



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

235

Verifikation klimatologischer Rasterfelder

von
Ute Maier
Gerhard Müller-Westermeier



Zitationsvorschlag:

Maier, Ute; Müller-Westermeier, Gerhard: Verifikation klimatologischer Rasterfelder. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 2010
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 235)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz



Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de
Mail: bibliothek@dwd.de

INHALT/CONTENTS

Abstract/Übersicht	5
1. Beschreibung des Interpolationsverfahrens	6
2. Ergebnisse	6
2.1 Zeitraum 1981 – 1990	6
2.1.1 Temperatur	6
2.1.1.1 Regionale Abhängigkeit	7
2.1.1.2 Höhenabhängigkeit	9
2.1.2 Niederschlag	11
2.1.2.1 Regionale Abhängigkeit	12
2.1.2.2 Höhenabhängigkeit	14
2.2 Periodenvergleich 1901 – 1950 mit 1981 – 1990	16
2.2.1 Temperatur	16
2.2.1.1 Regionale Abhängigkeit	16
2.2.2 Niederschlag	18
2.2.2.1 Regionale Abhängigkeit	18
3. Analyse der Rasterfelder für die Jahre 1901 – 2000	20
3.1 Temperatur	20
3.2 Niederschlag	21
4. Interpolation mit Gis-Verfahren	22
4.1 Verfahrensübersicht	22
4.2 Kriging und Cokriging im Vergleich	30
5. Gis- und Rasterverfahren im Vergleich	38
6. Zusammenfassung	46

Abstract

Since about ten years monthly mean values of climatologic parameters have been interpolated to a grid for Germany with a density of 1 x 1 km as a product for climate monitoring by the Deutscher Wetterdienst. The quality of these interpolated grid fields has not been checked sufficiently up to now.

Therefore a cross validation program has been developed for testing the quality of these grid fields. It calculates the differences between measured point values and the corresponding grid values resulting from the interpolated grid without using the measured value. With this cross validation program grid fields and measurements of temperature and precipitation have been compared for different periods (1901 – 1910, about 189 stations; 1981 – 1990, about 570 stations). The differences have been analysed to get an index for the quality regarding means, absolute mean values of difference, standard deviation, variance and frequency. These statistic parameters have been examined in dependence of the elevation of the stations, too.

The method of validation has been applied to all 10 year periods of the 20th century. For both parameters the mean error decreases with the increase of station density. Seasonal influence on the mean error is foremost found for precipitation.

Mean absolute errors less or equal 0.42 K for mean monthly temperature and less than 17 % for mean monthly precipitation have been found. For the periods since 1950 mean absolute error for temperature is 0.3 – 0.4 K. For precipitation the value is 6 % in winter and 13 % in summer.

The mean errors have been compared with those given by several GIS interpolation methods. Especially cokriging procedures show partly insufficient results. Using more stations in the surrounding of the interpolation point, the mean error decreases, but the resulting interpolation is smoothed very much.

Therefore statistical parameters and interpolation results indicate to continue to apply the interpolation method used by the Deutscher Wetterdienst up to now.

Übersicht

Seit mehr als 10 Jahren werden vom Deutschen Wetterdienst Rasterfelder verschiedener klimatologischer Parameter für das Gebiet von Deutschland mit einer Auflösung von 1 km für Monate, Jahreszeiten und Jahre erstellt. Die Qualität dieser Rasterfelder wurde bisher jedoch noch nicht einheitlich beschrieben. Zielsetzung dieser Arbeit ist die Entwicklung geeigneter Kenngrößen zur Beschreibung der Qualität bisher erstellter Klimaanalysen.

Untersucht werden für die Temperatur absolute Differenzen bzw. für den Niederschlag prozentuale Abweichungen der absoluten Differenzen zwischen gemessenem und interpoliertem Wert. Es ergeben sich mittlere absolute Fehler der Temperaturinterpolation $\leq 0,42$ K und mittlere prozentuale Abweichungen $\leq 17,2$ % für die interpolierten monatlichen Niederschlagssummen. Standardabweichung und Varianz zeigen sich äußerst sensibel in Bezug auf vorkommende Niederschlagsextrema, die sich in den 80 %-Quantilen und den mittleren prozentualen Abweichungen nicht stark auswirken. Zumindest für den Niederschlag sind diese beiden Größen weniger als Gütemaß für die Interpolation geeignet.

Das Prüfverfahren wurde für die monatlichen Niederschlagssummen und Monatsmitteltemperaturen der Monate Januar und Juli systematisch auf jeweils 10 zusammenhängende Datenjahre aus dem Zeitraum 1901 – 2000 angewendet. Für beide Parameter zeigt sich eine deutliche Abnahme des mittleren Fehlers mit zunehmender Stationsdichte im Verlauf der betrachteten 100 Jahre, saisonal wird in erster Linie der mittlere Fehler für die Niederschlagssummen beeinflusst.

Nach Auswahl mehrerer GIS-Interpolationsverfahren wurden deren mittlere Fehler denjenigen des Prüfverfahrens für die Einzeljahre 1981 – 1990 und die 10-jährigen Zeiträume gegenübergestellt. Vor allem die Cokriging-Verfahren ergeben teilweise deutlich größere mittlere Fehler für beide Parameter, die kleiner werden unter Einbeziehung einer größeren Anzahl umliegender Stationen um den Interpolationspunkt. Damit werden die ausgegebenen Karten allerdings auch stärker geglättet.

Sowohl die Fehlerbetrachtung als auch die Gegenüberstellung der Interpolationsraster als Karten der Parameter weisen das vom Deutschen Wetterdienst verwendete Interpolationsverfahren als das stabil bessere Verfahren zur Erstellung von Klimakarten aus.

1. Beschreibung des Interpolationsverfahrens

Die Interpolation der klimatologischen Parameter, die als Rasterfelder ausgegeben und in Form von Karten zur Klimaüberwachung eingesetzt werden, erfolgt mittels Verwendung von Regressionskoeffizientenfeldern. Diese resultieren aus der Höhenabhängigkeit des Parameters. Die Stationswerte werden so auf Meeressniveau reduziert, die Lücken im Rasterfeld mit einem Inverse-Distance-Verfahren interpoliert und unter Einbeziehung der Regressionskoeffizienten im letzten Schritt wieder auf reliefbezogene Werte umgerechnet. Dieses Verfahren wurde für den Niederschlag dahingehend modifiziert, dass statt errechneter Regressionsfelder das Verhältnis der aktuellen zur 30-jährigen Referenzniederschlagshöhe Verwendung findet (siehe (1)).

Als Prüfverfahren werden bei der Erstellung der Rasterfelder aus den klimatologischen Punktmessungen zyklisch die Daten jeweils einer Station weggelassen, das Rasterfeld im Umgebungsbereich der ausgelassenen Station neu berechnet und die Differenz zwischen gemessenem und interpoliertem Wert an dem jeweiligen Gitterpunkt ausgegeben (Cross Validation). Die errechneten Differenzen werden statistischen Analysen zur Auffindung geeigneter Qualitätsmaßzahlen unterzogen. Mittlere absolute Differenzen, Standardabweichung, Varianz und Häufigkeitsverteilungen werden in Abhängigkeit von Stationsdichte, geographischer Lage und Höhe betrachtet.

Basis dieser Analysen bilden zunächst die Jahre 1981–1990. In diesem Zeitraum fallen für die Temperatur ca. 575 Stationen zur Auswertung an, für den Niederschlag ca. 4460 Stationen. Durch Stationsauflösungen bzw. Einrichtung neuer Stationen schwankt die Anzahl für beide Parameter in diesen 10 Jahren geringfügig (1,2 % bzw. 3,9 % gegenüber dem jeweiligen Mittelwert).

Zum Vergleich werden die Differenzen und statistischen Kenngrößen für die Temperaturfelder aus dem Zeitraum 1901–1950 (zwischen 221 und 529 Stationen) und für den Niederschlag aus dem Zeitraum 1901–1910 (zwischen 1935 und 2360 Stationen) ausgewertet, um die Abhängigkeit der Rasterqualität von der Stationsdichte untersuchen zu können.

2. Ergebnisse

2.1 Zeitraum 1981–1990

Für die Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Temperaturwerten sollen hier zunächst die Beträge der Abweichungen monatsabhängig untersucht werden, für den Niederschlag wird die prozentuale Abweichung der absoluten Differenz zu dem gemessenen Wert betrachtet.

2.1.1 Temperatur

Abb. 1 zeigt die monatlichen Verteilungen der relativen Häufigkeit absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen. In allen Monaten liegt der prozentuale Anteil der Abweichungen von weniger als 0,5 K zwischen 65 % und 75 %, absolute Differenzen zwischen 0,5 K und 1 K ergeben sich in relativen Anteilen zwischen 18 % (März und Dezember) und 25 % (August). Abb. 2 und Tab. 1 zeigen, dass die Differenzen vom späten Frühjahr bis zum frühen Herbst eher etwas größer ausfallen als in den übrigen Monaten. Die Häufigkeitsverteilungen sind in diesen Monaten entsprechend geringfügig flacher.

Tab. 1: Relative Summenhäufigkeit der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Werten für Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990 (%)

Klassen (K)	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	1,2	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	1,1	1,2	0,9	1,0
>0,0–0,5	72,0	72,1	76,9	75,5	73,6	76,4	70,8	67,9	70,1	72,0	73,5	75,2
>0,5–1,0	91,7	92,2	95,2	95,0	95,1	97,1	94,3	92,8	92,3	92,4	92,3	93,4
>1,0–1,5	96,6	97,8	99,1	99,3	99,1	99,6	98,8	98,4	98,3	97,7	97,1	97,7
>1,5–2,0	98,5	99,2	99,8	99,9	99,8	100,0	99,7	99,6	99,6	99,3	98,7	99,1
>2,0–2,5	99,3	99,7	99,9	99,9	100,0	100,0	99,9	100,0	99,9	99,8	99,3	99,6
>2,5–3,0	99,5	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	99,8
>3,0–3,5	99,7	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,9
>3,5–4,0	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,9
>4,0–4,5	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,9

Die Berechnung der Quantile von 60 % bis 90 % (Tab. 2) liefert für März und Juni die kleinsten Abweichungen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen. Entsprechend errechnen sich für diese Monate die kleinsten mittleren absoluten Differenzen (MAF) von 0,35 K (Abb. 3). Der kleinste mittlere quadratische Fehler (Varianz) ergibt sich für den Monat Juni mit 0,08 (Tab. 3). Beste Übereinstimmungen zwischen gemessenen und interpolierten Temperaturwerten für diesen Monat bildet die Standardabweichung (STABW) ebenfalls entsprechend ab (Tab. 3). Der mittlere absolute Fehler entspricht mit Ausnahme der Sommermonate am besten dem 65 %-Quantil. Im Mai bis August liegt er dicht am 60 %-Quantil bzw. ist identisch.

Tab. 2: Monatliche Quantile der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990 (K)

Quantil	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
60 %	0,37	0,38	0,33	0,35	0,37	0,35	0,39	0,42	0,40	0,38	0,36	0,35
70 %	0,47	0,48	0,43	0,44	0,47	0,44	0,49	0,53	0,50	0,48	0,47	0,44
80 %	0,62	0,62	0,55	0,57	0,59	0,55	0,62	0,67	0,65	0,64	0,61	0,58
90 %	0,93	0,90	0,76	0,77	0,81	0,72	0,84	0,91	0,92	0,88	0,90	0,83

Tab. 3: Statistische Kenngrößen der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990

Größe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF (K)	0,42	0,41	0,35	0,36	0,38	0,35	0,40	0,42	0,41	0,41	0,41	0,38
65 %-Qu. (K)	0,42	0,43	0,37	0,39	0,42	0,39	0,44	0,47	0,44	0,43	0,41	0,39
STABW (K)	0,47	0,40	0,32	0,32	0,32	0,28	0,34	0,36	0,37	0,39	0,45	0,40
VARIANZ	0,22	0,16	0,10	0,10	0,10	0,08	0,12	0,13	0,14	0,16	0,20	0,16

2.1.1.1 Regionale Abhängigkeit

In einer weiterführenden Analyse werden die Ergebnisse für vier Regionen Deutschlands betrachtet. Die Aufteilung erfolgt entlang des Breitengrades 53°20" Nord und des Längengrades 9°30" Ost. Nachfolgend werden die vier Sektoren wie folgt bezeichnet:

Tab. A: Sektoreneinteilung

Bezeichnung	Länge	Breite
Nordwesten (NW)	≤ 9°30"	≥ 52°20"
Südwesten (SW)	≤ 9°30"	< 52°20"
Südosten (SO)	> 9°30"	< 52°20"
Nordosten (NO)	> 9°30"	≥ 52°20"

Wie aus den Abb. 4 bis 15 ersichtlich wird, sind die Interpolationsergebnisse deutlich von der Geographie beeinflusst. Im Nordwesten und Nordosten der Bundesrepublik ist das Gelände wenig strukturiert, hier bilden die interpolierten Werte die tatsächlich gemessenen in allen Monaten am besten ab. Für die beiden südlichen Teilbereiche mit stark gegliedertem Relief (Schwarzwald, Bayerischer Wald, Alpen) sind die Häufigkeitsverteilungen der Differenzen flacher und breiter, größere Abweichungen zu den gemessenen Werten sind etwas häufiger. Zum Vergleich sind in den Abbildungen jeweils die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Monate für ganz Deutschland mit aufgenommen. In den Darstellungen der Summenhäufigkeiten (Abb. 16 bis 19) wird die größere Häufigkeit von Abweichungen zwischen 0,5 K und 1,0 K besonders deutlich. In den westlichen Teilgebieten (NW und SW) findet man im August die stärkste Verschiebung hin zu Abweichungen von 0,5 K – 1,0 K zwischen gemessenen und interpolierten Werten. Das zeigt sich auch in den mittleren absoluten Differenzen der Einzelmonate (Abb. 20). In den Wintermonaten werden die Temperaturen im Südosten Deutschlands am schlechtesten wiedergegeben, vom Mai bis September liegt der mittlere absolute Fehler im Südwesten am höchsten.

Das 90 %-Quantil (Tab. 4) weist für Juli – September im Südwesten eine Temperaturabweichung von mehr als 1,0 K aus, schlechtere Interpolationsergebnisse finden sich noch für Dezember und Januar im Südosten mit einem 90 %-Quantilswert von 1,3 K. Die kleinsten Abweichungen zwischen Mess und Interpolationswerten ergeben sich im Nordwesten.

Tab. 4: Monatliche Quantile der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990 (K) für 4 anteilige Sektoren Deutschlands

Gebiet	Quantil	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
NW	60 %	0,32	0,32	0,26	0,31	0,33	0,28	0,33	0,40	0,37	0,35	0,34	0,29
	70 %	0,38	0,41	0,34	0,39	0,41	0,35	0,41	0,50	0,48	0,45	0,43	0,37
	80 %	0,50	0,53	0,44	0,49	0,54	0,46	0,54	0,63	0,60	0,58	0,56	0,47
	90 %	0,67	0,71	0,60	0,68	0,71	0,61	0,71	0,81	0,83	0,77	0,75	0,63
SW	60 %	0,43	0,46	0,40	0,39	0,42	0,40	0,50	0,55	0,48	0,43	0,43	0,40
	70 %	0,54	0,55	0,50	0,50	0,54	0,49	0,62	0,69	0,62	0,56	0,55	0,50
	80 %	0,68	0,71	0,64	0,62	0,71	0,61	0,79	0,85	0,80	0,73	0,73	0,65
	90 %	0,94	0,96	0,88	0,88	0,94	0,79	1,03	1,13	1,09	1,01	1,00	0,90
SO	60 %	0,43	0,40	0,37	0,35	0,34	0,35	0,40	0,40	0,42	0,41	0,36	0,41
	70 %	0,58	0,55	0,48	0,45	0,42	0,44	0,48	0,49	0,52	0,52	0,47	0,53
	80 %	0,81	0,76	0,63	0,56	0,53	0,52	0,61	0,62	0,65	0,70	0,65	0,70
	90 %	1,34	1,14	0,92	0,79	0,75	0,66	0,86	0,86	0,89	1,03	1,12	1,12
NO	60 %	0,33	0,33	0,29	0,35	0,39	0,37	0,38	0,35	0,31	0,32	0,31	0,30
	70 %	0,43	0,41	0,37	0,43	0,47	0,46	0,45	0,44	0,40	0,41	0,38	0,37
	80 %	0,56	0,53	0,48	0,55	0,58	0,57	0,56	0,58	0,53	0,54	0,52	0,50
	90 %	0,81	0,77	0,69	0,72	0,78	0,78	0,72	0,77	0,81	0,75	0,75	0,71

Die regionalen Unterschiede in den Interpolationsergebnissen finden sich analog für Standardabweichung, Varianz und Schiefe der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen (Tab. 5).

Tab. 5: Statistische Kenngrößen der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990 für 4 anteilige Sektoren Deutschlands

Größe	Sektor	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF (K)	NW	0,32	0,33	0,27	0,31	0,33	0,28	0,33	0,38	0,38	0,35	0,35	0,30
	SW	0,45	0,45	0,40	0,40	0,44	0,38	0,48	0,53	0,49	0,45	0,47	0,42
	SO	0,55	0,49	0,41	0,37	0,35	0,34	0,40	0,41	0,43	0,47	0,47	0,49
	NO	0,37	0,35	0,31	0,35	0,38	0,37	0,35	0,35	0,34	0,36	0,34	0,32
STABW (K)	NW	0,30	0,28	0,23	0,27	0,28	0,23	0,27	0,30	0,30	0,29	0,31	0,27
	SW	0,42	0,39	0,34	0,34	0,36	0,29	0,39	0,42	0,42	0,41	0,47	0,39
	SO	0,67	0,53	0,40	0,35	0,33	0,28	0,38	0,37	0,40	0,48	0,60	0,57
	NO	0,39	0,33	0,28	0,29	0,31	0,31	0,28	0,31	0,33	0,35	0,33	0,30
VARIANZ	NW	0,09	0,08	0,05	0,07	0,08	0,05	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07
	SW	0,18	0,16	0,12	0,11	0,13	0,09	0,15	0,18	0,17	0,17	0,22	0,15
	SO	0,45	0,29	0,16	0,12	0,11	0,08	0,14	0,14	0,16	0,23	0,36	0,32
	NO	0,15	0,11	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,12	0,11	0,09

2.1.1.2 Höhenabhängigkeit

Die Untersuchung der Interpolationsqualität in verschiedenen Höhenlagen gibt auch einen ersten Hinweis auf den Einfluss der Stationsdichte. Tab. 6 gibt an, wie viele Stationen in den jeweiligen Höhenbereichen zur Auswertung kommen.

Tab. B: Maximale Anzahl der ausgewerteten Stationen für 7 Höhenstufen im Zeitraum 1981 – 1990

Höhe	Maximale Anzahl der Stationen
0 – 50 m	102
51 – 100 m	58
101 – 200 m	79
201 – 400 m	143
401 – 600 m	114
601 – 1000 m	81
1001 – 3000 m	14
Deutschland	570

Exemplarisch werden die relativen Häufigkeiten der Temperaturabweichungen für den jeweils mittleren Monat einer Jahreszeit betrachtet (Abb. 21 bis 24). Zum Vergleich sind die Häufigkeitsverteilungen des entsprechenden Monats für die ganz Deutschland ebenfalls im Diagramm dargestellt.

Die Grafiken zeigen, dass bis in größere Höhenlagen und auch bei geringerer Stationsdichte das Auftreten eines mittleren absoluten Fehlers von 0,0 K – 0,5 K je nach Jahreszeit mit einer Häufigkeit von 60 – 80 % eine gute Abbildung der realen Temperaturverhältnisse durch die Interpolation bestätigt. Im Höhenbereich von 601 – 1000 m liegen im Januar und Oktober die Differenzbeträge bis zu 0,5 K immer noch bei einer relativen Häufigkeit von ca. 50 %. Oberhalb von 1000 m führen die geringe Stationsdichte und das stark gegliederte Gelände vor allem im Herbst und Winter zu häufigerem Auftreten großer Differenzen. Dieser Sachverhalt wird auch durch die Quantile wiedergegeben. In Tab. 6 ist das 80 %-Quantil aufgeführt.

Tab. 6: Monatliche Werte des 80 %-Quantils absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990 (K) für alle Höhenstufen und ganz Deutschland

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0 – 50 m	0,40	0,42	0,35	0,45	0,53	0,44	0,46	0,51	0,53	0,49	0,48	0,40
51 – 100 m	0,48	0,53	0,48	0,54	0,61	0,55	0,59	0,60	0,50	0,54	0,49	0,46
101 – 200 m	0,52	0,56	0,51	0,54	0,61	0,60	0,66	0,66	0,55	0,50	0,50	0,47
201 – 400 m	0,59	0,64	0,55	0,58	0,64	0,60	0,70	0,73	0,68	0,67	0,59	0,57
401 – 600 m	0,62	0,62	0,60	0,57	0,56	0,52	0,64	0,72	0,68	0,62	0,59	0,59
601 – 1000 m	1,07	0,92	0,76	0,62	0,56	0,51	0,61	0,73	0,82	0,90	1,09	1,01
1001 – 3000 m	2,42	1,74	1,36	1,05	0,88	0,82	0,89	1,09	1,38	1,79	2,25	1,75
Deutschland	0,62	0,62	0,55	0,57	0,59	0,55	0,62	0,67	0,65	0,64	0,61	0,58

Wie zu erwarten zeigen Quantile, Standardabweichung, Varianz und mittlere absolute Fehler (Tab. 7) in den einzelnen Höhenbereichen konforme Verläufe. Bis in Höhen von 600 m liegen die Werte in allen Monaten dicht beisammen (Abb. 25 – 28). Von April bis August gilt dies auch für den Bereich 601 – 1000 m. Oberhalb 1000 m Höhe bedingen die geringe Stationsdichte und das stärker ausgeprägte Relief große Sprünge in den Werten der Kenngrößen und stehen somit für eine deutliche Qualitätsabnahme des Interpolationsverfahrens.

Tab. 7: Statistische Kenngrößen der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen 1981 – 1990 (K) für alle Höhenstufen und ganz Deutschland

Größe	Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF (K)	0 – 50 m	0,27	0,26	0,23	0,29	0,33	0,27	0,28	0,32	0,33	0,31	0,30	0,26
	51 – 100 m	0,31	0,35	0,29	0,33	0,39	0,36	0,39	0,37	0,33	0,33	0,31	0,29
	101 – 200 m	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,38	0,41	0,41	0,37	0,33	0,33	0,30
	201 – 400 m	0,39	0,41	0,35	0,37	0,40	0,38	0,44	0,46	0,43	0,41	0,38	0,36
	401 – 600 m	0,41	0,40	0,36	0,37	0,36	0,33	0,41	0,44	0,42	0,39	0,38	0,37
	601 – 1000 m	0,71	0,57	0,46	0,41	0,37	0,33	0,40	0,47	0,51	0,56	0,67	0,63
	1001 – 3000 m	1,46	1,09	0,77	0,67	0,55	0,54	0,62	0,68	0,84	1,13	1,25	1,12
	Deutschland	0,42	0,41	0,35	0,36	0,38	0,35	0,40	0,42	0,41	0,41	0,41	0,38
STABW (K)	0 – 50 m	0,26	0,24	0,21	0,27	0,30	0,23	0,24	0,29	0,30	0,26	0,29	0,26
	51 – 100 m	0,27	0,33	0,26	0,28	0,31	0,32	0,29	0,31	0,30	0,31	0,26	0,25
	101 – 200 m	0,29	0,32	0,27	0,28	0,31	0,27	0,34	0,34	0,32	0,30	0,32	0,27
	201 – 400 m	0,34	0,34	0,29	0,28	0,32	0,29	0,35	0,37	0,36	0,35	0,33	0,30
	401 – 600 m	0,38	0,36	0,32	0,32	0,31	0,26	0,34	0,36	0,38	0,36	0,36	0,34
	601 – 1000 m	0,68	0,54	0,41	0,39	0,34	0,28	0,37	0,39	0,43	0,50	0,64	0,58
	1001 – 3000 m	1,17	0,91	0,65	0,53	0,47	0,42	0,61	0,59	0,65	0,84	1,18	1,02
	Deutschland	0,47	0,40	0,32	0,32	0,32	0,28	0,34	0,36	0,37	0,39	0,45	0,40
VARIANZ	0 – 50 m	0,07	0,06	0,04	0,07	0,09	0,05	0,06	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07
	51 – 100 m	0,08	0,11	0,07	0,08	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,07	0,06
	101 – 200 m	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10	0,07	0,11	0,11	0,10	0,09	0,10	0,07
	201 – 400 m	0,12	0,11	0,08	0,08	0,10	0,09	0,12	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09
	401 – 600 m	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,07	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,11
	601 – 1000 m	0,46	0,29	0,17	0,15	0,11	0,08	0,14	0,16	0,19	0,25	0,41	0,33
	1001 – 3000 m	1,36	0,82	0,42	0,28	0,22	0,18	0,37	0,34	0,42	0,70	1,40	1,03
	Deutschland	0,22	0,16	0,10	0,10	0,10	0,08	0,12	0,13	0,14	0,16	0,20	0,16

2.1.2 Niederschlag

Für den Niederschlag werden die Beträge der Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Niederschlagshöhen als prozentuale Abweichung vom jeweils gemessenen Stationswert der statistischen Analyse unterzogen, um Aufschluss über die Güte des Interpolationsverfahrens zu erhalten. Bei der Berechnung der prozentualen Abweichungen müssen die Fälle mit gemessener monatlicher Niederschlagssumme von 0 mm gesondert behandelt werden. Errechnet sich der interpolierte Wert ebenfalls zu Null, wird die prozentuale Abweichung Null gesetzt, ansonsten ergeben sich durch Verwendung des Rasterwertes als Bezugswert 100 %. In sehr trockenen Monaten können große prozentuale Abweichungen auftreten. Abweichungen größer 500 % sind jedoch anteilig mit 0,00875 % am gesamten Datenvolumen für 1981 – 1990 statistisch nicht relevant.

Die Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Abweichungen (Abb. 29) sind in den Monaten Mai bis August flacher und breiter als in den übrigen Monaten. Sommerliche Niederschlagsextrema werden demnach durch die Interpolation schlechter wiedergegeben. Die relative Häufigkeit der kleinsten Klasse prozentualer Abweichungen von 0 – 5 % beträgt von Mai bis August nur zwischen 24 % und 28 %, während sie in den anderen Monaten bis zu 40 % erreicht. Die prozentualen Anteile der Abweichungsklassen sind im Diagramm der Summenhäufigkeit (Abb. 30) dargestellt und zahlenmäßig in Tab. 8 aufgeführt. Die Anteile größerer prozentualer Abweichungen im Sommer treten darin deutlich hervor.

Tab. 8: Relative Summenhäufigkeit prozentualer Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Werten vom Stationswert für monatliche Niederschlagssummen 1981 – 1990 (%)

Klassen (%)	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	0,7	1,0	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,9	0,8	0,7
5	37,4	32,9	36,9	33,1	28,6	28,8	24,7	24,5	31,6	35,9	38,3	40,9
10	65,5	59,0	64,0	59,2	51,7	52,8	46,2	45,8	57,2	63,0	66,5	70,1
15	82,0	75,8	80,4	76,1	67,8	70,3	62,5	62,5	74,1	79,5	83,2	85,8
20	90,5	85,7	89,3	85,9	78,0	81,6	74,2	74,7	84,8	88,4	91,4	93,3
25	94,7	91,1	93,9	91,4	84,6	88,4	81,9	83,1	90,7	93,1	95,4	96,7
30	96,8	94,2	96,2	94,5	88,9	92,6	86,9	88,4	94,2	95,5	97,3	98,2
35	97,9	95,9	97,5	96,4	91,8	95,2	90,4	91,9	96,1	96,9	98,3	98,9
40	98,7	97,1	98,3	97,5	93,8	96,8	92,8	94,3	97,2	97,8	98,9	99,3
45	99,1	97,8	98,9	98,1	95,1	97,9	94,4	95,8	98,0	98,4	99,2	99,6
50	99,4	98,3	99,2	98,6	96,3	98,5	95,5	96,9	98,5	98,7	99,4	99,7
55	99,5	98,7	99,4	98,9	96,9	98,8	96,4	97,6	98,8	99,0	99,6	99,8
60	99,7	99,0	99,6	99,1	97,4	99,2	97,1	98,1	99,1	99,2	99,7	99,9

Nennenswerte Abweichungen größer 60 % ergeben sich nur in den Monaten Mai bis August mit 0,8 % bis 2,9 %.

Die Quantile der prozentualen Abweichungen (Tab. 9) sind in den Sommermonaten entsprechend hoch, und ihr Mittelwert (Abb. 31) beträgt im Sommer das Doppelte (Juli) wie im Winter. Die mittlere prozentuale Abweichung entspricht in zehn von zwölf Monaten etwa dem 64 %-Quantil (Tab. 10). Für Mai und Juli finden sich keine Entsprechungen. Dies sind auch die beiden Monate mit den höchsten Werten für Standardabweichung und Varianz als Indikator für schlechtere Interpolationsergebnisse. Der sehr trockene Juli des Jahres 1983 bedingt die großen Werte für Standardabweichung und Varianz, im mittleren absoluten Fehler ist seine Auswirkung jedoch unerheblich.

Tab.9: Monatliche Quantile prozentualer Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Werten vom Stationswert für monatliche Niederschlagssummen 1981 – 1990 (%)

Quantil	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
60 %	8,8 %	10,3 %	9,1 %	10,2 %	12,3 %	11,8 %	14,1 %	14,2 %	10,7 %	9,4 %	8,6 %	8,0 %
70 %	11,1 %	13,0 %	11,5 %	12,9 %	15,9 %	14,9 %	18,0 %	17,9 %	13,6 %	11,8 %	10,9 %	10,0 %
80 %	14,2 %	16,8 %	14,8 %	16,7 %	21,4 %	19,1 %	23,6 %	23,0 %	17,5 %	15,2 %	13,8 %	12,7 %
90 %	19,7 %	23,7 %	20,6 %	23,4 %	31,7 %	26,6 %	34,3 %	32,1 %	24,2 %	21,4 %	18,9 %	17,4 %

Tab.10: Statistische Kenngrößen prozentualer Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Werten vom Stationswert für monatliche Niederschlagssummen 1981 – 1990

Größe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF (%)	9,4 %	11,5 %	9,8 %	11,4 %	15,1 %	12,5 %	16,9 %	15,2 %	11,7 %	10,4 %	9,0 %	8,3 %
64 %-Qu.(%)	9,7 %	11,3 %	10,0 %	11,2 %	13,6 %	12,9 %	15,5 %	15,5 %	11,7 %	10,2 %	9,5 %	8,7 %
STABW (%)	9,4 %	15,7 %	10,5 %	18,5 %	27,2 %	12,2 %	43,0 %	15,8 %	15,5 %	12,5 %	9,1 %	8,3 %
VARIANZ	0,009	0,024	0,011	0,034	0,074	0,015	0,185	0,025	0,024	0,016	0,008	0,007

2.1.2.1 Regionale Abhängigkeit

Gemäß der Sektoreneinteilung (Tab. A) sind die mittleren prozentualen Abweichungen des Niederschlags der vier Regionen für alle Monate im Vergleich zum Gesamtgebiet in den Abb. 32–43 dargestellt. Die Qualitätsabnahme der Interpolation in den Sommermonaten durch lokale Starkniederschläge oder extreme Trockenheit wird auch in diesen Darstellungen deutlich. Die Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Abweichungen sind von Mai bis August für alle Teilgebiete deutlich flacher, entsprechen aber weitestgehend den Häufigkeitsverteilungen für die ganz Deutschland. Der jeweils maximale prozentuale Anteil der Abweichungsklasse 0–5 % sinkt für den Monat Mai je nach Region von den 33 % des Vormonats auf 21–29 % und wächst ab Oktober wieder auf 33–44 % an. In den Monaten September bis März sind die Häufigkeiten der Abweichungsklasse 0–5 % für den Nordwesten Deutschlands am größten und indizieren damit in dieser Region die besten Interpolationsergebnisse. Für den Südwesten ergeben sich für Juni bis September die niedrigsten prozentualen Anteile an der kleinsten Abweichungsklasse. Eine Verschiebung des Häufigkeitsmaximums findet ebenso wie für die Temperatur nicht statt.

Die Summenhäufigkeiten (Abb. 44 bis 47) zeigen, dass für alle Teilgebiete gleichermaßen im Sommer die Häufigkeit großer prozentualer Abweichungen zunimmt. Die Schwierigkeit der guten Wiedergabe extremen Niederschlagsereignissen durch die Interpolation überwiegt hier gegenüber den geographischen Gegebenheiten. Entsprechend erreicht die mittlere absolute prozentuale Abweichung zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert (Abb. 48) in den Sommermonaten die höchsten Werte. Der Maximalwert tritt im Südwesten im August mit 17,8 % auf.

Die in Tab. 4 aufgeführten Quantile der prozentualen Abweichungen ergeben kein eindeutiges Bild. Sie signalisieren die besten Interpolationsergebnisse mit niedrigen Werten für den Nordwestsektor (NW) in 8 Monaten, für Februar, Mai, Juli und August liegen diese jedoch im Südosten (SO) der Bundesrepublik.

Tab. 11: Monatliche Quantile der prozentualen Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981 – 1990 für 4 anteilige Sektoren Deutschlands

Gebiet	Quantil	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
NW	60 %	7,7 %	10,0 %	7,5 %	10,0 %	11,8 %	11,5 %	14,5 %	14,3 %	10,1 %	8,1 %	7,9 %	7,3 %
	70 %	9,5 %	12,7 %	9,4 %	12,6 %	15,2 %	14,5 %	18,5 %	18,0 %	12,6 %	10,2 %	9,9 %	9,2 %
	80 %	12,1 %	16,4 %	12,0 %	16,3 %	20,3 %	18,5 %	24,6 %	22,9 %	16,3 %	13,1 %	12,6 %	11,6 %
	90 %	16,3 %	23,1 %	16,4 %	22,5 %	29,5 %	25,9 %	35,6 %	32,6 %	22,2 %	18,0 %	17,1 %	15,7 %
SW	60 %	9,1 %	10,3 %	9,5 %	10,1 %	12,0 %	13,1 %	14,7 %	16,5 %	11,5 %	9,4 %	9,3 %	8,4 %
	70 %	11,3 %	12,9 %	12,2 %	12,6 %	15,6 %	16,7 %	18,5 %	20,4 %	14,5 %	11,7 %	11,7 %	10,6 %
	80 %	14,4 %	16,7 %	15,5 %	16,2 %	21,0 %	21,7 %	23,9 %	26,0 %	18,6 %	14,8 %	14,6 %	13,4 %
	90 %	20,3 %	23,3 %	21,1 %	22,7 %	30,9 %	30,3 %	34,1 %	37,1 %	25,5 %	20,3 %	19,2 %	18,1 %
SO	60 %	8,7 %	10,0 %	9,9 %	10,2 %	11,7 %	11,8 %	12,9 %	13,7 %	10,4 %	9,7 %	9,2 %	8,3 %
	70 %	10,9 %	12,6 %	12,4 %	12,8 %	14,7 %	14,9 %	16,5 %	17,1 %	13,1 %	12,3 %	11,3 %	10,4 %
	80 %	14,1 %	16,3 %	16,0 %	16,5 %	19,7 %	19,1 %	21,7 %	22,1 %	16,8 %	15,9 %	14,2 %	13,4 %
	90 %	19,3 %	22,6 %	22,4 %	22,7 %	28,6 %	26,3 %	31,8 %	30,3 %	22,9 %	23,0 %	19,2 %	18,3 %
NO	60 %	9,4 %	10,5 %	9,3 %	10,4 %	13,1 %	11,6 %	14,5 %	13,8 %	10,9 %	9,7 %	8,5 %	8,0 %
	70 %	11,8 %	13,2 %	11,8 %	13,2 %	17,0 %	14,6 %	18,4 %	17,3 %	14,0 %	12,3 %	10,7 %	10,0 %
	80 %	15,2 %	17,4 %	15,2 %	17,2 %	22,8 %	18,7 %	24,1 %	22,4 %	18,0 %	15,9 %	13,8 %	12,7 %
	90 %	21,0 %	24,6 %	21,2 %	24,6 %	34,7 %	25,9 %	34,9 %	31,3 %	25,5 %	22,6 %	19,3 %	17,3 %

Die Quantile sind für den Niederschlag der deutlichste Indikator für die Interpolationsqualität. Mittlere absolute prozentuale Abweichung vom Stationswert, Varianz und Standardabweichung (Tab. 12) werden sehr viel stärker durch extreme Niederschlagsereignisse bestimmt und ergeben daher noch unklarere Abhängigkeiten von der geographischen Gegebenheiten. Eine Standardabweichung von 66,6 % für Juli im Südostsektor resultiert aus hohen Werten der prozentualen Abweichung für kleinste Niederschlagssummen dieses sehr trockenen Monats im Jahr 1983, die durch die Interpolation nicht ausreichend gut wiedergegeben werden.

Tab. 12: Statistische Kenngrößen der prozentualen Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981 – 1990 für 4 anteilige Sektoren Deutschlands

Größe	Sektor	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF (%)	NW	7,9	11,5	7,8	10,6	13,5	12,1	16,9	15,4	10,5	8,5	8,1	7,4
	SW	9,7	11,1	10,0	10,7	14,6	14,0	16,5	17,8	12,4	9,9	9,4	8,7
	SO	9,2	10,6	10,5	10,7	13,9	12,4	16,6	14,3	10,9	11,3	9,3	8,7
	NO	10,0	12,1	10,1	12,4	16,6	12,2	17,2	14,7	12,4	10,8	9,2	8,2
STABW (%)	NW	7,3	15,3	7,6	10,2	15,9	11,9	21,6	16,4	9,9	7,9	7,4	6,7
	SW	9,8	11,6	9,6	10,6	22,3	13,5	21,9	19,2	13,1	12,0	8,6	8,0
	SO	8,9	10,6	10,7	10,2	21,1	12,2	66,6	14,0	10,6	15,8	8,6	8,3
	NO	10,1	18,8	11,5	25,2	34,1	11,9	39,1	15,1	19,6	12,2	10,0	8,9
VAR	NW	0,005	0,023	0,006	0,010	0,025	0,014	0,047	0,027	0,010	0,006	0,005	0,004
	SW	0,010	0,013	0,009	0,011	0,050	0,018	0,048	0,037	0,017	0,014	0,007	0,006
	SO	0,008	0,011	0,012	0,010	0,044	0,015	0,444	0,020	0,011	0,025	0,007	0,007
	NO	0,010	0,035	0,013	0,063	0,116	0,014	0,153	0,023	0,039	0,015	0,010	0,008

2.1.2.2 Höhenabhängigkeit

Für die statistische Analyse zur Interpolationsqualität der Niederschlagsraster in 7 verschiedenen Höhenstufen kommt im Vergleich zu den Temperaturfeldern eine bis zu 10-fache Anzahl von Stationswerten zur Auswertung.

Tab. C: Maximale Anzahl der ausgewerteten Stationen für 7 Höhenstufen im Zeitraum 1981 – 1990

Höhe	Maximale Anzahl der Stationen
0 – 50 m	788
51 – 100 m	543
101 – 200 m	638
201 – 400 m	1117
401 – 600 m	870
601 – 1000 m	372
1001 – 3000 m	30
Deutschland	4491

Die relativen Häufigkeiten der absoluten prozentualen Abweichungen für Januar, April, Juli und Oktober sind in Abb. 49 bis 52 dargestellt. Bis in 1000 m Höhe ergeben sich die Häufigkeitsmaxima in der Abweichungsklasse 0 – 5 %, die Verteilungen liegen jeweils dicht an denjenigen für die ganz Deutschland. Oberhalb 1000 m treten Abweichungen von 10 % im April und Juli am häufigsten auf, die Verteilungen sind mit Ausnahme des Julis deutlich flacher und breiter als für die übrigen Höhenstufen.

Die Summenhäufigkeit von Abweichungen bis 10 % (Tab. 13) liegt zwischen 40 % und 74 %, die Interpolationsqualität ist damit durchaus mit derjenigen für die Monatsmitteltemperatur vergleichbar, es zeigt sich jedoch deutlich der Einfluss sommerlicher Niederschlagsextrema in Form der niedrigeren Häufigkeitswerte im Mai, Juli und August.

Tab. 13: Relative Häufigkeit prozentualer Abweichungen bis 10 % der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981 – 1990 für alle Höhenstufen und ganz Deutschland

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0 – 50 m	68,4 %	59,2 %	69,6 %	57,0 %	48,6 %	52,8 %	43,2 %	46,2 %	56,5 %	65,1 %	70,3 %	73,9 %
51 – 100 m	66,4 %	59,9 %	66,0 %	57,1 %	46,2 %	53,5 %	41,1 %	45,5 %	53,8 %	63,8 %	69,9 %	73,2 %
101 – 200 m	63,6 %	57,5 %	62,3 %	59,1 %	51,1 %	51,8 %	45,0 %	42,9 %	55,5 %	61,6 %	65,2 %	69,5 %
201 – 400 m	65,6 %	60,0 %	63,6 %	60,2 %	53,0 %	51,4 %	46,7 %	43,3 %	58,1 %	63,6 %	65,3 %	69,6 %
401 – 600 m	65,4 %	60,2 %	61,8 %	60,8 %	53,6 %	52,9 %	49,0 %	47,4 %	59,3 %	62,1 %	65,2 %	69,6 %
601 – 1000 m	61,9 %	54,6 %	60,3 %	60,7 %	58,3 %	57,4 %	52,9 %	53,3 %	59,4 %	61,0 %	63,3 %	63,2 %
1001 – 3000 m	48,8 %	45,9 %	46,3 %	50,9 %	55,2 %	56,9 %	54,1 %	58,4 %	54,8 %	53,0 %	46,6 %	48,0 %
Deutschland	65,5 %	59,0 %	64,0 %	59,2 %	51,7 %	52,8 %	46,2 %	45,8 %	57,2 %	63,0 %	66,5 %	70,1 %

Die Quantile für die prozentualen Abweichungen der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert geben diese im Sommer auftretende Qualitätsminderung mit Werten > 20 % an. In Tab. 14 ist das 80 %-Quantil aufgeführt. Sommerliche Starkniederschläge treten in großen Höhen seltener auf, was durch entsprechend niedrigere prozentuale Abweichungen oberhalb 600 m wiedergegeben wird (Abb. 56).

Tab. 14: Monatliche Werte des 80 %-Quantils der prozentualen Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981 – 1990 (%) für alle Höhenstufen und ganz Deutschland

Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0 – 50 m	13,3 %	16,4 %	12,9 %	18,1 %	22,9 %	18,6 %	25,3 %	22,5 %	18,0 %	14,5 %	12,5 %	11,7 %
51 – 100 m	14,2 %	16,7 %	14,4 %	17,6 %	24,7 %	18,6 %	26,6 %	23,2 %	19,1 %	15,0 %	13,1 %	11,8 %
101 – 200 m	14,7 %	17,7 %	15,6 %	16,8 %	22,6 %	20,0 %	24,4 %	23,9 %	18,1 %	15,8 %	14,2 %	12,9 %
201 – 400 m	13,9 %	16,7 %	15,1 %	16,0 %	20,5 %	20,1 %	23,2 %	24,5 %	17,2 %	15,0 %	14,0 %	12,8 %
401 – 600 m	14,3 %	16,1 %	15,4 %	15,9 %	19,9 %	19,3 %	21,6 %	22,5 %	16,6 %	15,7 %	14,0 %	13,2 %
601 – 1000 m	15,7 %	18,1 %	15,7 %	16,3 %	17,7 %	17,1 %	19,8 %	18,9 %	16,2 %	15,7 %	14,9 %	14,8 %
1001 – 3000 m	21,2 %	25,2 %	21,3 %	23,1 %	19,4 %	15,9 %	18,5 %	16,8 %	19,4 %	18,5 %	22,3 %	22,7 %
Deutschland	14,2 %	16,8 %	14,8 %	16,7 %	21,4 %	19,1 %	23,6 %	23,0 %	17,5 %	15,2 %	13,8 %	12,7 %

Die mittlere prozentuale Abweichung fällt für diese Höhen im Sommer ebenfalls kleiner aus als im restlichen Jahr (Tab. 15, Abb. 53). Die in weiten Bereichen Deutschlands sehr trocken ausgefallenen Monate Mai 1990 und Juli 1983 beeinflussen mit prozentualen Abweichungen > 500 % (Tab. D) die mittleren prozentualen Abweichungen (MAF) in den Höhenstufen 51 – 100 m und 201 – 400 m sehr viel schwächer als die Standardabweichung und die Varianz. (Abb. 54 und 55).

