste Differenz zwischen den „wahren“ und den geschätzten Werten aufweisen.

Im **Kapitel 2** wurde schon auf den Umstand hingewiesen, daß sich auf Grund der wenigen zur Verfügung stehenden Stützpunkte Probleme bei der Auswahl der „besten“ Interpolationstechnik beziehungsweise Parameter ergeben. Dies bezieht sich vor allem auf die Interpolationen der Starkniederschläge des gesamten Beobachtungszeitraumes 1996, die sich nur auf 14 beziehungsweise (ab 21. August) 15 Stationen stützen können. Räumliche Interpolation als Schätzprozeß basiert auf einer mehr oder minder großen Anzahl bekannter Datenwerte. Ausgehend von diesen Werten und unter expliziter Einbeziehung ihrer konkreten räumlichen Position wird versucht, sozusagen zwischen diesen Datenpunkten eine Schätzoberfläche aufzuspannen. Probleme ergeben sich, wenn die zu interpolierende Oberfläche über die „Punktwolke“ hinaus ausgebreitet werden soll. Eine solche Vorgehensweise kann nicht mehr als Interpolation, also als Schätzung von Werten zwischen empirisch nachweisbaren Daten, angesprochen werden. Selbstverständlich sind die Ergebnisse derartige Extrapolationen von wesentlich geringerer Verlässlichkeit und daher möglichst zu vermeiden. Die geringe Stützpunktzahl bis August 1997 bewirkt, daß in gewisser Weise alle Stützpunkte am Rand des Untersuchungsgebietes zu liegen kommen. Wie schon im **Kapitel 2.2** erwähnt, definieren sich die zur Auswahl stehenden Interpolationstechniken ihr Untersuchungsgebiet beziehungsweise die zu schätzende Oberfläche als ein die Datenpunkte umschließendes Rechteck, dessen Umfang durch die in den Haupthimmelsrichtungen am exponiertesten gelegenen vier Datenpunkte festgelegt wird. Die Entfernung eines einzigen Datenpunktes, wie sie im Verfahren der Cross Validation erfolgt, verkleinert nun in Relation zur räumlichen Ausdehnung der gesamten Punktwolke der Stützpunkte deren „Innenraum“. Dies kann lokal und in

Abhängigkeit von der gewählten Interpolationstechnik ein mehr oder minder unkontrolliertes „Verhalten“ der interpolierten Oberfläche nach sich ziehen. Eine Prüfung der Qualität einer bestimmten Technik oder Parametereinstellung kann sich daher nicht alleine auf das quantitative Argument der kleineren oder größeren Differenzen zwischen „wahren“ und geschätzten Werten berufen. Die angesprochenen Probleme gelten vor allem auf das bis August 1997 bestehende kleinere Meßnetz. Dessen Ausbau auf 31 Stationen erbrachte auch in Hinblick auf Auswahl von Technik und Parametereinstellungen bedeutende Verbesserungen.

Im allgemeinen aber kann durch den Vergleich der wahren Werten mit den an gleicher Position befindlichen geschätzten Werte, wie es das Verfahren der Cross Validation ermöglicht, die Güte der mittels unterschiedlicher Methoden und Parameter konstruierten Oberflächen statistisch-deskriptiv gegeneinander abgewogen und eine intersubjektiv begründbare Entscheidung für oder wider eine bestimmte Methode getroffen werden. Für die 71 Interpolationen der Starkniederschläge in den Beobachtungsjahren 1996 und 1997 wurden eine Vielzahl verschiedener Varianten mit unterschiedlichen Methoden (IDW, Shepard, Radial Basis Function: Thin Plate Spline, Radial Basis Function: multiquadratisch) und Parameterausprägungen berechnet und deren prädiktiven Fähigkeiten entsprechend den angeführten Kriterien bewertet. Resultate mit augenscheinlich unrealistischen Werten, im Besonderen mit extremen Über- oder Unterschätzungen, konnte von vornherein von jeder weiteren Qualitätsuntersuchung ausgeschlossen werden. Die Einbindung des Stichprobenpunktes in die letztgültige Schätzung, also die Interpolation mit allen Stützpunkten, erzwingt lokal die Anpassung der Oberfläche auch an dessen Wertposition. Das so erzielte Ergebnis wird in einem nicht näher zu quantifizierenden Ausmaß eine Verbesserung der Interpolation darstellen.

3.2.1 Univariate Verteilung der Schätzwerte

Die Verteilung der wahren Werte kann mit der Verteilung der an gleicher Lokation befindlichen geschätzten Werte, die durch Interpolation mit den verbliebenen Datenpunkten erzeugt wurden, verglichen werden (Cross Validation). Eine gelungene Interpolation wird geschätzte Werte produzieren, deren Verteilung ähnlich ist zur Verteilung der wahren Werte. Üblicherweise werden die arithmetischen Mittel der beiden Verteilungen miteinander verglichen. Das Heranziehen anderer statistischer Parameter (z.B. Median, Standardabweichung etc.)

kann ebenfalls Hinweise auf die den Daten am ehesten gerecht werdende Interpolationsmethoden geben.

Tab. 3.1: Vergleich der Verteilungen wahrer und geschätzter Werte des Starkniederschlages vom 28. 07. 1996 (20 Minuten)

	Wahr	IDW (Power 2)	Shepard	RBF multiquadratisch (R^2 500)
<i>n</i>	14	14	14	14
<i>m</i>	4,56	4,658	0,719	4,544
<i>s</i>	4,11	6,714	13,813	6,327
<i>Q1</i>	0,88	0,284	-1,00	0,403
<i>Md</i>	3,95	2,333	2,893	2,134
<i>Q3</i>	7,45	8,623	6,920	7,460
<i>min</i>	0,4	-0,771	-40,981	-1,554
<i>max</i>	14,1	22,886	19,724	22,582
<i>IQ</i>	6,57	8,339	7,92	7,057
<i>QDk</i>	0,79	0,936	1,338	0,898
<i>Vk</i>	0,9	1,441	19,211	1,392
<i>Sch</i>	0,89	1,699	-2,218	2,013

Abkürzungsschlüssel: *n* Anzahl der Stationen; *m* arithmetisches Mittel, *s* Standardabweichung, *Q1* 1. Quartil, *Md* Median, *Q3* 3. Quartil, *min* kleinster Wert, *max* größter Wert, *IQ* Interquartilsabstand, *QDk* Quartildispersionskoeffizient, *Vk* Variationskoeffizient, *Sch* Schiefe

In Summe ist die Ähnlichkeit zwischen den Verteilungen (wahre versus interpolierte Niederschlagswerte) bei den Interpolationstechniken IDW (Power 2) und Radial Basis Function (multiquadratisch) als bemerkenswert hoch einzustufen. Insbesondere das arithmetische Mittel als Maß der zentralen Tendenz weist bei den beiden genannten Techniken eine bemerkenswerte Nähe zu jenem der empirisch gemessenen Werte auf. Demgegenüber ist bei der Interpolation mit Shepard zwischen den Mittelwerten der beiden Verteilungen (wahre vs. mit Shepard geschätzte Werte) eine doch sehr deutliche Differenz ausgebildet. Dies ist auf den extremen Minimalwert (-40,981) der mit Shepard interpolierten Werte zurückzuführen – eine Folge des unkontrollierten „Verhaltens“ in Bereichen mit geringer Stützpunktdichte (siehe dazu auch **Abbildung 3.1**).

Zwar produzieren auch IDW und Radial Basis Function (multiquadratisch) Werte, welche die Minima und Maxima der Niederschlagsmessungen über- oder

untersteigen, dies aber nur in vergleichsweise geringem Ausmaß. Allerdings muß auch zur Kenntnis genommen werden, daß vor allem Gebiete mit hohen Niederschlagsmengen potentiell in höherem Maße fehlgeschätzt werden können.

Der Vergleich der Quartile sowie der absoluten und relativen Streuungsmaße deutet darauf hin, daß die Interpolation mit der gewählten Radial Basis Function im Vergleich zu IDW im Bereich der mittleren Werte eine etwas bessere Übereinstimmung zur Verteilung der wahren Werte aufzuweisen scheint. Selbstverständlich werden auch die Streuungswerte bei den mittels Shepard geschätzten Werten durch den negativen Overshoot entsprechend beeinflusst und weichen daher nicht unbeträchtlich von jenen der wahren Werte ab.

3.2.2 Univariate Verteilung der Fehlschätzungen (Residuen)

Jedem an einer bestimmten Lokation befindlichem wahren Wert wW ist ein an gleicher Lokation befindlicher geschätzter Wert gW zuzuordnen. Die Differenz zwischen den an gleicher Lokation befindlichem wahren und geschätzten Wert bildet den lokalen Fehler der Schätzung:

$$\text{Schätzfehler } F = wW - gW$$

Ist F positiv, ist der geschätzte Wert im Vergleich zu dem an gleicher Lokation befindlichen wahren Wert zu niedrig, die Oberfläche bleibt lokal hinter der durch den wahren Wert definierten tatsächlichen Lage zurück (lokale Unterschätzung). Ist F hingegen negativ, ist der Schätzwert zu hoch, die Oberfläche übersteigt lokal die tatsächliche Lage (lokale Überschätzung).

Anzustreben ist die Konstruktion einer Oberfläche, bei der die Distanz zwischen wahren und geschätzten Werten möglichst klein ist. Im Idealfall, der in der Realität allerdings nie erreicht wird, ist die Summe der Distanzen gleich Null. Diese Distanzen werden auch als Residuen bezeichnet.

Die Abweichung des arithmetische Mittels in einer Fehlverteilung von der Achse „wahrer Wert minus geschätzter Wert = Null“ bezeichnet man als Verzerrung (bias). Verteilungen, bei denen das arithmetische Mittel und der Nullwert der Verteilung zusammenfallen, gelten als verzerrungsfrei. Um einer tendenziellen

Fehlschätzung vorzubeugen, werden jene Methoden vorzuziehen sein, bei der die Residuen der Fehlerverteilung verzerrungsfrei sind (siehe **Abbildung 3.2**).

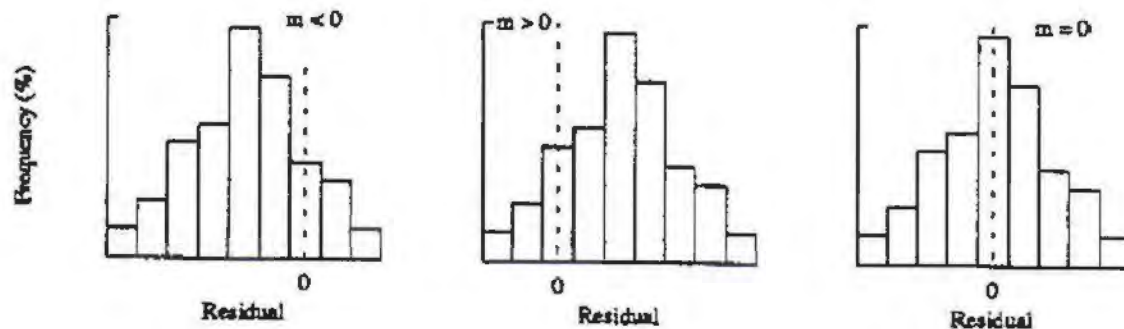
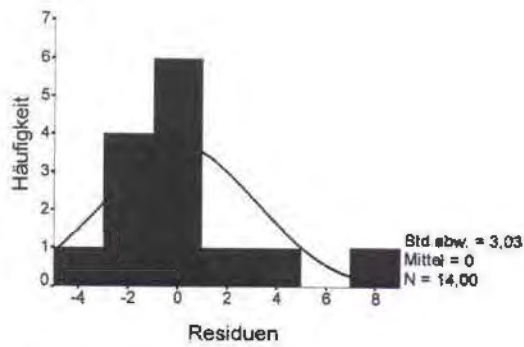


Abb. 3.2: Hypothetische Residuenverteilungen mit unterschiedlicher Verzerrung (Quelle: ISSAKS und SRIVASTAVA, 1989, S 261).

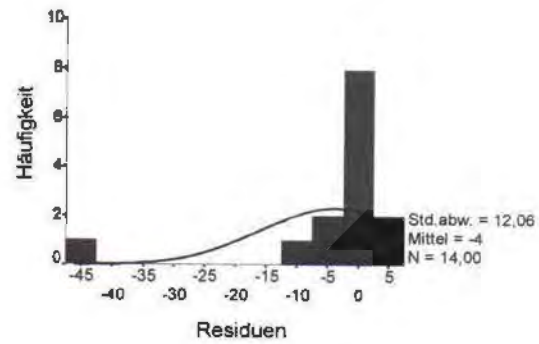
Die linke Verteilung mit einem negativen Mittelwert deutet eine Tendenz zur Überschätzung an. Die mittlere Verteilung demonstriert den gegenteiligen Fall. Der positive Mittelwert resultiert aus einer Tendenz zur Unterschätzung. Bei der rechten Verteilung befinden sich Über- und Unterschätzung im Gleichgewicht, daher ist das arithmetische Mittel der Residuen gleich Null.