Tab. 15: Statistische Kenngrößen der prozentualen Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981 – 1990 (%) für alle Höhenstufen und ganz Deutschland

Größe	Höhe	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF (%)	0 – 50 m	8,8	11,7	8,4	13,2	15,5	12,0	18,6	15,1	12,5	9,6	8,3	7,5
	51 – 100 m	9,4	11,3	9,5	12,8	17,6	12,1	19,3	15,1	13,0	10,1	8,5	7,5
	101 – 200 m	9,7	12,5	10,4	11,7	16,6	13,0	16,9	16,2	12,5	10,7	9,6	8,4
	201 – 400 m	9,2	11,2	9,9	10,4	15,1	13,2	17,1	16,3	11,1	10,1	9,1	8,2
	401 – 600 m	9,3	10,7	10,1	10,5	13,8	12,5	15,2	14,5	10,8	10,9	9,1	8,4
	601 – 1000 m	10,2	12,2	10,3	10,5	11,9	11,1	13,6	12,1	10,7	10,9	9,6	9,8
	1001 – 3000 m	14,7	16,1	14,4	14,6	12,1	11,3	12,6	10,9	11,6	12,4	14,6	15,0
	Deutschland	9,4	11,5	9,8	11,4	15,1	12,5	16,9	15,2	11,7	10,4	9,0	8,3
STABW (%)	0 – 50 m	9,2	16,5	8,7	25,4	20,1	11,1	30,3	16,5	22,3	10,7	8,2	8,0
	51 – 100 m	9,9	13,8	10,4	21,1	25,1	11,2	62,4	14,9	17,7	11,3	8,8	6,8
	101 – 200 m	9,7	23,9	12,7	18,0	36,3	12,5	23,2	17,1	17,8	12,2	10,6	8,2
	201 – 400 m	8,8	13,2	10,4	9,7	34,6	13,5	62,3	17,3	10,9	11,9	8,9	7,5
	401 – 600 m	9,0	11,9	10,1	20,6	18,4	12,4	21,5	14,0	11,0	14,1	8,6	9,2
	601 – 1000 m	9,6	12,4	10,0	10,6	13,4	10,5	18,3	11,7	10,6	15,7	8,9	9,7
	1001 – 3000 m	16,7	17,4	14,4	14,2	11,2	10,6	11,3	9,7	10,2	12,1	14,1	15,6
	Deutschland	9,4	15,7	10,5	18,5	27,2	12,2	43,0	15,8	15,5	12,5	9,1	8,3
VARIANZ	0 – 50 m	0,008	0,027	0,008	0,064	0,040	0,012	0,092	0,027	0,050	0,011	0,007	0,006
	51 – 100 m	0,010	0,019	0,011	0,044	0,063	0,013	0,389	0,022	0,031	0,013	0,008	0,005
	101 – 200 m	0,009	0,057	0,016	0,033	0,132	0,016	0,054	0,029	0,032	0,015	0,011	0,007
	201 – 400 m	0,008	0,017	0,011	0,009	0,120	0,018	0,388	0,030	0,012	0,014	0,008	0,006
	401 – 600 m	0,008	0,014	0,010	0,043	0,034	0,015	0,046	0,020	0,012	0,020	0,007	0,008
	601 – 1000 m	0,009	0,015	0,010	0,011	0,018	0,011	0,034	0,014	0,011	0,025	0,008	0,009
	1001 – 3000 m	0,028	0,030	0,021	0,020	0,013	0,011	0,013	0,009	0,010	0,015	0,020	0,024
	Deutschland	0,009	0,024	0,011	0,034	0,074	0,015	0,185	0,025	0,024	0,016	0,008	0,007

2.2 Periodenvergleich 1901 – 1950 mit 1981 – 1990

2.2.1 Temperatur

In den Jahren 1901 bis 1950 wächst die Anzahl der Stationen, die Monatsmitteltemperaturen messen, von 221 auf 529. Am Ende der Vergleichsperiode entspricht die Stationsanzahl nahezu derjenigen aus dem bisher betrachteten Zeitraum.

Trotz geringerer Stationsdichte und deutlichen Datenlücken in den Jahren des zweiten Weltkrieges zeigen die Häufigkeitsverteilungen der absoluten Differenzen für beide Zeiträume (Abb. 57 und 58), beispielhaft für die Monate Januar, April, Juli und Oktober dargestellt, keine wesentlichen Unterschiede in der Lage des Maximums bei der Klasse 0–0,5 K und dem starken Abfall zu größeren Abweichungsklassen, die Kurvenverläufe entsprechen sich. Klare Unterschiede ergeben sich allerdings in den prozentualen Anteilen, die sich am besten in der Darstellung der Häufigkeitsdifferenzen erkennen lassen (Abb. 59). Für die Abweichungsklassen 0 K und alle Abweichungen > 1,5 K fallen die Interpolationsergebnisse ähnlich gut aus wie in dem zuvor betrachteten Zeitraum. Die Häufigkeit von Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen im Bereich von 0 K–0,5 K ist in allen Monaten für den Zeitraum 1981–1990 deutlich größer als im Vergleichszeitraum, in den Monaten März (9,4 %) und Juni (8,3 %) treten die größten Unterschiede auf. Im November ist die Häufigkeitsdifferenz mit 0,2 % besonders gering. Anteilig sind die Häufigkeiten der Abweichungen für den Zeitraum 1901–1950 in die Klassen 0,5 K–1,0 K und 1,0 K–1,5 K verschoben, die Differenz der Häufigkeiten zeigt sich bis zu –6,4 % (Klasse 0,5 K–1,0 K im März) entsprechend eindeutig negativ. Die geringere Stationsdichte führt demnach verstärkt zu einer Unterschätzung der Temperatur durch die Interpolation. Abb. 60 zeigt dazu als Beispiel die Häufigkeiten positiver und negativer Differenzen für die Monate März und September aus den verglichenen Zeiträumen mit jeweils leicht rechtsschiefen Verteilungen.

2.2.1.1 Regionale Abhängigkeit

Die im Periodenvergleich für die Interpolationsqualität ausgemachten Ergebnisse aus der Auswertung für ganz Deutschland findet man ebenfalls in den für die Unterteilung in 4 anteilige Sektoren durchgeführten Untersuchungen. Die Abb. 61 bis 64 zeigen, dass im westlichen Teil Deutschlands vor allem in der ersten Jahreshälfte des Vergleichszeitraums eine starke Verschiebung der Häufigkeiten des Abweichungsbereichs 0 K–0,5 K hin zu größeren absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen stattfindet (im Nordwesten für Juni bis zu 11,7 %, Abb. 61). Im Südosten tritt diese Verschiebung bis zu maximal 15 % im März, Mai und Juni (Abb. 63) generell auf. Im Nordosten Deutschlands sind die Häufigkeitsdifferenzen geringer als im Südosten, was man dem Einfluss des weniger strukturierten Geländes zuordnen kann, und die Verschiebung der anteiligen Häufigkeiten aus der Klasse 0 K–0,5 K erfolgt vorrangig für alle Monate in die Klasse 0,5–1,0 K.

Mittlerer absoluter Fehler, 80 %-Quantil, Standardabweichung und Varianz geben die schlechteren Interpolationsergebnisse für den Südosten Deutschlands durch im Vergleich entsprechend höhere Werte wieder (Tab. 16, Abb. 66 bis 69).

Tab.16: Statistische Kenngrößen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen für 4 anteilige Sektoren und ganz Deutschland in den Zeiträumen 1981 – 1990 und 1901 – 1950

Kenngröße	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF BRD 8190	0,42	0,41	0,35	0,36	0,38	0,35	0,40	0,42	0,41	0,41	0,41	0,38
MAF BRD 0150	0,47	0,45	0,44	0,40	0,42	0,42	0,42	0,44	0,46	0,45	0,40	0,43
MAF NW 8190	0,32	0,33	0,27	0,31	0,33	0,28	0,33	0,38	0,38	0,35	0,35	0,30
MAF NW 0150	0,34	0,33	0,35	0,34	0,39	0,38	0,36	0,37	0,39	0,37	0,32	0,32
MAF SW 8190	0,45	0,45	0,40	0,40	0,44	0,38	0,48	0,53	0,49	0,45	0,47	0,42
MAF SW 0150	0,51	0,50	0,51	0,42	0,42	0,43	0,44	0,48	0,49	0,48	0,44	0,48
MAF SO 8190	0,55	0,49	0,41	0,37	0,35	0,34	0,40	0,41	0,43	0,47	0,47	0,49
MAF SO 0150	0,67	0,65	0,59	0,51	0,52	0,51	0,52	0,54	0,58	0,60	0,54	0,62
MAF NO 8190	0,37	0,35	0,31	0,35	0,38	0,37	0,35	0,35	0,34	0,36	0,34	0,32
MAF NO 0150	0,38	0,36	0,35	0,34	0,37	0,39	0,36	0,37	0,39	0,38	0,32	0,34
80% -Qu. BRD 8190	0,62	0,62	0,55	0,57	0,59	0,55	0,62	0,67	0,65	0,64	0,61	0,58
80% -Qu. BRD 0150	0,70	0,68	0,69	0,62	0,66	0,67	0,64	0,70	0,72	0,70	0,60	0,65
80% -Qu. NW 8190	0,50	0,53	0,44	0,49	0,54	0,46	0,54	0,63	0,60	0,58	0,56	0,47
80% -Qu. NW 0150	0,53	0,52	0,56	0,54	0,62	0,62	0,58	0,59	0,63	0,59	0,5	0,51
80% -Qu. SW 8190	0,68	0,71	0,64	0,622	0,71	0,61	0,79	0,85	0,8	0,73	0,73	0,65
80% -Qu. SW 0150	0,82	0,79	0,79	0,66	0,68	0,69	0,71	0,77	0,78	0,76	0,70	0,75
80% -Qu. SO 8190	0,81	0,76	0,63	0,56	0,53	0,52	0,61	0,62	0,65	0,70	0,65	0,70
80% -Qu. SO 0150	0,95	0,93	0,87	0,75	0,75	0,74	0,77	0,84	0,87	0,85	0,76	0,87
80% -Qu. NO 8190	0,56	0,53	0,48	0,55	0,58	0,57	0,56	0,58	0,53	0,54	0,52	0,50
80% -Qu. NO 0150	0,58	0,56	0,57	0,56	0,60	0,63	0,57	0,60	0,62	0,61	0,51	0,54
STABW BRD 8190	0,47	0,40	0,32	0,32	0,32	0,28	0,34	0,36	0,37	0,39	0,45	0,40
STABW BRD 0150	0,56	0,51	0,45	0,41	0,43	0,41	0,40	0,39	0,44	0,48	0,47	0,53
STABW NW 8190	0,30	0,28	0,23	0,27	0,28	0,23	0,27	0,30	0,30	0,29	0,31	0,27
STABW NW 0150	0,35	0,31	0,30	0,28	0,31	0,31	0,30	0,30	0,35	0,32	0,31	0,31
STABW SW 8190	0,42	0,39	0,34	0,34	0,36	0,29	0,39	0,42	0,42	0,41	0,47	0,39
STABW SW 0150	0,47	0,44	0,43	0,35	0,35	0,36	0,38	0,41	0,44	0,41	0,39	0,46
STABW SO 8190	0,67	0,53	0,40	0,35	0,33	0,28	0,38	0,37	0,40	0,48	0,60	0,57
STABW SO 0150	0,88	0,79	0,68	0,64	0,68	0,63	0,57	0,52	0,58	0,74	0,77	0,86
STABW NO 8190	0,39	0,33	0,28	0,29	0,31	0,31	0,28	0,31	0,33	0,35	0,33	0,30
STABW NO 0150	0,39	0,34	0,30	0,29	0,32	0,32	0,29	0,30	0,32	0,32	0,28	0,30
VAR. BRD 8190	0,220	0,162	0,105	0,100	0,105	0,080	0,116	0,131	0,139	0,155	0,202	0,163
VAR. BRD 0150	0,312	0,256	0,206	0,168	0,187	0,172	0,158	0,155	0,190	0,226	0,221	0,276
VAR. NW 8190	0,087	0,081	0,053	0,073	0,081	0,054	0,073	0,088	0,092	0,087	0,095	0,072
VAR. NW 0150	0,120	0,097	0,091	0,081	0,099	0,098	0,089	0,090	0,123	0,103	0,095	0,094
VAR. SW 8190	0,177	0,156	0,116	0,113	0,127	0,086	0,150	0,176	0,175	0,165	0,225	0,148
VAR. SW 0150	0,222	0,197	0,186	0,125	0,121	0,128	0,144	0,165	0,197	0,169	0,152	0,210
VAR. SO 8190	0,445	0,286	0,158	0,122	0,106	0,077	0,145	0,139	0,158	0,232	0,360	0,321
VAR. SO 0150	0,776	0,629	0,466	0,406	0,467	0,392	0,324	0,274	0,340	0,554	0,587	0,732
VAR. NO 8190	0,150	0,111	0,077	0,086	0,095	0,093	0,079	0,095	0,111	0,124	0,111	0,092
VAR. NO 0150	0,153	0,113	0,088	0,086	0,100	0,100	0,086	0,089	0,102	0,101	0,081	0,093

2.2.2 Niederschlag

Aufgrund der großen Anzahl von Niederschlagsstationen war der zeitliche Rechenaufwand für die Rastervalidierungen sehr aufwendig, als Vergleichszeitraum wurden daher nur 10 Jahre ausgewertet. In den Jahren 1901 – 1910 erhöhte sich die Zahl der Niederschlagsstationen, die zur Auswertung kamen, von 1935 auf 2360. Damit lagen am Ende des Vergleichszeitraumes etwas mehr als die Hälfte an Stationen vor als 1981 – 1990.

Die Häufigkeitsverteilungen der prozentualen Abweichungen für beide Zeiträume (Abb. 70 und 71), exemplarisch für die Monate Januar, April, Juli und Oktober dargestellt, zeigen nur geringen Einfluss der Stationsdichte und der Datenlücken in dem Zeitraum 1901 – 1910 auf den Kurvenverlauf. Es gibt keine Unterschiede in der Lage des Maximums bei der Abweichungsklasse $>0\% - 5\%$ und der Breite der Verteilungen. Die Abweichungen in den prozentualen Anteilen, gut erkennbar in der Darstellung der Häufigkeitsdifferenzen (Abb. 72), ergeben keine eindeutige jahreszeitliche Abhängigkeit. Die größte Schwankungsbreite der Abweichungen tritt in dem Bereich $>0\% - 5\%$ auf. Im Februar liegen die interpolierten Niederschlagssummen für den Zeitraum 1901 – 1910 um 10 % häufiger dicht an den gemessenen Stationswerten als im Vergleichszeitraum. Die größere Stationsdichte der Jahre 1981 – 1990 ergibt nur in den Monaten Januar (1 %), Juni (6 %), November (2 %) und Dezember (8 %) größere Häufigkeiten dieser geringen Abweichungen, anteilig sind die Häufigkeiten der übrigen Monate für diesen Zeitraum vorrangig in die Klassen $>10\% - 15\%$ und $>15\% - 20\%$ verschoben. Die geringsten Unterschiede in den Häufigkeiten finden sich in den Monaten Januar, Mai, Juli und November. Dies deutet auf einen „Glättungseffekt“ hin. Extreme Niederschlagsereignisse werden durch ein schwächer besetztes Stationsnetz schlechter erfasst und entsprechend mit der Interpolation auch nicht wiedergegeben.

Aus der Verteilung der positiven und negativen prozentualen Abweichungen der Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen (Abb. 73) geht hervor, dass durch die geringere Stationsdichte bei insgesamt guter Interpolationsqualität wie für die Temperatur eher eine Unterschätzung der Niederschlagssummen stattfindet.

2.2.2.1 Regionale Abhängigkeit

Der Vergleich der prozentualen Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen für die betrachteten Sektoren Deutschlands lassen zunächst keine klare Aussage über geographische Einflüsse zu, da die großen Unterschiede in der Anzahl der ausgewerteten Datensätze hier ebenfalls eine Rolle spielt. Die größte Stationsdichte im Nordosten Deutschlands (Tab. D) des Zeitraums 1981 – 1990 führt nicht zu den kleinsten mittleren prozentualen Abweichungen. Diese treten im Vergleichszeitraum auf, in dem die Anzahl der ausgewerteten Datensätze lediglich ein Viertel beträgt (Abb. 79 und Abb. 83). In der Periode 1901 – 1910 ist die Häufigkeit der prozentualen Abweichungen in der Klasse $0 - 5\%$ mit Ausnahme der Monate Juni und Dezember zwischen 3 % (November) und 18 % (Februar) größer als in den Jahren 1981 – 1990 und ein Jahresgang ist erkennbar, während sich dieser für die Auswertung der 1918 Stationen nicht ersehen lässt. Für den Zeitraum 1981 – 1990 verschieben sich die Anteile der Häufigkeiten vorrangig in die Klassen prozentualer Abweichungen $>10\%$. Demnach führen das wenig strukturierte Relief und die geringere Stationsdichte im Nordosten wiederum zu einer Glättung und zu geringeren Abweichungen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen. Die 80%-Quantile im Nordosten sind entsprechend niedriger und verhalten sich analog zu den prozentualen Abweichungen (Abb. 80).

Tab. D: Mittlere jährliche Anzahl ausgewerteter Datensätze in den Zeiträumen 1981 – 1990 und 1901 – 1910 für 4 Sektoren Deutschlands

Sektor	1981 – 1990	1901 – 1910
Nordwesten	795	443
Südwesten	607	227
Südosten	981	283
Nordosten	1918	533

In den übrigen Sektoren überwiegen die geringeren mittleren prozentualen Abweichungen für den Zeitraum 1981 – 1990 (Tab. 17). Im Südosten Deutschlands liegt bei einem ähnlichen Zahlenverhältnis zwischen den ausgewerteten Stationsdaten die mittlere prozentuale Abweichung im Zeitraum 1901 – 1910 teilweise deutlich (Ausnahme Juli) über derjenigen der Jahre 1981 – 1990, für die damit die besseren Interpolationsergebnisse erzielt werden (Abb. 84). In allen Sektoren unterliegen die Häufigkeitsdifferenzen für prozentuale Abweichungen der Klasse 0 % – 5 % den größten Schwankungen.

Tab. 17: Statistische Kenngrößen der prozentualen Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert für 4 anteilige Sektoren und ganz Deutschland in den Zeiträumen 1981 – 1990 und 1901 – 1910

Kenngröße	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
MAF BRD 8190	9,4%	11,5%	9,8%	11,4%	15,1%	12,5%	16,9%	15,2%	11,7%	10,4%	9,0%	8,3%
MAF BRD 0110	12,3%	10,3%	10,6%	10,3%	13,4%	17,2%	15,6%	13,2%	10,5%	12,2%	11,9%	13,6%
MAF NW 8190	7,9%	11,5%	7,8%	10,6%	13,5%	12,1%	16,9%	15,4%	10,5%	8,5%	8,1%	7,4%
MAF NW 0110	13,7%	10,7%	11,1%	10,5%	13,9%	18,3%	17,4%	13,8%	11,5%	13,1%	13,0%	14,4%
MAF SW 8190	9,7%	11,1%	10,0%	10,7%	14,6%	14,0%	16,5%	17,8%	12,4%	9,9%	9,4%	8,7%
MAF SW 0110	13,2%	11,4%	11,0%	10,6%	15,1%	17,9%	16,0%	13,0%	11,2%	12,9%	12,3%	14,9%
MAF SO 8190	9,2%	10,6%	10,5%	10,7%	13,9%	12,4%	16,6%	14,3%	10,9%	11,3%	9,3%	8,7%
MAF SO 0110	14,7%	13,3%	13,1%	11,9%	14,8%	19,0%	15,9%	15,5%	11,2%	13,6%	13,5%	16,5%
MAF NO 8190	10,0%	12,1%	10,1%	12,4%	16,6%	12,2%	17,2%	14,7%	12,4%	10,8%	9,2%	8,2%
MAF NO 0110	9,3%	7,9%	8,7%	9,0%	11,7%	15,1%	13,6%	11,6%	9,2%	10,5%	10,1%	11,0%
80% -Qu. BRD 8190	14,2%	16,8%	14,8%	16,7%	21,4%	19,1%	23,6%	23,0%	17,5%	15,2%	13,8%	12,7%
80% -Qu. BRD 0110	16,7%	14,3%	15,0%	14,6%	19,5%	25,7%	22,2%	19,3%	15,5%	15,6%	16,8%	18,4%
80% -Qu. NW 8190	12,1%	16,4%	12,0%	16,3%	20,3%	18,5%	24,6%	22,9%	16,3%	13,1%	12,6%	11,6%
80% -Qu. NW 0110	17,7%	15,0%	16,2%	15,1%	20,6%	27,0%	24,7%	20,0%	16,7%	16,6%	18,0%	19,4%
80% -Qu. SW 8190	14,4%	16,7%	15,5%	16,2%	21,0%	21,7%	23,9%	26,0%	18,6%	14,8%	14,6%	13,4%
80% -Qu. SW 0110	19,0%	15,8%	16,3%	15,0%	20,8%	26,6%	24,3%	19,2%	16,0%	16,3%	17,2%	20,3%
80% -Qu. SO 8190	14,1%	16,3%	16,0%	16,5%	19,7%	19,1%	21,7%	22,1%	16,8%	15,9%	14,2%	13,4%
80% -Qu. SO 0110	19,5%	17,8%	16,9%	17,0%	21,7%	27,7%	22,6%	22,8%	16,5%	17,5%	18,7%	20,1%
80% -Qu. NO 8190	15,2%	17,4%	15,2%	17,2%	22,8%	18,7%	24,1%	22,4%	18,0%	15,9%	13,8%	12,7%
80% -Qu. NO 0110	13,5%	10,8%	12,2%	12,9%	17,6%	22,8%	18,9%	17,0%	13,4%	13,4%	14,3%	15,9%
STABW BRD 8190	9,4%	15,7%	10,5%	18,5%	27,2%	12,2%	43,0%	15,8%	15,5%	12,5%	9,1%	8,3%
STABW BRD 0110	23,5%	17,9%	25,5%	15,9%	17,4%	20,9%	23,9%	16,0%	13,6%	25,5%	18,4%	47,8%
STABW NW 8190	7,3%	15,3%	7,6%	10,2%	15,9%	11,9%	21,6%	16,4%	9,9%	7,9%	7,4%	6,7%
STABW NW 0110	28,5%	16,2%	15,3%	17,5%	16,8%	21,3%	24,1%	15,3%	14,8%	29,2%	21,0%	24,2%
STABW SW 8190	9,8%	11,6%	9,6%	10,6%	22,3%	13,5%	21,9%	19,2%	13,1%	12,0%	8,6%	8,0%
STABW SW 0110	19,0%	20,6%	13,4%	15,5%	23,9%	20,6%	21,1%	15,0%	15,4%	26,5%	17,0%	26,7%
STABW SO 8190	8,9%	10,6%	10,7%	10,2%	21,1%	12,2%	66,6%	14,0%	10,6%	15,8%	8,6%	8,3%
STABW SO 0110	32,5%	25,8%	51,1%	17,5%	18,1%	26,5%	25,3%	20,9%	14,6%	24,7%	22,0%	
STABW NO 8190	10,1%	18,8%	11,5%	25,2%	34,1%	11,9%	39,1%	15,1%	19,6%	12,2%	10,0%	8,9%
STABW NO 0110	11,8%	11,4%	12,2%	13,5%	13,7%	16,6%	24,0%	13,7%	10,7%	21,9%	14,0%	14,6%
VAR. BRD 8190	0,009	0,024	0,011	0,034	0,074	0,015	0,185	0,025	0,024	0,016	0,008	0,007
VAR BRD 0110	0,055	0,032	0,065	0,025	0,030	0,044	0,057	0,026	0,018	0,065	0,034	0,228
VAR. NW 8190	0,005	0,023	0,006	0,01	0,025	0,014	0,047	0,027	0,01	0,006	0,005	0,004
VAR NW 0110	0,081	0,026	0,023	0,031	0,028	0,045	0,058	0,023	0,022	0,085	0,044	0,058
VAR SW 8190	0,01	0,013	0,009	0,011	0,05	0,018	0,048	0,037	0,017	0,014	0,007	0,006
VAR SW 0110	0,036	0,042	0,018	0,024	0,057	0,042	0,045	0,022	0,024	0,070	0,029	0,071
VAR SO 8190	0,008	0,011	0,012	0,01	0,044	0,015	0,444	0,02	0,011	0,025	0,007	0,007
VAR SO 0110	0,105	0,067	0,261	0,030	0,033	0,070	0,064	0,044	0,021	0,061	0,049	
VAR NO 8190	0,01	0,035	0,013	0,063	0,116	0,014	0,153	0,023	0,039	0,015	0,01	0,008
VAR NO 0110	0,014	0,013	0,015	0,018	0,019	0,028	0,058	0,019	0,011	0,048	0,020	0,021

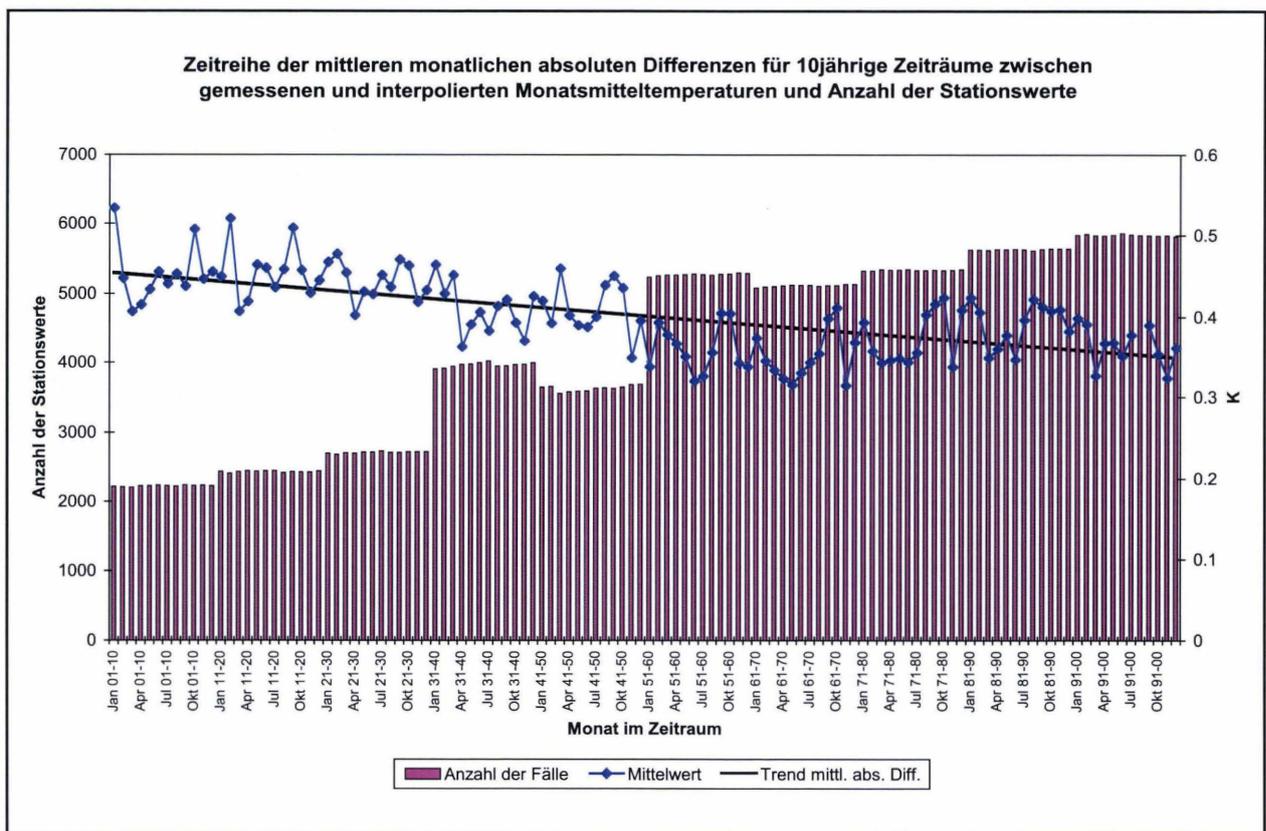
3. Analyse der Rasterfelder für die Jahre 1901 – 2000

Das Validierungsverfahren mittels Cross Validation wurde systematisch auf die Einzelmonate aus jeweils 10 zusammenhängenden Datenjahren des Zeitraums 1901 – 2000 angewendet. Die statistische Analyse der ausgegebenen Differenzen (für den Niederschlag: prozentuale Abweichungen zum Mittelwert der Jahre 1961 – 1990) liefert in erster Linie Erkenntnisse über den Einfluss der Stationsdichte auf die Qualität der interpolierten Rasterfelder.

3.1 Temperatur

Die Entwicklung der mittleren monatlichen Differenzen für 10-jährige Zeiträume zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Stationsdichte (Abb. A), saisonale Einflüsse sind jedoch nur sehr schwach ausgeprägt, wie Tab. 18 besser erkennen lässt.

Abb. A: Zeitreihe der mittleren monatlichen absoluten Differenzen für 10-jährige Zeiträume zwischen gemessenen und interpolierten Monatsmitteltemperaturen und Anzahl der Stationswerte



Tab. 18: Mittlere monatliche absolute Differenzen für 10-jährige Zeiträume zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Mitteltemperaturen (K)

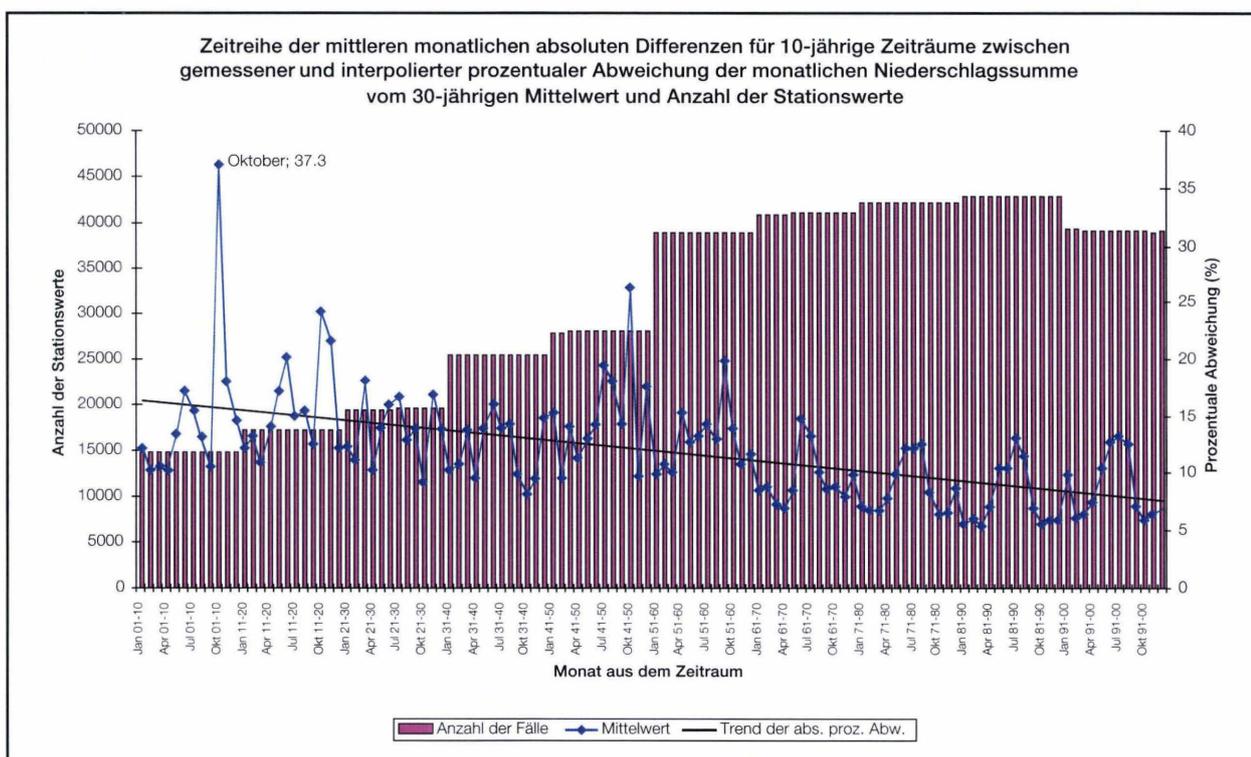
Zeitraum	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1901–1910	0.53	0.45	0.41	0.42	0.43	0.46	0.44	0.45	0.44	0.51	0.45	0.46
1911–1920	0.45	0.52	0.41	0.42	0.46	0.46	0.44	0.46	0.51	0.46	0.43	0.44
1921–1930	0.47	0.48	0.45	0.40	0.43	0.43	0.45	0.44	0.47	0.46	0.42	0.43
1931–1940	0.46	0.43	0.45	0.36	0.39	0.41	0.38	0.41	0.42	0.39	0.37	0.43
1941–1950	0.42	0.39	0.46	0.40	0.39	0.39	0.40	0.44	0.45	0.44	0.35	0.40
1951–1960	0.34	0.39	0.38	0.37	0.35	0.32	0.33	0.36	0.40	0.40	0.34	0.34
1961–1970	0.37	0.34	0.33	0.32	0.31	0.33	0.34	0.35	0.40	0.41	0.31	0.37
1971–1980	0.39	0.36	0.34	0.35	0.35	0.34	0.36	0.40	0.42	0.42	0.34	0.41
1981–1990	0.42	0.41	0.35	0.36	0.38	0.35	0.40	0.42	0.41	0.41	0.41	0.38
1991–2000	0.40	0.39	0.33	0.37	0.37	0.35	0.38	0.45	0.39	0.35	0.32	0.36

3.2 Niederschlag

Die Zeitreihe der absoluten prozentualen Abweichungen monatlicher Niederschlagssummen vom Mittelwert (Abb. B) zeigt ebenfalls eine Verringerung des Fehlers mit zunehmender Stationsdichte.

Extreme Niederschlagsereignisse werden durch ein schwächer besetztes Stationsnetz schlechter erfasst und entsprechend mit der Interpolation auch nicht wiedergegeben. Der Oktober 1908 war in weiten Teilen Deutschlands sehr trocken, daraus resultieren große Abweichungen zwischen gemessenen und interpolierten Werten, die den Mittelwert für Oktober 1901–1910 entscheidend beeinflussen. Sommerliche extreme Niederschläge spiegeln sich entsprechend in den relativen Maxima der absoluten prozentualen Abweichungen wieder.

Abb. B: Zeitreihe der mittleren monatlichen absoluten Differenzen für 10-jährige Zeiträume zwischen gemessener und interpolierter prozentualer Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme vom 30-jährigen Mittelwert und Anzahl der Stationswerte



Saisonale Einflüsse und die Abhängigkeit der mittleren absoluten Abweichung von der Stationsdichte werden auch in Tab. 19 deutlich.

Tab. 19: Mittlere monatliche absolute Differenzen für 10-jährige Zeiträume zwischen gemessener und interpolierter prozentualer Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme vom 30-jährigen Mittelwert (%)

Zeitraum	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1901 – 1910	12.3	10.3	10.6	10.3	13.4	17.2	15.6	13.2	10.5	37.3	18.0	14.5
1911 – 1920	12.2	13.2	10.7	14.0	17.3	20.1	15.0	15.5	12.4	24.2	21.6	12.1
1921 – 1930	12.3	11.1	18.1	10.3	13.9	16.0	16.7	12.8	13.9	9.1	17.1	13.8
1931 – 1940	10.1	10.7	13.7	9.5	13.9	15.9	13.7	14.2	9.8	8.1	9.6	14.7
1941 – 1950	15.3	9.5	14.1	11.3	13.0	14.2	19.4	18.0	14.3	26.2	9.5	17.6
1951 – 1960	9.9	10.7	10.1	15.2	12.5	13.2	14.2	12.8	19.7	13.9	10.8	11.7
1961 – 1970	8.4	8.9	7.3	6.8	8.4	14.8	13.1	10.1	8.5	8.8	7.9	9.9
1971 – 1980	7.1	6.8	6.8	7.9	9.9	12.2	12.1	12.5	8.4	6.4	6.6	8.6
1981 – 1990	5.5	6.1	5.4	7.1	10.4	10.4	13.1	11.4	6.9	5.6	5.9	5.8
1991 – 2000	9.9	6.1	6.4	7.4	10.4	12.7	13.1	12.5	7.2	5.9	6.4	6.9

4. Interpolation mit GIS-Verfahren

Der deutsche Wetterdienst verwendet in weiten Bereichen zur routinemäßigen Erstellung von Karten eines Parameters das Programm ArcGIS. Um die Qualitätsmaßzahlen der mit diesem Programm erzeugten Rasterkarten mit denjenigen aus dem bisher standardisierten Interpolationsverfahren des DWD erhaltenen Rastern vergleichen zu können, müssen die jeweils bei der Erstellung ausgegebenen statistischen Kenngrößen erfasst werden, die sich aus der Kreuzvalidierung ergeben.

Zunächst wurde durch den Vergleich unterschiedlicher Verfahren bei der Kartenerstellung entschieden, welche letztlich für die systematische Gegenüberstellung Verwendung finden sollen. Der Schwerpunkt lag auf der Betrachtung der unterschiedlichen Kriging-Verfahren, insbesondere dem Cokriging, da hier die Möglichkeit besteht, die Höhenabhängigkeit bei der Interpolation mit einzubeziehen. Generell interpolieren alle Verfahren lediglich in der Ebene.

4.1 Verfahrensübersicht

Mit dem Programm ArcGIS wurden aus den Niederschlags- und Temperaturdaten für Januar 1987 Karten der Parameter erzeugt. Dazu sind die nachfolgend aufgeführten Interpolationsvarianten aufgeführt.

1. Inverse Distance Weighting, 1 Nachbarpunkt in jedem von 4 Sektoren
2. Radial Basic Functions, Multiquadric, 1 Nachbarpunkt in jedem von 8 Sektoren
3. Kriging

- a. Universal Kriging
 - i. Gauss, 15 Nachbarpunkte
- b. Simple Kriging
 - i. Gauss, 15 Nachbarpunkte
 - ii. Circular, 15 Nachbarpunkte
 - iii. Rational Quadratic, 15 Nachbarpunkte
- c. Ordinary Kriging
 - i. Gauss, 15 Nachbarpunkte
 - ii. Gauss, 5 Nachbarpunkte in jedem von 4 Sektoren
 - iii. Gauss, 1 Nachbarpunkt
 - iv. Hole Effect, 15 Nachbarpunkte
 - v. Hole Effect, 5 Nachbarpunkte in jedem von 4 Sektoren
 - vi. Hole Effect, 1 Nachbarpunkt
- d. Disjunctive Kriging
 - i. Hole Effect, 5 Nachbarpunkte in jedem von 4 Sektoren
 - ii. Gauss, 5 Nachbarpunkte in jedem von 4 Sektoren
 - iii. Gauss, 1
 - iv. Stable, jeweils 1 Nachbarpunkt in 8 Sektoren
 - v. Stable, 1 Nachbarpunkt in 4 Sektoren
 - vi. Stable, 15 Nachbarpunkte

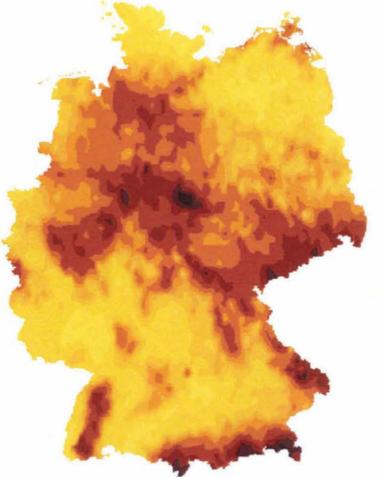
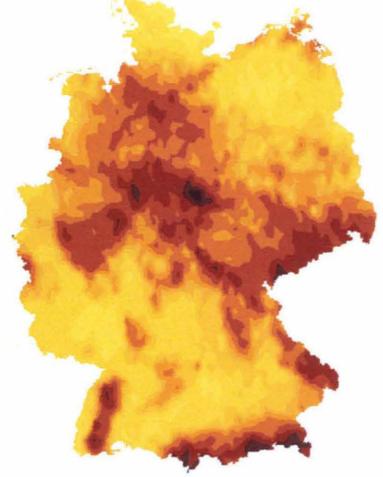
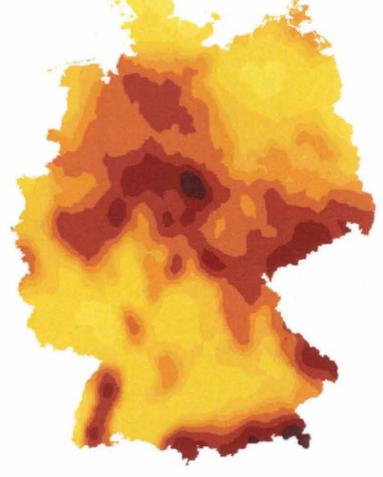
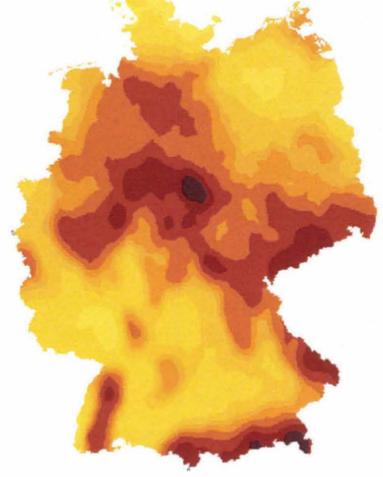
Das Kriging-Verfahren eignet sich gleichermaßen für genaue oder fehlerhafte Daten. Die im Programm ArcGIS auswählbaren unterschiedlichen Methoden sind:

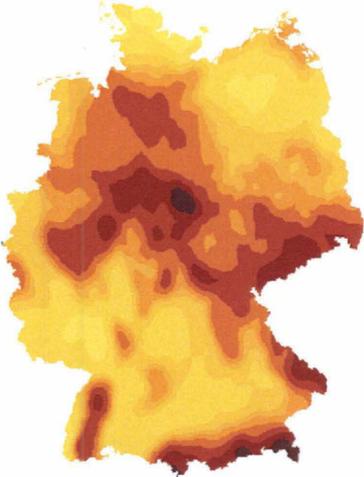
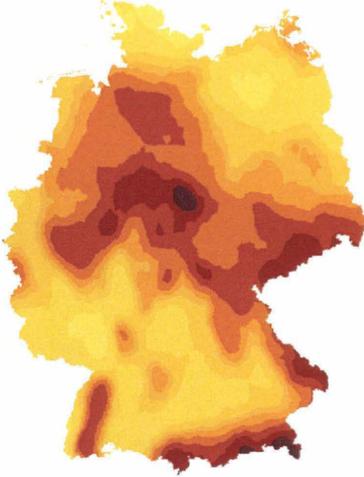
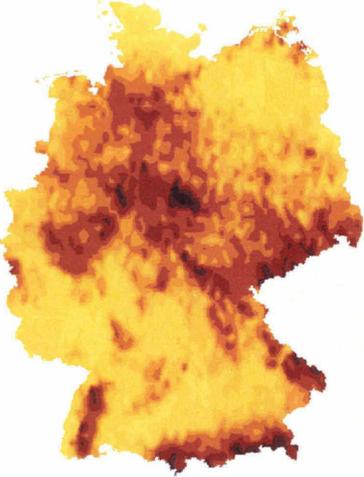
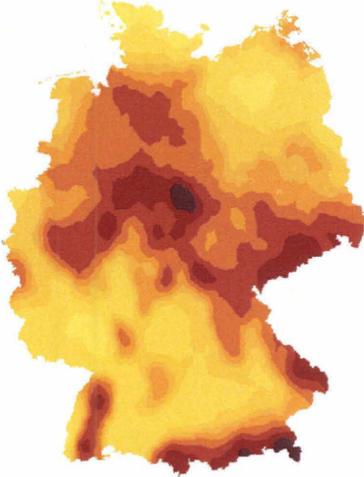
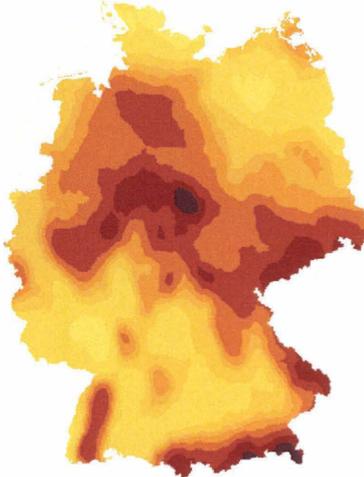
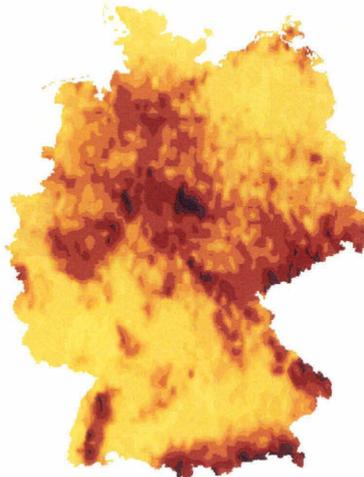
- Ordinary für Daten mit unbekanntem Mittel
- Simple für Daten mit bekanntem Mittel
- Universal für Daten deren Mittel eine Funktion des Raumbezuges ist
- Disjunctive für nichtlineare Voraussagen
- Indicator für diskrete oder in solche diskreten Daten umgewandelte Ereignisse
- Probability für diskrete Daten als erste und kontinuierliche Daten als zweite Variable(n)
- Cokriging (als multivariate Version des oben genannten Kriging)

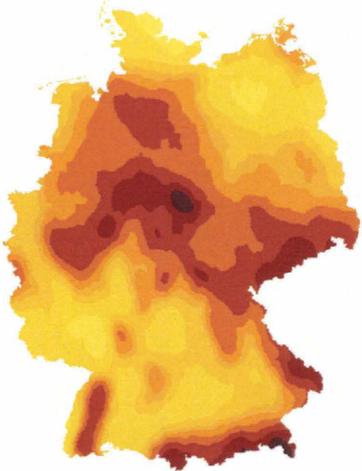
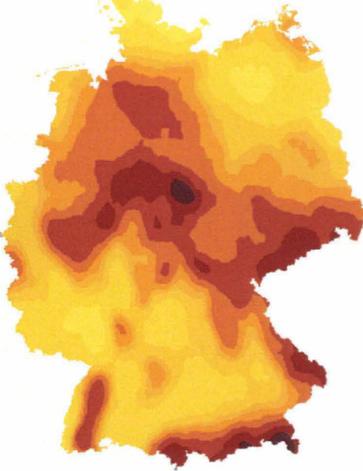
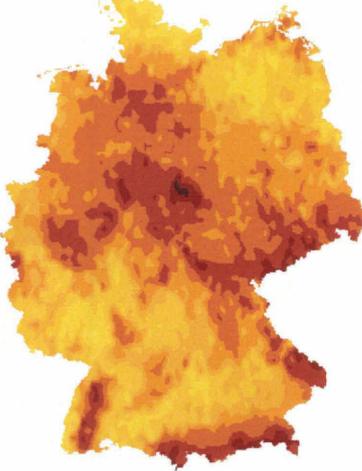
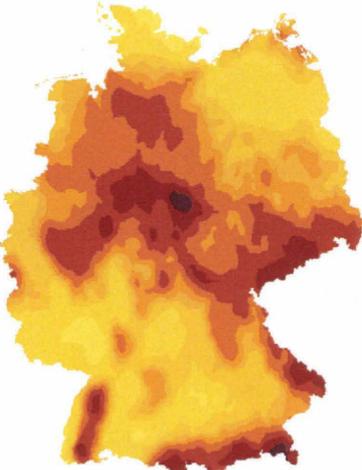
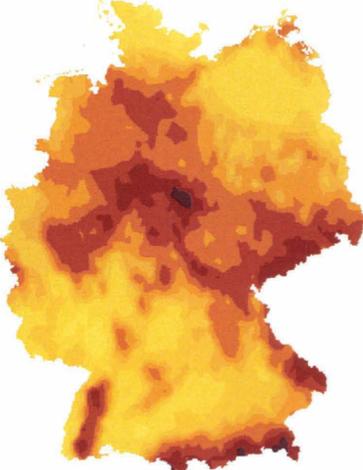
Cokriging ist das dem normalen Kriging analoge Verfahren zur Interpolation von zwei oder mehr korrelierenden Variablen. Sinnvoll genutzt wird das Cokriging, wenn eine Variable nur in einer wesentlich geringeren Dichte vorliegt als eine räumlich korrelierende Variable. Die intensiv beprobte Variable (2) muss für jede Stelle der nicht so intensiv beprobten Variable (1) vorhanden sein, die interpoliert werden soll.