Eine Verteilung kann auch verzerrungsfrei sein, wenn das arithmetische Mittel wegen der Kombination vieler kleiner Unterschätzungen mit einigen wenigen hohen Überschätzungen gleich Null ist. Eine solche schiefe Verteilung würde ebenfalls tendenziell eine Verzerrung der geschätzten Oberfläche implizieren. Daher wird im allgemeinen auch eine annähernd symmetrische Verteilung Auswahlkriterium für eine geeignete Interpolation sein (siehe **Abbildung 3.3** und **3.4**).

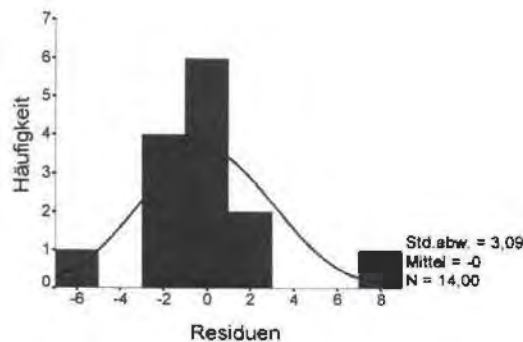
Im Idealfall liegen auch andere Maße der zentralen Tendenz - Modus und Median - gemeinsam mit dem arithmetischen Mittel der Fehlerverteilung bei Null. Dies verspricht ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Über- und Unterschätzung. Als weitere Auswahlkriterien können Streuungsmaße, Interquartilsabstand IQ und Standardabweichung s , herangezogen werden.



(a)



(b)



(c)

Abb. 3.3: Histogramme der Residuen (Fehlschätzungen) des Starkniederschlages vom 28.07.1996 (20 Minuten) bei Einsatz verschiedener Interpolationstechniken (IDW, Shepard, RBF).
(a) Verwendung von IDW (Power 2); (b) Verwendung von Shepard; (c) Verwendung von Radial Basis Functions (multiquadratisch, $R^2 = 500$);

Weder die Schätzung mittels IDW noch jene mit Radial Basis Function (multiquadratisch) ist durch eine globale Über- oder Unterschätzungen wesentlich geprägt (siehe **Abbildung 3.3** und **3.4**). Dabei muß das Ausmaß der Verzerrungen in Abhängigkeit von der Höhe der Differenz zwischen wahren und geschätzten Niederschlagswerten, diese wiederum in Bezug auf die Höhe der örtlich gemessenen Niederschlägen gesehen werden. Beide Techniken zeigen eine nur sehr schwach ausgebildete Tendenz in Richtung einer systematischen Fehlschätzung. Diese erfolgt im Bereich der höheren Werte in Richtung einer Überschätzung der örtlichen Niederschlagsmenge. Dies scheint bei IDW im Vergleich zur Interpolation mit Radial Basis Function (multiquadratisch) etwas ausgeprägter zu sein. Dies ist sowohl aus den **Abbildungen 3.3** und **3.4** als auch aus den Werten der **Tabelle 3.2** – insbesondere dem leicht differierenden arithmetischem Mittel mit positivem (IDW) beziehungsweise negativem (RBF) Vorzeichen - zu entnehmen.

Im Vergleich zu diesen beiden Verfahren zeigt Shepard eine doch sehr massive Tendenz für eine Unterschätzung im Bereich der niedrigen Meßwerte. Das Ausmaß der Verzerrung der Residuenverteilung, die in den **Abbildungen 3.2 und 3.3** unübersehbar zum Ausdruck kommt, äußert sich quantitativ vor allem im negativen arithmetischen Mittel (-3,8) und dem hohen negativen Wert für die Schiefe (-3,1).

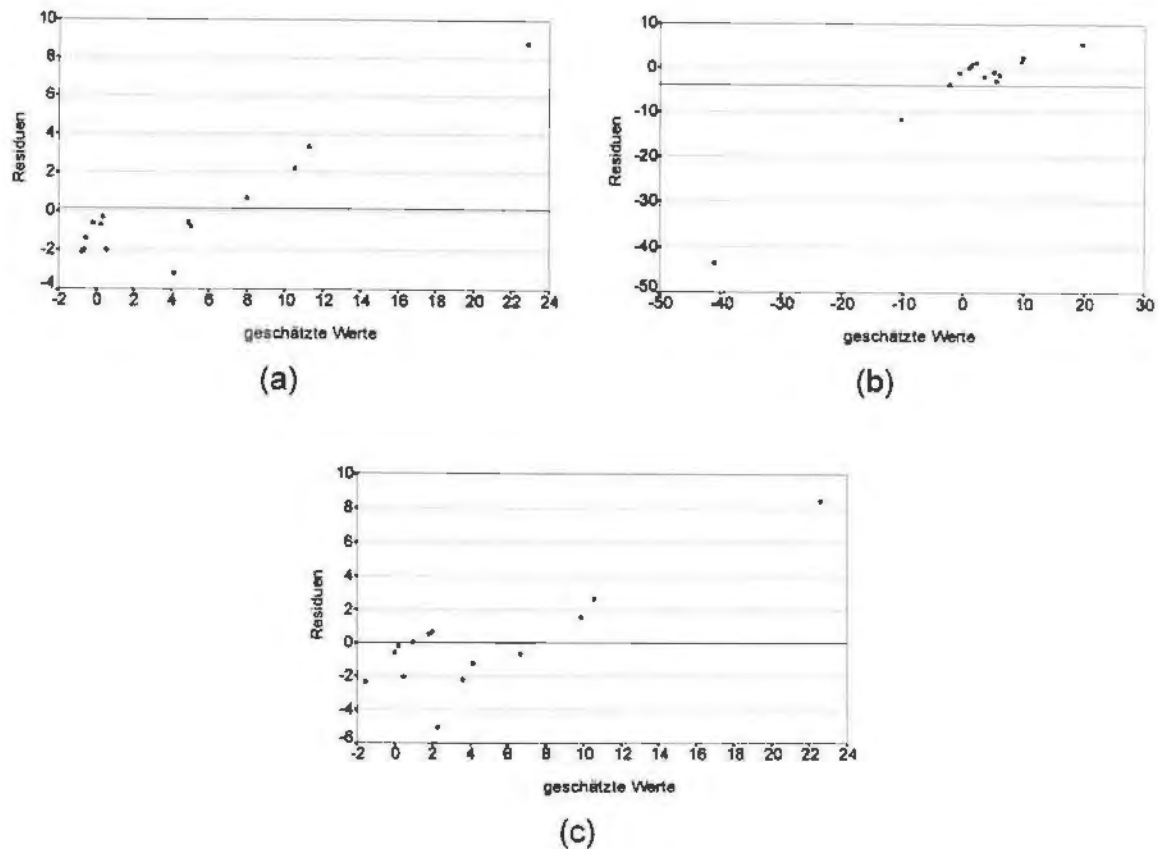


Abb. 3.4: Bivariate Streudiagramme Residuen (Fehlschätzungen) vs. geschätzte Werte des Starkniederschlages vom 28.07.1996 (20 Minuten) bei Einsatz verschiedener Interpolationstechniken (IDW, Shepard, RBF).

Die Distanz der Datenpunkte zur Achse „wahrer Wert minus geschätzter Wert = Null“ informiert über die Qualität der Interpolation. Der Verlauf der Y-Mittelwertlinie bietet optische Orientierung über Ausmaß und Richtung der Abweichung des arithmetischen Mittels der Residuen von der Null-Achse (positive od. negative Verzerrung).

(a) Residuen vs. geschätzte Werte bei Verwendung von IDW (Power 2); (b) Residuen vs. geschätzte Werte bei Verwendung von Shepard; (c) Residuen vs. geschätzte Werte bei Verwendung von Radial Basis Functions (multiquadratisch, $R^2 = 500$);

Tab. 3.2: Vergleich der Fehlschätzungen der mit verschiedenen Techniken interpolierten Oberfläche des Starkniederschlags vom 28. 07. 1996 (20 Minuten)

	IDW (Power 2)	Shepard	RBF (multiquadratisch)
<i>n</i>	14	14	14
<i>m</i>	0,120	-3,845	-0,20
<i>s</i>	3,031	12,058	3,090
<i>Q1</i>	-1,976	-2,953	-2,071
<i>Md</i>	-0,628	-0,834	-0,388
<i>Q3</i>	1,073	1,537	0,903
<i>min</i>	-3,155	-43,481	-5,015
<i>max</i>	8,786	5,624	8,482
<i>IQ</i>	3,049	4,490	2,975
<i>Sch</i>	2,015	-3,125	1,462

Abkürzungsschlüssel: *n* Anzahl der Stationen; *m* arithmetisches Mittel, *s* Standardabweichung, *Q1* 1. Quartil, *Md* Median, *Q3* 3. Quartil, *min* kleinster Wert, *max* größter Wert, *IQ* Interquartilsabstand, *Sch* Schiefe

3.2.3 Bivariate Verteilung von geschätzten und „wahren“ Werten

Optisch gute Einblicke in die Qualität der vorgenommenen Schätzung vermitteln Korrelationsdiagramme mit Eintragung der wahren versus die geschätzten Werte (siehe **Abbildung 3.5**). Bei einer perfekten Schätzung würden wahre und geschätzte Werte exakt an stetig steigenden Geraden liegen. In der Realität werden aber bei jeder Interpolation Fehlschätzungen zu verzeichnen sein. Daher wird bei jedem Korrelationsdiagramm wahrer versus geschätzter Werte diese Diagonale von einer mehr oder minder gut an sie angepaßten Punktwolke flankiert.

Je exakter die gewählte Methode Schätzungen produziert, die so nahe als möglich an der Linie „wahrer Wert wW = geschätzter Wert gW “ verlaufen, desto besser geeigneter ist sie für die letztgültige Interpolation.

Das Ausmaß des Zusammenhanges zwischen den empirisch an den Stationen des Meßnetzes erhobenen Niederschlagswerte und den mittels verschiedener Techniken interpolierten Werten (IDW, Shepard, RBF) läßt sich auch quantitativ in Form eines Korrelationskoeffizienten ausdrücken. Wie bereits in den Kapiteln 2.1

und 2.3 erörtert, weichen die an den Stationen registrierten Niederschlagswerte teilweise beträchtlich von einer Normalverteilung ab. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten erfolgt daher wieder mittels des verteilungsunabhängigen Rangkorrelationskoeffizient nach SPEARMAN.

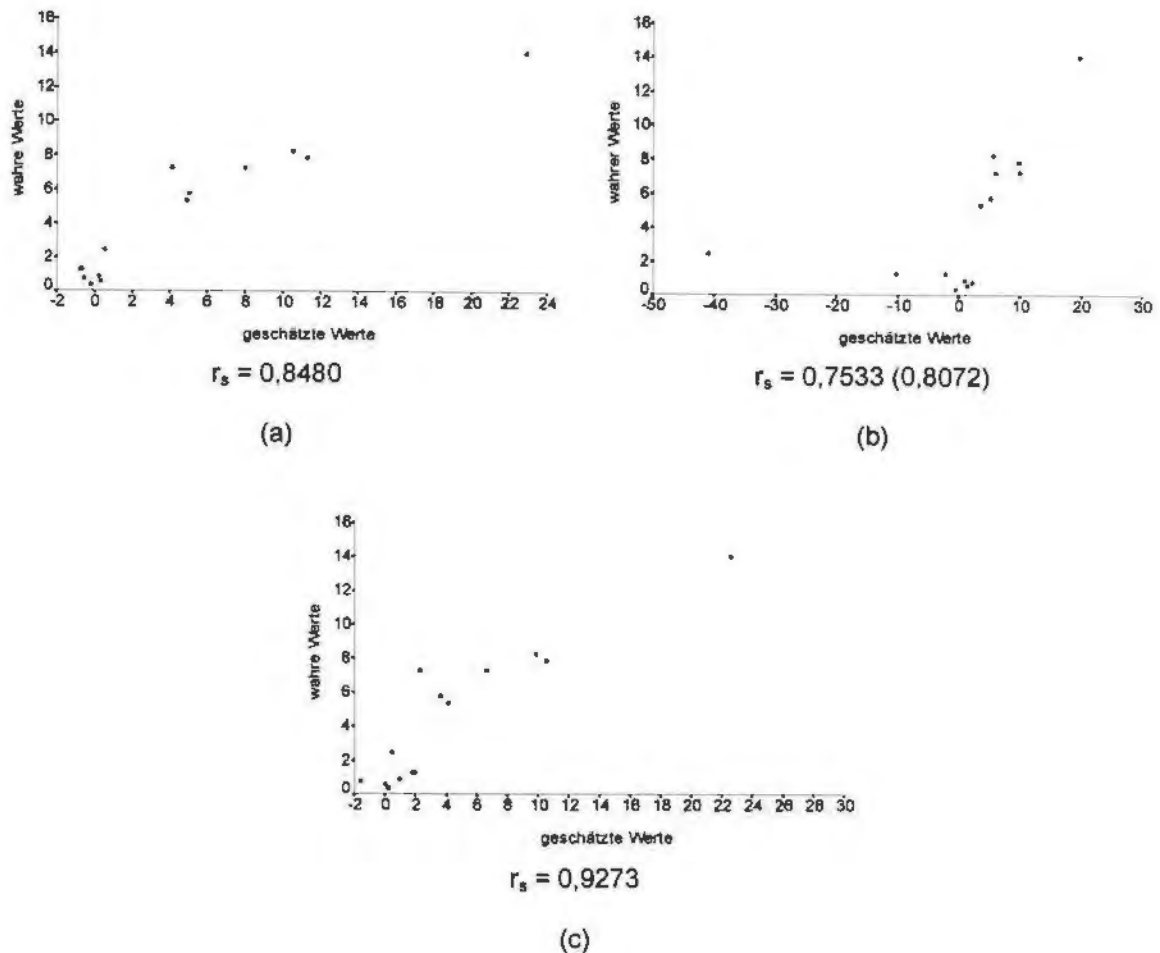


Abb. 3.5: Korrelationsdiagramme wahre vs. geschätzte Werte des Starkniederschlages vom 28.07.1996 (20 Minuten) bei Einsatz verschiedener Interpolationstechniken (IDW, Shepard, RBF).. Die Position der Datenpunkte in Bezug auf die Hauptdiagonale bietet optische Orientierung über die Qualität der Interpolation.