Bei der Kartenerstellung wurde bezüglich der Farbpalette die Standardeinstellung von 10 Farbabstufungen zwischen minimalem und maximalem Datenwert belassen. Über jeder Karte sind das verwendete Verfahren und die angewendeten Einstellungsparameter aufgeführt, unter den Abbildungen stehen die durch die Kreuzvalidierung erhaltenen statistischen Kenngrößen. Die Zahlen in Klammern geben die Anzahl der Nachbarpunkte und die Zahl der verwendeten Sektoren an, die zur Interpolation herangezogen wurden.

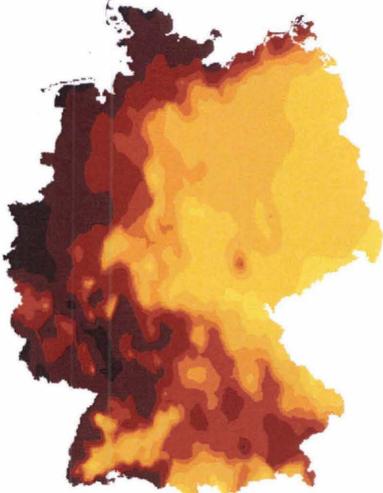
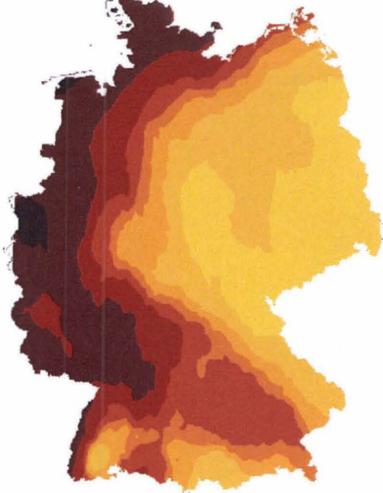
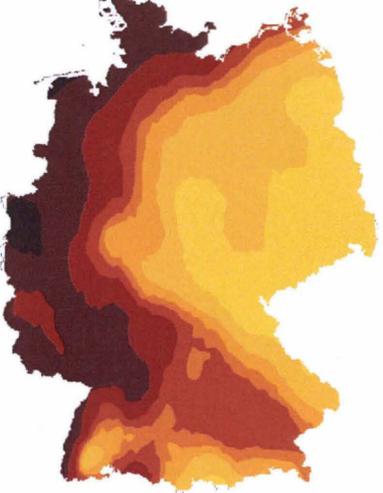
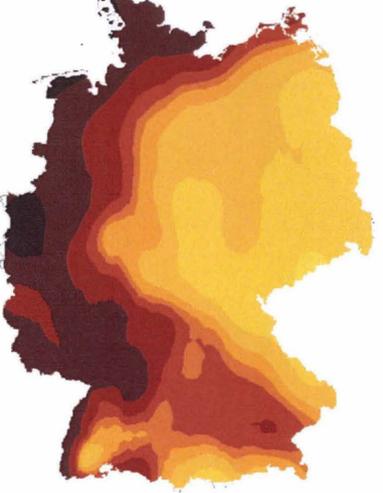
Tab.20: Karten der monatlichen Niederschlagssumme für Januar 1987

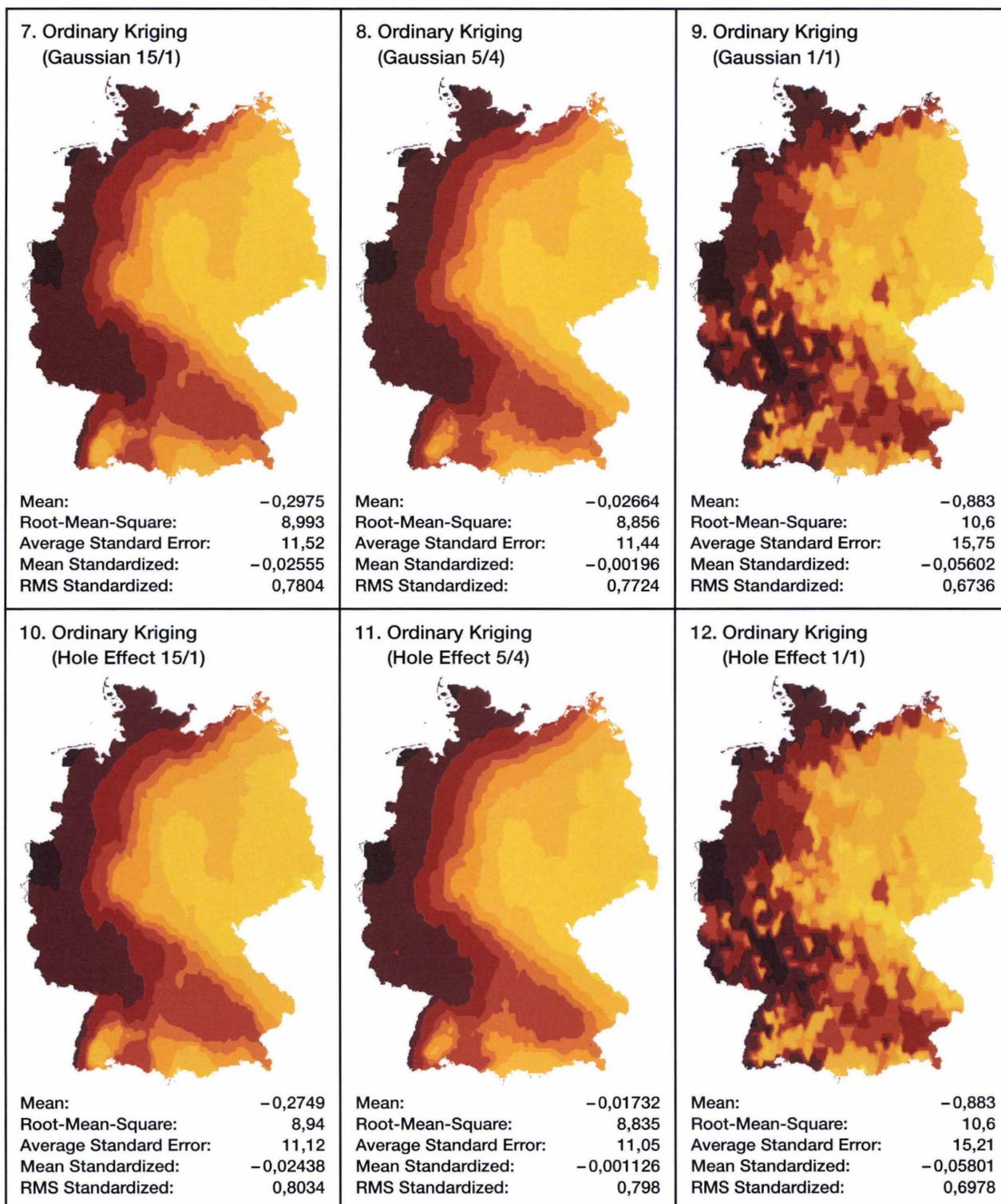
<p>1. Inverse Distance Weighting (1/4)</p>  <p>Mean: 0,1944 Root-Mean-Square: 125,4</p>	<p>2. Radial Basic Funktionen (Multiquadric 1/8)</p>  <p>Mean: 0,1837 Root-Mean-Square: 122,9</p>	<p>3. Universal Kriging (Gaussian 15/1)</p>  <p>Mean: 4,903 Root-Mean-Square: 133,4 Average Standard Error: 57,23 Mean Standardized: 0,08566 RMS Standardized: 2,331</p>
<p>4. Simple Kriging (Gaussian 15/1)</p>  <p>Mean: 2,294 Root-Mean-Square: 131,7 Average Standard Error: 194,6 Mean Standardized: 0,01164 RMS Standardized: 0,6765</p>	<p>5. Simple Kriging (Circular 15/1)</p>  <p>Mean: 1,553 Root-Mean-Square: 126,5 Average Standard Error: 191,7 Mean Standardized: 0,0076 RMS Standardized: 0,6624</p>	<p>6. Simple Kriging (Rational Quadratic 15/1)</p>  <p>Mean: -0,03894 Root-Mean-Square: 142,2 Average Standard Error: 20,29 Mean Standardized: 0,001557 RMS Standardized: 9,005</p>

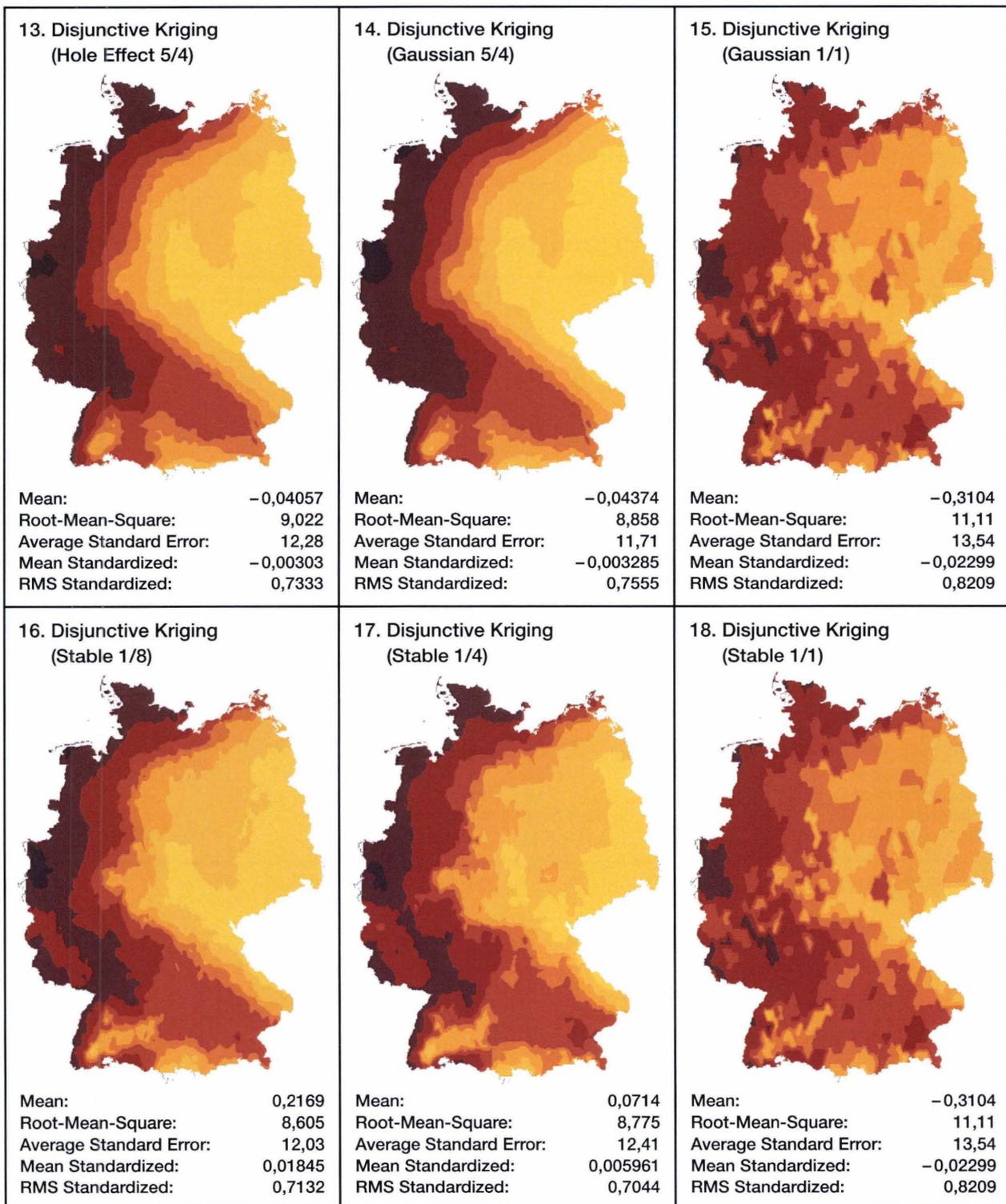
<p>7. Ordinary Kriging (Gaussian 15/1)</p>  <p>Mean: 3,915 Root-Mean-Square: 131,9 Average Standard Error: 207,9 Mean Standardized: 0,01876 RMS Standardized: 0,6345</p>	<p>8. Ordinary Kriging (Gaussian 5/4)</p>  <p>Mean: -1,009 Root-Mean-Square: 133,3 Average Standard Error: 206,4 Mean Standardized: -0,004901 RMS Standardized: 0,6455</p>	<p>9. Ordinary Kriging (Gaussian 1/1)</p>  <p>Mean: -0,8581 Root-Mean-Square: 155,4 Average Standard Error: 284,7 Mean Standardized: -0,003022 RMS Standardized: 0,5459</p>
<p>10. Ordinary Kriging (Hole Effect 15/1)</p>  <p>Mean: 4,354 Root-Mean-Square: 132,6 Average Standard Error: 222,9 Mean Standardized: 0,01949 RMS Standardized: 0,5949</p>	<p>11. Ordinary Kriging (Hole Effect 5/4)</p>  <p>Mean: -1,245 Root-Mean-Square: 133,8 Average Standard Error: 221,2 Mean Standardized: -0,005617 RMS Standardized: 0,6043</p>	<p>12. Ordinary Kriging (Hole Effect 1/1)</p>  <p>Mean: -0,8581 Root-Mean-Square: 155,4 Average Standard Error: 305,2 Mean Standardized: -0,002815 RMS Standardized: 0,5092</p>

<p>13. Disjunctive Kriging (Hole Effect 5/4)</p>  <p>Mean: -1,806 Root-Mean-Square: 136 Average Standard Error: 219,6 Mean Standardized: -0,008215 RMS Standardized: 0,6188</p>	<p>14. Disjunctive Kriging (Gaussian 5/4)</p>  <p>Mean: -2,074 Root-Mean-Square: 133,6 Average Standard Error: 96,7 Mean Standardized: -0,01059 RMS Standardized: 0,6791</p>	<p>15. Disjunctive Kriging (Gaussian 1/1)</p>  <p>Mean: -0,3537 Root-Mean-Square: 172,5 Average Standard Error: 240,8 Mean Standardized: -0,001699 RMS Standardized: 0,7167</p>
<p>16. Disjunctive Kriging (Stable 1/8)</p>  <p>Mean: -2,4 Root-Mean-Square: 128,3 Average Standard Error: 202,8 Mean Standardized: -0,01183 RMS Standardized: 0,6318</p>	<p>17. Disjunctive Kriging (Stable 1/4)</p>  <p>Mean: -0,6443 Root-Mean-Square: 132,3 Average Standard Error: 211,2 Mean Standardized: -0,00316 RMS Standardized: 0,6259</p>	<p>18. Disjunctive Kriging (Stable 1/1)</p>  <p>Mean: -0,3537 Root-Mean-Square: 172,5 Average Standard Error: 240,8 Mean Standardized: -0,001699 RMS Standardized: 0,7167</p>

Tab. 21: Karten der Monatsmitteltemperatur für Januar 1987

<p>1. Inverse Distance Weighting (1/4)</p>  <p>Mean: -0,5254 Root-Mean-Square: 8,521</p>	<p>2. Radial Basic Functions (Multiquadric 1/8)</p>  <p>Mean: -0,2687 Root-Mean-Square: 8,045</p>	<p>3. Universal Kriging (Gaussian 15/1)</p>  <p>Mean: -0,3846 Root-Mean-Square: 9,207 Average Standard Error: 4,685 Mean Standardized: -0,0821 RMS Standardized: 1,965</p>
<p>4. Simple Kriging (Gaussian 15/1)</p>  <p>Mean: -0,2683 Root-Mean-Square: 8,925 Average Standard Error: 11,93 Mean Standardized: -0,02231 RMS Standardized: 0,7477</p>	<p>5. Simple Kriging (Circular 15/1)</p>  <p>Mean: -0,2062 Root-Mean-Square: 8,65 Average Standard Error: 11,77 Mean Standardized: -0,01682 RMS Standardized: 0,7365</p>	<p>6. Simple Kriging (Rational Quadratic 15/1)</p>  <p>Mean: -0,1145 Root-Mean-Square: 8,439 Average Standard Error: 10,93 Mean Standardized: -0,009122 RMS Standardized: 0,776</p>

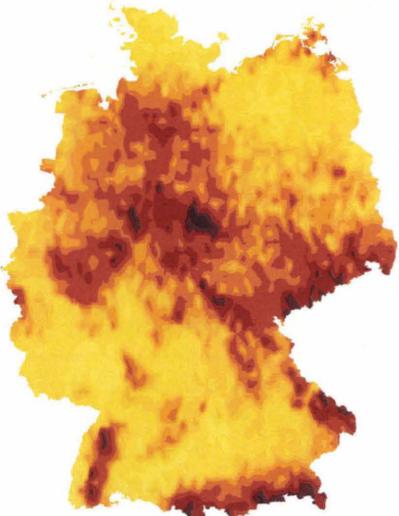
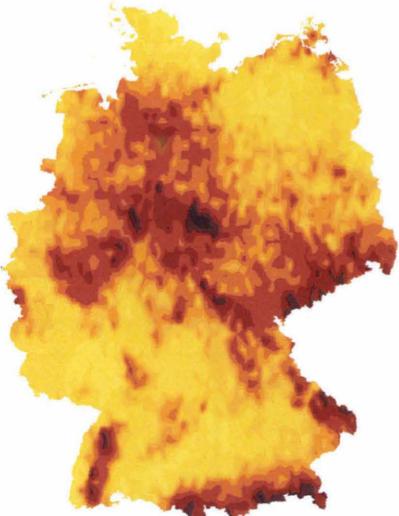
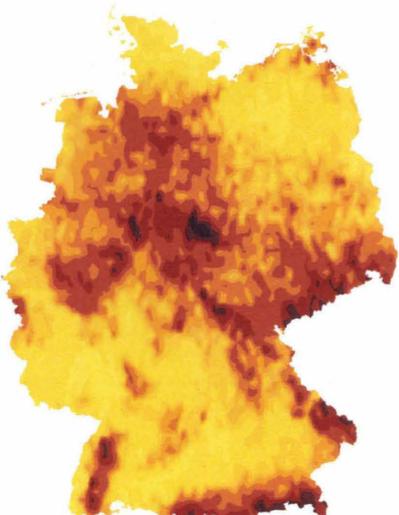
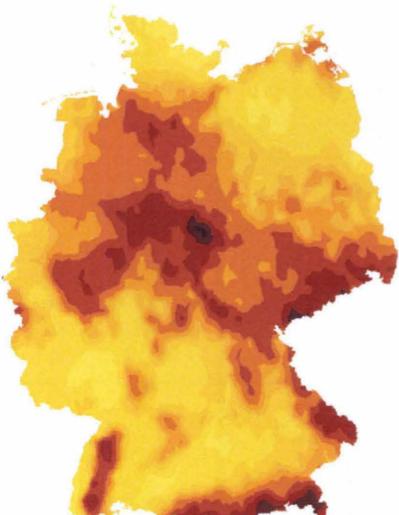


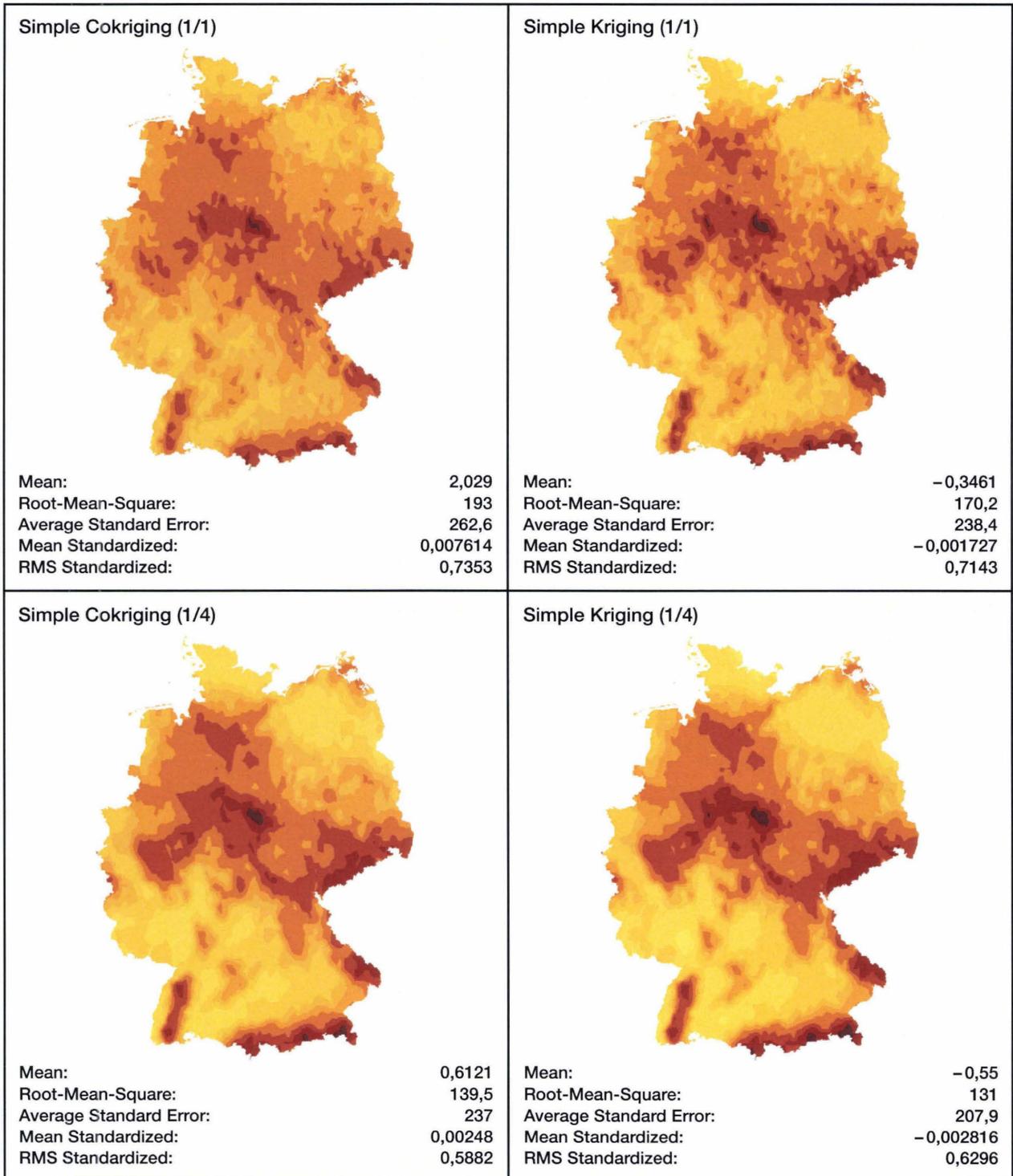


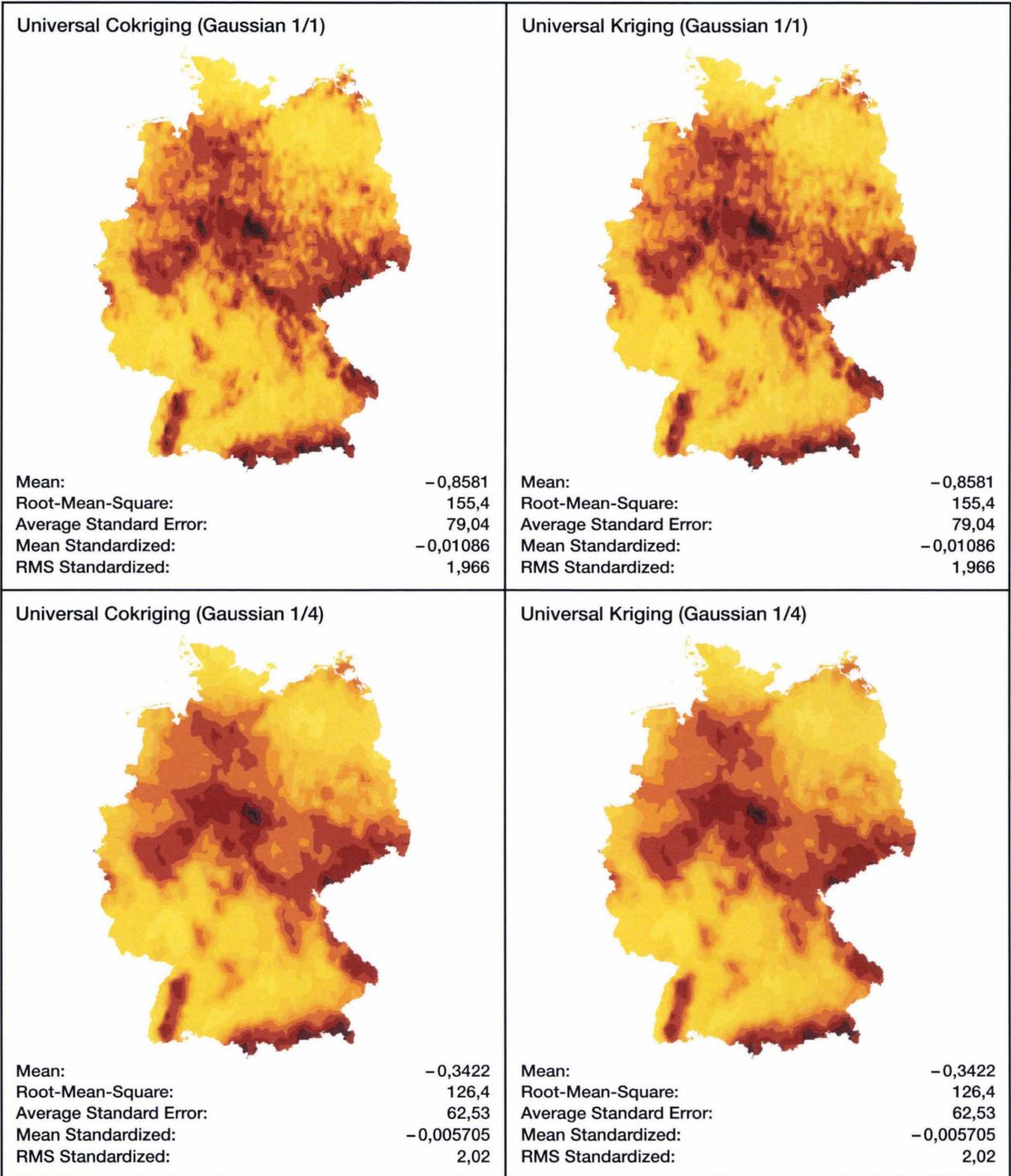
4.2 Kriging und Cokriging im Vergleich

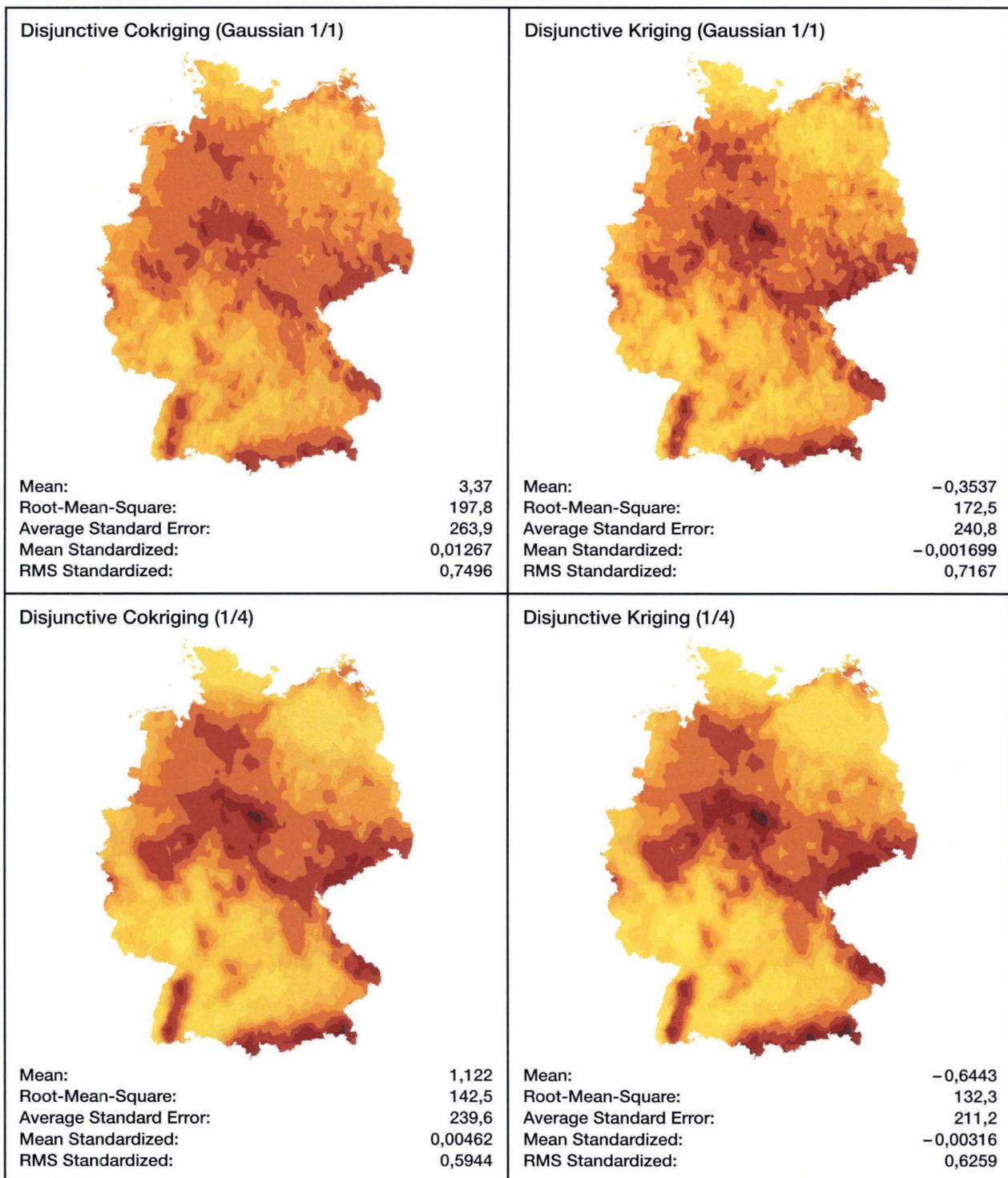
ArcGIS erstellt die Karten aus so genannten „Shapes“, die im Programmteil ArcCatalog aus Punktdaten erzeugt werden. Diese müssen in Form einer Datenbank-Datei (DBase, Excel etc.) vorliegen. Für diese Arbeit wurden Excel-Tabellen verwendet. Um die Gitterkoordinaten und Höhenangaben des 1 x 1-km-Gitters von Deutschland als zweiten Datensatz für das Cokriging-Verfahren nutzen zu können (358303 Datensätze), mussten die Datensätze systematisch reduziert und mit den genauen Angaben zu jeder vorkommenden Station ergänzt werden, ohne die maximal mögliche Anzahl von 65536 Datensätzen in Excel zu überschreiten. Unter Anwendung dieses zweiten Datensatzes wurden Niederschlags- und Temperaturdaten mittels Cokriging als Karten dargestellt. Sie sind in Tab. 22 und Tab. 23 den Ergebnissen aus Kriging-Verfahren gegenübergestellt.

Tab.22: Karten der monatlichen Niederschlagssumme für Januar 1987

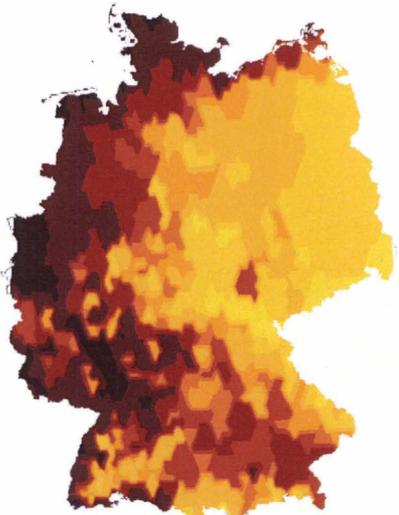
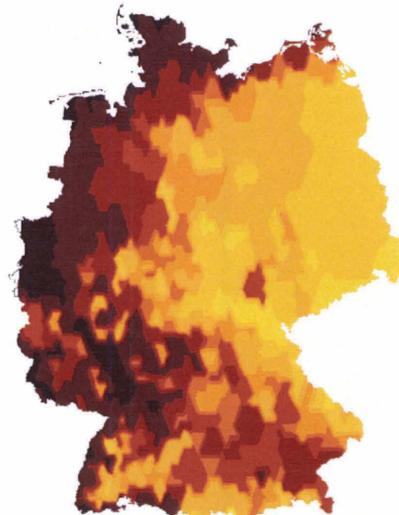
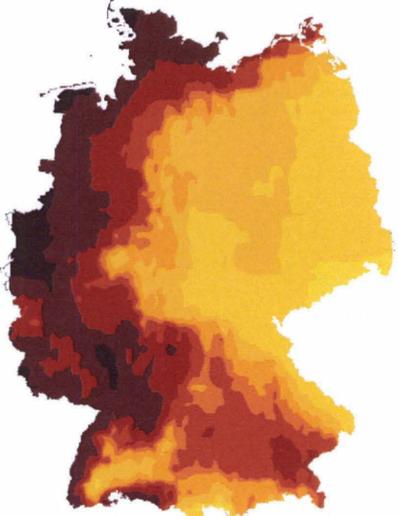
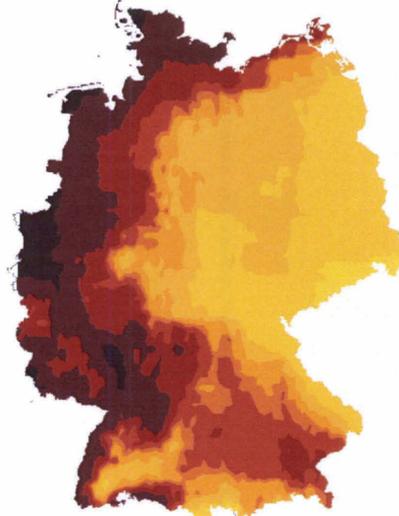
<p>Ordinary Cokriging (Gaussian 1/1)</p>  <p>Mean: -0,8583 Root-Mean-Square: 155,4 Average Standard Error: 375,6 Mean Standardized: -0,002286 RMS Standardized: 0,4138</p>	<p>Ordinary Kriging (Gaussian 1/1)</p>  <p>Mean: -0,8581 Root-Mean-Square: 155,4 Average Standard Error: 284,7 Mean Standardized: -0,003022 RMS Standardized: 0,5459</p>
<p>Ordinary Cokriging (Gaussian 1/4)</p>  <p>Mean: -0,3285 Root-Mean-Square: 126,3 Average Standard Error: 297,1 Mean Standardized: -0,001158 RMS Standardized: 0,425</p>	<p>Ordinary Kriging (Gaussian 1/4)</p>  <p>Mean: -0,3182 Root-Mean-Square: 126 Average Standard Error: 225,1 Mean Standardized: -0,001498 RMS Standardized: 0,5594</p>

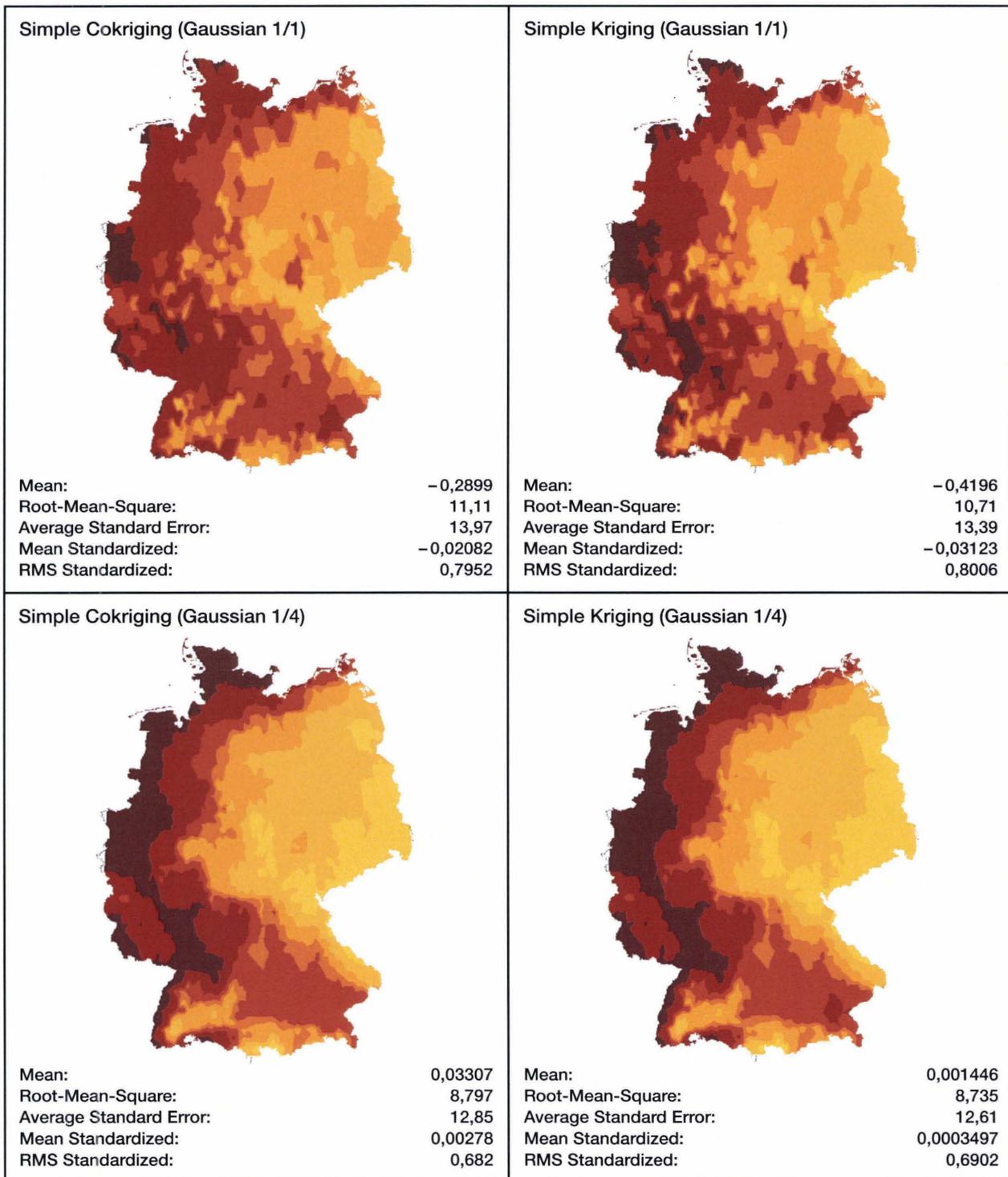


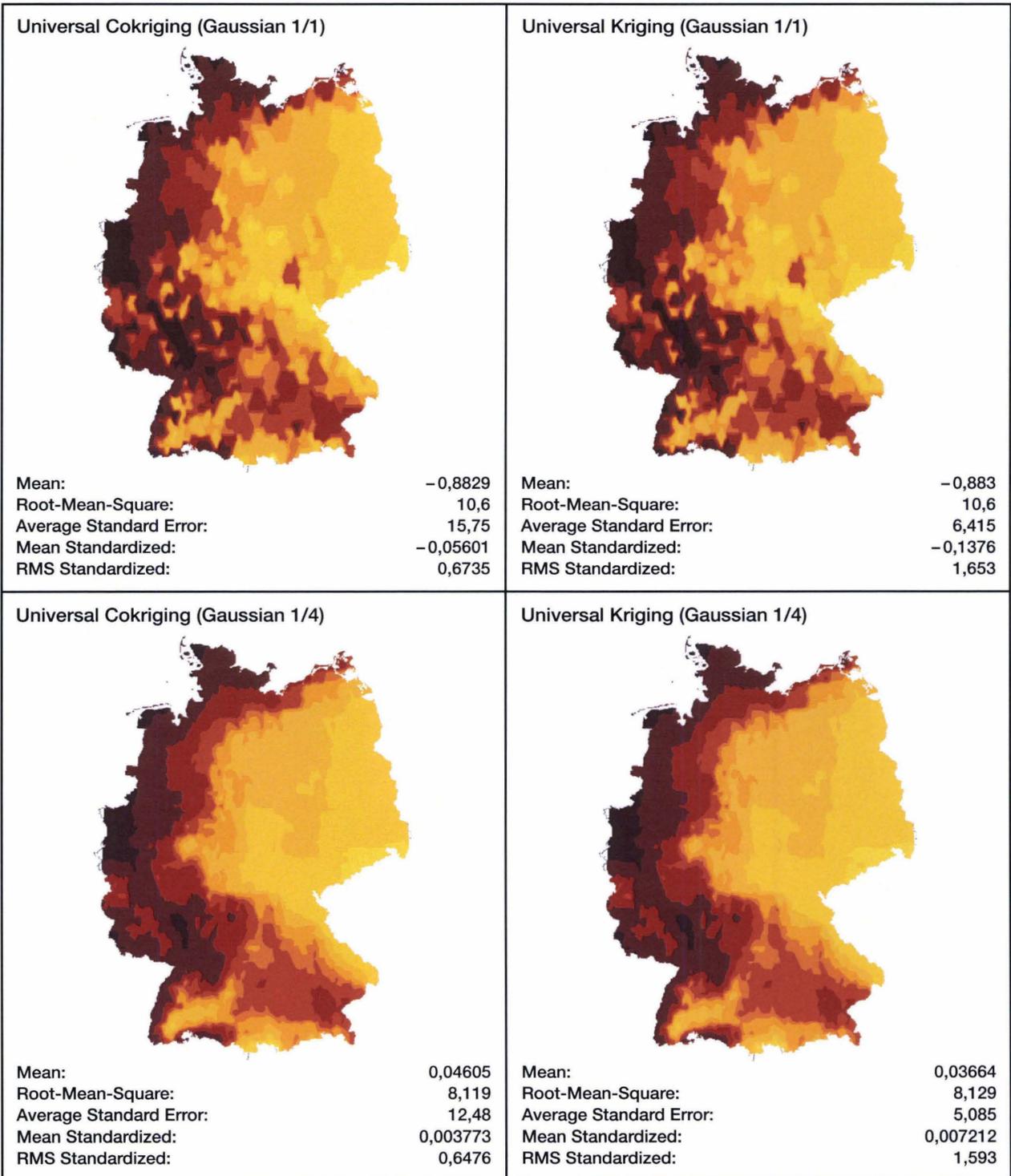


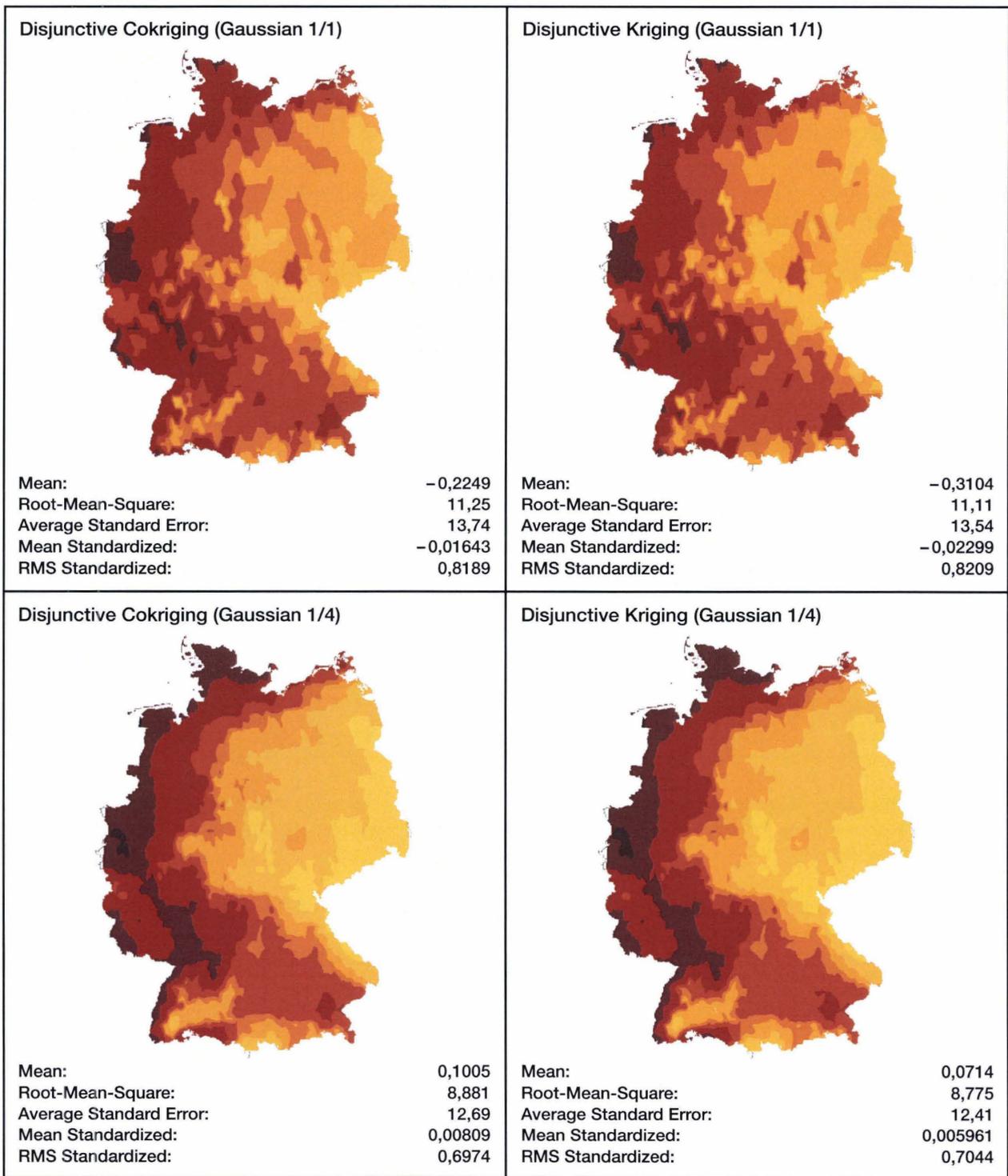


Tab.23: Karten der Monatsmitteltemperaturen für Januar 1987

<p>Ordinary Cokriging (Gaussian 1/1)</p>  <p>Mean: -0,8829 Root-Mean-Square: 10,6 Average Standard Error: 15,75 Mean Standardized: -0,05601 RMS Standardized: 0,6735</p>	<p>Ordinary Kriging (Gaussian 1/1)</p>  <p>Mean: -0,883 Root-Mean-Square: 10,6 Average Standard Error: 15,75 Mean Standardized: -0,05602 RMS Standardized: 0,6736</p>
<p>Ordinary Cokriging (Gaussian 1/4)</p>  <p>Mean: 0,04605 Root-Mean-Square: 8,119 Average Standard Error: 12,48 Mean Standardized: 0,003773 RMS Standardized: 0,6476</p>	<p>Ordinary Kriging (Gaussian 1/4)</p>  <p>Mean: 0,04608 Root-Mean-Square: 8,119 Average Standard Error: 12,48 Mean Standardized: 0,003775 RMS Standardized: 0,6476</p>







Aus dieser Gegenüberstellung geht bereits hervor, dass Cokriging keine wesentliche Verbesserung der Karten darstellt.