(a) Verwendung von IDW (Power 2); (b) Verwendung von Shepard; (c) Verwendung von Radial Basis Functions (multiquadratisch, $R^2 = 500$);

SPEARMAN'S Rangkorrelationskoeffizient kann in diesem Zusammenhang als Maßzahl für die Nähe der Punkte zur Diagonale $wW = gW$ interpretiert werden. Eine Interpolation mit hohem Koeffizienten wird im allgemeinen anderen, durch niedrigere Werte gekennzeichnete Schätzungen, vorzuziehen sein. Dabei liegt der

Wert des Koeffizienten stets zwischen -1 und +1. Ist $r = +1$, liegen die Punkte exakt an der aufsteigenden Linie $wW = gW$. Ist $r_s < 1$, ist das Korrelationsdiagramm durch eine mehr oder minder gut an die Hauptdiagonale angepaßte Punktwolke gekennzeichnet. Je näher sich r_s Null annähert, desto diffuser erscheint die Punktwolke.

Bei allen drei Techniken ist global ein Zusammenhang zwischen den empirisch ermittelten Meßwerten und den für die an gleicher Position geschätzten Werten nachweisbar (siehe Abbildung 3.5). Die Stärke dieses Zusammenhangs ist allerdings bei den verschiedenen Techniken recht unterschiedlich. Nur bei Interpolation mit Radial Basis Function (multiquadratisch, $R^2 = 500$) liegt eine sehr hohe Korrelation vor ($r_s = 0,9273$). Die beiden anderen Techniken, IDW und Shepard, erreichen mit Koeffizienten von $r_s = 0,848$ (IDW) und $r_s = 0,7533$ (Shepard) nur mehr hohe Korrelation. Zwar bringt der Ausschluß des in der linken unteren Ecke der **Abbildung 3.5 (c)** unschwer erkennbaren extremen Ausreißers eine Erhöhung des Koeffizienten ($r_s = 0,8072$), dennoch bleibt der derart berechnete Koeffizient deutlich hinter den Werten von IDW und der verwendeten Radial Basis Function zurück.

3.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die Interpolation der Starkniederschlagsereignisse

Die Prüfung auf Plausibilität der Ereignisse, im Besonderen mittels des Verfahrens der Cross Validation, zur Bestimmung des „besten“ Verfahrens beziehungsweise der geeignetsten Parametereinstellungen erfolgte für eine Vielzahl unterschiedlicher Starkniederschlagsereignisse der Beobachtungsjahre 1996 und 1997. Dabei wurde darauf geachtet, daß Ereignisse unterschiedlicher Intensität und zeitlicher Dauer in die Prüfung einbezogen wurden.

Die mit IDW interpolierten Oberflächen reagierten in Summe auf die Entfernung eines einzelnen Punktes verhältnismäßig wenig. Derart geschwächte Bereiche der Schätzung zeigten nur eine mäßig ausgeprägte Tendenz zur örtlichen Über- oder Unterschätzung. Dies wirkt sich insbesondere positiv für das bis August 1997 bestehende weniger dichte Meßnetz aus. Allerdings sind alle Interpolationen durch artifizielle „Bull-Eye's“ bedingt, die stets Konsequenz dieser Interpolationstechnik sind.

Häufig empfohlene Richtwerte für die Power (Exponent für die Gewichtung der zur Schätzung herangezogenen Stützpunkte) liegen bei 2 oder 3. Den Prüfungsergebnissen zufolge reduzieren aber höhere Werte (Power 10 oder darüber) in Summe die Residuen. Die Ergebnisse verlieren aber insgesamt wesentlich an Plausibilität. So bewirken hohe Exponenten eine Art Aufteilung des Untersuchungsgebietes in Gebiete mit nur geringer Änderung der Wertausprägungen. Der Übergang von einem solchen Gebiet, dem „Einflußbereich“ einer bestimmten Meßstation, zum einem anderen solchen Gebiet, dem Einflußbereich einer anderen Meßstation, erfolgt dabei über extrem steile Gradienten (siehe **Abbildung 3.6**).

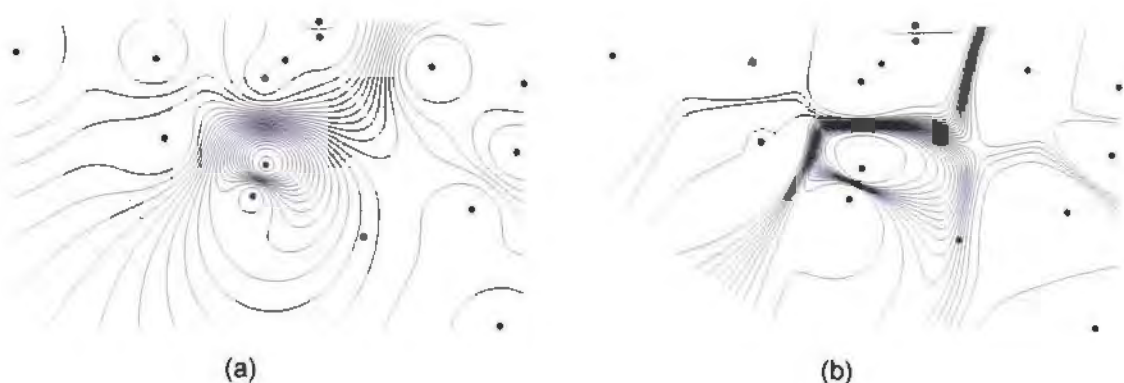


Abb. 3.6: Interpolation des Starkniederschlagsereignisses vom 28.07.1996 (20 Minuten).

Die Wahl des Exponenten für die Gewichtung der Stützpunkte, die zur Interpolation herangezogen werden, zeigt massive Auswirkungen auf das Ergebnis. (a) Interpolation mit IDW (Power 3). (b) Interpolation mit IDW (Power 10).