5. Gis- und Rasterverfahren im Vergleich

Für die systematische Gegenüberstellung der statistischen Kenngrößen wurden Karten mit ArcGIS unter Verwendung der Verfahren Inverse Distance (ID), Radial Basic Functions (RB), Simple Kriging (SK), Simple Cokriging (SCK), Universal Kriging (UK) und Universal Cokriging (UCK) erstellt und die dabei ausgegebenen Fehlerwerte erfasst. Bei Inverse Distance und Radial Basic Functions lag die Verwendung von je einem Nachbarpunkt in vier Sektoren zugrunde, die Kriging-Verfahren waren auf Verwendung des Gauß'schen Algorithmus bei Erstellung des Semivariogramms eingestellt und benutzten je einen Nachbarpunkt in 8 Sektoren zur Interpolation.

Der Vergleich der mittleren Fehler mit denjenigen aus der Analyse der nach dem DWD-Verfahren erstellten Rasterfelder für die Einzeljahre 1981 bis 1990 (Tab. 24, Tab. 25) zeigt, dass die GIS-basierten Verfahren keine wesentlich besseren Ergebnisse liefern.

Tab. 24: Mittlerer Fehler der Niederschlagsraster für Einzeljahre (Basisdaten: 10tel mm)

Monat	Verfahren	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Januar	ID	2.15	0.99	1.67	0.58	0.26	0.95	0.19	1.01	0.58	0.28
	RB	1.48	0.52	1.15	0.06	0.10	0.44	-0.09	0.36	0.47	0.01
	SCK	-27.02	-111.10	-12.34	-7.24	-37.40	-43.41	-1.52	-1.86	-9.89	2.29
	SK	-3.83	-2.84	-4.41	-2.67	-1.49	-3.74	-2.27	-2.30	-1.13	-0.29
	UK	-3.86	-2.03	-4.36	-2.70	-1.41	-3.05	-2.01	-2.13	-1.03	-0.19
	DWD	0.33	-3.38	1.21	-0.51	-1.81	1.33	-2.29	-1.09	-0.63	-0.43
Juli	ID	1.08	0.20	0.42	3.99	1.75	0.51	1.58	2.14	0.97	1.81
	RB	0.90	0.34	0.13	1.15	0.76	0.41	1.33	1.86	0.59	1.52
	SCK	-83.02	-103.90	21.01	-39.46	-11.12	-93.85	-99.34	-11.51	-111.30	-107.50
	SK	-2.79	-1.04	-2.14	-3.69	-2.83	-1.36	-2.66	-2.96	-2.06	-2.06
	UK	-1.95	-0.72	-1.34	-3.13	-2.72	-0.76	-2.09	-3.03	-1.58	-1.41
	DWD	0.52	-0.40	-1.21	-0.83	-1.79	0.18	-1.84	-0.63	-1.60	-0.97

Die Interpolation unter Verwendung der Höhe als zweitem Datensatz mit Cokriging bringt die schlechtesten Resultate mit den größten mittleren Fehlern. Für die Temperatur ergeben sich trotz der geringeren Stationsdichte generell kleinere mittlere Fehler.

Tab. 25: Mittlerer Fehler der Temperaturreaster für Einzeljahre (Basisdaten: 10tel K)

Monat	Verfahren	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Januar	ID	-0.28	0.15	-0.29	-0.40	-0.18	-0.44	-0.53	-0.32	-0.19	-0.20
	RB	-0.04	0.01	-0.13	-0.14	0.04	-0.22	-0.32	-0.17	-0.10	-0.08
	SCK	1.22	-0.26	2.39	1.42	0.57	0.62	0.19	1.02	2.39	3.18
	SK	0.12	-0.32	0.32	0.28	-0.04	0.28	0.17	0.27	0.17	0.23
	UCK	0.11	-0.29	0.31	0.29	-0.05	0.29	0.26	0.27	0.13	0.18
	UK	0.11	-0.29	0.31	0.29	-0.05	0.29	0.26	0.27	0.13	0.18
	DWD	-0.01	-0.08	-0.01	0.00	-0.03	0.01	0.00	-0.02	-0.05	-0.04
Juli	ID	-0.44	-0.28	-0.24	-0.42	-0.40	-0.43	-0.90	-0.61	-0.48	-0.40
	RB	-0.22	-0.19	-0.21	-0.27	-0.26	-0.25	-0.19	-0.31	-0.31	-0.24
	SCK	1.46	1.15	-0.17	0.03	-0.30	0.45	0.49	-0.30	0.94	0.24
	SK	-0.12	0.27	0.17	0.24	0.22	-0.23	0.39	-0.79	0.30	0.27
	UCK	0.33	0.19	0.09	0.24	0.22	0.32	0.44	0.35	0.35	0.23
	UK	0.33	0.19	0.09	0.24	0.22	0.32	0.44	0.35	0.35	0.24
	DWD	0.02	0.00	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01

Basierend auf den Daten der 10-jährigen Zeiträume des letzten Jahrhunderts lassen sich mit zunehmender Stationsdichte für den Niederschlag teilweise, für die Temperatur unabhängig von der Datendichte generell bessere Interpolationsergebnisse mit dem beim Deutschen Wetterdienst angewendeten Verfahren (Tab. 26, Tab. 27) erzielen. Dabei wurde das Universal Cokriging (UCK) teilweise nicht mehr ausgeführt, da es durchweg die gleichen Ergebnisse wie das Universal Kriging (UK) erzeugte.

Tab. 26: Mittlerer Fehler der Niederschlagsraster für 10-jährige Zeiträume (Basisdaten: 10tel mm)

Monat	Verfahren	01-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-00
Januar	ID	3.60	3.76	3.85	3.83	1.72	2.03	1.57	1.41	1.61	1.56
	RB	2.55	2.15	3.01	2.16	0.89	1.75	1.13	1.44	0.59	1.13
	SCK	-5.25	-6.51	-2.89	-12.51	-7.19	-16.22	-13.57	-10.79	-16.65	-1.31
	SK	-0.70	0.77	2.12	-3.02	-1.21	-3.36	-2.32	-2.13	-2.97	-2.15
	UCK	-4.01	-5.05	-4.90							
	UK	-4.01	-5.05	-4.90	-4.98	-3.60	-2.82	-2.46	-1.90	-2.75	-2.45
	DWD	-2.6	-2.8	-3.1	-2.3	0.7	-2.8	-2.9	-2.9	-1.3	-0.2
Juli	ID	3.62	3.26	2.77	2.71	1.79	2.06	1.85	1.47	1.72	0.96
	RB	0.52	2.03	2.79	2.10	1.53	2.24	1.06	0.84	1.83	1.08
	SCK	-70.68	-89.78	-69.29	-72.07	-40.45	-51.60	-16.97	-75.11	-80.96	-77.85
	SK	-4.14	-5.03	-3.57	-4.33	-4.01	-3.29	-2.74	-2.58	-2.82	-2.89
	UCK	-3.89	-4.77	-3.12							
	UK	-3.89	-4.78	-3.12	-4.12	-3.50	-2.94	-2.51	-1.89	-2.38	-2.37
	DWD	-4.5	-4.3	-3.4	-0.5	-2.1	-1.8	-3.5	-2.6	-0.5	-2.7

Tab. 27: Mittlerer Fehler der Temperaturraster für 10-jährige Zeiträume (Basisdaten: 10tel K)

Monat	Verfahren	01-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-00
Januar	ID	1.11	0.53	1.51	1.62	-0.41	-0.37	0.38	-0.13	-0.27	-0.49
	RB	1.96	1.82	2.94	3.12	-0.40	-0.20	0.01	-0.04	-0.19	-0.16
	SCK	6.66	6.78	7.03	6.19	2.82	0.99	0.39	0.66	0.83	1.04
	SK	-0.65	-0.58	-1.33	-0.89	-0.40	0.05	-0.13	0.12	0.02	0.34
	UCK	2.84	2.72	3.63	3.82	0.89	0.07	-0.13	0.13	0.02	0.40
	UK	2.77	2.76	3.75	4.01	0.89	0.07	-0.13	0.13	0.02	0.40
	DWD	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02
Juli	ID	1.87	0.63	2.25	2.10	-0.24	-0.50	-0.06	-0.08	-0.38	-0.64
	RB	1.35	1.04	2.59	2.29	-0.28	-0.22	-0.03	-0.01	-0.24	-0.15
	SCK	5.24	8.09	7.49	7.14	2.52	1.64	0.75	1.59	1.08	1.16
	SK	-2.03	-1.78	-2.62	-1.60	-0.23	-0.02	0.37	0.05	0.36	0.31
	UCK	4.56	4.33	3.75	5.35	2.22	0.07	-0.04	0.27	0.13	0.56
	UK	4.46	4.18	5.75	5.41	1.15	0.30	-0.04	0.27	0.13	0.56
	DWD	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01

In einem weiteren Schritt wurden die Rasterdaten der 10 Einzeljahre aus den jeweiligen GIS-Interpolationsverfahren mit denjenigen der beim Deutschen Wetterdienst verwendeten Raster verglichen. Die Differenzenbildung (DWD-Raster – ArcGIS-Raster) erfolgte für jeden in beiden Rastern besetzten Punkt. Tab. 28 und Tab. 29 enthalten die pro Karte errechneten mittleren Fehler. Für die Temperaturkarten ergeben sich nur sehr geringe Abweichungen durch die Interpolationsverfahren, die Gis-Interpolationsverfahren geben den Niederschlag hingegen offensichtlich zu hoch wieder. Die mit dem Simple Cokriging-Verfahren erzeugten Karten des Monats Juli weichen am weitesten von den allen andern Karten ab, der mittlere Fehler aus dem Vergleich mit den DWD-Rasterkarten beträgt bis zu 16,7 mm.

Tab. 28: Mittlerer Fehler aus den Differenzen der Niederschlagsraster (Basisdaten: mm)

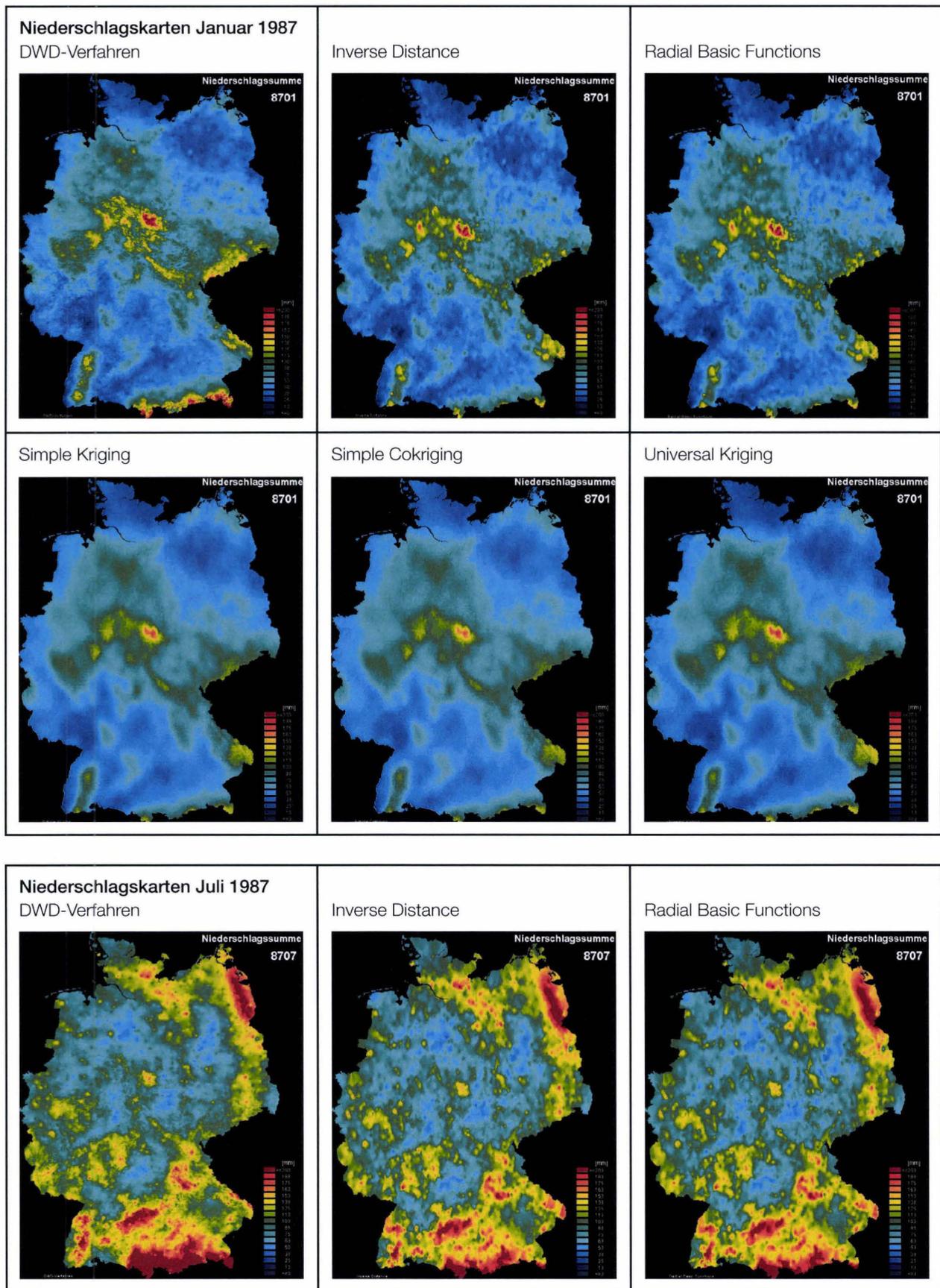
Monat	Verfahren	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Januar	ID	-5.44	-6.78	-4.0	-2.26	-2.73	-5.32	-3.55	-1.06	-1.68	-0.18
	RBF	-4.91	-6.82	-4.07	-2.32	-2.78	-5.41	-3.57	-1.08	-1.68	-0.18
	UCK	-4.78									
	UK	-4.78	-6.66	-3.92	-2.24	-2.79	-5.35	-3.39	-0.95	-1.62	-0.12
	SK	-3.29	-5.82	-3.76	-2.12	-2.36	-3.81	-3.02	-1.18	-1.2	-0.4
	SCK	-5.62	-17.25	-4.48	-2.85	-6.81	-8.78	-2.54	-1.14	-1.92	-0.09
Juli	ID	-7.34	-5.31	-2.41	21.47	-2.14	-3.57	-4.14	-2.12	-5.64	-3.74
	RBF	-7.41	-5.32	-2.37	-3.53	-2.16	-3.61	-4.16	-2.18	-5.66	-3.81
	UCK	-7.34									
	UK	-7.34	-5.32	-2.28	-3.48	-2.17	-3.58	-4.09	-2.12	-5.51	-3.8
	SK	-6.87	-4.9	-1.77	-2.91	-1.69	-3.3	-3.71	-2.14	-4.78	34.94
	SCK	-15.8	-15.97	-2.77	-4.98	-2.75	-14.81	-16.43	-3.59	-16.66	-16.54

Tab. 29: Mittlerer Fehler aus den Differenzen der Temperaturraster (Basisdaten: 10tel K)

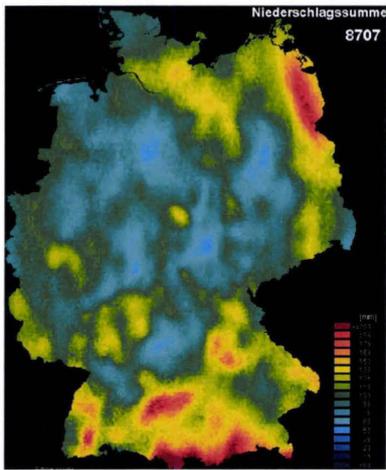
Monat	Verfahren	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Januar	ID	-0.02	-1.87	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
	RBF	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
	UCK	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	UK	-0.02	0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	SK	-0.02	-1.86	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	SCK	-0.03	0.00	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05
Juli	ID	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	RBF	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	UCK	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	UK	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	SCK	-0.02	-0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01

Der optische Vergleich der mit einem speziellen Java-Programm einheitlich dargestellten Raster verdeutlicht, dass die mittels Kriging und Cokriging produzierten Karten die Interpolationsstruktur der 8 Sektoren zu stark wiedergeben (Tab. 30). Eine Veränderung der Verfahren auf Verwendung von vier benachbarten Stationen im Umkreis ohne Richtungsvorgabe führt nicht zu deutlich besseren Kartendarstellungen (Temperaturkarten mit geänderter Farb-abstufung für den Monat Juli in Tab. 31), die einzelnen „Stationsradien“ zeichnen sich auch hier ab. Die Anwendung von mehr als vier Stationen im Umkreis eines Interpolationspunktes wurde nicht versucht, da man davon ausgehen kann, dass damit eine zu starke Glättung der Temperaturverhältnisse erfolgt (siehe Tab. 21, Karten 3–6). Die zu-gehörigen mittleren Fehler sind etwas größer als unter den ersten Interpolationseinstellungen (Tab. 32)

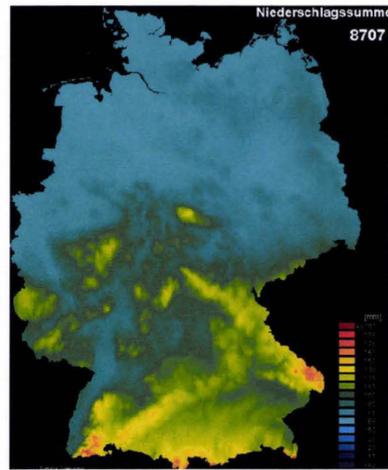
Tab. 30: Kartendarstellungen der Interpolationsraster



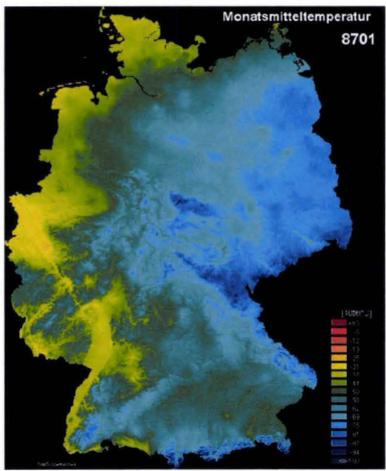
Simple Kriging



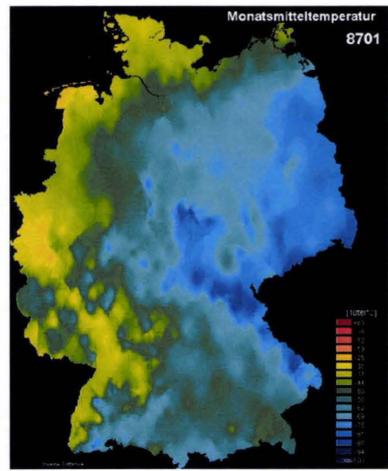
Simple Cokriging



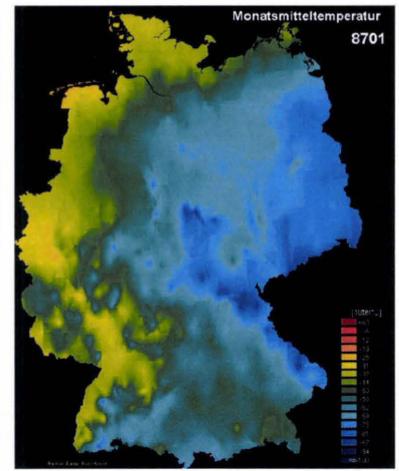
Temperaturkarten Januar 1987
DWD-Verfahren



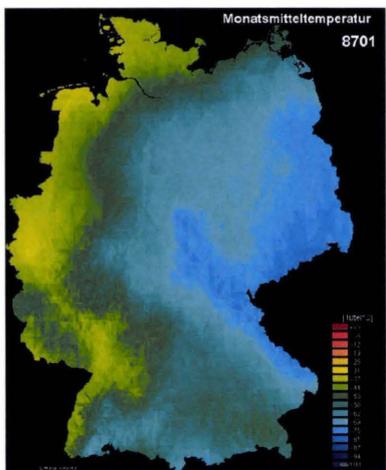
Inverse Distance



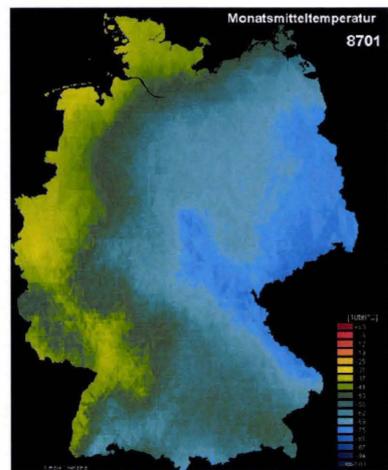
Radial Basic Functions



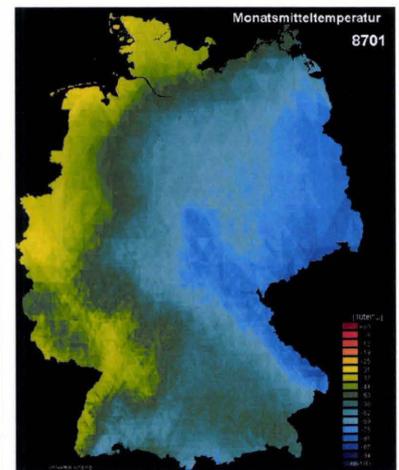
Simple Kriging



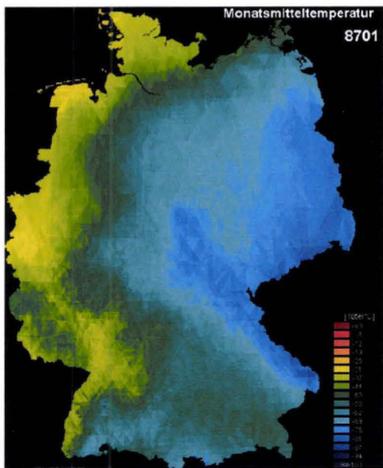
Simple Cokriging



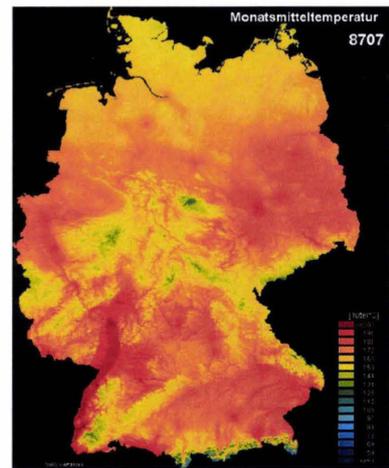
Universal Kriging



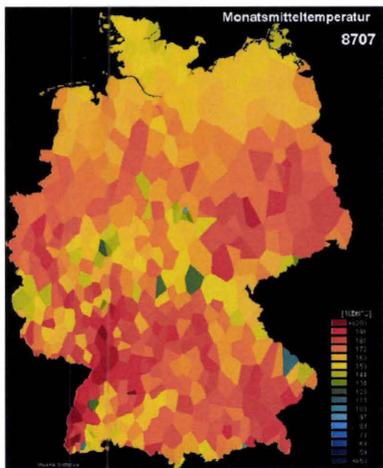
Universal Cokriging



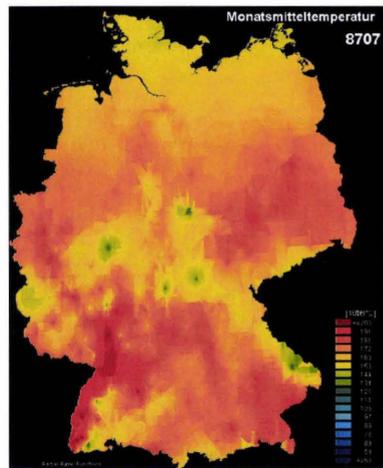
Temperaturkarten Juli 1987
DWD-Verfahren



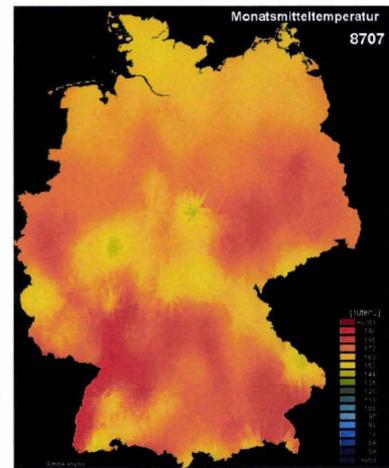
Inverse Distance



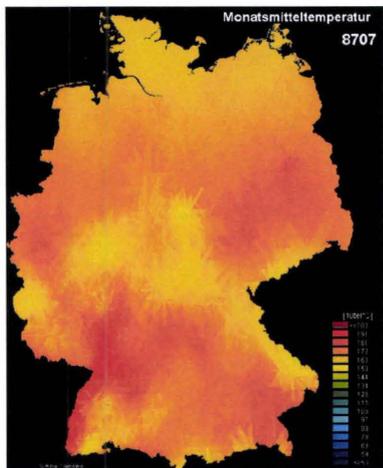
Radial Basic Functions



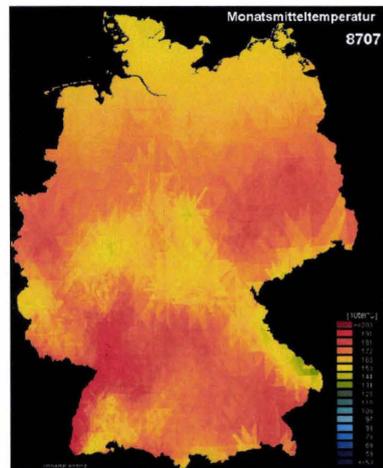
Simple Kriging



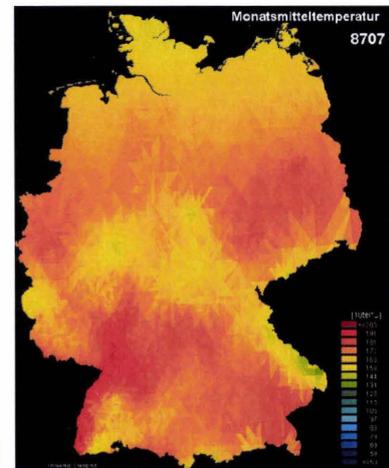
Simple Cokriging



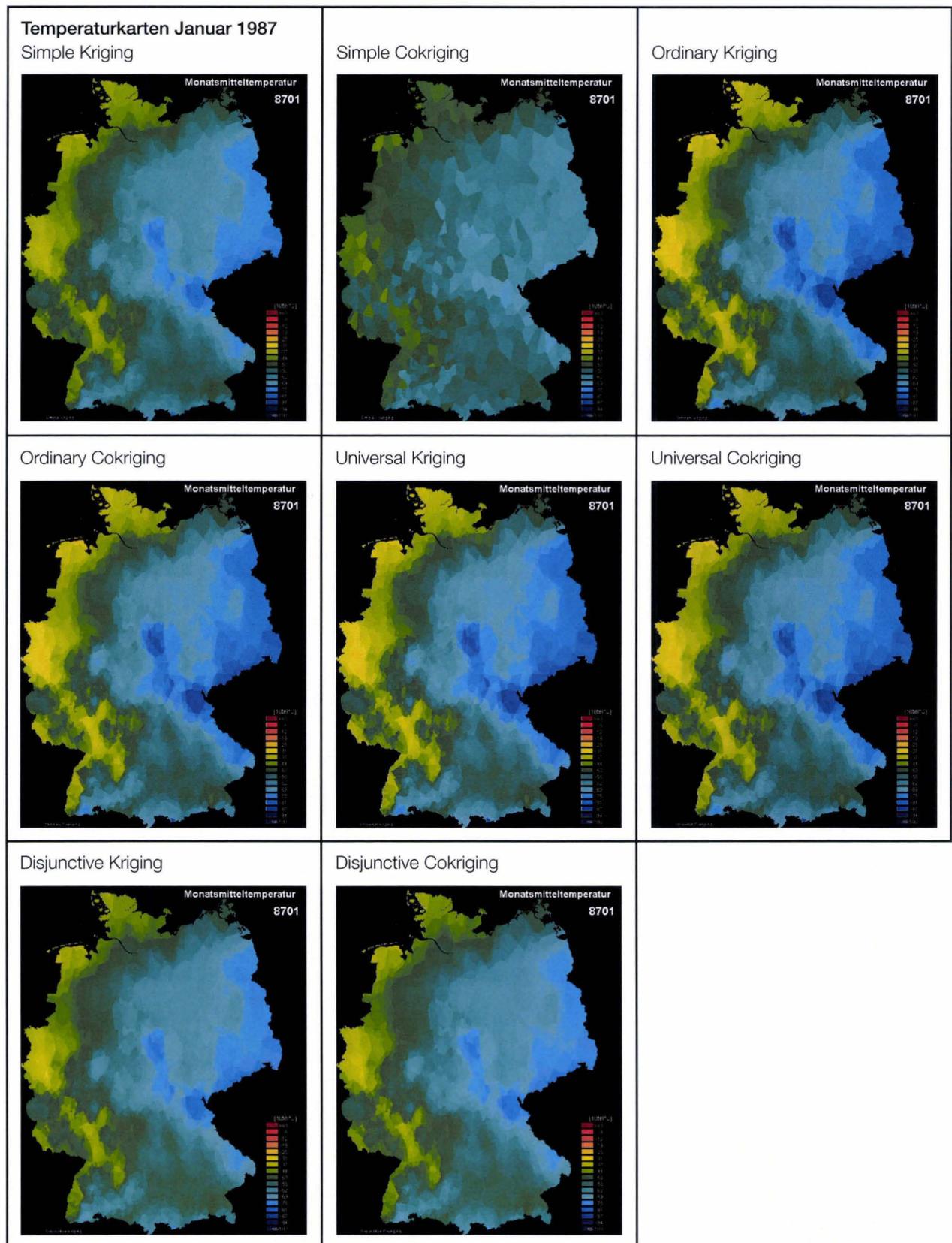
Universal Kriging



Universal Cokriging

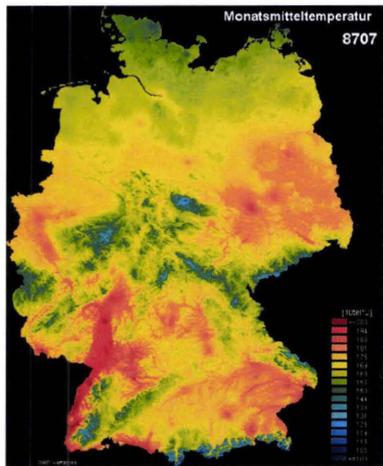


Tab. 31: Kartendarstellung der mit 4 Nachbarpunkten im Umkreis erstellten Interpolationsraster

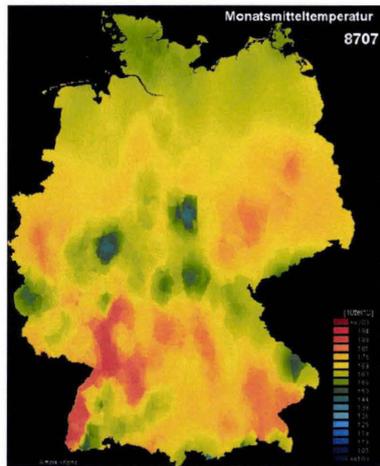


Temperaturkarten Juli 1987

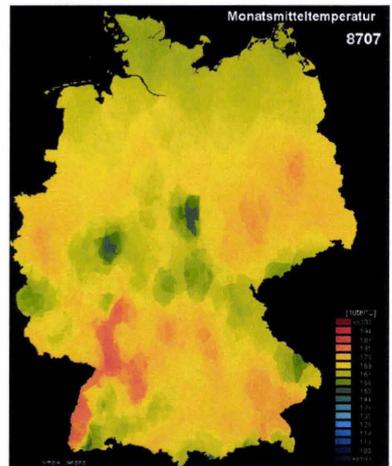
DWD-Verfahren



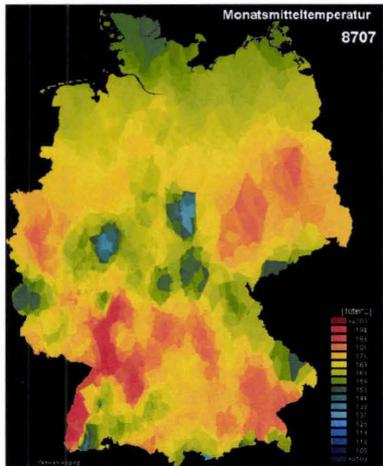
Simple Kriging



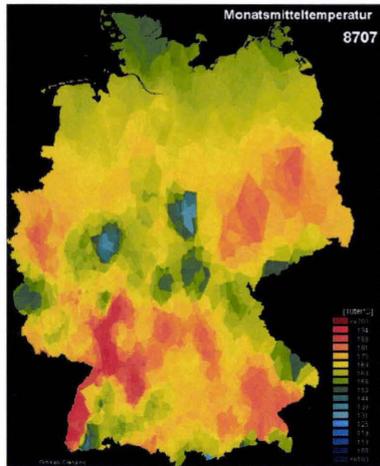
Simple Cokriging



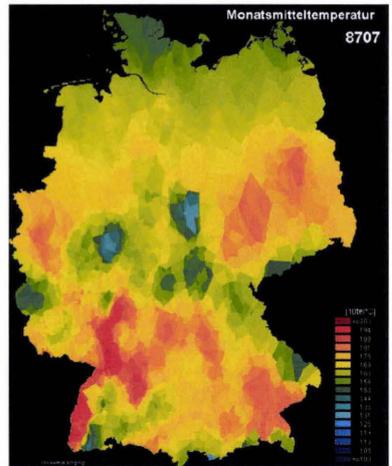
Ordinary Kriging



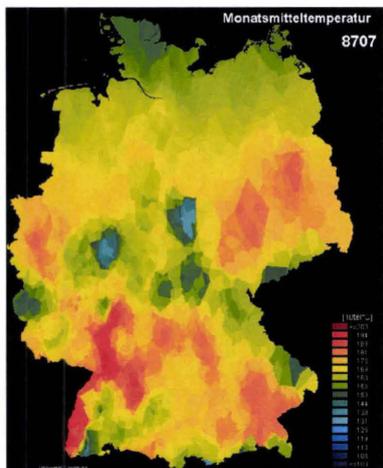
Ordinary Cokriging



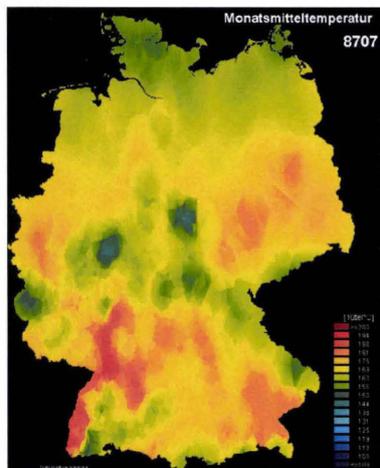
Universal Kriging



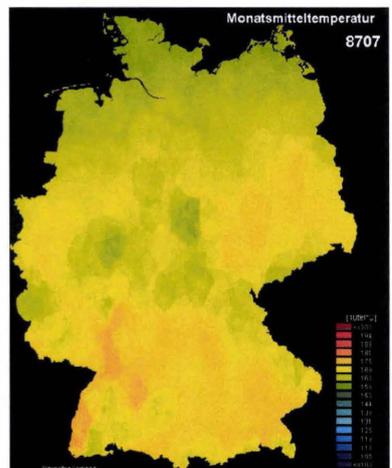
Universal Cokriging



Disjunctive Kriging



Disjunctive Cokriging



Tab. 32: Mittlerer Fehler der Temperaturneuster für 1987 unter 2 verschiedenen Grundeinstellungen der Interpolationsverfahren (Basisdaten: 10tel K)

Einstellung	Monat	OK	OCK	DK	DCK	UCK	UK	SK	SCK
4 Nachbarpunkte im Umkreis	Jan 87	-0.51	-0.51	-0.32	-0.28	-0.52	-0.52	-0.38	-0.30
	Jul 87	-0.53	-0.53	-0.21	0.56	-0.53	-0.53	-0.27	-0.17
Je 1 Nachbarpunkt in 8 Sektoren	Jan 87					-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
	Jul 87					0.0	0.0	0.0	0.0

Die Kartendarstellungen lassen deutlich größere mittlere Abweichungen vermuten. Negative und positive Abweichungen werden sich in weiten Bereichen gegenseitig aufheben, so dass sich nur kleine mittlere Fehler ergeben. Da von ArcGIS kein absoluter mittlerer Fehler ausgegeben wird, muss die Betrachtung des mittleren Fehlers genügen.

6. Zusammenfassung

Die Kreuzvalidierungen der interpolierten Temperatur- und Niederschlagsraster mit den gemessenen Werten aus jeweils zwei Zeiträumen zeigen, dass sowohl für die Temperatur als auch für den Niederschlag gute Interpolationsergebnisse erzielt werden.

Mindestens 70 % der absoluten Abweichungen für die Temperatur liegen im Bereich von 0–0,5 K, mehr als 90 % werden für Abweichungen bis 1,0 K gefunden. Die Häufigkeitsverteilungen sind im Sommer und Winter geringfügig flacher und breiter als im Frühjahr und Herbst. Alle Häufigkeitsverteilungen sind rechtsschief, die interpolierten Werte sind folglich niedriger als die gemessenen Werte. Im längeren Vergleichszeitraum mit geringer Stationsdichte zeigt sich eine Umverteilung der prozentualen Häufigkeit in die Klasse 0,5 K–1,0 K, mehr als 90 % der absoluten Temperaturdifferenzen fallen bis jedoch auch hier in die 3 kleinsten Abweichungsbereiche. Im Norden Deutschlands werden bedingt durch flachere Geländestrukturen die Temperaturen durch die Interpolation besser wiedergegeben als im Süden. Zwischen 60 % und 80 % aller Abweichungen fallen für Höhen bis 600 m in die Klasse 0,0 K–0,5 K. Oberhalb 1000 m Höhe wirkt sich die geringe Stationsdichte in der Minderung der Interpolationsqualität aus.

Prozentuale Abweichungen der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert werden durch die Stationsdichte wesentlich stärker beeinflusst als die Temperatur. Eine geringere Anzahl von Stationen führt zu einer Glättung der realen Verhältnisse. Lokale Niederschlagsextrema wirken sich nicht aus, die Interpolation liefert teilweise bessere Ergebnisse. Sommerliche Starkniederschläge resultieren in flacheren und breiteren Häufigkeitsverteilungen. Im Mai, Juli und August (1901–1910: Juni und Juli) betragen daher nur 62 % bis 68 % (1901–1910: 60 % bis 65 %) aller prozentualen Abweichungen zwischen 0 % und 15 %, in allen anderen Monaten sind es zwischen 70 % und 86 % (1910: 70 % und 81 %). Die mittlere prozentuale Abweichung wird von der Höhe einer Station nicht beeinflusst.

Zur Beurteilung der Interpolationsqualität eignen sich am besten der mittlere absolute Fehler bzw. die mittlere prozentuale Abweichung sowie die 80 %-Quantile. Standardabweichung und Varianz sind anfällig für Extremwerte, die vor allem beim Niederschlag auftreten.

Die dem beim deutschen Wetterdienst angewendeten Rasterverfahren gegenübergestellten GIS-Verfahren bringen keine bessere Darstellung der meteorologischen Parameter. Für die monatliche Niederschlagssumme, der ein sehr viel dichteres Stationsnetz zugrunde liegt, sind die mit ArcGIS unter Verwendung des Inverse Distance- und des Radial Basic Functions-Verfahrens gut, die Kriging-Verfahren enttäuschen dagegen durch eine zu starke Glättung oder durch Wiedergabe der Interpolationsradien. Diese treten für die Monatsmitteltemperatur aufgrund der geringeren Stationsdichte noch deutlicher hervor. Eine erwartete bessere Qualität durch Verwendung der Höhendaten als zweitem Datensatz wird nicht erreicht. Zudem errechnen sich für die GIS-Verfahren größere mittlere Fehler.

Die Validierung der nach den DWD-Verfahren erzeugten Rasterkarten ergibt eine Abnahme der mittleren absoluten Fehler mit zunehmender Stationsdichte über die 10-jährigen Zeiträume des letzten Jahrhunderts. Sie liegen nach den Trends bei 0,35 K für die Monatsmitteltemperatur und etwa 8 % prozentualer Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme vom 30-jährigen Mittelwert. Da das DWD-Verfahren die Höhenabhängigkeit der Parameter zusätzlich berücksichtigt, sollte es als das stabil bessere und weniger aufwendige Verfahren beibehalten werden.

Literatur

- (1) U. Maier et al.: Klimatologische Auswertung von Zeitreihen des Monatsmittels der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe im 20. Jahrhundert, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 223, Offenbach 2003
- (2) Johnston, K. et al.: Using ArcGIS Geostatistical Analyst, Hrsg.: ESRI, New York 2001

Abbildungen

Temperatur

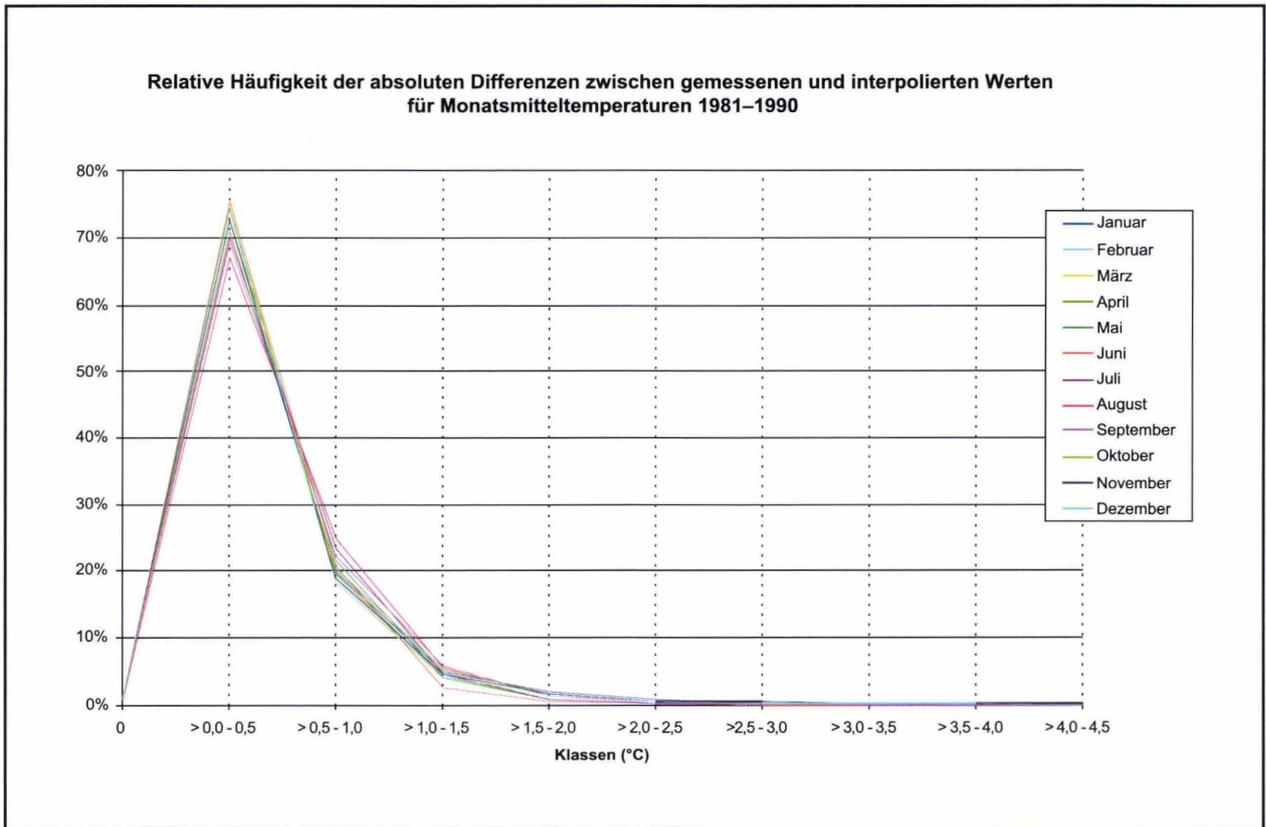


Abbildung 1

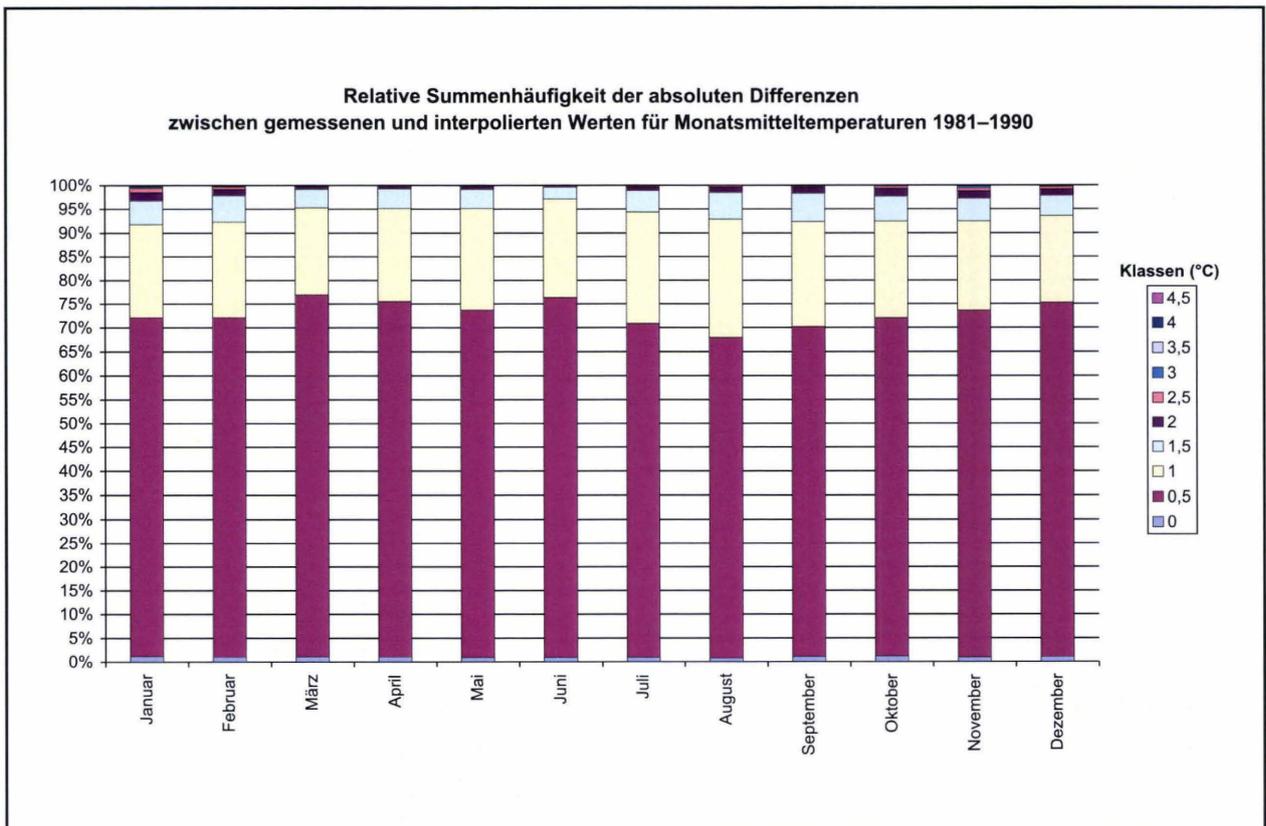


Abbildung 2

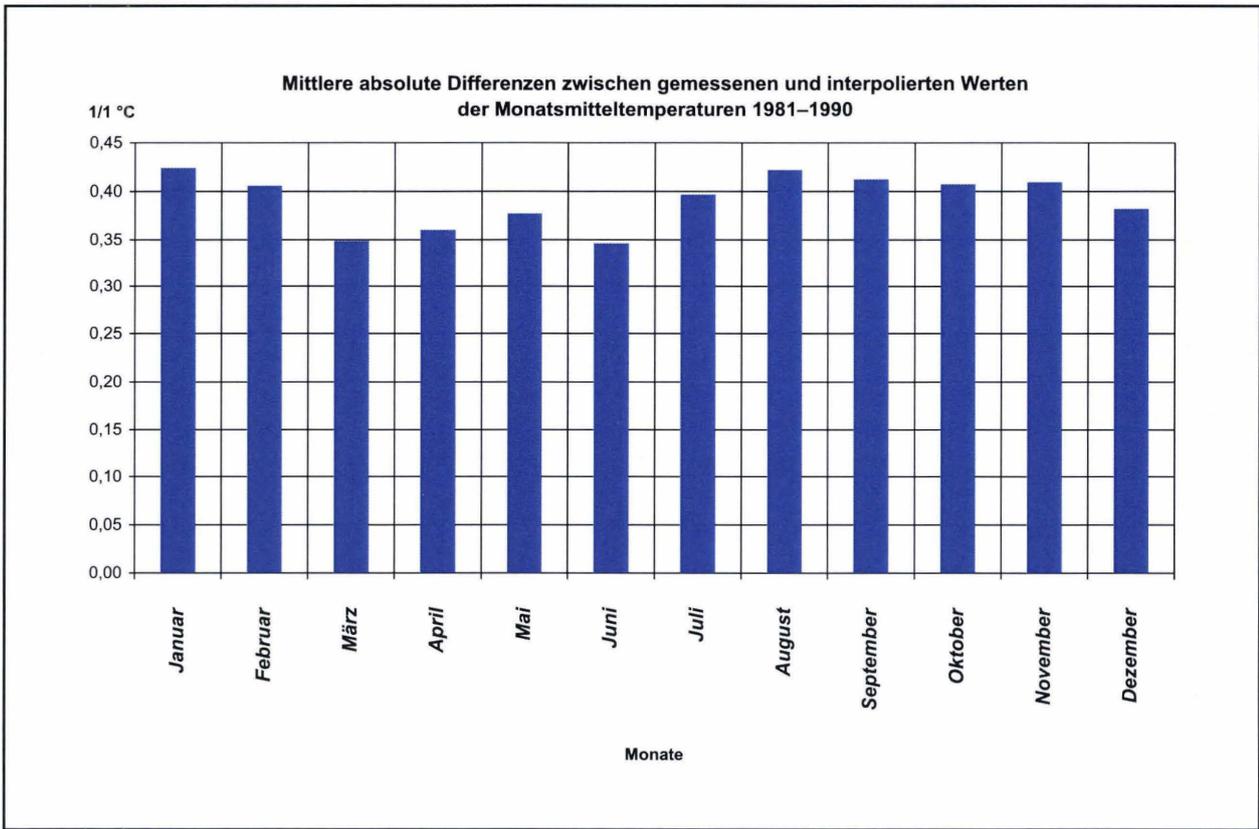


Abbildung 3

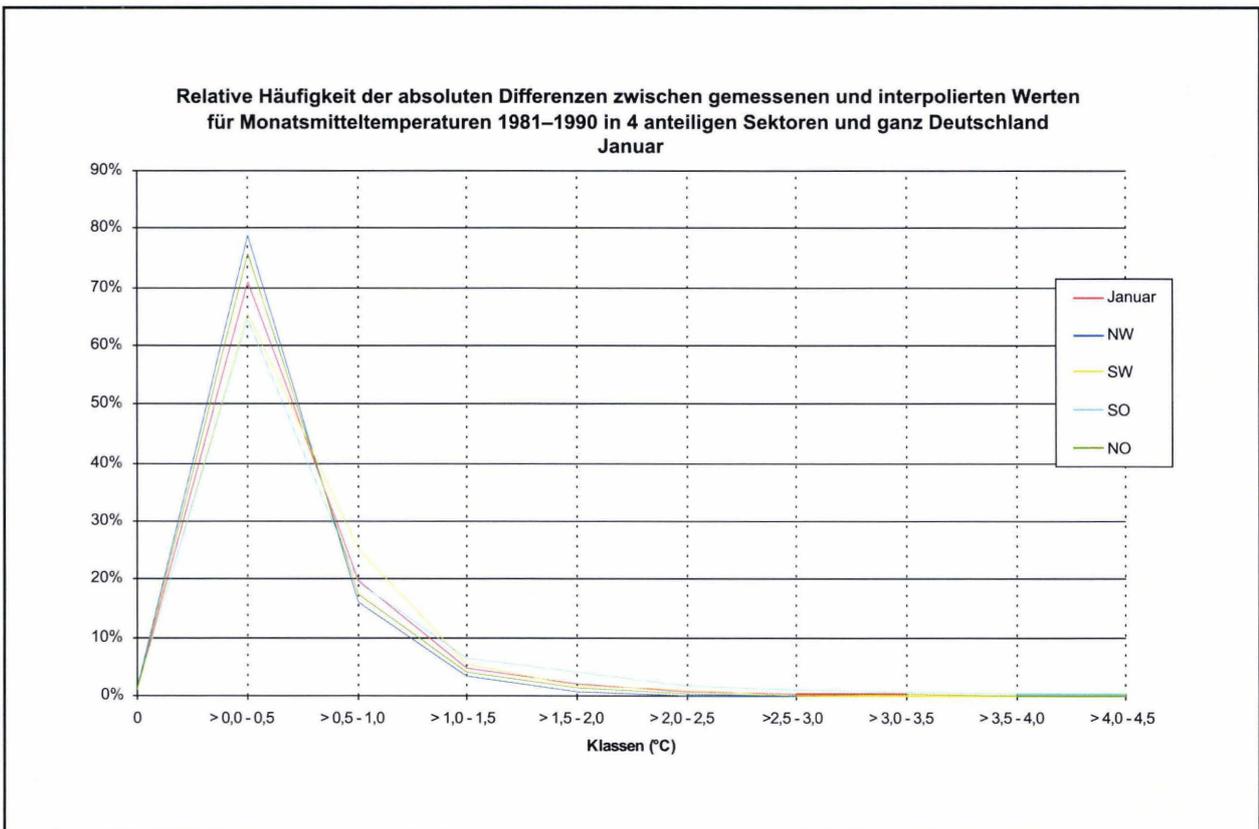


Abbildung 4

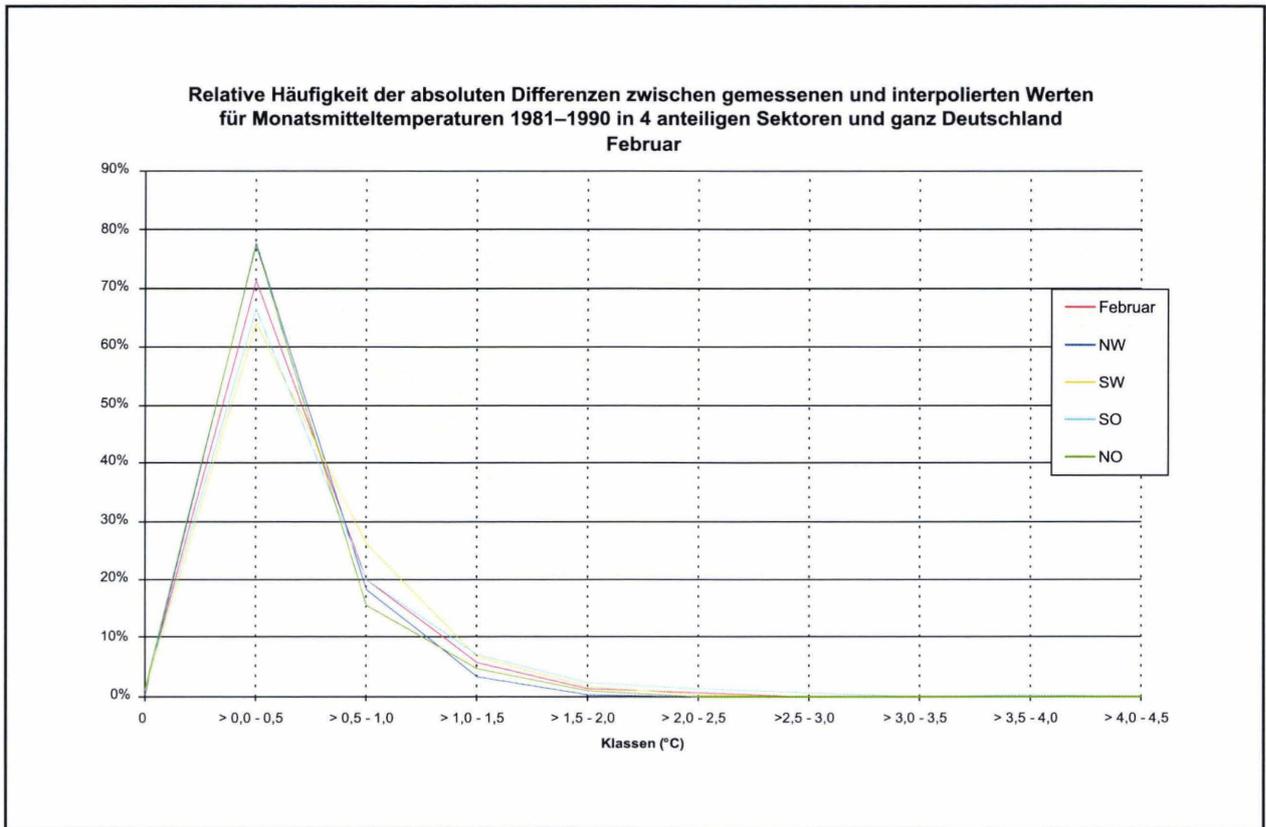


Abbildung 5

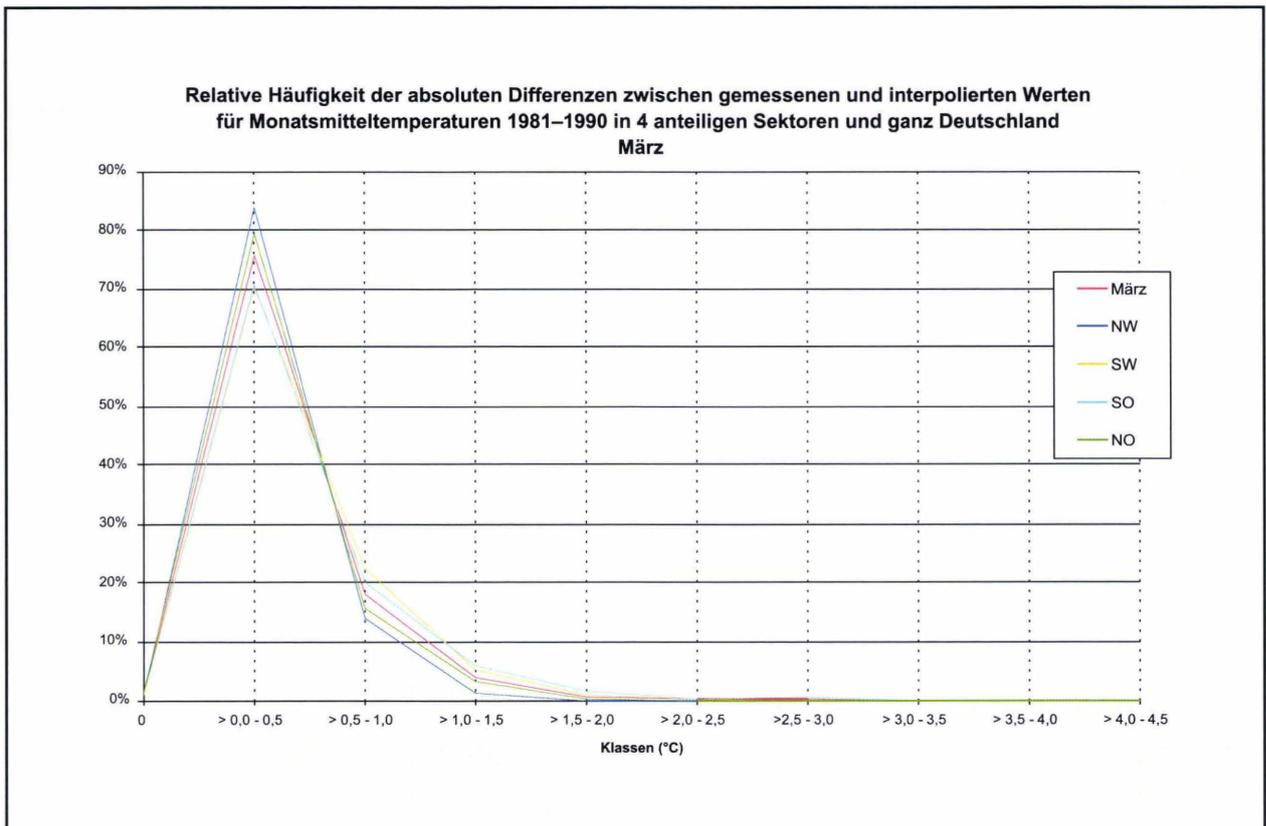


Abbildung 6

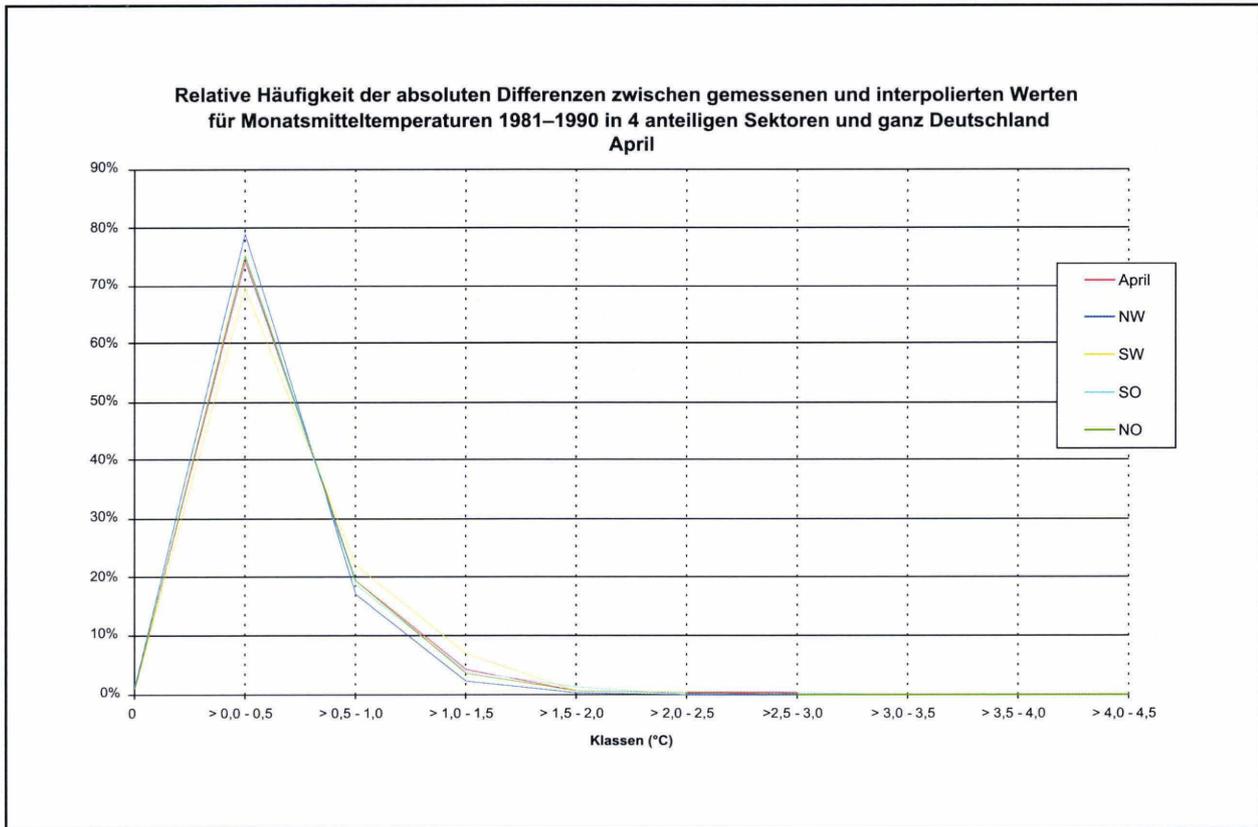


Abbildung 7

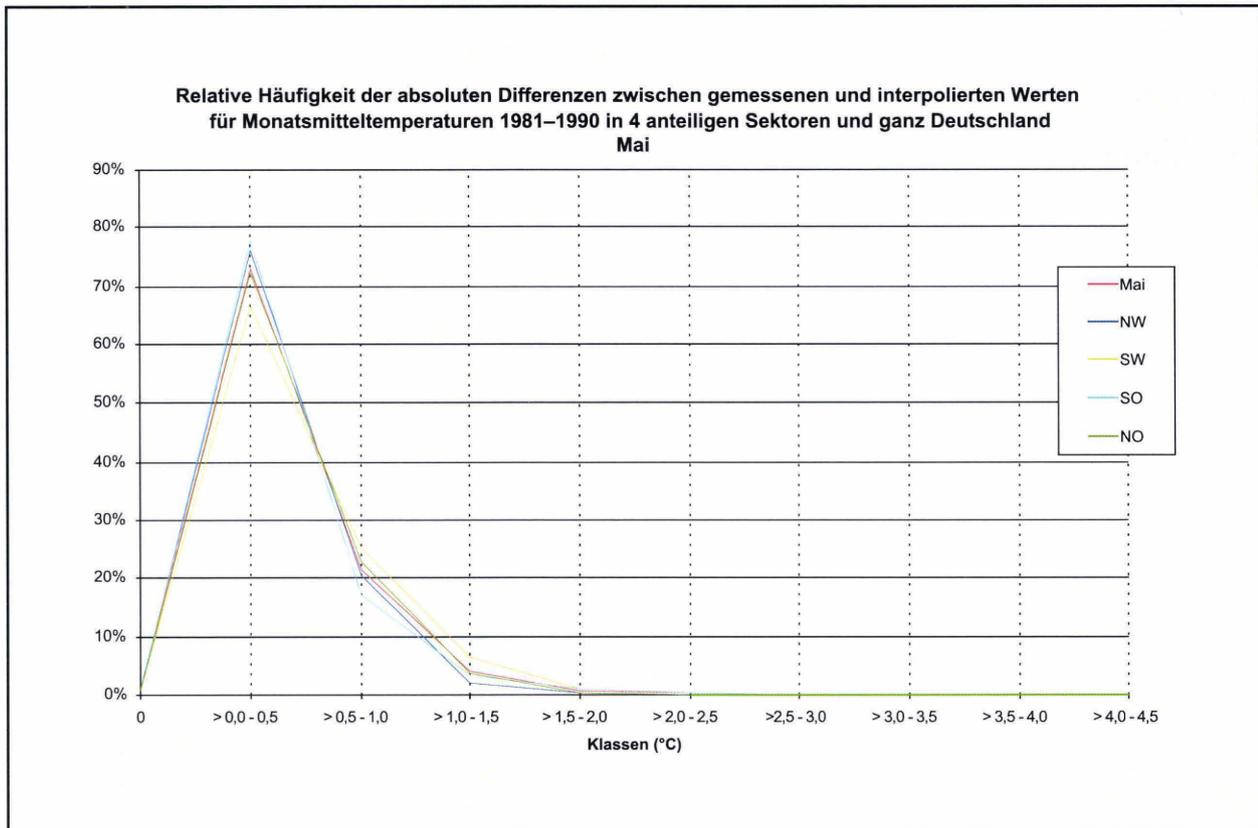


Abbildung 8

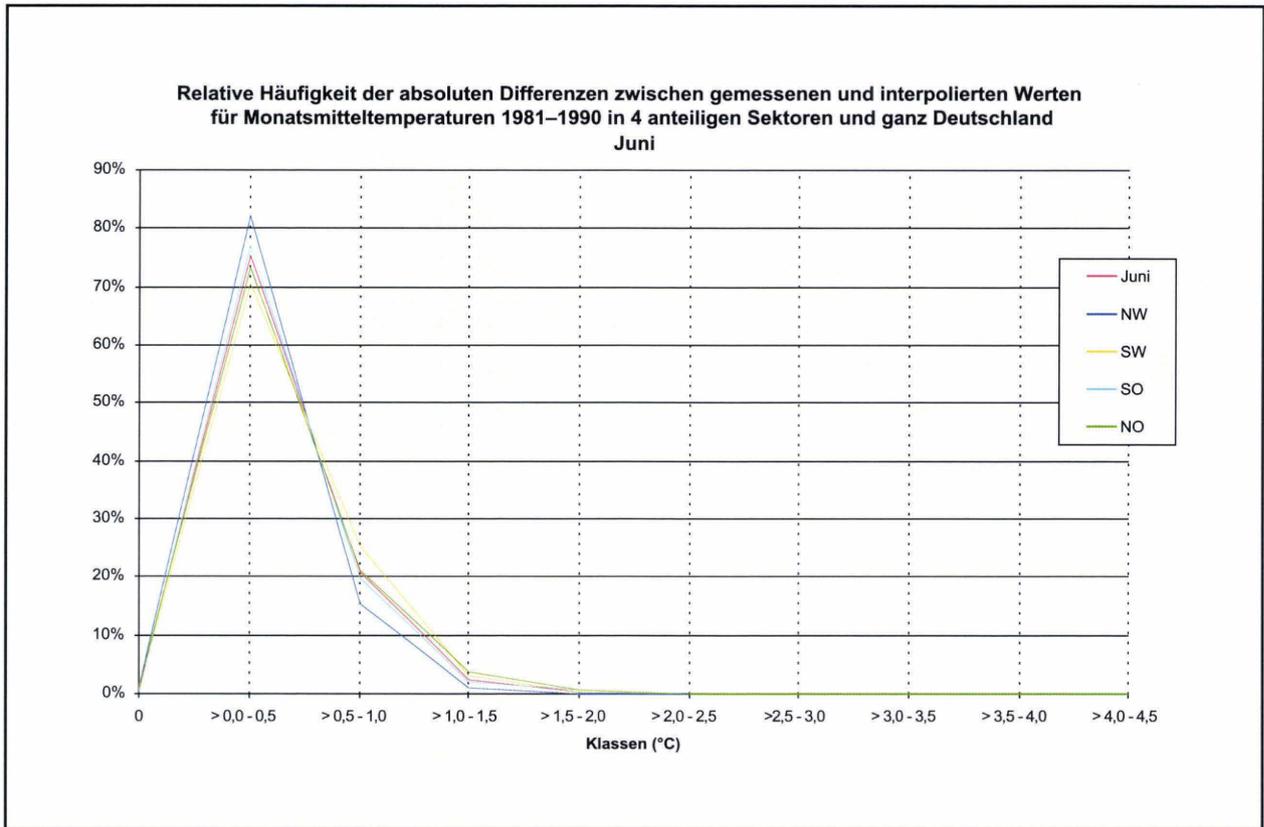


Abbildung 9

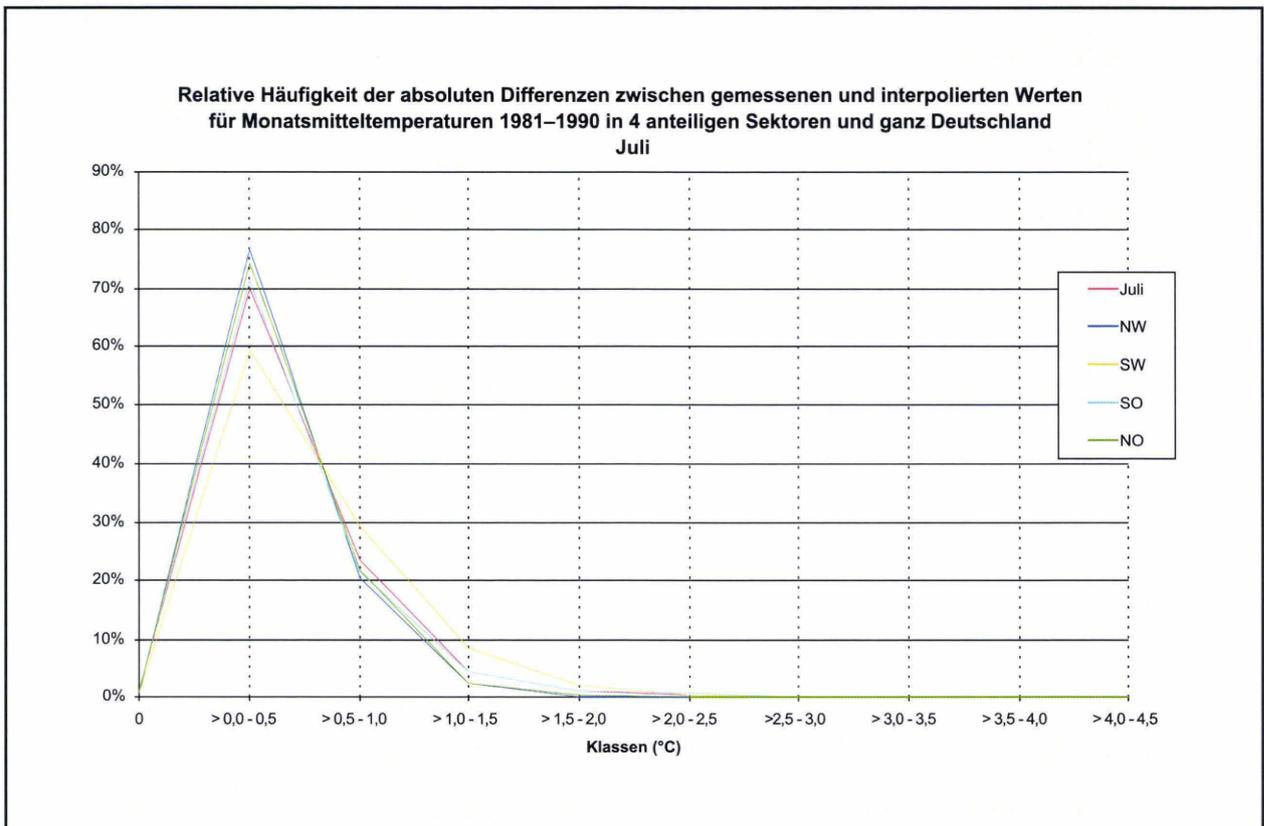


Abbildung 10

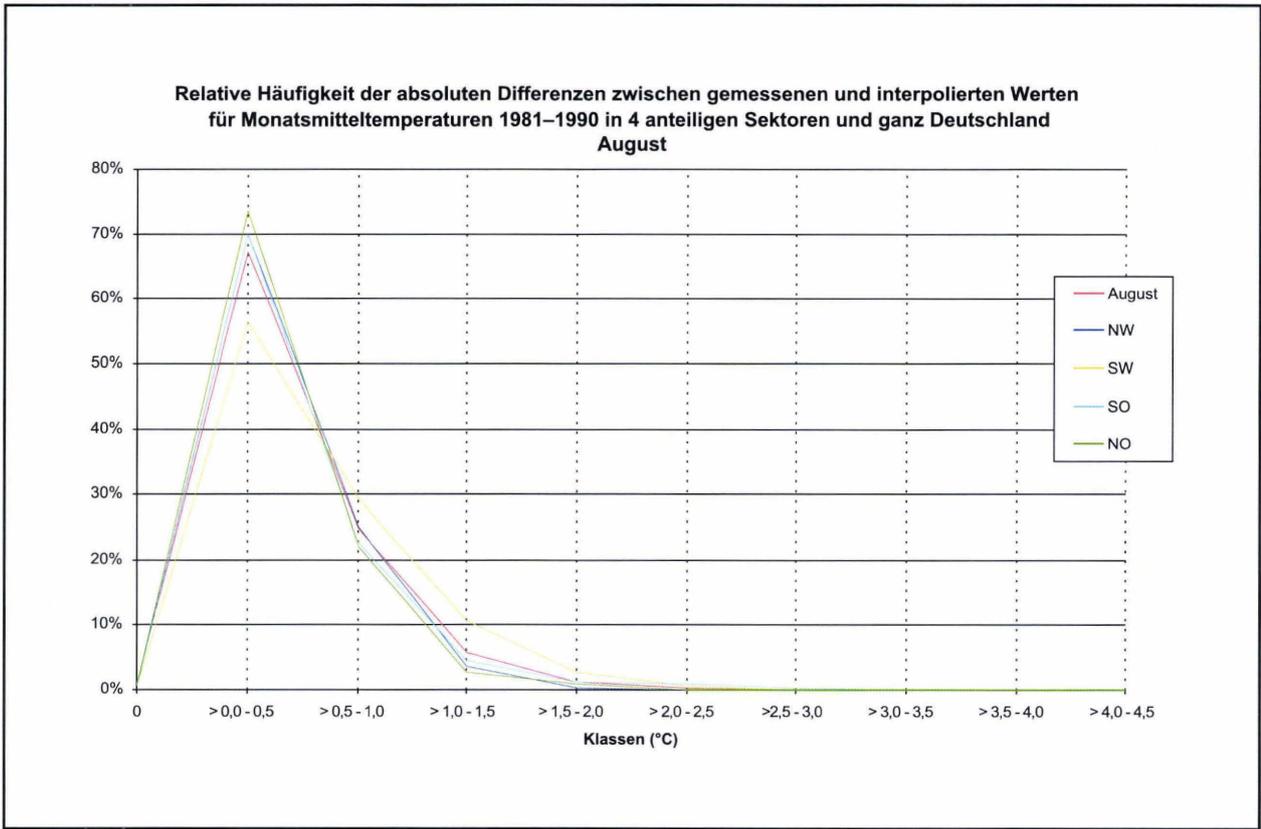