Die Schätzung der Niederschläge mittels Shepard's Interpolationstechnik wäre zwar geeignet den artifiziellen „Bull-Eye“-Effekt zu reduzieren oder gänzlich zu unterbinden. Problematisch ist aber die Tendenz dieser Methode zur Generierung von Overshoots in schlecht abgesicherten Bereichen. Die Verdichtung des Meßnetzes im Jahr 1997 erbrachte hier zwar einige Verbesserungen, konnte aber das Problem nicht gänzlich beziehungsweise nicht für alle Niederschlagsereignisse lösen. Shepard's Methode konnte daher ebenso wie alle anderen Verfahren, die zur Bildung von Overshoots neigen (Spline-Techniken wie Minimum Curvature, Thin Plate Spline u.a) nicht für die Interpolation der Starkniederschlagsereignisse herangezogen werden.

Die Interpolation mit einer multiquadratischen Radial Basis Function erbrachte qualitativ bei allen zur Prüfung herangezogenen Ereignisse zuverlässig gute

Ergebnisse. Die höhere Anzahl an Stützpunkten ab August 1997 verstärkt die Zuverlässigkeit und den qualitativen Vorsprung dieser Technik gegenüber den anderen in die Auswahl einbezogenen Methoden (IDW, Shepard, Thin Plate Spline, Minimum Curvature). Auf Grund dieser Ergebnisse wurde daher für die Interpolation aller Starkniederschlagsereignisse der Jahre 1996 und 1997 Radial Basis Function (multiquadratisch) herangezogen.

3.2.5 Interpolation mit Radial Basis Function (multiquadratisch)

Radial Basis Function als Interpolationstechnik steht in ArcView nicht zur Verfügung. Daher mußte auf die speziell dem Zweck der räumlichen Interpolation dienende Software Surfer ausgewichen werden. Für die räumliche Auflösung der Interpolation wurde ein „Spacing“ von 25 Meter gewählt. Dies entspricht der halben Auflösung des für den Nationalpark Oö. Kalkalpen vorhandenen digitalen Geländemodells. Nach Festlegung verschiedener Grundeinstellungen (Koordinaten, z-Werte, Dimension des Untersuchungsgebietes etc.) wird die Interpolationstechnik und in Folge deren Parameter ausgewählt (siehe **Abbildungen 3.7 und 3.8**).

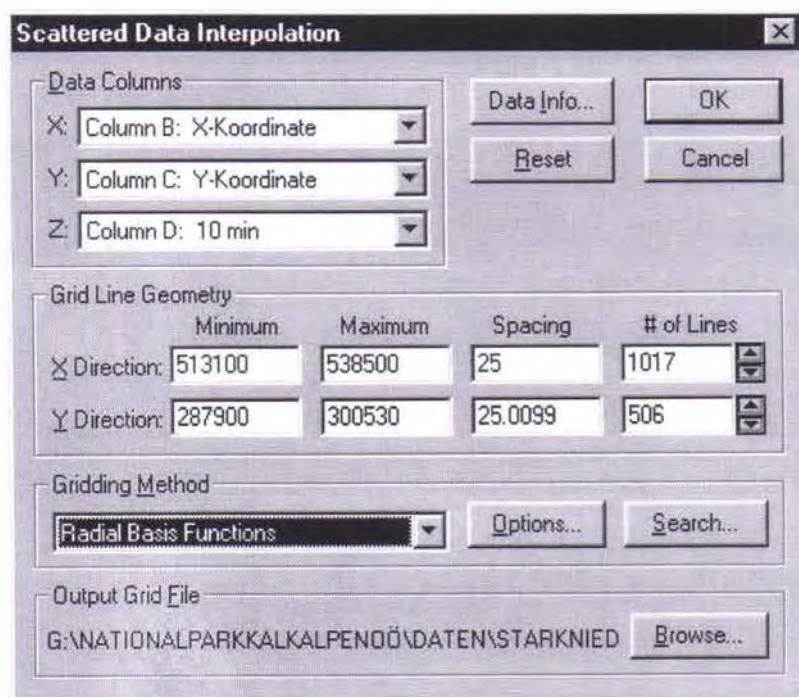


Abb. 3.7: Räumliche Interpolation mit Surfer. Auswahl bzw. Definition der für die Interpolation notwendigen Parameter (Koordinatenpaare, räumliche Auflösung, Interpolationsmethode usw.).

Im Besonderen bezieht sich dies auf die Auswahl der Basis Funktion, die für die Interpolation herangezogen wird (siehe **Abbildung 3.8**). Diese verteilt zwischen den Stützpunkten, die für die Schätzung herangezogen werden, die Gewichte der Schätzung. Dabei wird, dem Verlauf der Funktion folgend, den einzelnen Punkten unterschiedlicher Einfluß auf die örtliche Schätzung gegeben.

Weiters wird der Wert für R^2 festgelegt. Seine Erhöhung impliziert den Verzicht auf lokale Details (Glättung). Ein niedriger R^2 -Wert hingegen bewirkt lokal eine Art Aufrauung der Oberfläche. Dementsprechend ändert sich die Annäherung an die Interpolationsstützpunkte von einer eher träge verlaufenden Krümmung zu einer raschen und flexiblen Biegungsänderung.

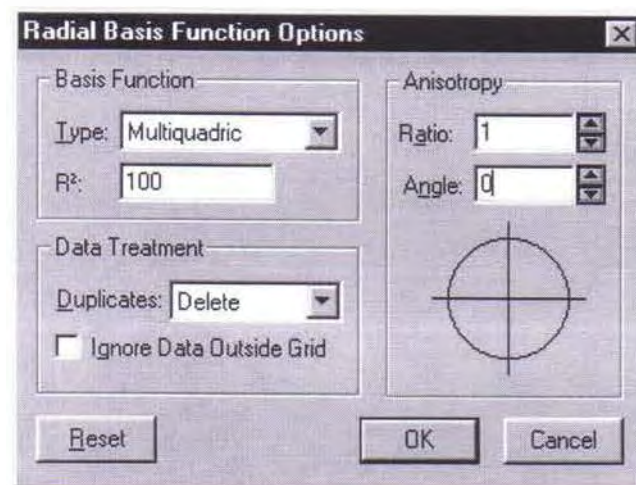


Abb. 3.8: Interpolation mit Radial Basis Function - Auswahl von Basis Funktion und R^2 .

Als Ausgangswert für R^2 wird häufig der durchschnittliche oder halbierte durchschnittliche Abstand der Stützpunkte zueinander gewählt. Für das „dünnere“ Meßnetz bis August 1997 wurden daher anfänglich Werte zwischen 3000 und 1500 erprobt. Den umfangreichen Prüfungen mittels Cross Validation zufolge werden aber die besten Ergebnisse mit deutlich niedrigeren Werten erzielt ($R^2 = 100$ bis 1000). Dieser Befund gilt auch für das ab August 1997 bestehende dichtere Meßnetz.