Abbildung 11

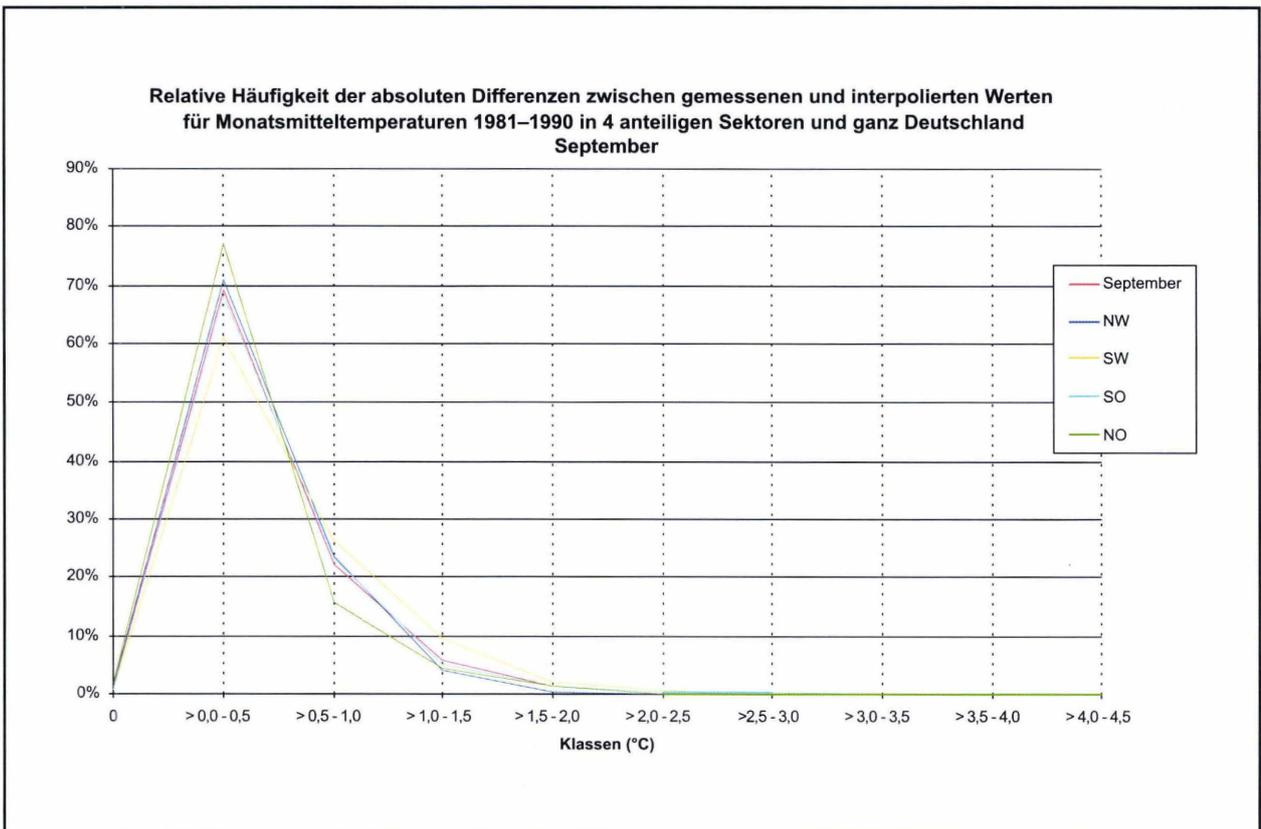


Abbildung 12

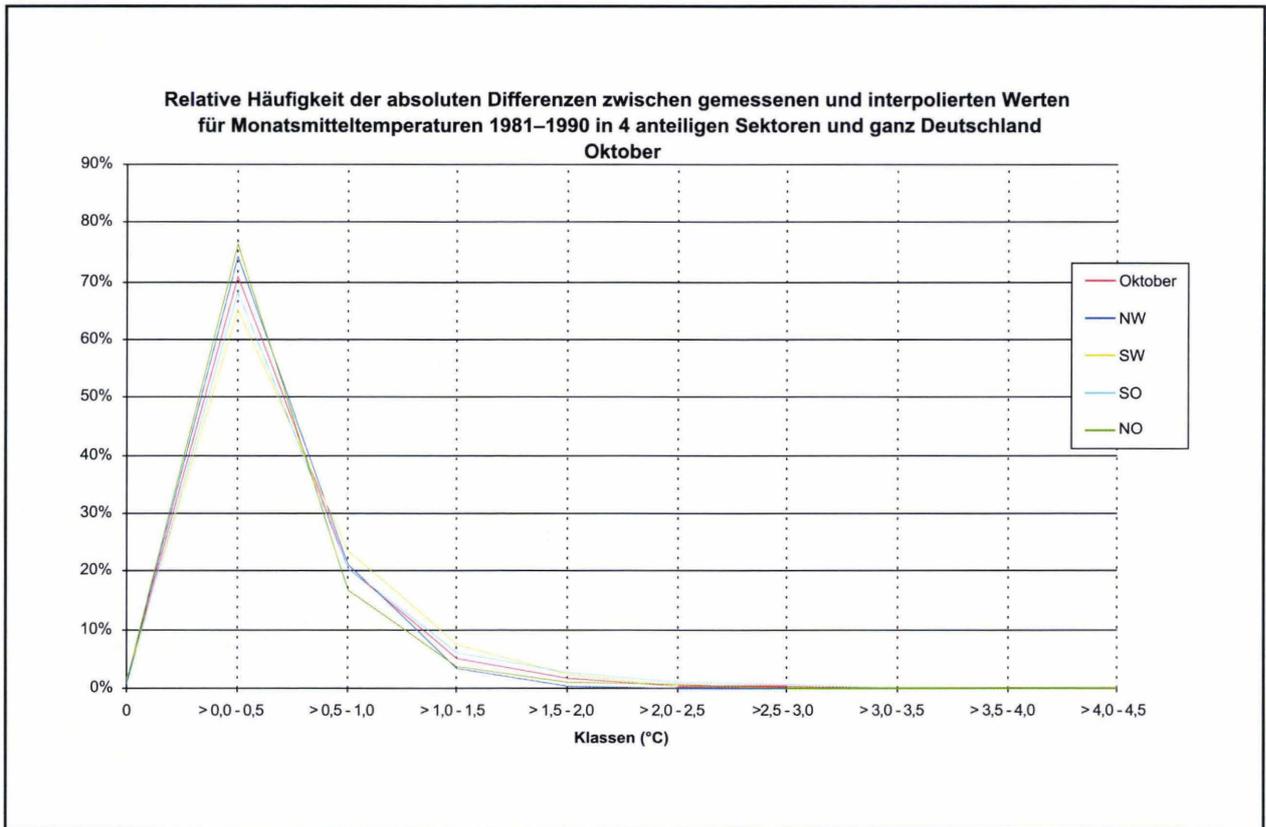


Abbildung 13

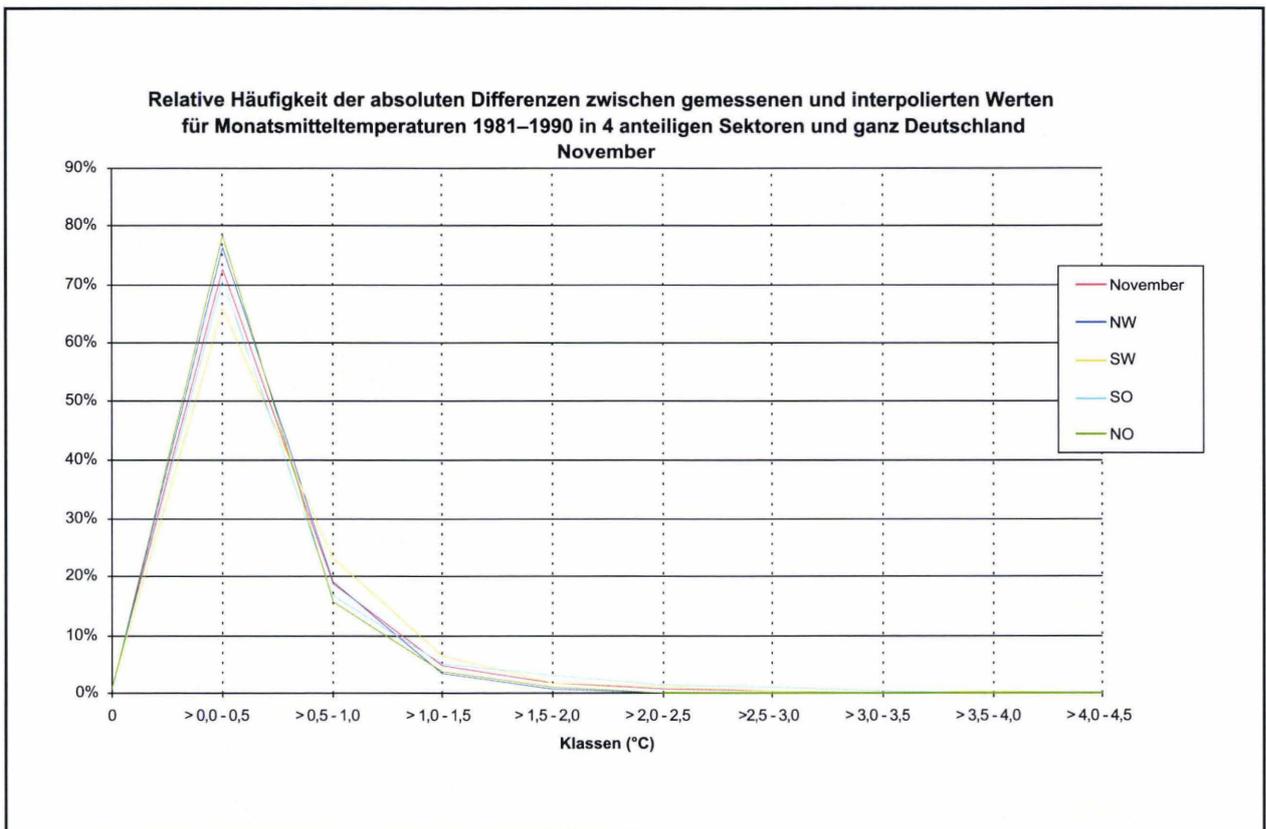


Abbildung 14

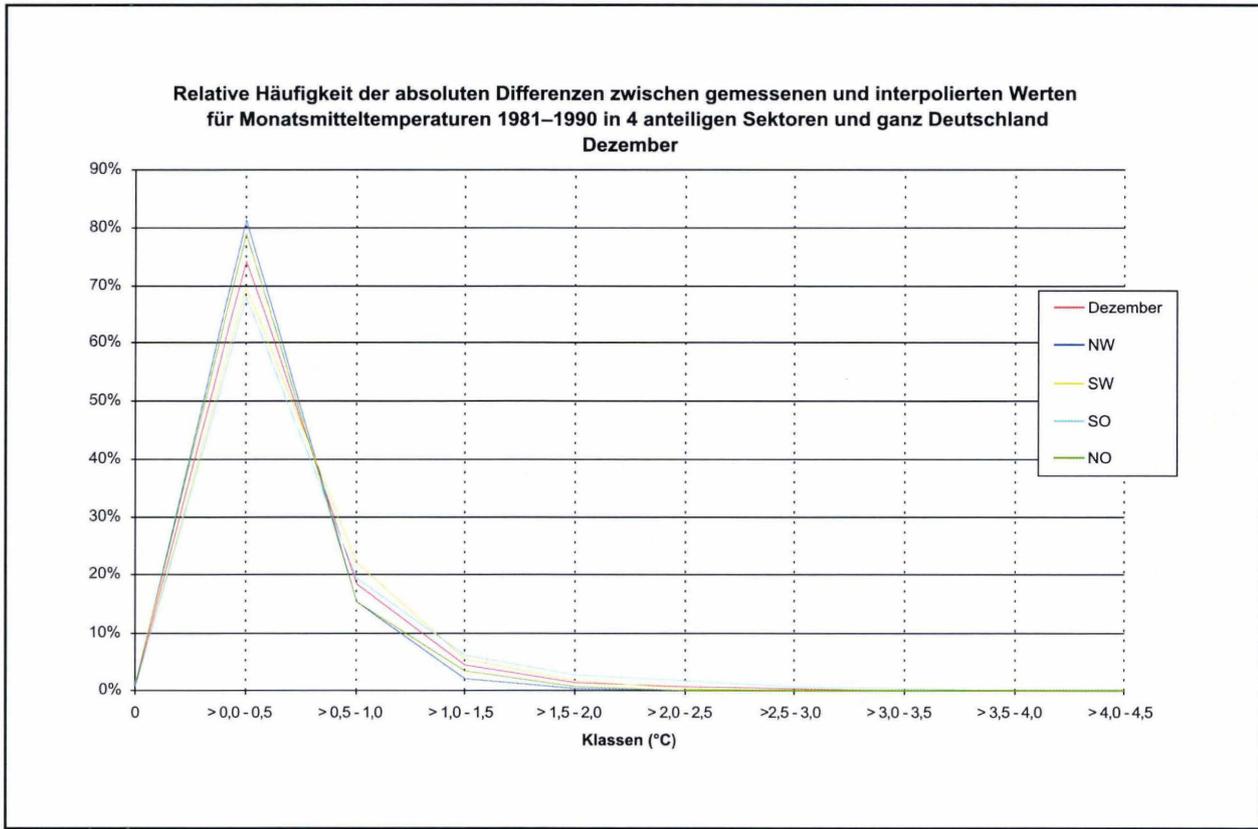


Abbildung 15

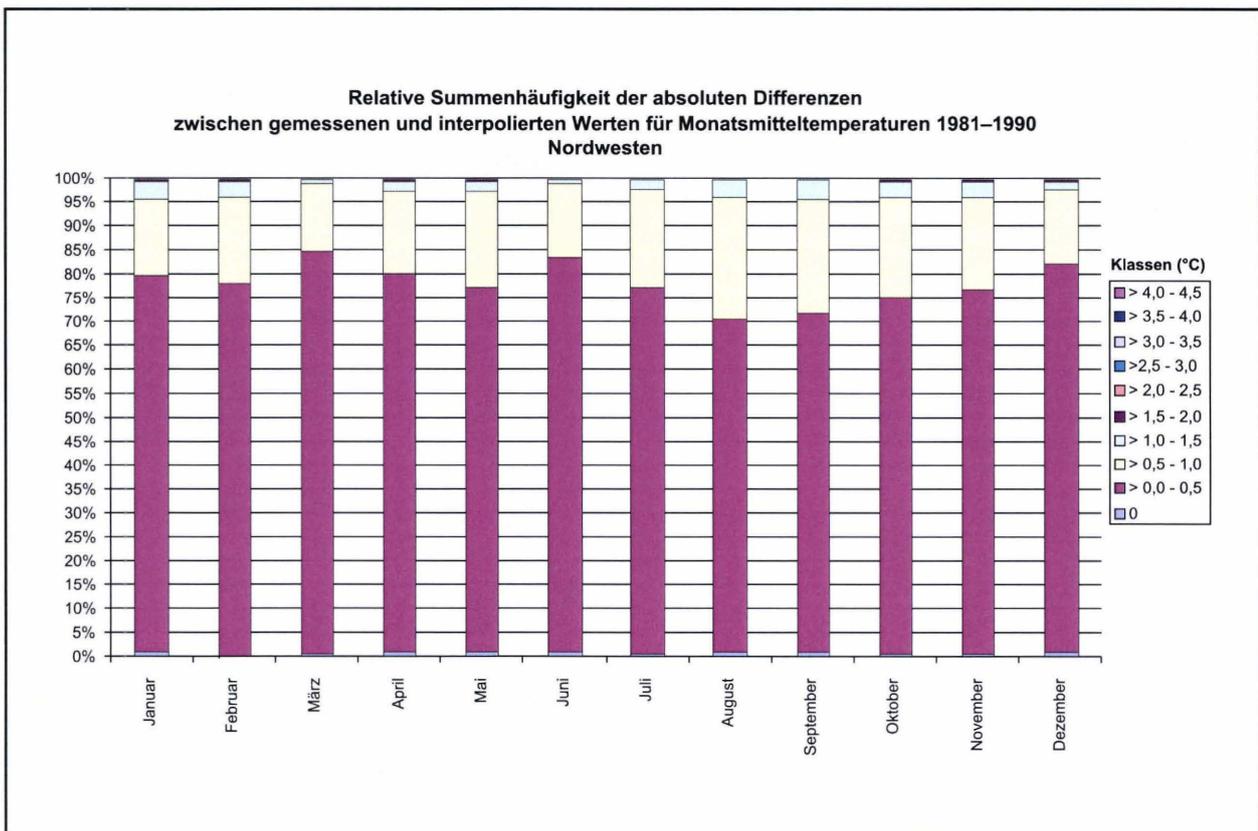


Abbildung 16

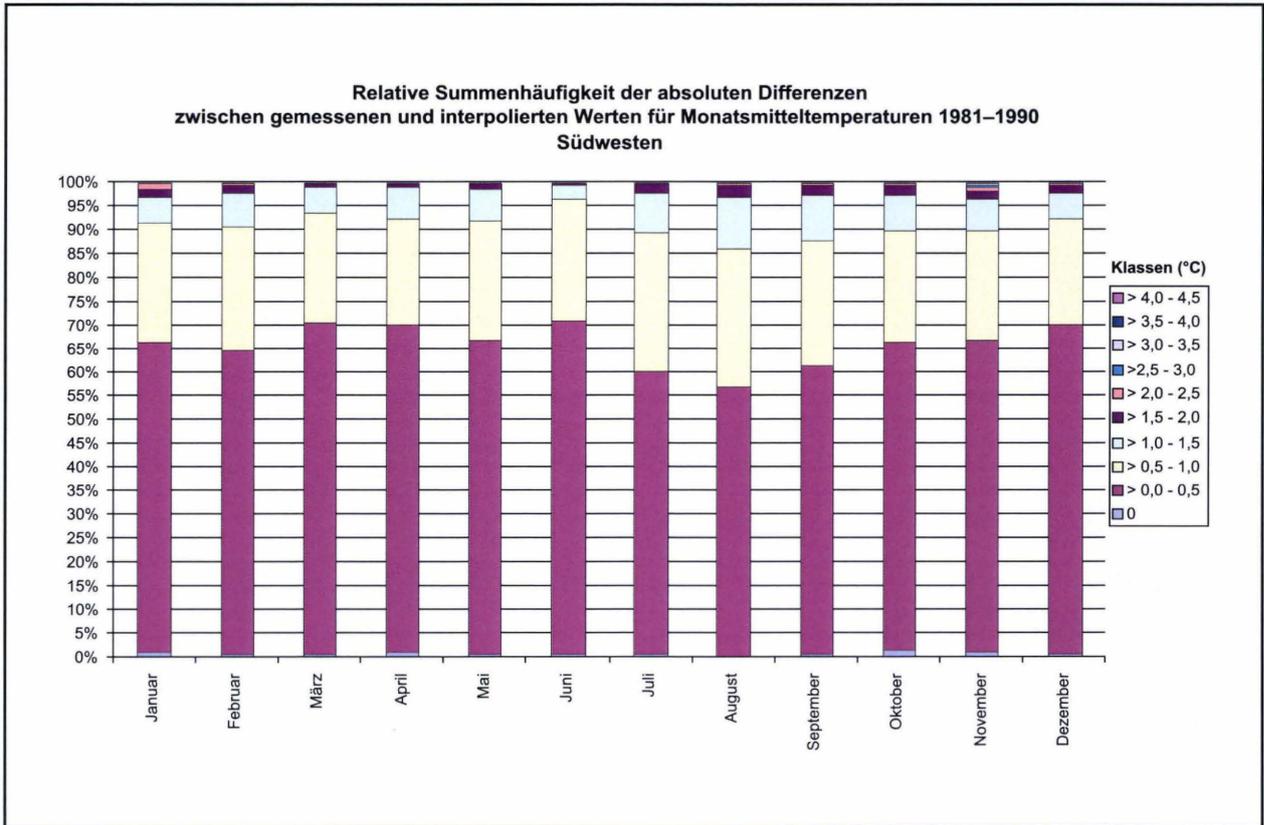


Abbildung 17

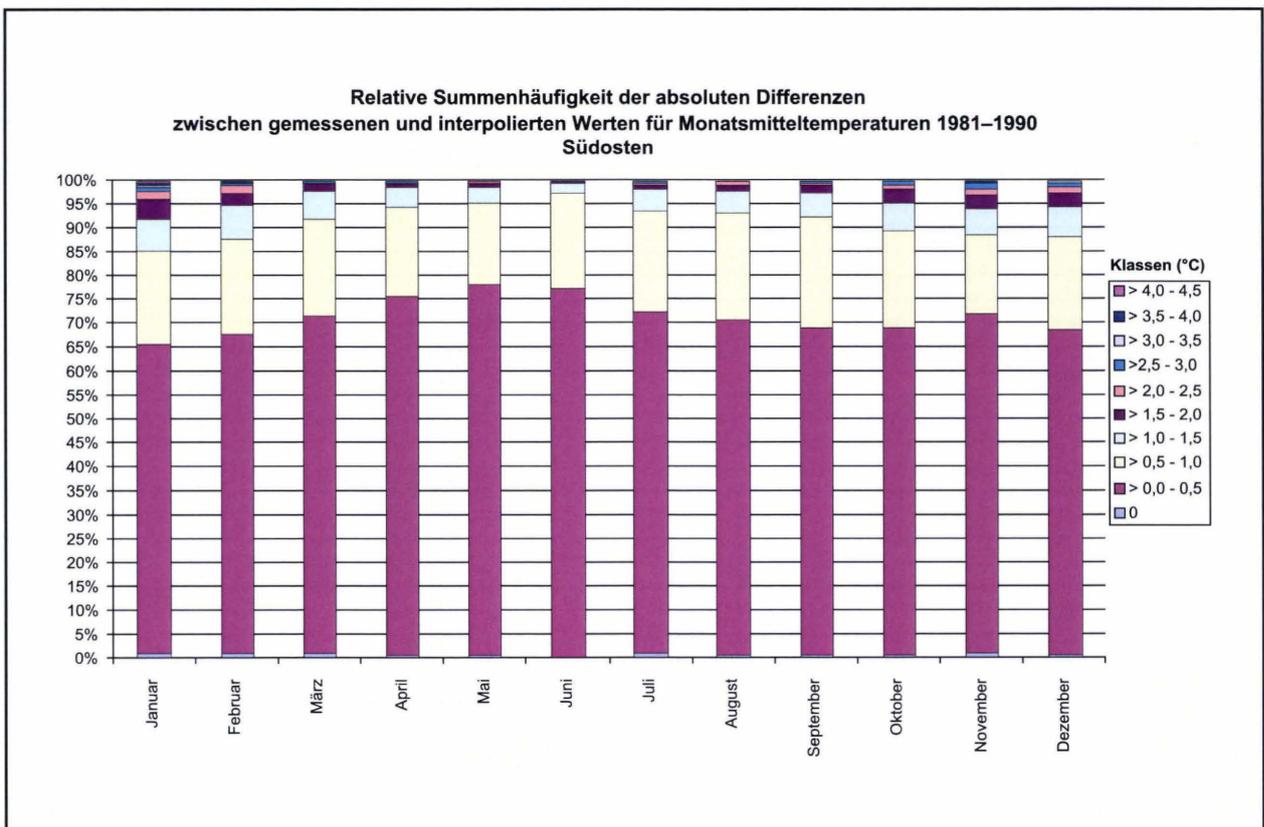


Abbildung 18

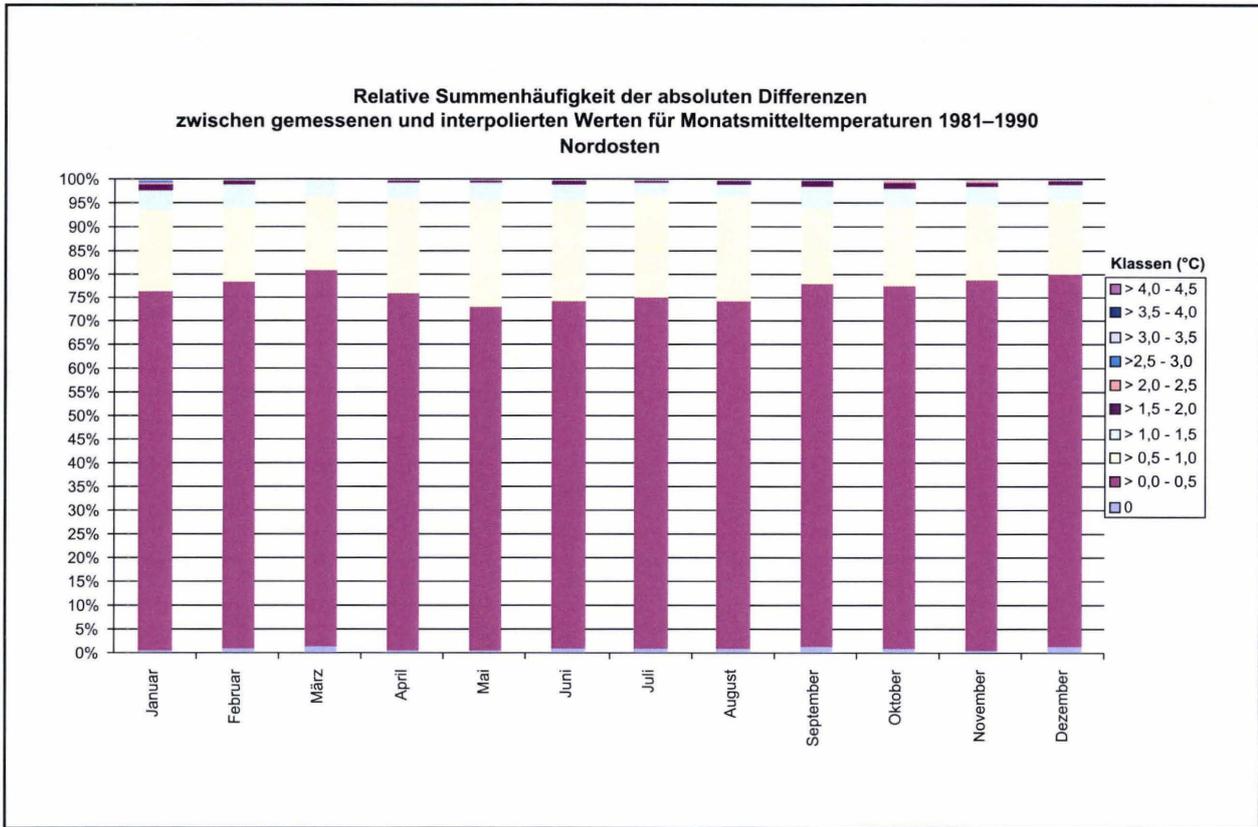


Abbildung 19

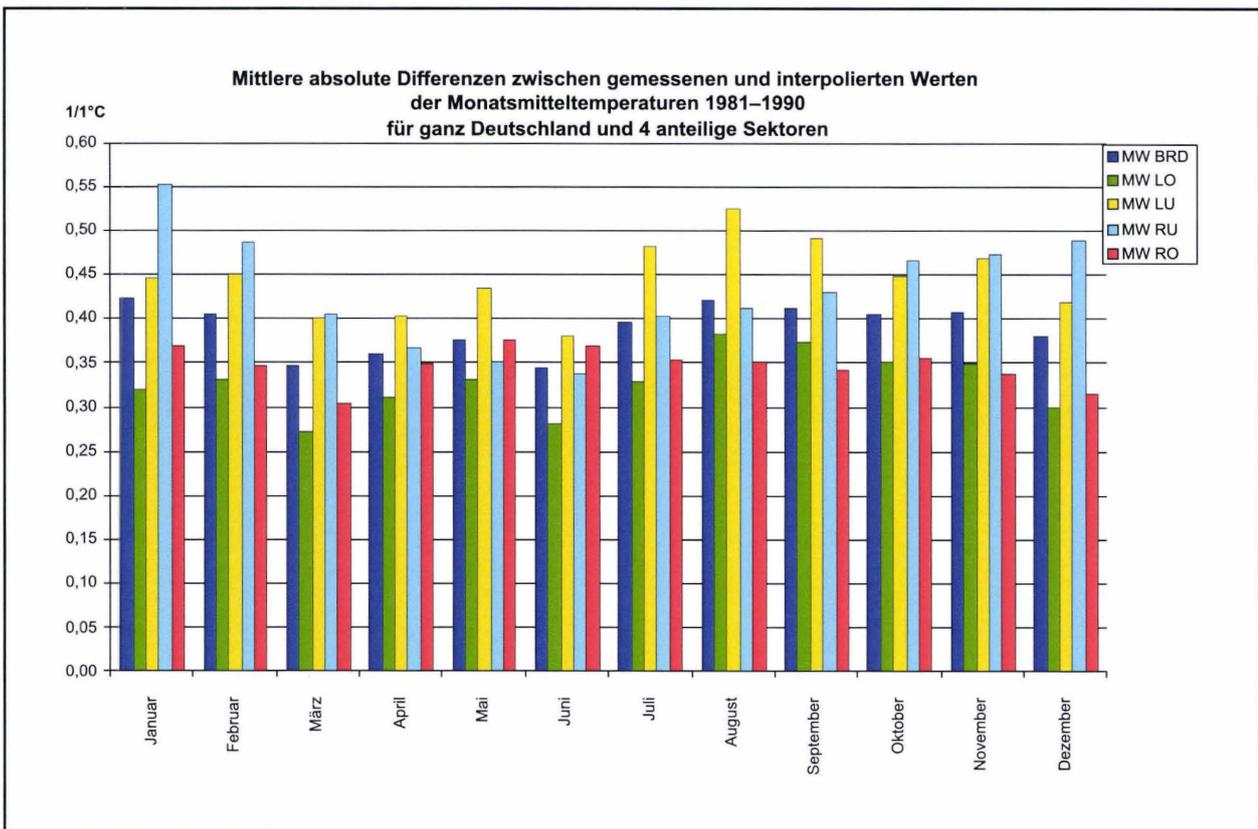


Abbildung 20

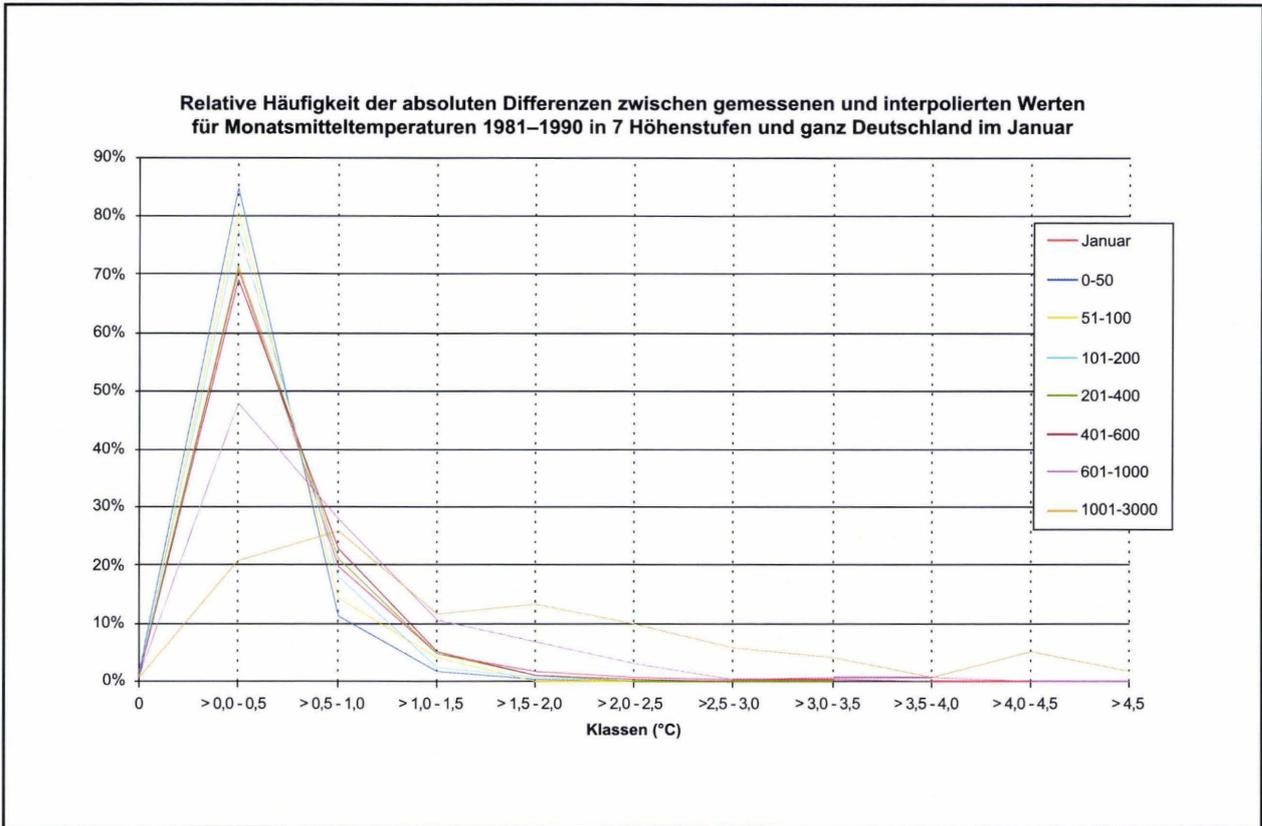


Abbildung 21

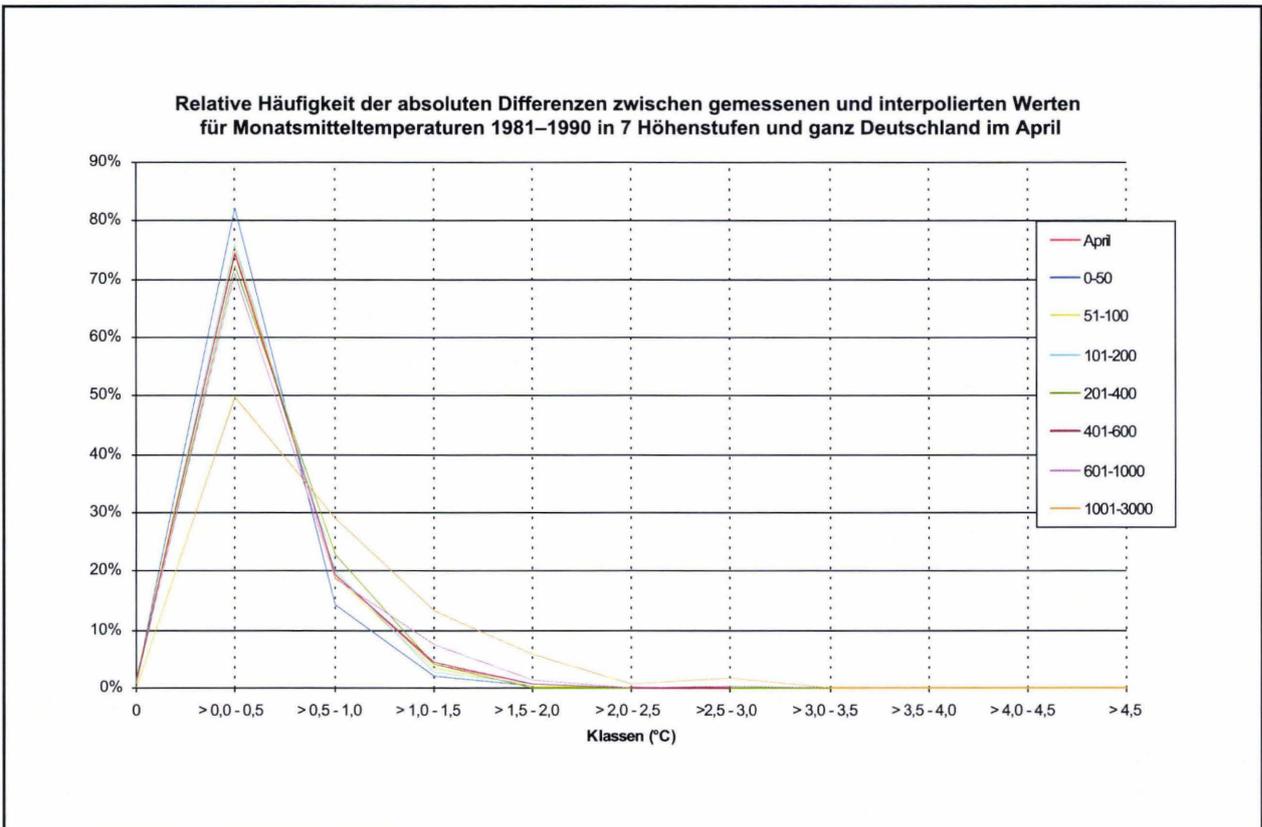


Abbildung 22

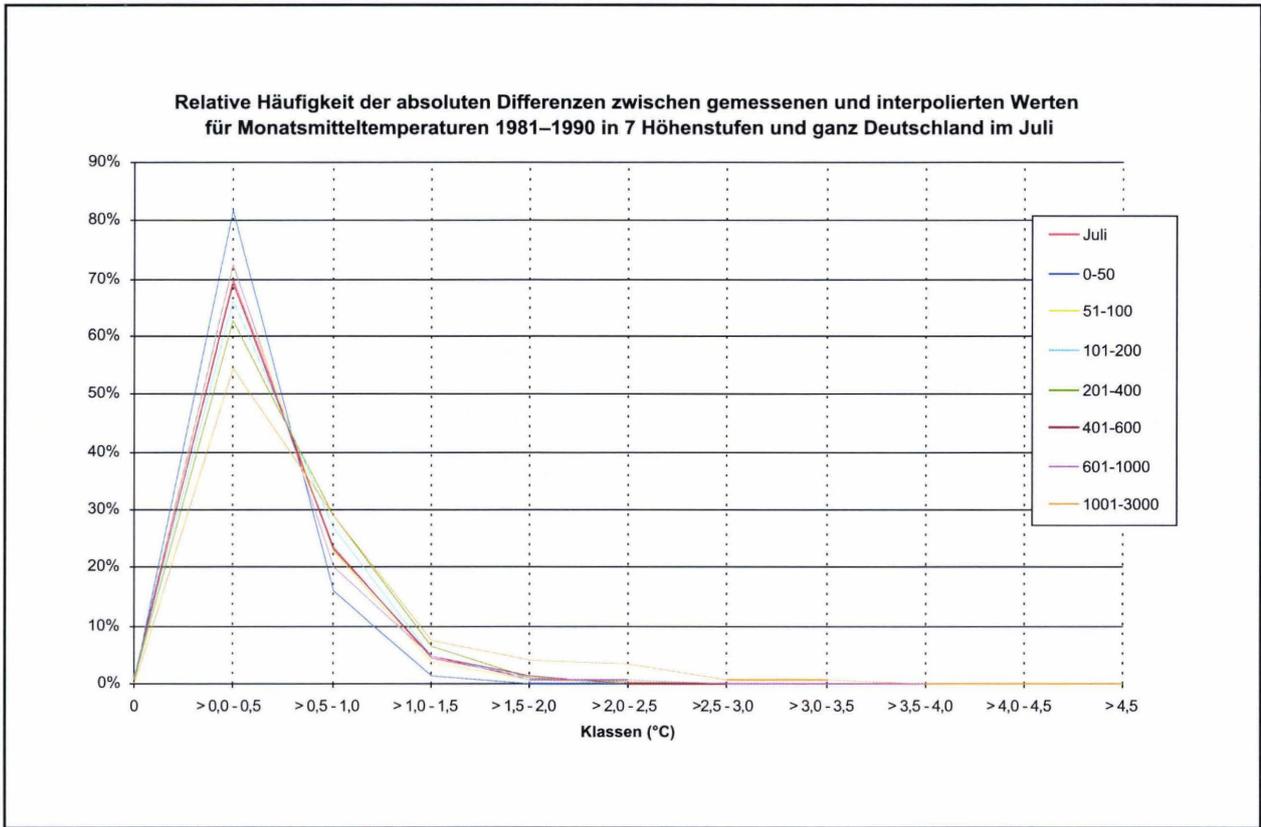


Abbildung 23

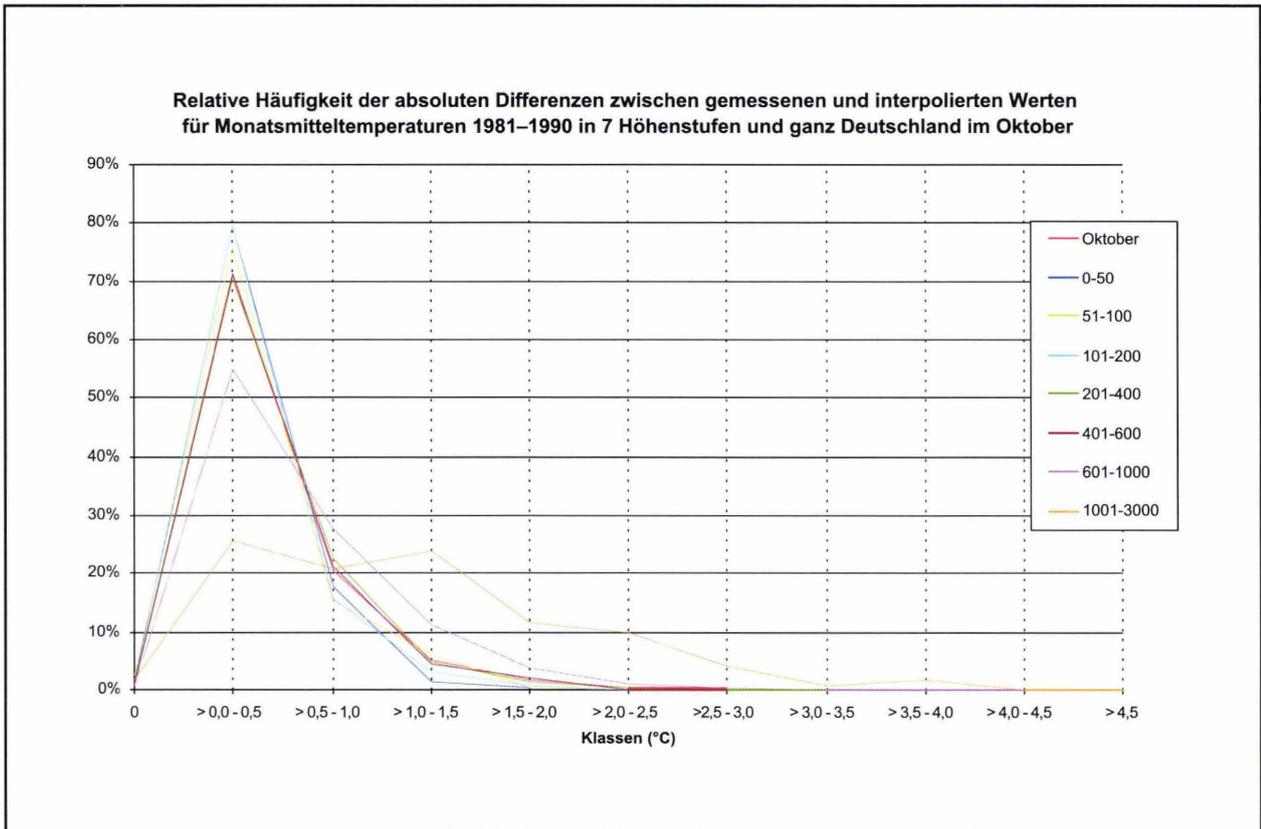


Abbildung 24

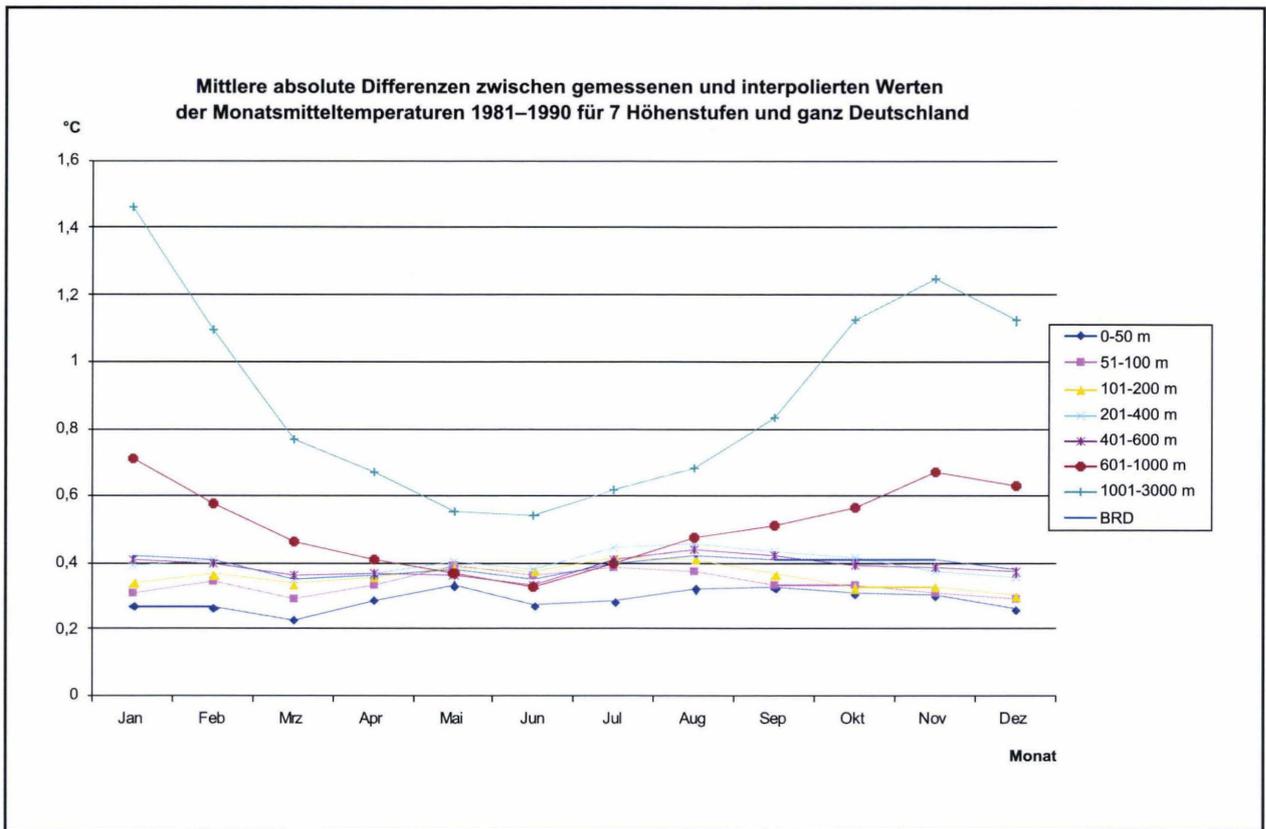


Abbildung 25

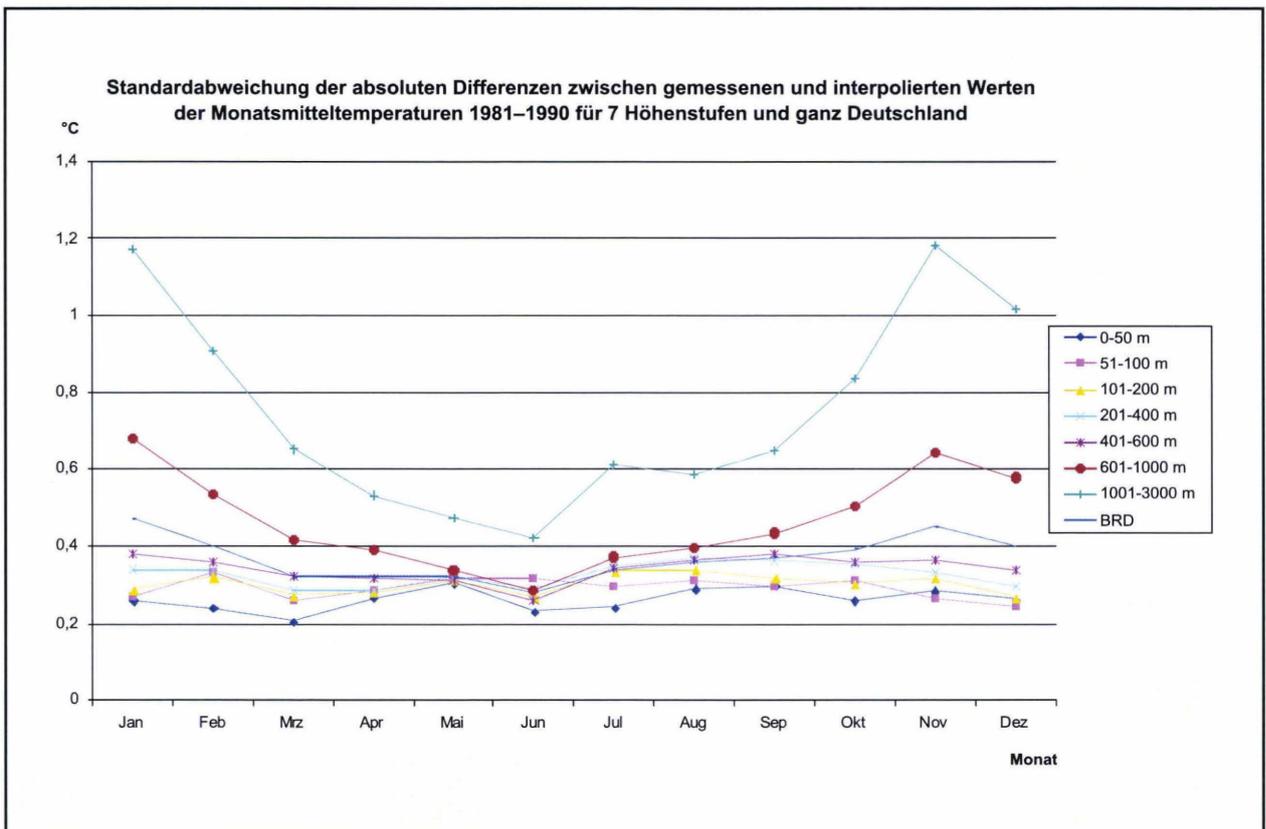


Abbildung 26

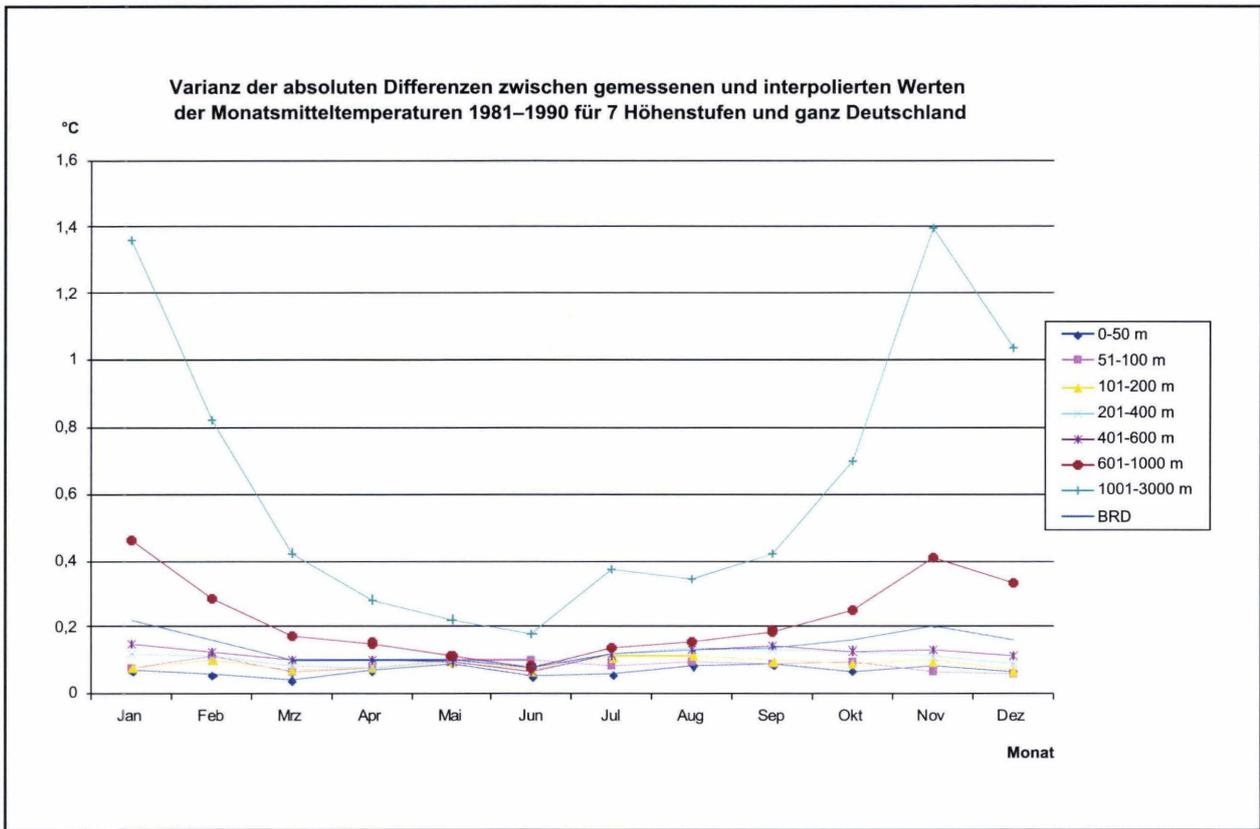


Abbildung 27

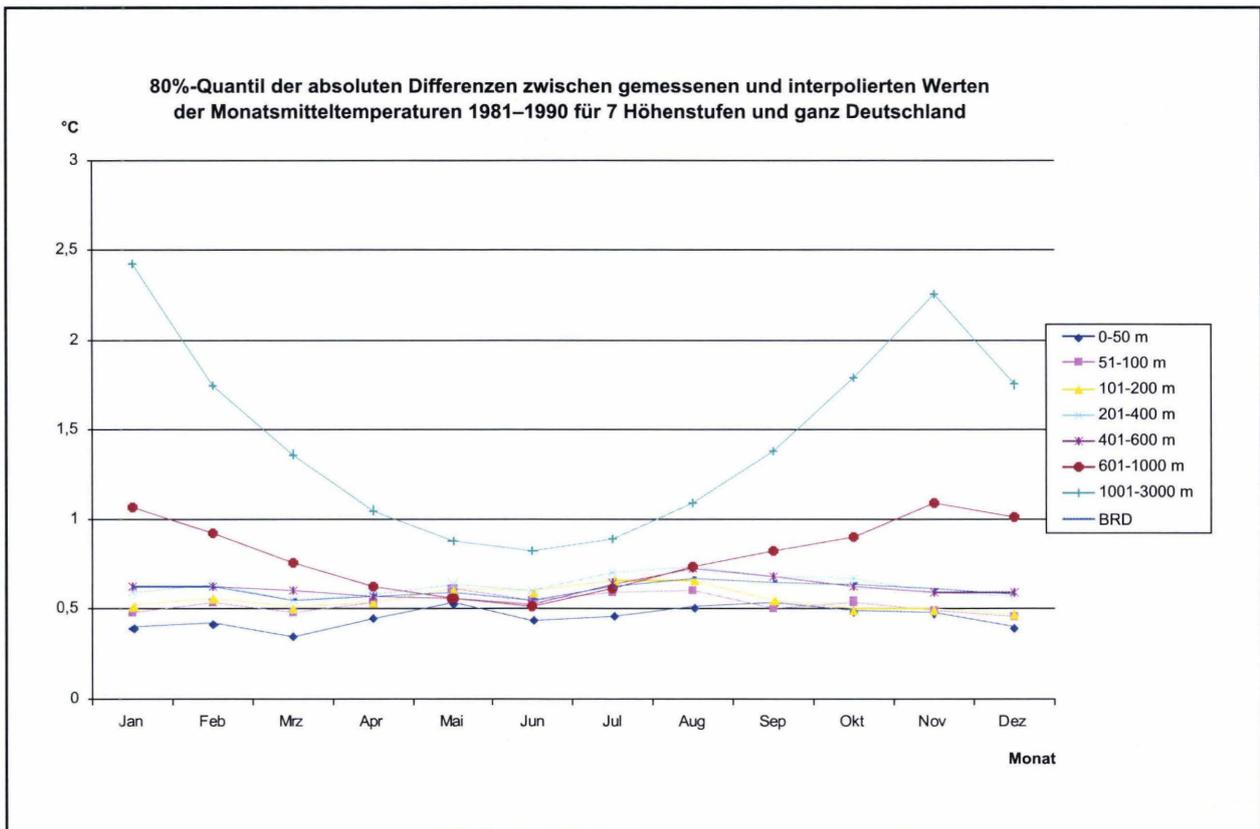


Abbildung 28

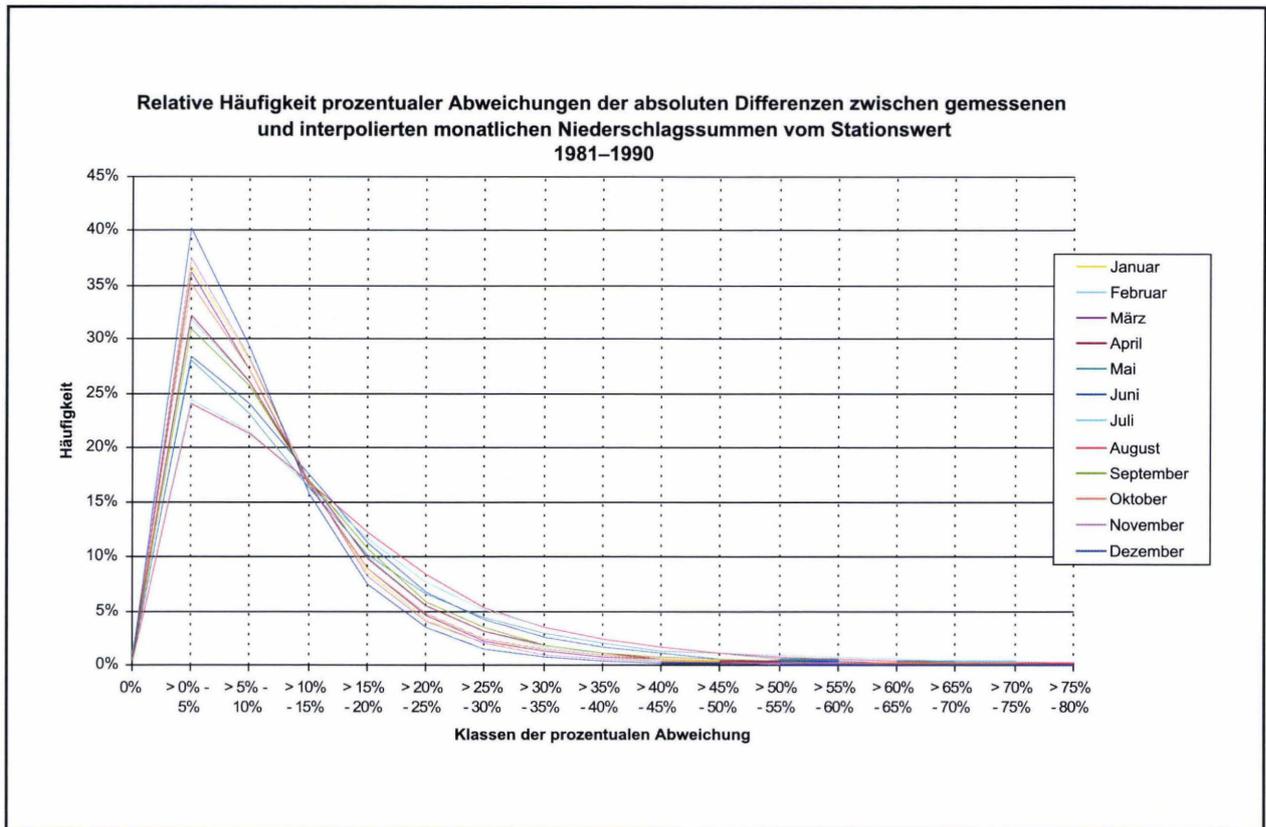


Abbildung 29

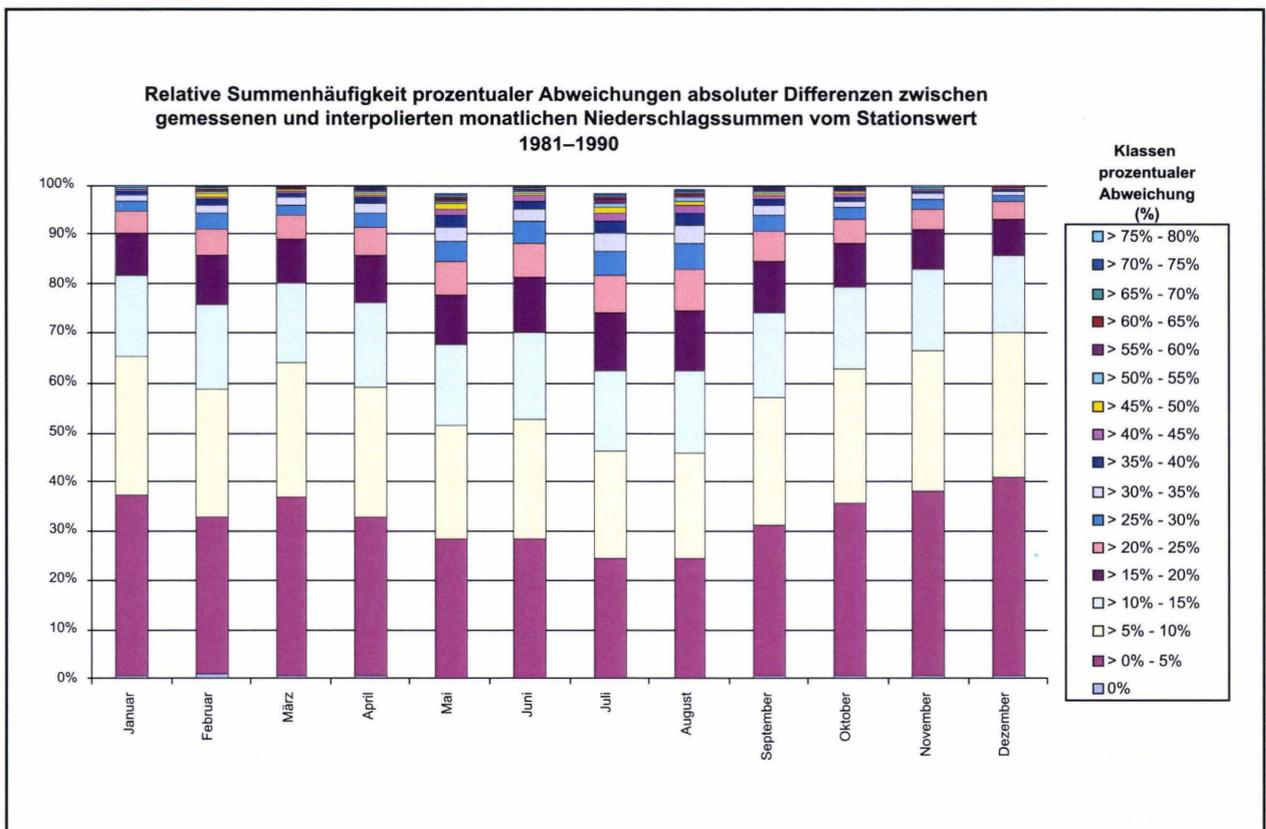


Abbildung 30

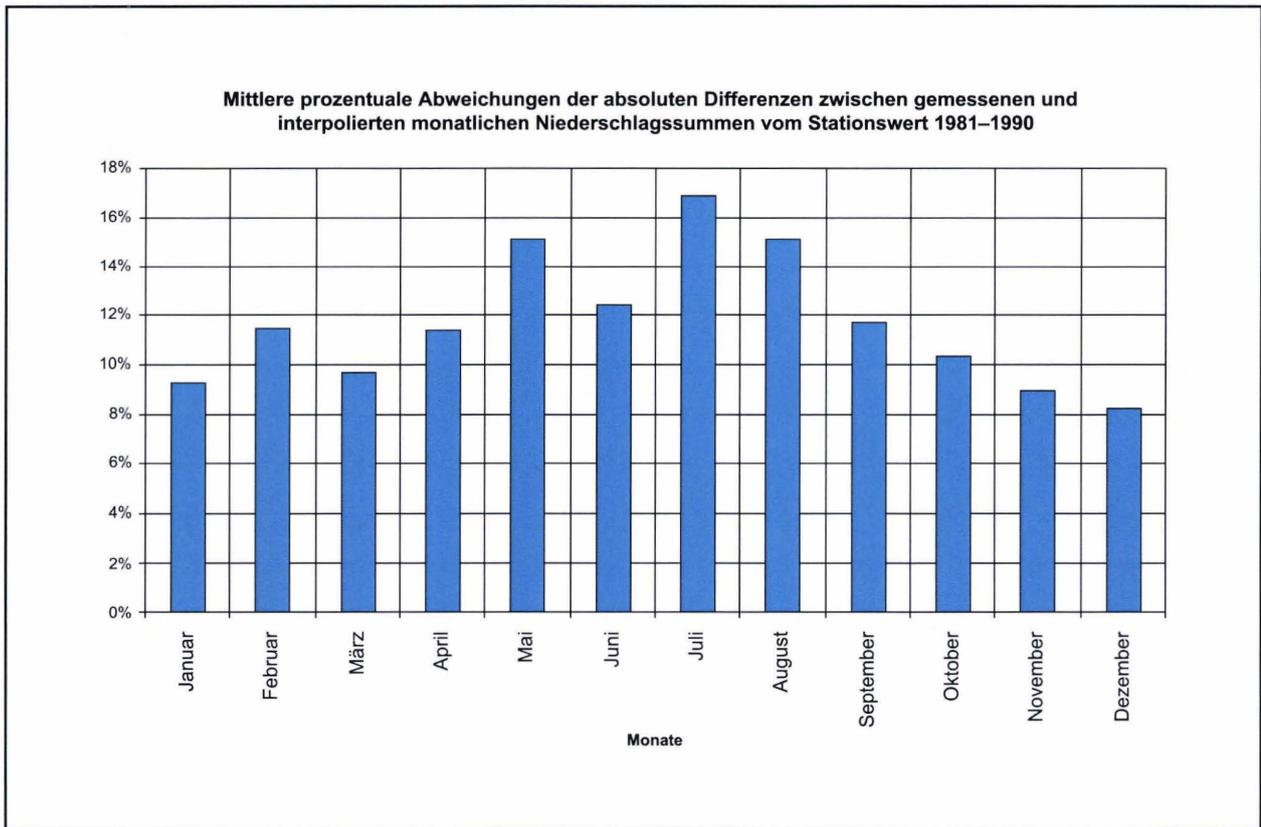


Abbildung 31

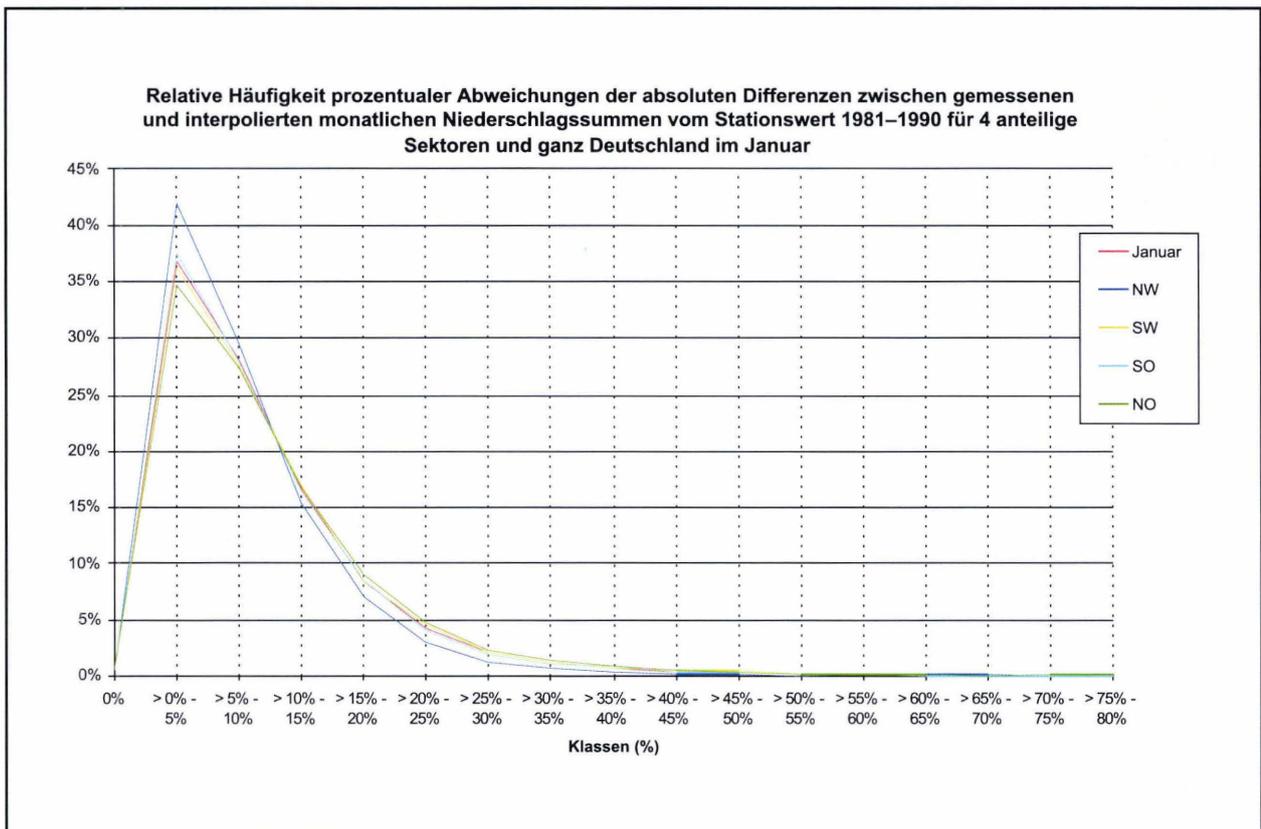


Abbildung 32

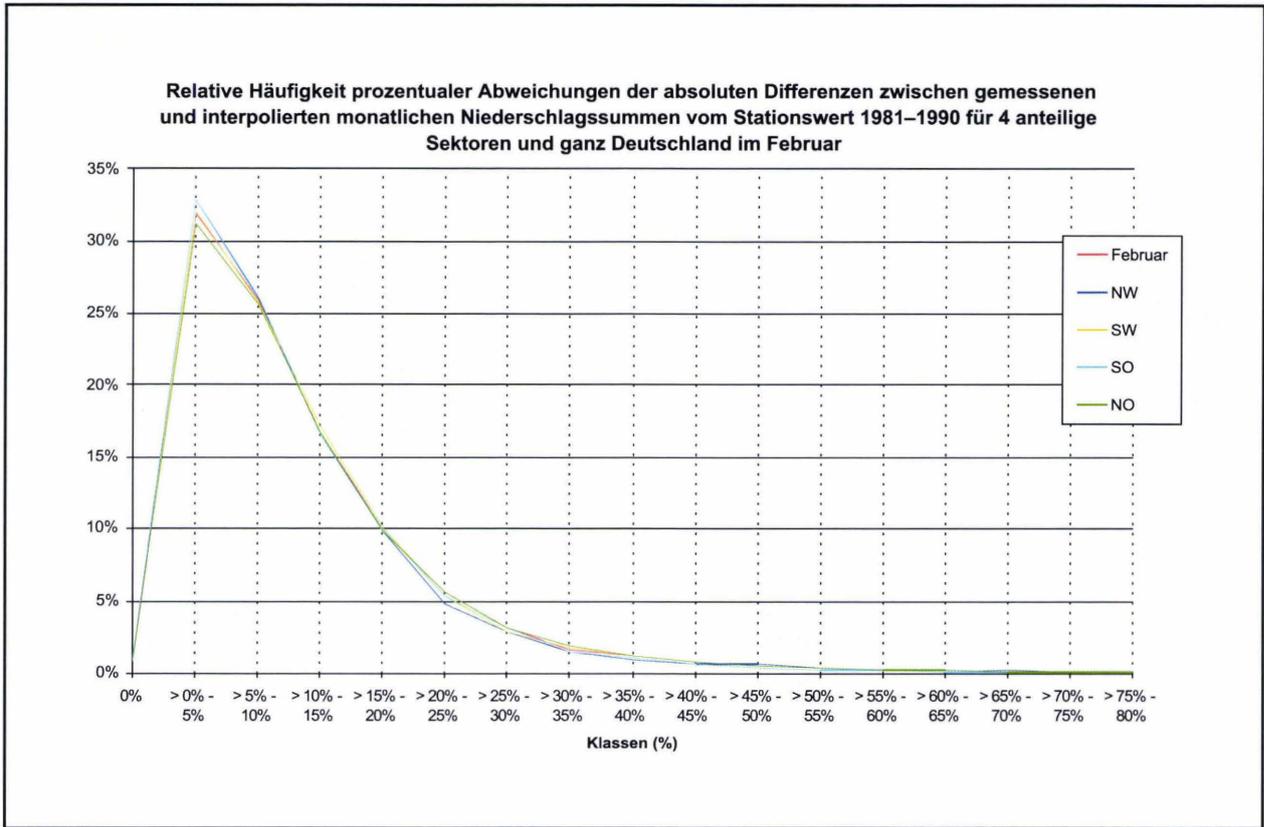


Abbildung 33

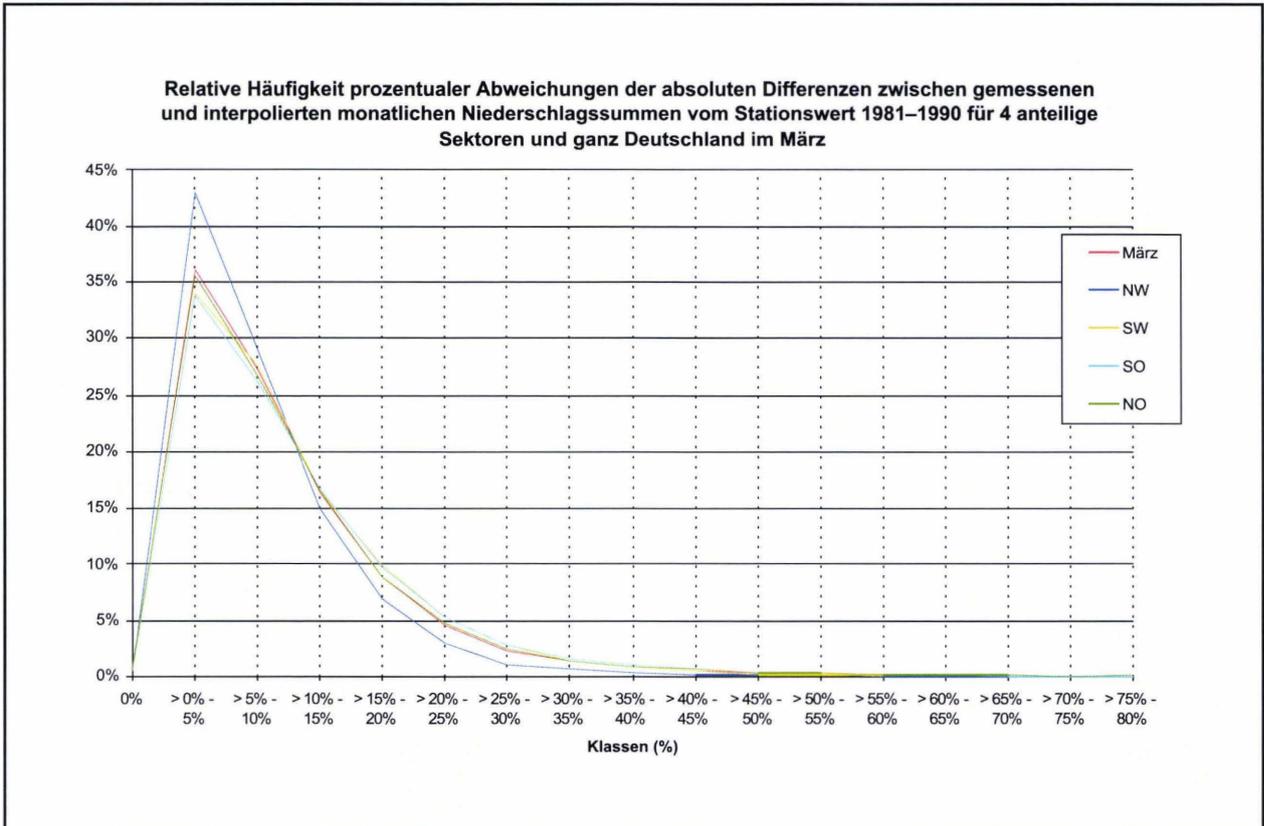


Abbildung 34

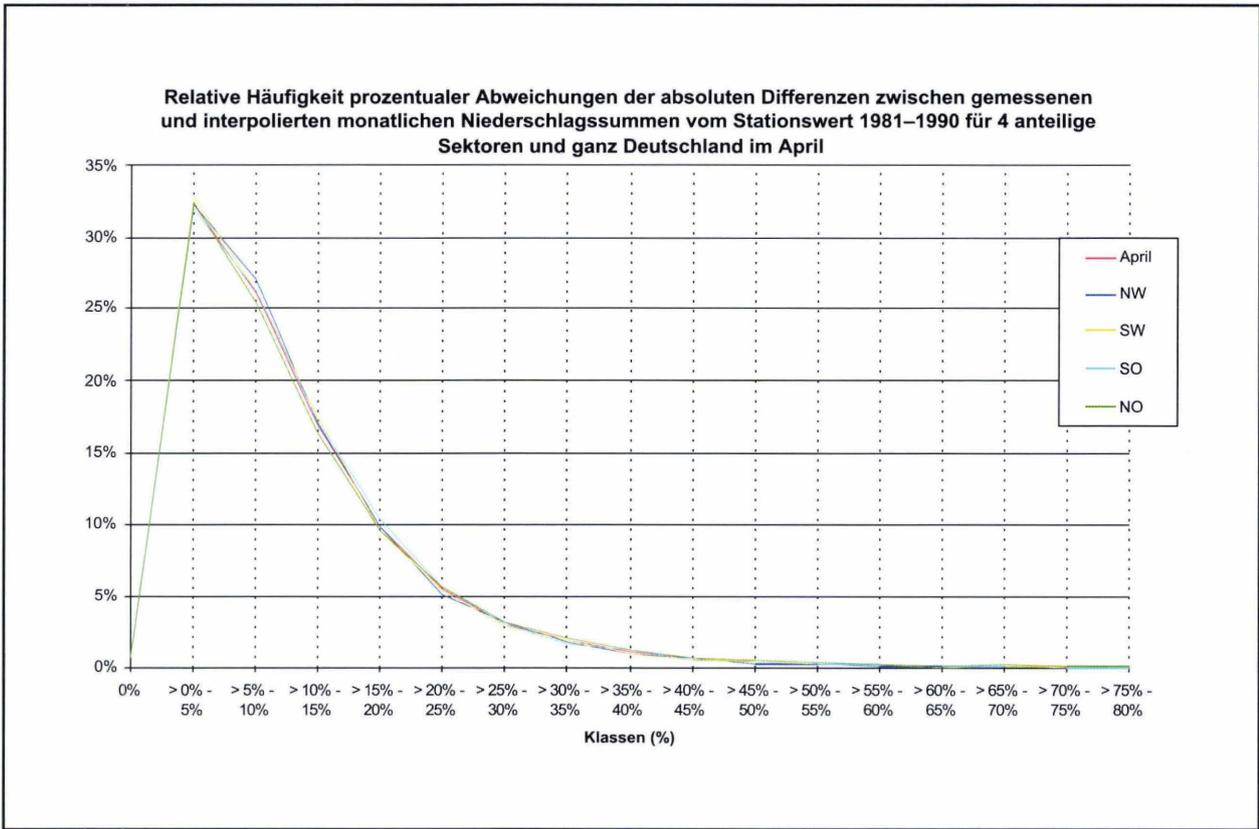


Abbildung 35

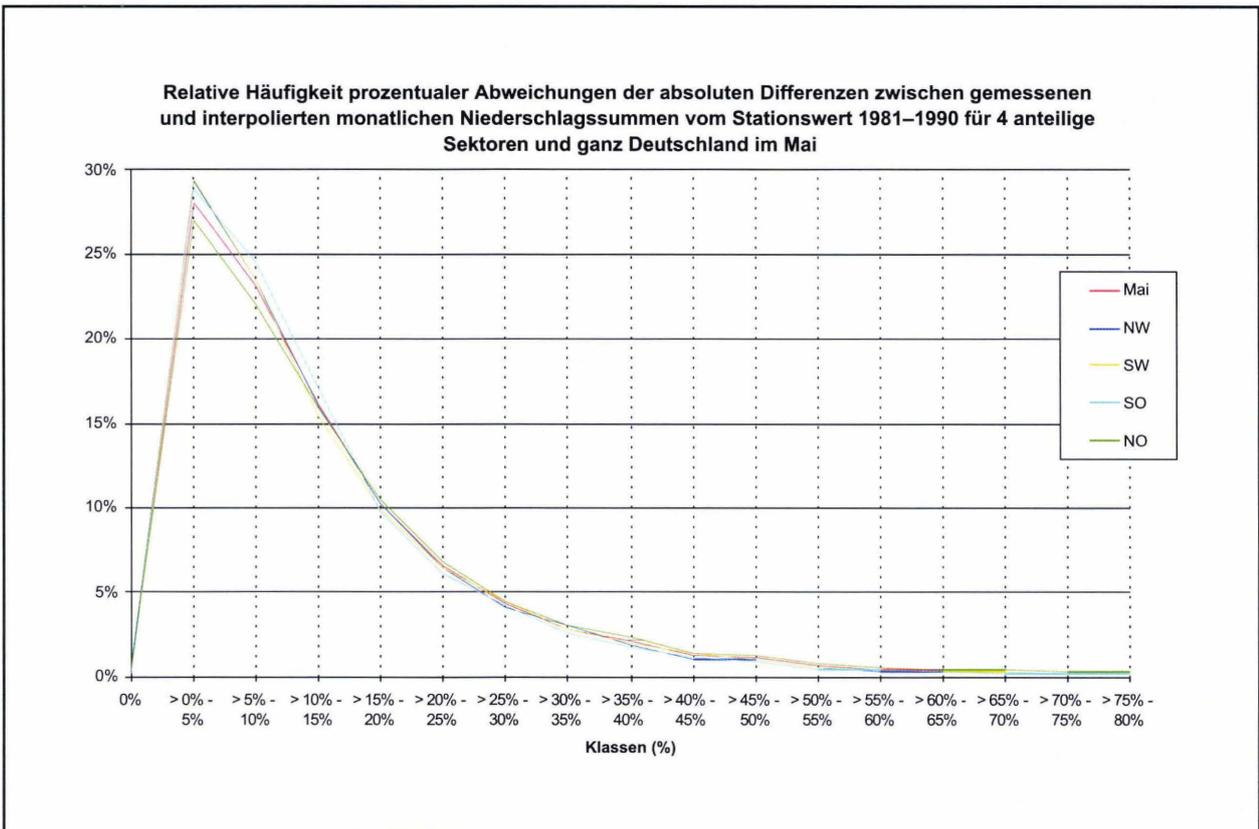


Abbildung 36

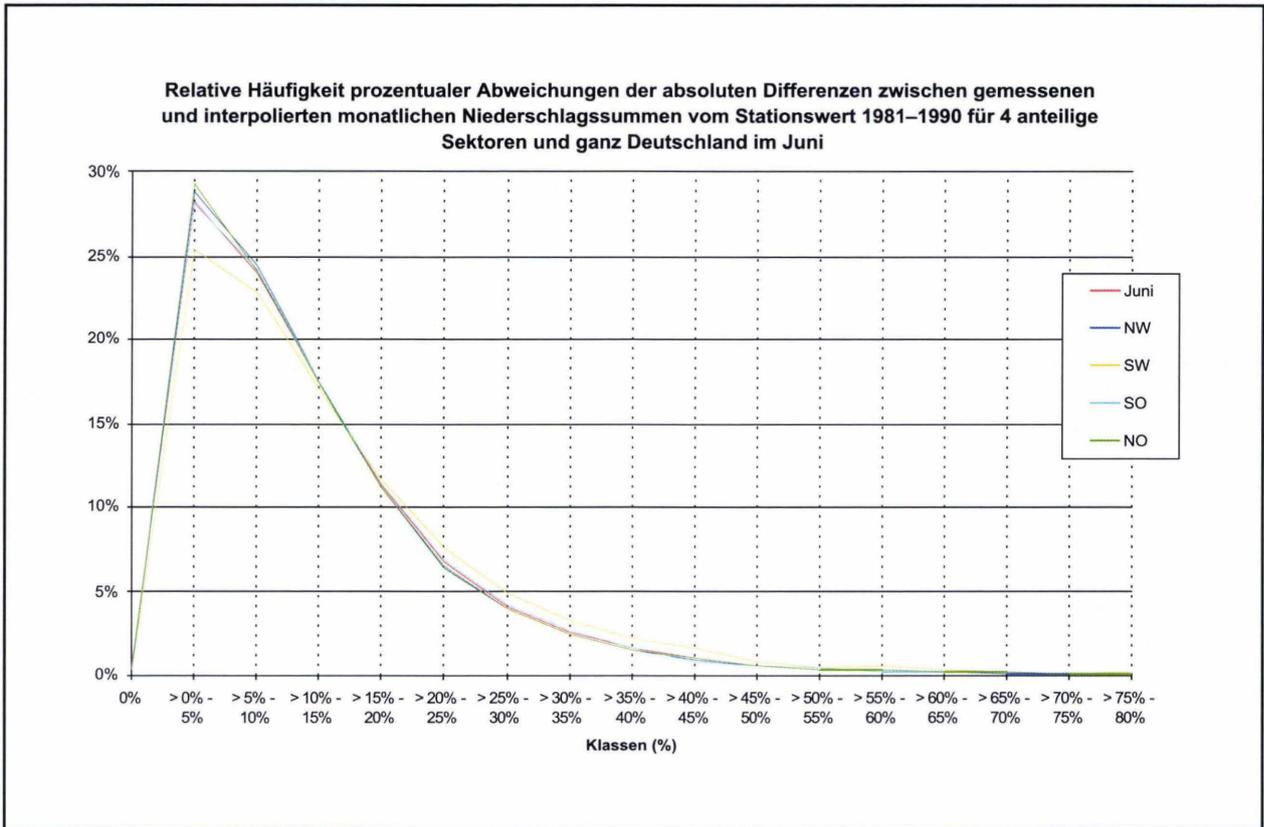


Abbildung 37

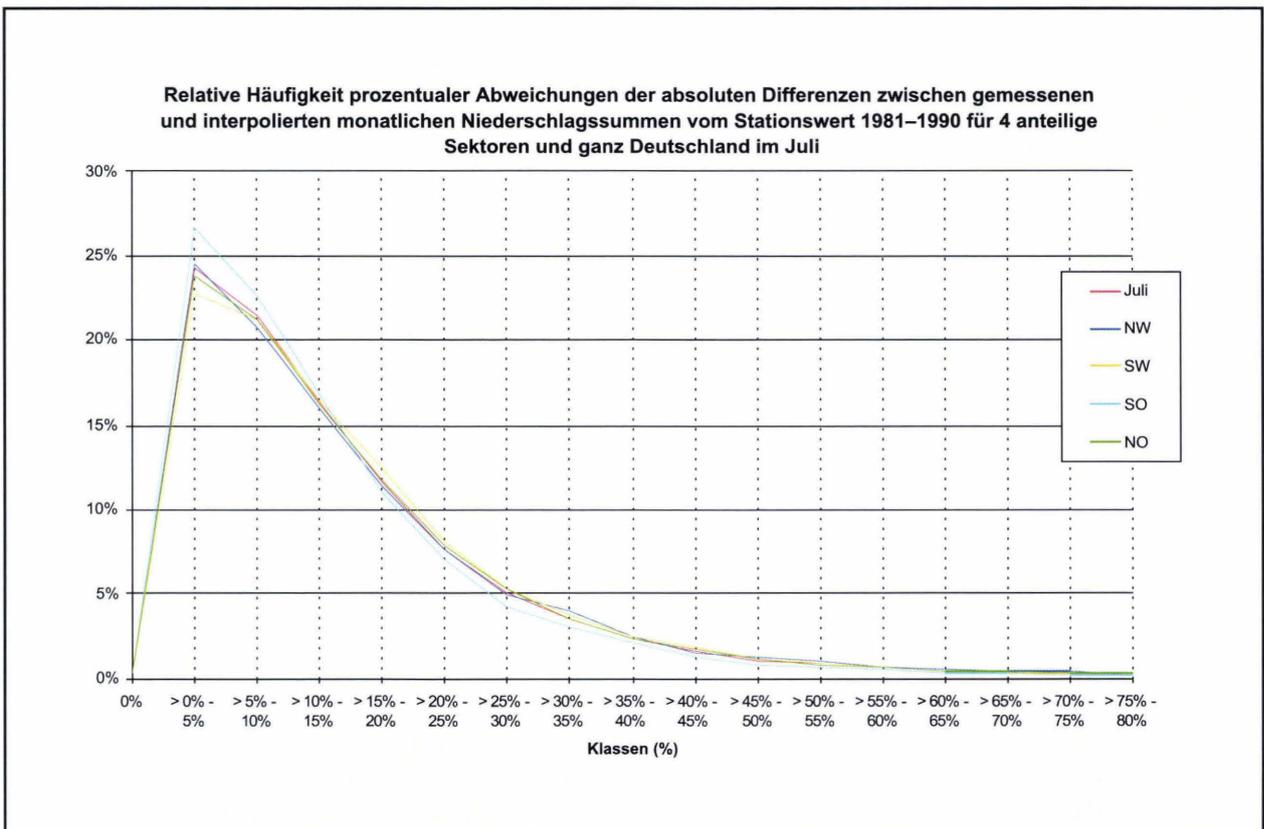


Abbildung 38

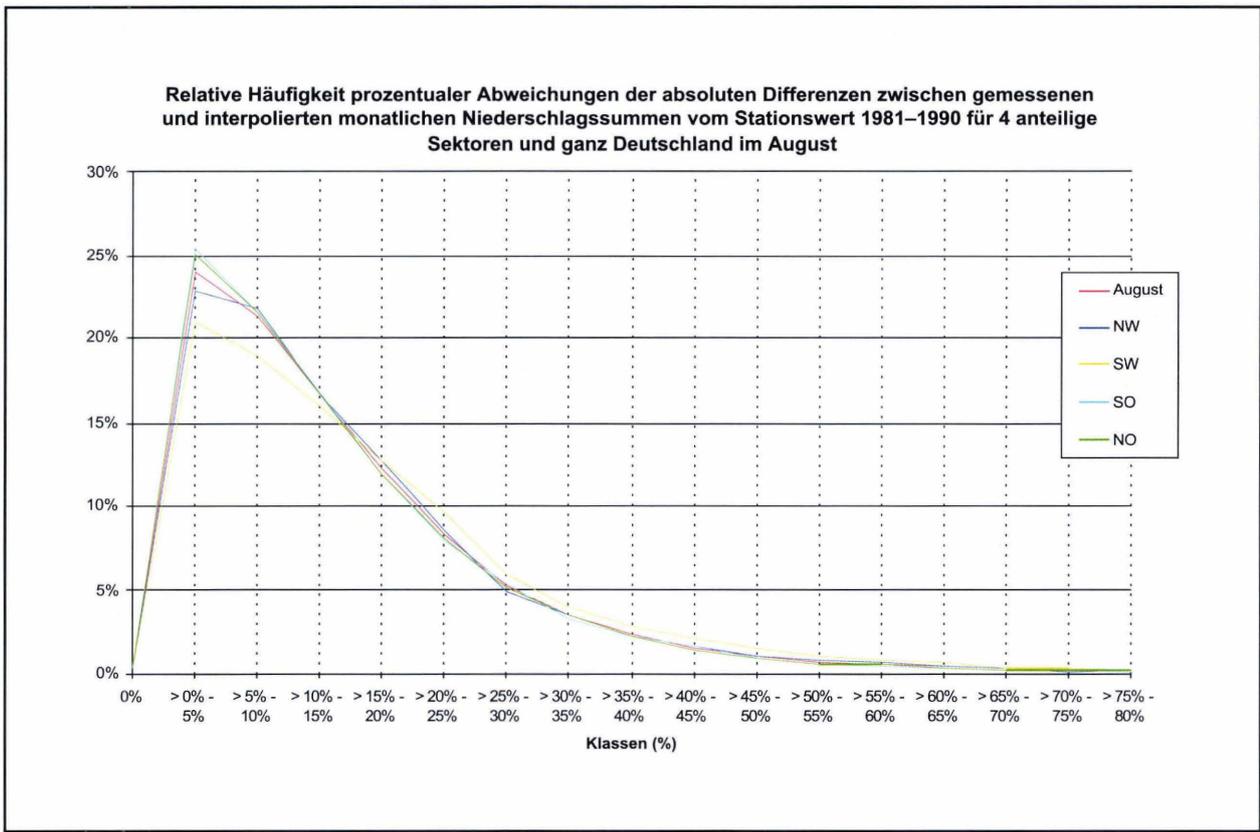


Abbildung 39

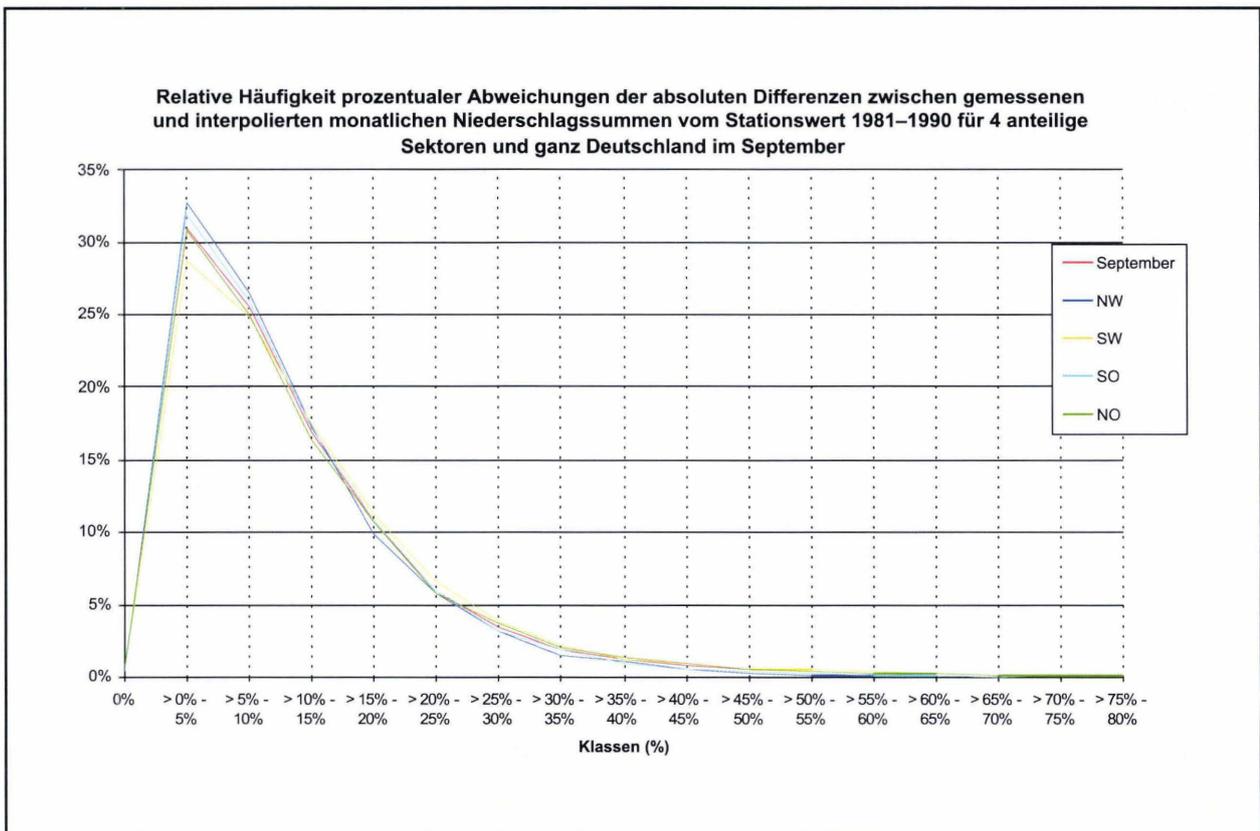


Abbildung 40

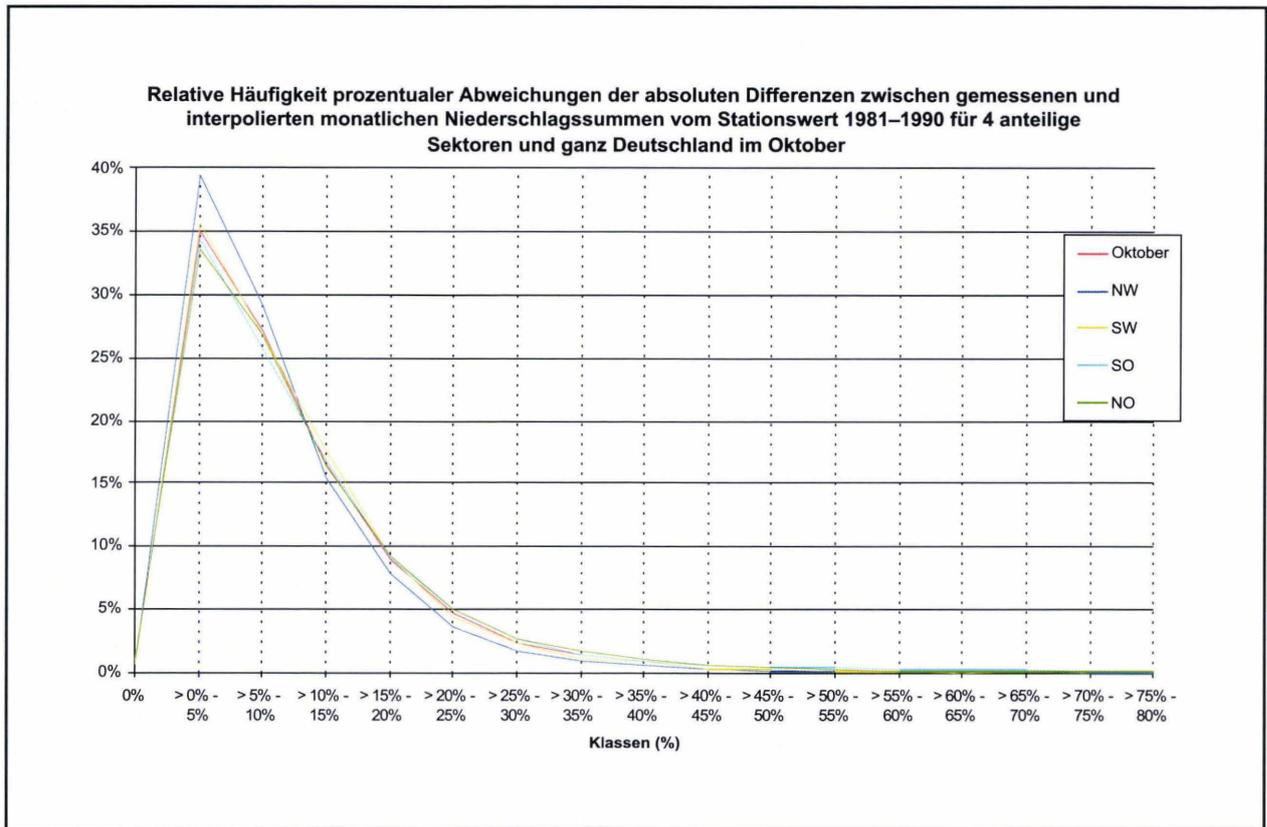


Abbildung 41

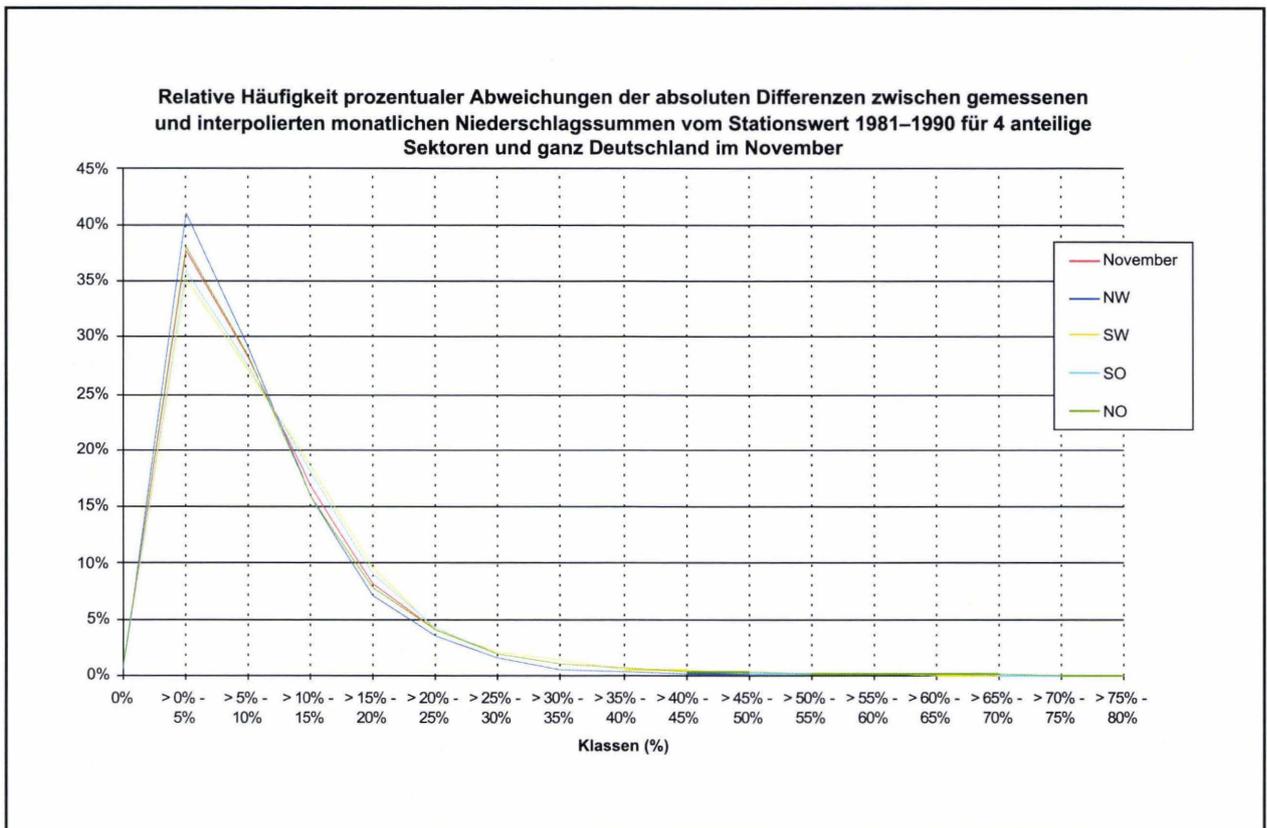


Abbildung 42

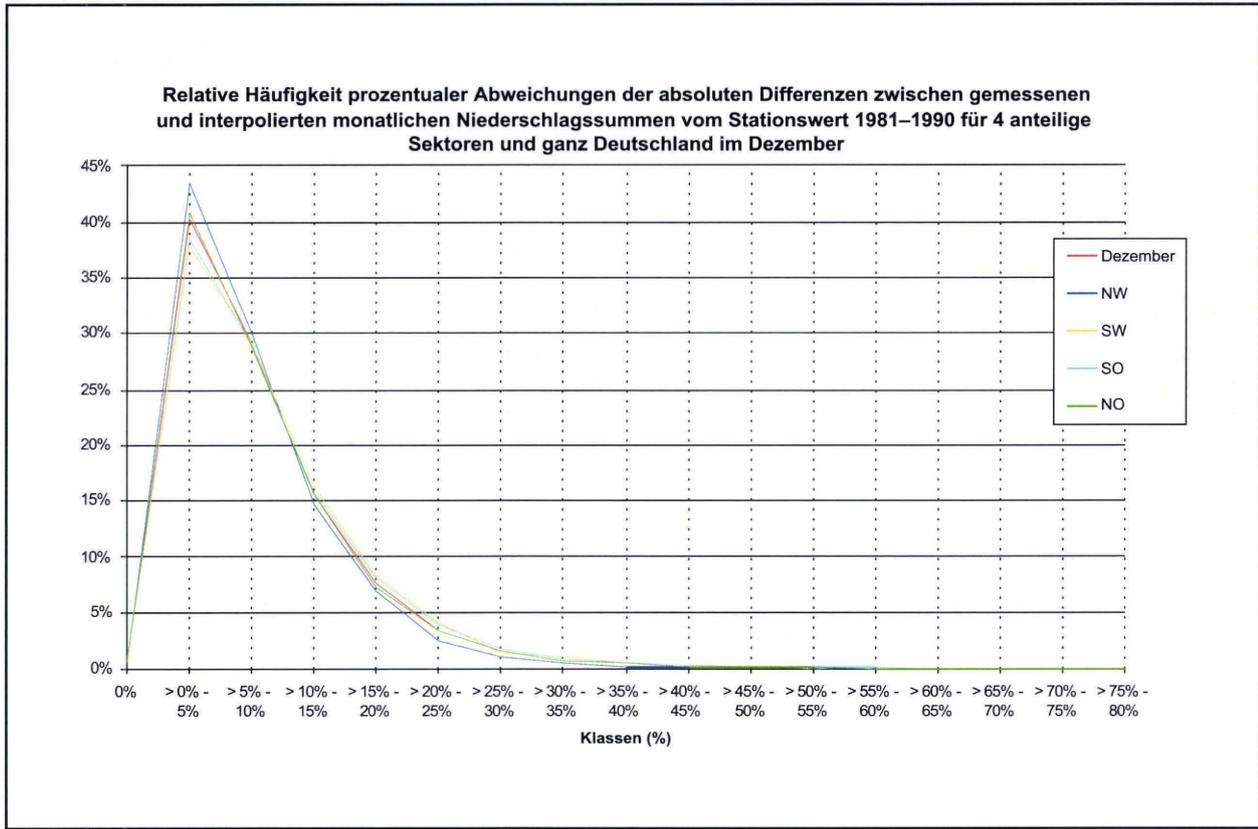


Abbildung 43

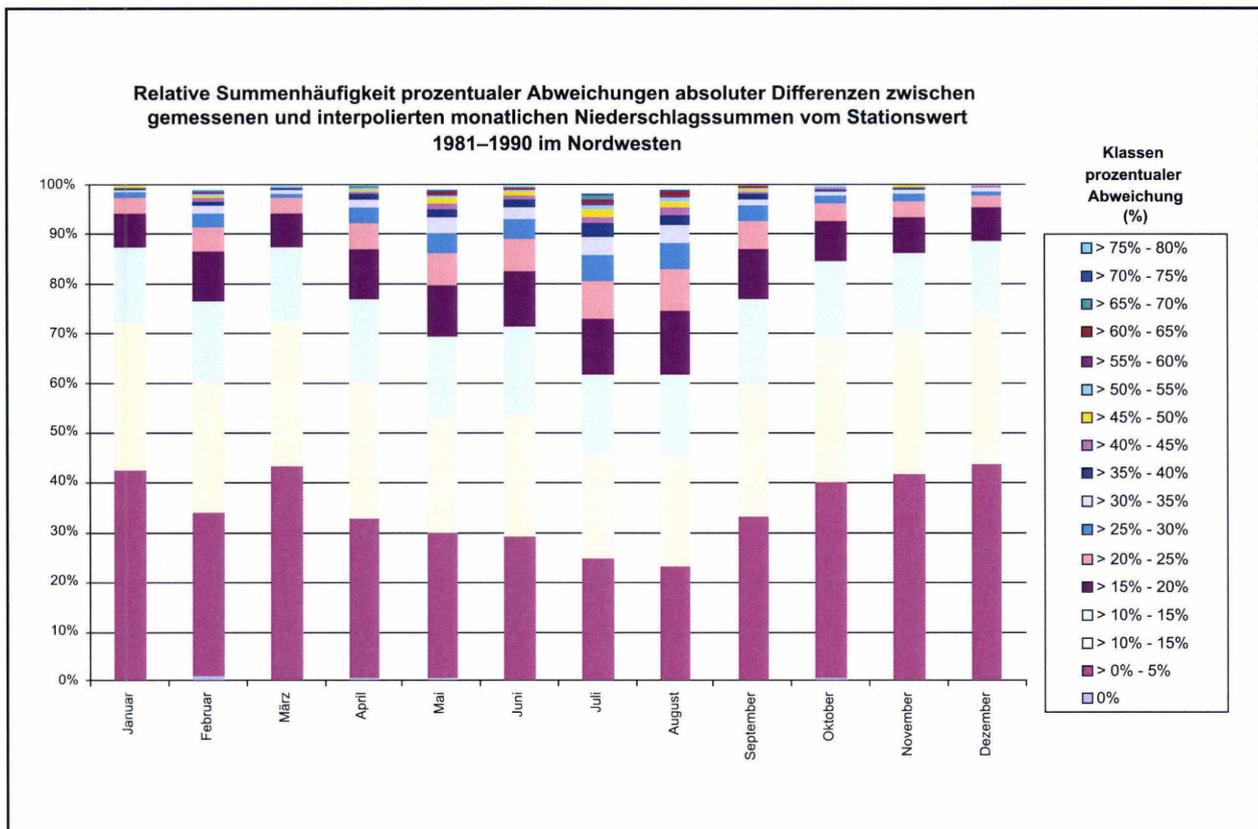