Die „Search Options“ dienen der Auswahl jener Stützpunkte, die lokal für die Schätzung eines bestimmten Punktes herangezogen werden (siehe **Abbildung 3.9**). Grundsätzlich besteht die Möglichkeit mittels eines geeigneten „Search Type“ („Simple“, „Quadrant“, „Octant“) die gewählte multiquadratische Funktion lokal an

die unterschiedlich positionierten Stützpunkte und deren Wertausprägungen anzupassen. Stehen für die Interpolation weniger als 250 Stützpunkte zur Verfügung empfiehlt sich für die Techniken aus der Gruppe der Radial Basis Functions alle Stützpunkte zur Schätzung zu verwenden.

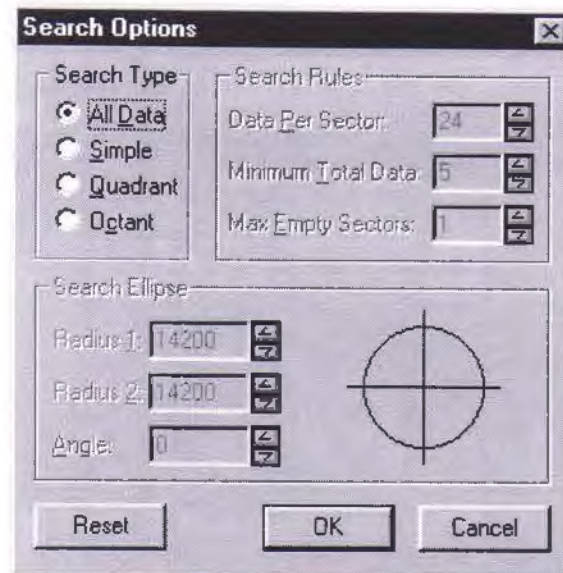


Abb. 3.8: Auswahl der Stützpunkte für die Interpolation.

Bei weniger als 250 Datenpunkte sollte im Interesse einer stabilen Schätzung eine lokale Anpassung der Funktion auf einige wenige ausgewählte Stützpunkte unterbleiben. In solchen Fällen empfiehlt es sich, alle Stützpunkte in die Schätzung eines Punktes einzubeziehen.

Surfer zerlegt im Rahmen der Interpolation das Untersuchungsgebiet in eine Reihe von „Zeilen“ und „Spalten“, deren Schnittpunkte von den jeweils in den 4 Haupthimmelsrichtungen benachbarten Schnittpunkten 25 Meter entfernt sind. Jedem dieser Schnittpunkte wird durch die Interpolation ein Schätzwert für den Starkniederschlag zugeordnet. Um die derart in Form eines regelmäßigen Rasters, eines sogenannten „Grids“, vorliegende Information der geschätzten Niederschlagswerte in ArcView einlesen zu können, müssen sie in ein ASCII-Grid konvertiert werden.

Surfer und ArcView bauen die als ASCII-Grid vorliegende Information unterschiedlich auf, was eine Spiegelung der Werte des ASCII-Grids entlang der x-Achse zur Folge hat. Daher muß im Rahmen der Konvertierung auch eine entsprechende Transformation der gerasterten Daten vorgenommen werden. Diese Transformation ändert einzig die Position der z-Werte innerhalb des

Rasters, ihre Wertausprägungen selbst bleiben unangetastet. Die Spiegelung, in Surfer als „Mirror Y“ bezeichnet, kreiert ein entlang der x-Achse gespiegeltes Abbild der als Raster vorliegenden Information. Die z-Werte werden derart neu angeordnet, daß sie in jeder Spalte in umgekehrter Reihenfolge aufscheinen. Dabei bleibt ihre Anordnung in x-Richtung ebenso unverändert wie die Ausdehnung des gesamten Untersuchungsgebietes.

ASCII-Grids enthalten am Beginn einige unverzichtbare Informationen für die korrekte Interpretation der als Raster vorliegenden Daten. Diese wenigen Basisinformationen werden als „Header“ bezeichnet. Das aus Surfer exportierte ASCII-Grid weicht im „Header“ etwas von der in ArcView üblichen Schreibweise ab, kann aber leicht in jedem beliebigen Texteditor entsprechend modifiziert werden. Einer Übernahme beziehungsweise Visualisierung der interpolierten Niederschlagswerte in ArcView steht nichts mehr im Wege.

4 Das ArcView Project „Starkniederschlag“

Das ArcView Project „Starkniederschlag“ besteht aus 2 „Views“. Der eine der beiden „Views“ enthält die Interpolationen der Starkniederschlagsereignisse des Beobachtungszeitraumes 1996 (27 interpolierte Ereignisse), der andere „View“ jene des Beobachtungszeitraumes 1997 (44 interpolierte Ereignisse).

Die einzelnen Interpolationen werden in den „Views“ klassifiziert dargestellt. Die Klasseneinteilung orientiert sich grundsätzlich bei allen Ereignissen an jenem Wert, der von G. MAHRINGER, M. BOGNER und T. LEHNER, 1996, S 4-5, als Schwellwert für ein Starkniederschlagsereignis definiert wurde.

Die Farbgebung der Interpolationen ist dadurch zwischen zwei unterschiedliche „Farbräume“ hierarchisch aufgeteilt. Die Farbpalette umspannt in Gebieten, in denen das Kriterium „Starkniederschlag“ nicht erreicht wird, intensive rote, gelbe und grüne Farbtöne. Je niedriger der geschätzte Niederschlag, desto mehr ist die Farbgebung Rot angenähert; je höher hingegen der geschätzte Niederschlag ist, desto mehr nähert sich die Farbgebung Grün an. Wird schließlich in bestimmten Gebieten das Kriterium des Starkniederschlages erreicht oder gar überschritten, treten an Stelle der genannten Farben blaue Farbtöne. Je intensiver dabei das Blau, desto höher auch der geschätzte Niederschlag. Ereignisse von gleicher zeitlicher Dauer, beispielsweise die Ereignisse vom 12. 6. und 13. 6. 1997 mit

jeweils 10 Minuten, weisen übereinstimmende Klasseneinteilung und Farbskala auf. Dadurch können solche Ereignisse in Hinblick auf ihre Intensität und räumliche Ausbreitung unmittelbar miteinander verglichen werden.

Die Klasseneinteilung der Ereignisse und die den einzelnen Klassen zugeordneten Farben sind als eigene Legendendateien im Ordner „Legenden“ abgespeichert. Die Namen der Legendendateien beginnen stets mit „regen“, um in Fortsetzung des Dateinamens die Dauer des Ereignisses zu nennen. So bezeichnet die Legendendatei „regen10.avl“ eine Legende, die auf sämtlich Starkniederschlagsereignisse mit einer Dauer von 10 Minuten abgestimmt ist.

Neben den einzelnen Ereignissen beinhalten die „Views“ auch die Summenkarten der Starkniederschlagsereignisse der Beobachtungszeiträume 1996 und 1997. Darunter ist im wesentlichen eine Addition der Interpolationen zu verstehen. Dabei wurde Gebieten, in denen bei einem einzelnen Ereignis das Starkniederschlagskriterium erreicht beziehungsweise überschritten wurde, der Wert 1 zugeordnet, allen anderen Gebieten hingegen der Wert 0.

An manchen Tagen wurde innerhalb übergreifender Zeiträume das Kriterium des Starkniederschlags mehrfach erreicht. Solche sich im allgemeinen auf das gleiche Niederschlagsgeschehnis beziehende Ereignisse würden bei einer unreflektierten Addition eine Häufigkeit und gebietsweise Massierung von Starkniederschlägen andeuten, die von der Realität nicht vorgegeben ist. Daher wurden in Abstimmung mit G. MAHRINGER solche Ereignisse zu einem einzigen Ereignis zusammengefaßt und in die Berechnung der Summenkarte einbezogen.

Die räumliche Ausdehnung der Summenkarten steht in unmittelbarer Abhängigkeit zu jener der einzelnen Interpolationen. Der Ausfall randlich exponierter Stationen, wie beispielsweise beim Niederschlagsgeschehen vom 4. 9. 1997 (Ausfall der Station Hengstpaß), bewirkt für die Interpolation des entsprechenden Geschehens eine Einschränkung des Gebietes, die sich an den in den vier Haupthimmelsrichtungen am weitesten exponierten Meßstationen orientiert. Gebiete, die sich auf Grund solche Ausfälle im Meßnetz der Interpolation entziehen, würden bei einer Vernachlässigung dieses Umstandes in der Summenkarte nicht gezählt werden. Dadurch würde randlich eine geringere Anzahl an Starkniederschlagsereignissen vorgetäuscht werden, die Vergleichbarkeit der verschiedenen Gebiete innerhalb der Summenkarte wäre nicht mehr gegeben. Aus diesen Gründen ist die räumliche Ausdehnung der Summenkarten auf die Ausdehnung jenes Geschehens abgestimmt, daß die geringste räumliche Ausdehnung besitzt.

Der Ausbau des Meßnetzes ab August 1997 erbrachte neben einer inneren Verdichtung auch eine Vergrößerung seiner räumlichen Ausdehnung. Dadurch weisen auch die Interpolationen des Beobachtungszeitraumes 1997 unterschiedliche räumliche „Bezugsrahmen“ auf. Aus diesem Grund bestehen für 1997 zwei Summenkarten; eine von diesen bezieht sich auf das Meßnetz ab August 1997, die andere auf das zuvor bestehende kleiner Meßnetz. Letzteres enthält innerhalb des kleineren räumlichen Bezugsrahmen alle über den gesamten Beobachtungszeitraum des Jahres 1997 registrierten Starkniederschlagsereignisse, ersteres nur jene Ereignisse, die ab August innerhalb des nunmehr vergrößerten räumlichen Bezugsrahmen aufgezeichnet wurden.

Neben den bisher angeführten Inhalten, den Interpolationen sowie den darauf basierenden Summenkarten, enthält jeder der beiden „Views“ zusätzlich Datenschichten, die im wesentlichen als räumliche Bezugsgröße und der Visualisierung dienen. Diese Datenschichten, sogenannte „Themes“ in ArcView, bestehen aus der Begrenzung des Nationalparks, den Positionen und Namen der Stationen des Meßnetzes sowie dem „schattierten“ Geländemodell.

Für die einzelnen Ereignisse und die Summenkarten existieren vordefinierte Layouts im Format A3. Dabei wird im ArcView-„Layout“ jenes „Theme“ – Niederschlagsereignis oder Summenkarte – angezeigt, daß zuvor im „View“ ausgewählt wurde. Dabei darf, sofern im „Layout“ gearbeitet wird, jeweils nur ein „Theme“ ausgewählt sein. Andernfalls würden alle ausgewählten Ereignisse und Summenkarten im Layout übereinander gezeichnet werden.

Die inhaltliche Analyse und Interpretation der Summenkarten und der einzelnen Starkniederschlagsereignisse wird durch die Meteorologen des Forschungsprojektes "Meteorologie im Nationalpark Kalkalpen" erfolgen.

5 Literaturverzeichnis

BELINA, G., 1993, Die Modellierung der räumlichen Verteilung der Klimaelemente Niederschlag und Lufttemperatur im Land Salzburg. –Diplomarbeit am Institut für Geographie, Universität Salzburg.

DUMFARTH, E., 1996, Interpolation von Oberflächen mit CRS (completely regularized spline with smoothing and tension). Evaluierung von Methoden und Ergebnissen am Beispiel 'Bodenpreisoberflächen für die Stadt Salzburg'. - In: F. DOLLINGER und J. STROBL (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VIII, AGIT'96. Beiträge zum GIS-Symposium 3.-5. Juli 1996, S 27 -38. - Salzburg.

DUMFARTH, E., 1997, Interpolation und Analyse von Bodenpreisoberflächen für die Stadt Salzburg.- Diplomarbeit am Institut für Geographie, Universität Salzburg.

ESRI (Hrsg.), ArcView Help (digitales Handbuch zur Software ArcView, Version 3.0a).

FLURI, F., 1975, Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. – In: Monographien zur Landeskunde Tirols I. Innsbruck, München.

GRIFFITH, D. A. und C. G. AMREIHN, 1991, Statistical Analysis for Geographers. - Englewood Cliffs.

HU, J., 1995, Methods of Generating Surfaces In Environmental GIS Application.- In: Proceedings 1995 ESRI User Conference.
<http://www.esri.com/resources/userconf/proc95/to100/p089.html> (Stand Jänner 1996)

ISSAKS, E. H. und R. M. SRIVASTAVA, 1989, Applied Geostatistics. - Oxford.

MAHRINGER, G., M. BOGNER und T. LEHNER, 1996, Die Häufigkeit von Starkniederschlägen aus den Daten des Niederschlagsmeßnetzes – Endbericht 1996, Teil 7. –Bericht für den Nationalpark Oö. Kalkalpen.

STEINHAUSER, F., 1955, Die neue Niederschlagskarte von Österreich. – In: Wetter und Leben, Jg. 7, S 95 – 100.