Abbildung 44

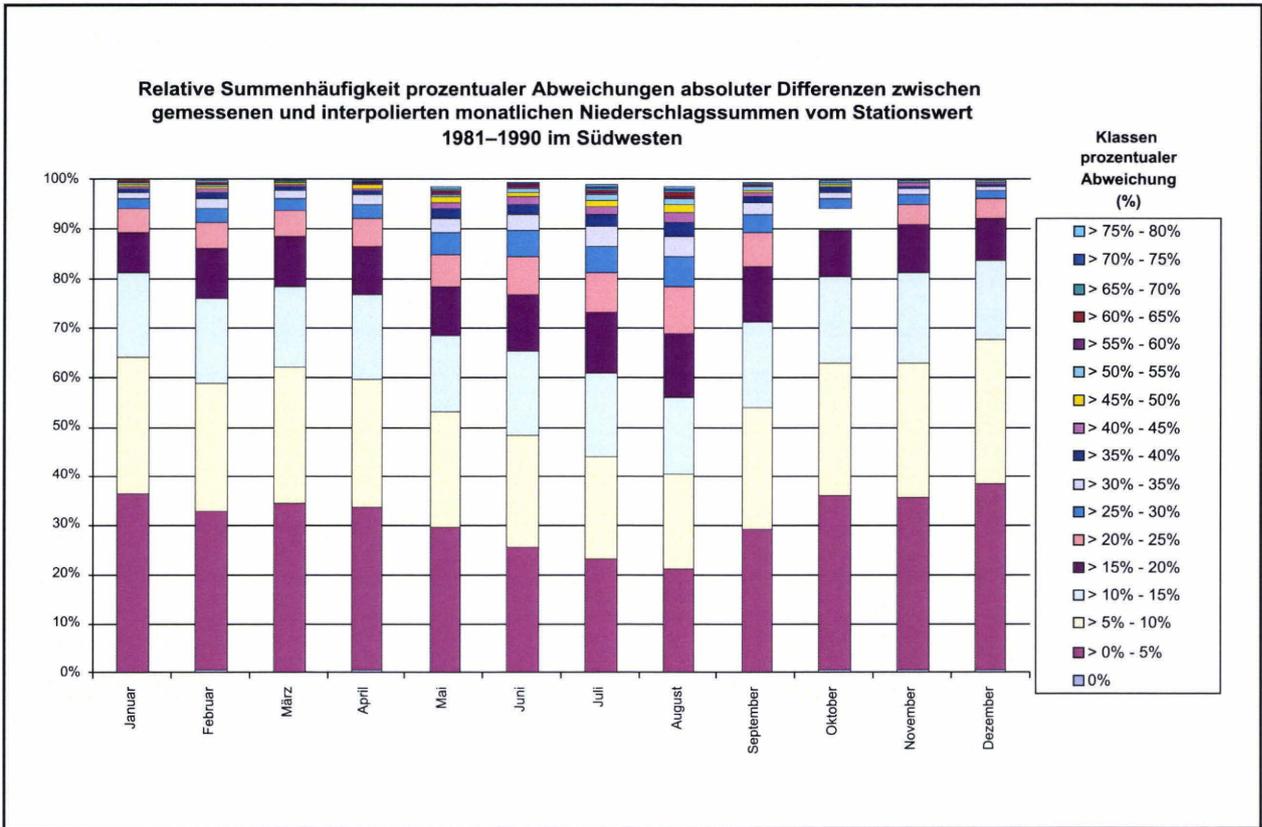


Abbildung 45

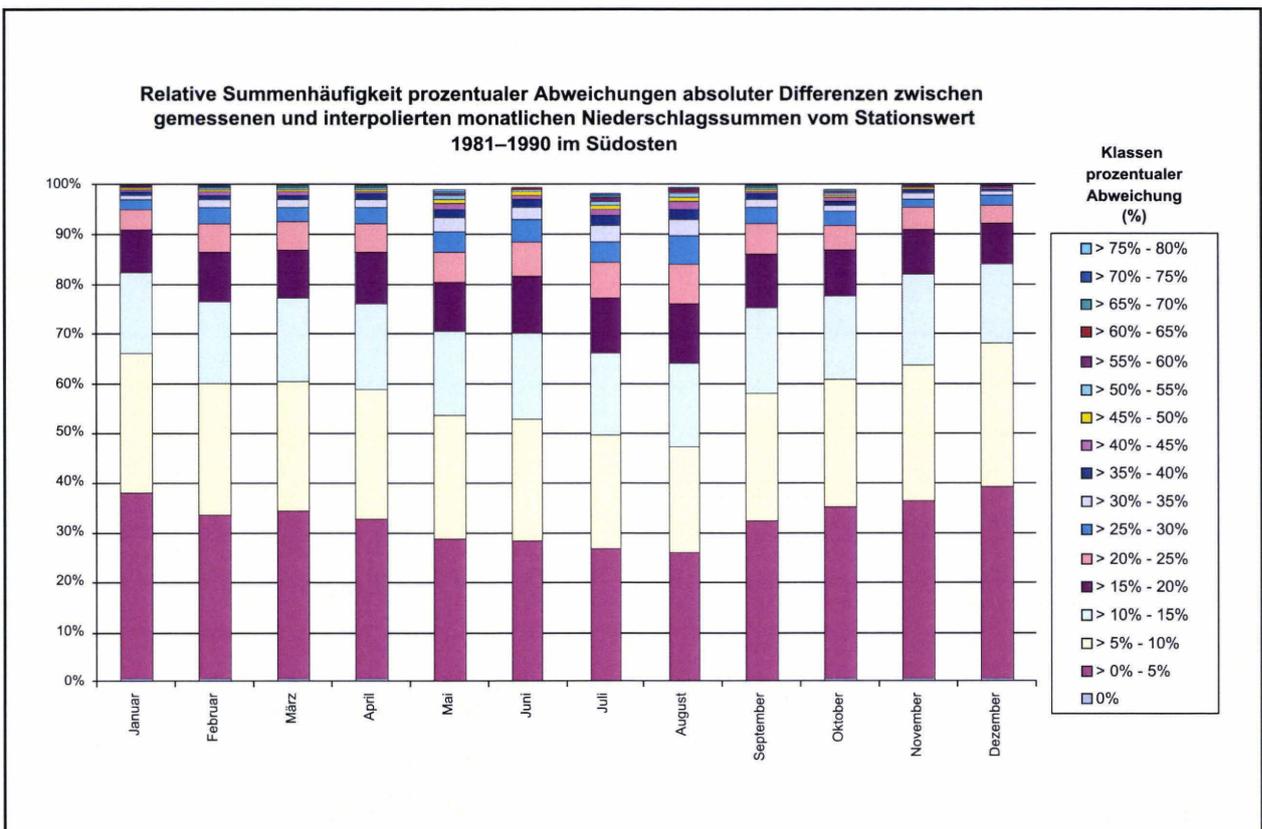


Abbildung 46

Relative Summenhäufigkeit prozentualer Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981–1990 im Nordosten

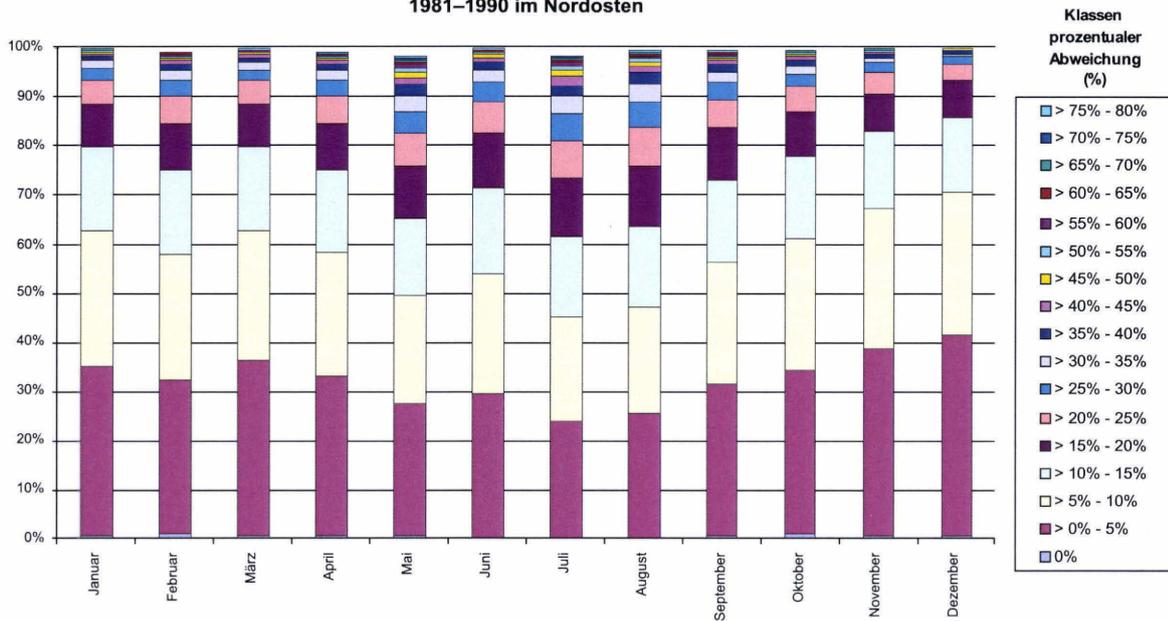


Abbildung 47

Mittlere prozentuale Abweichungen absoluter Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten monatlichen Niederschlagssummen vom Stationswert 1981–1990 für Deutschland und 4 anteilige Sektoren

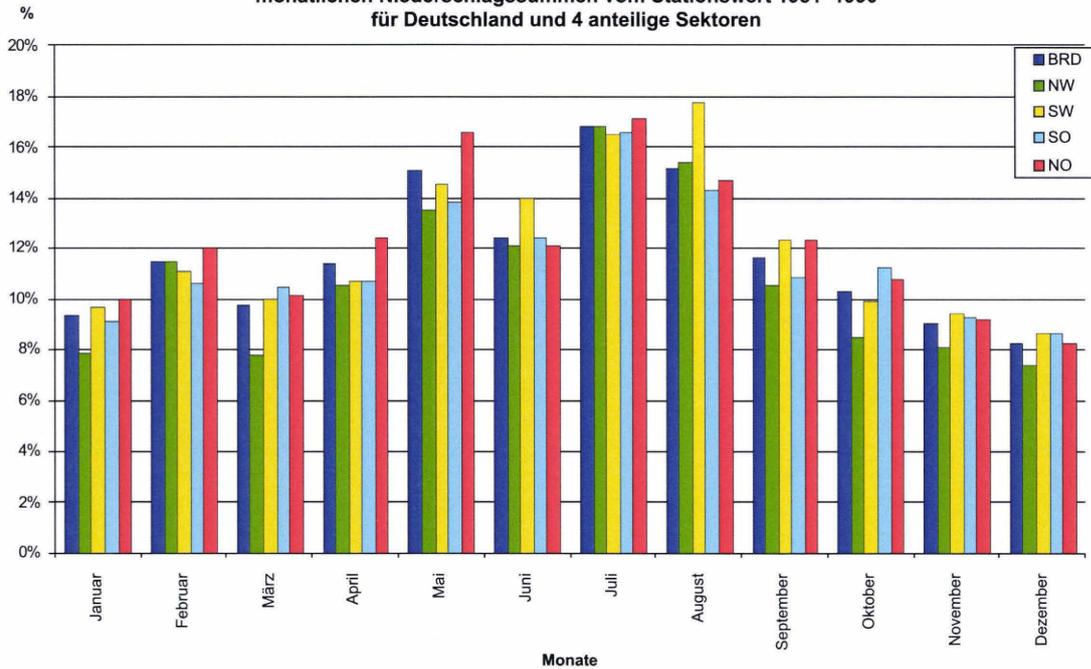


Abbildung 48

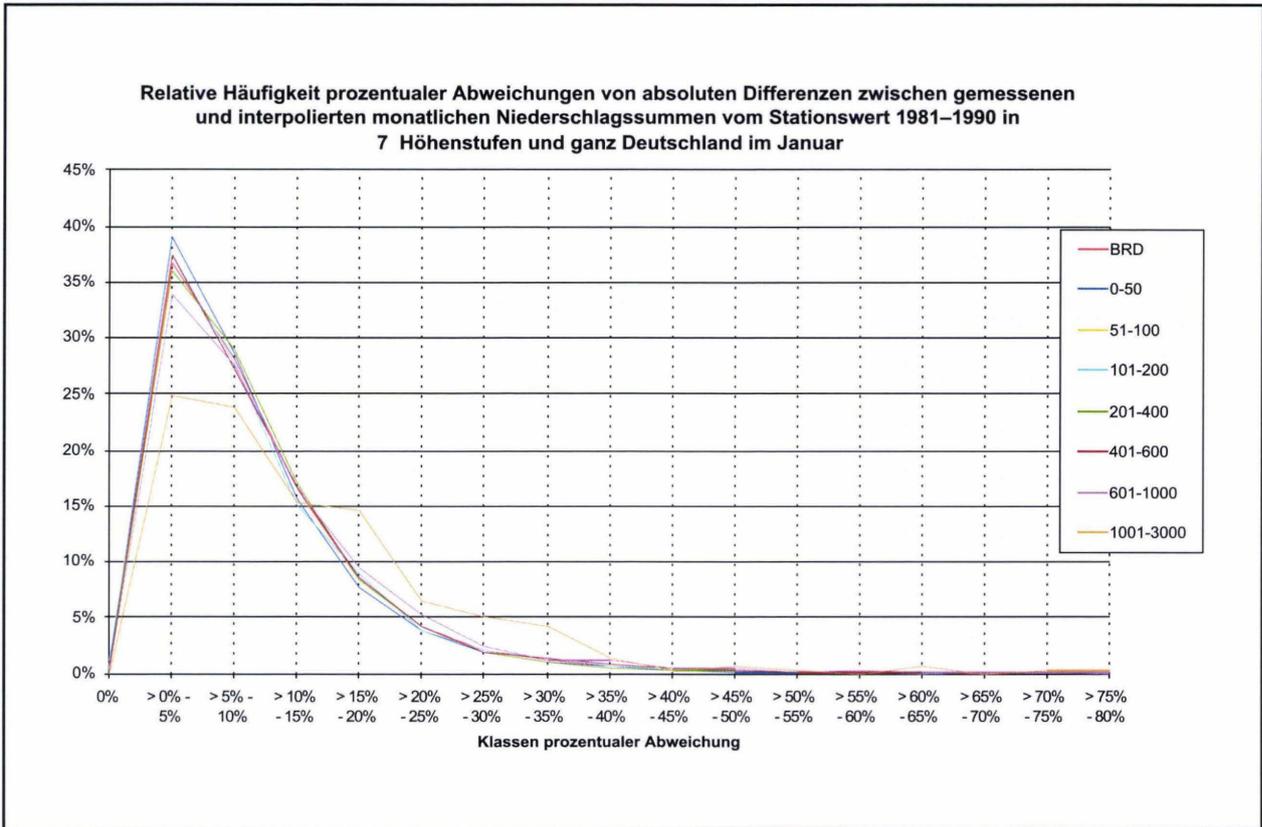


Abbildung 49

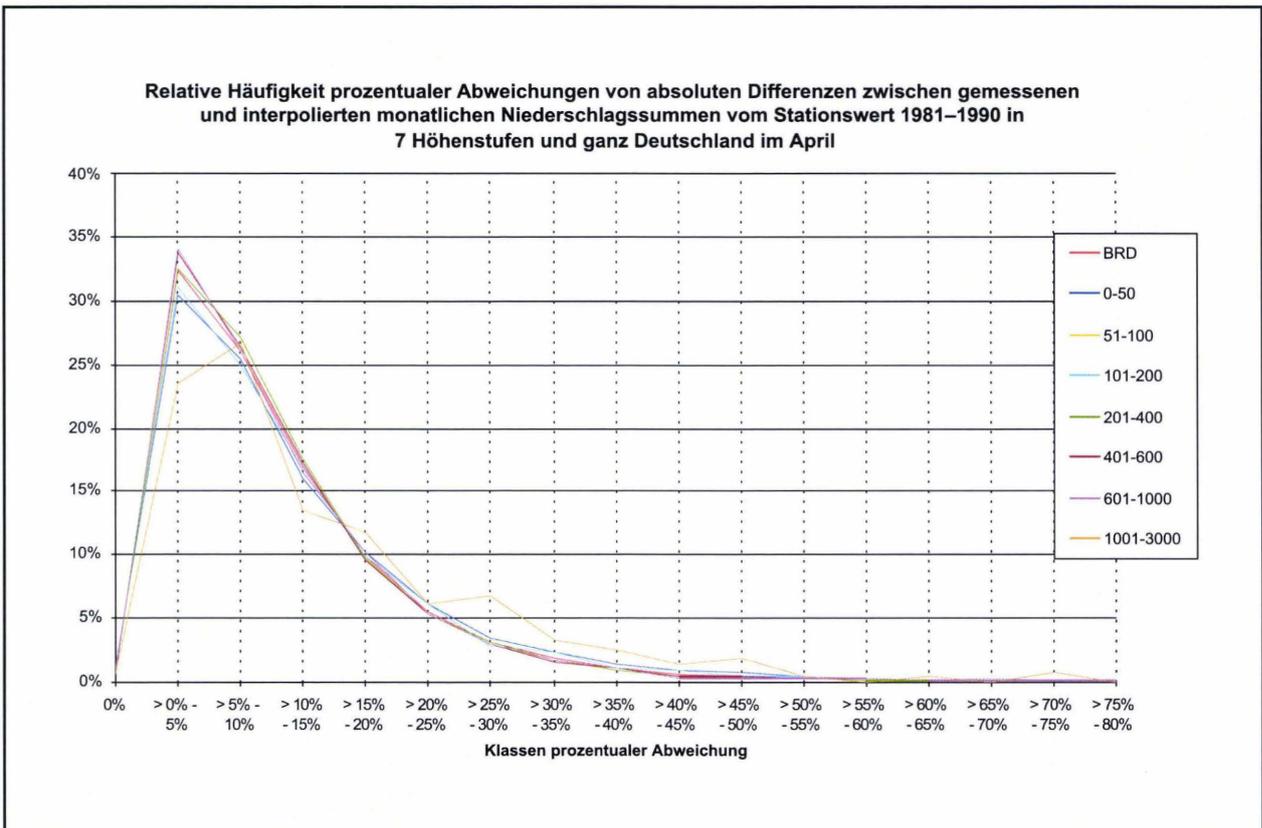


Abbildung 50

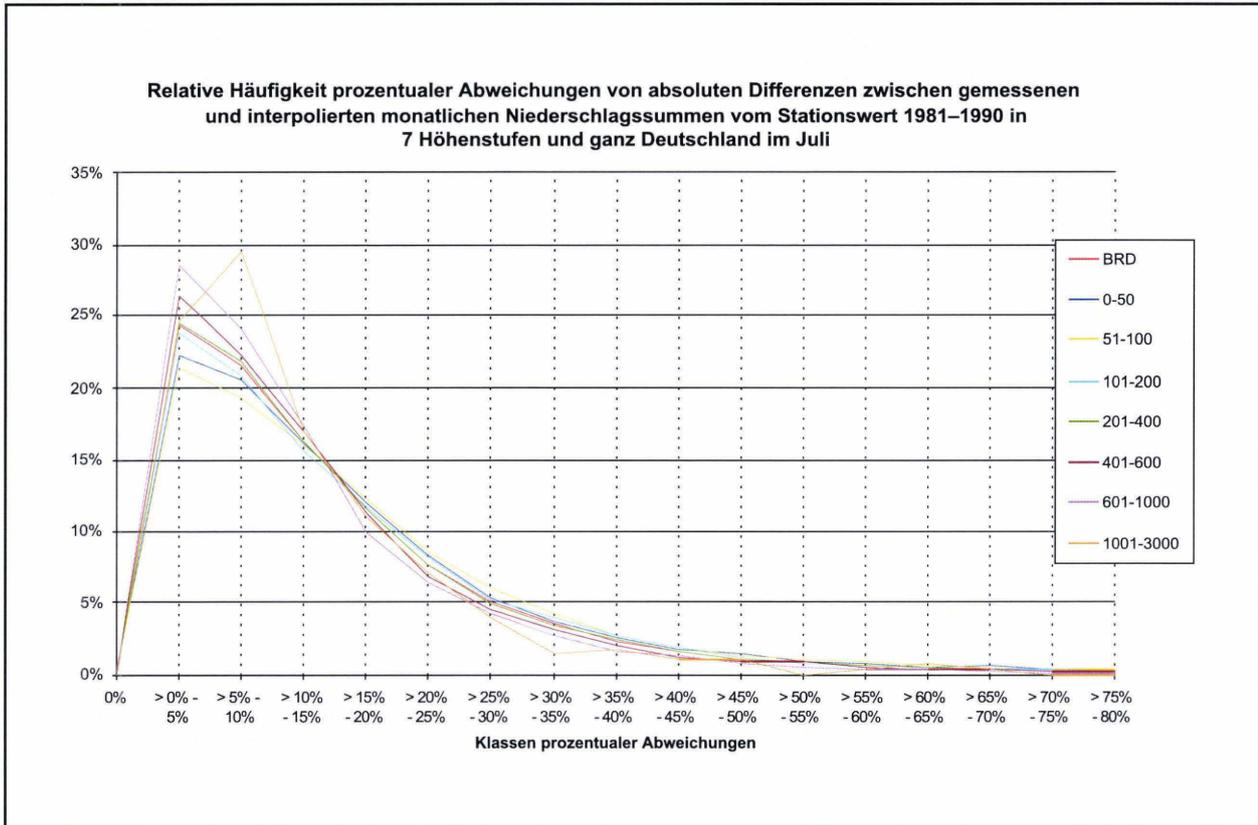


Abbildung 51

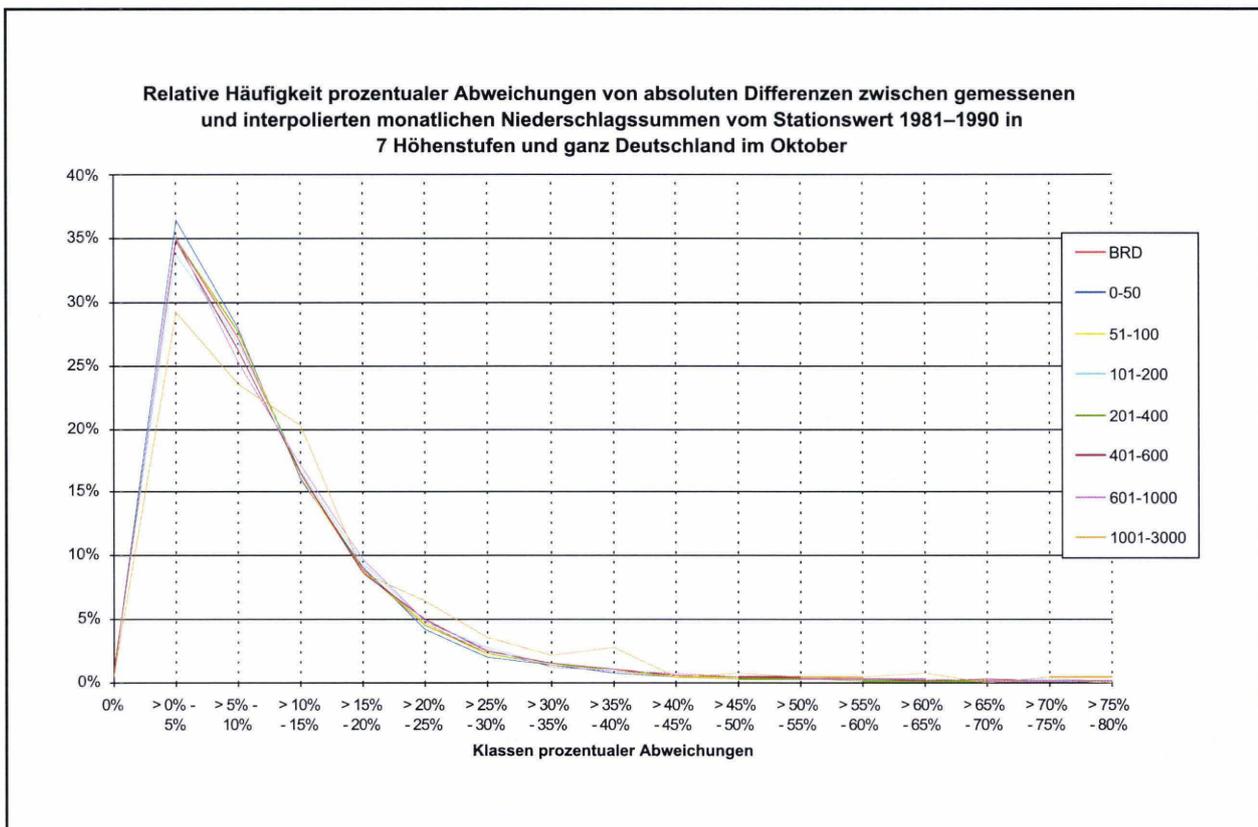


Abbildung 52

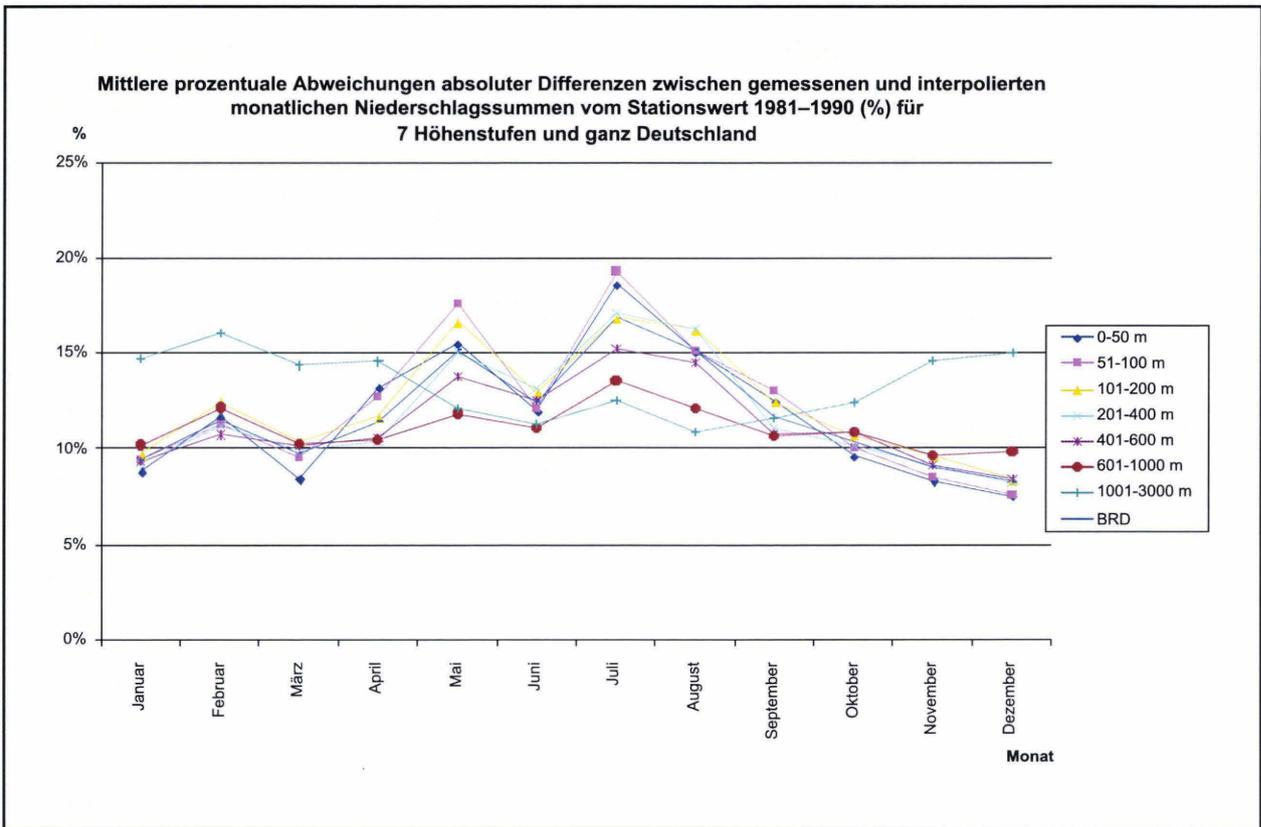


Abbildung 53

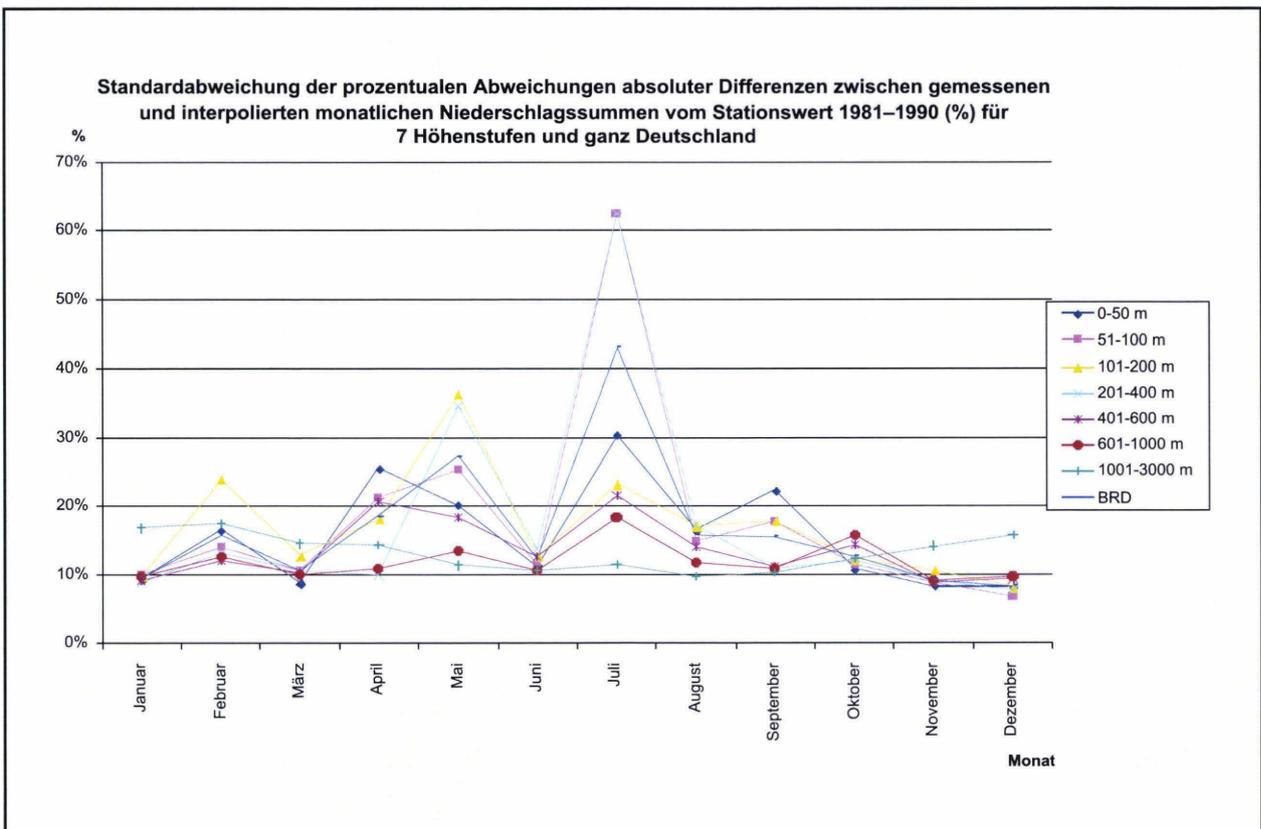


Abbildung 54

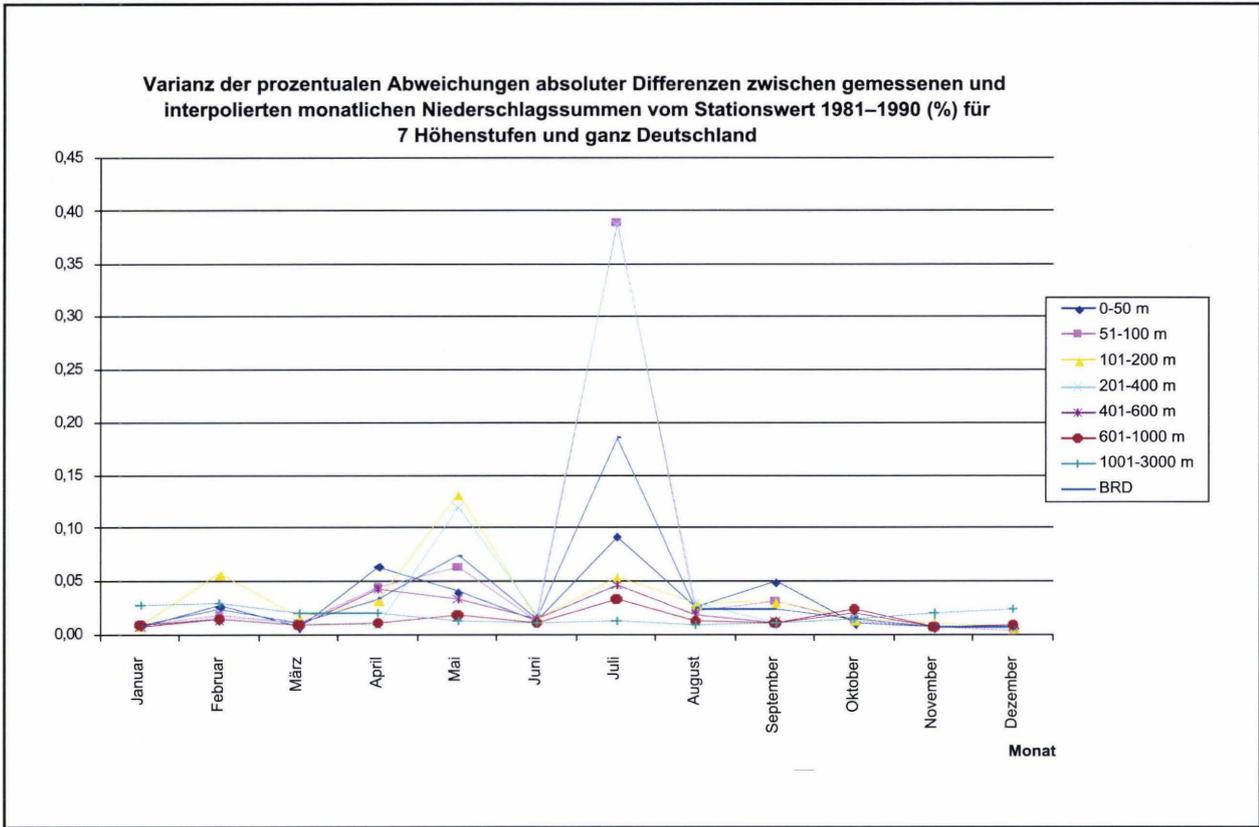


Abbildung 55

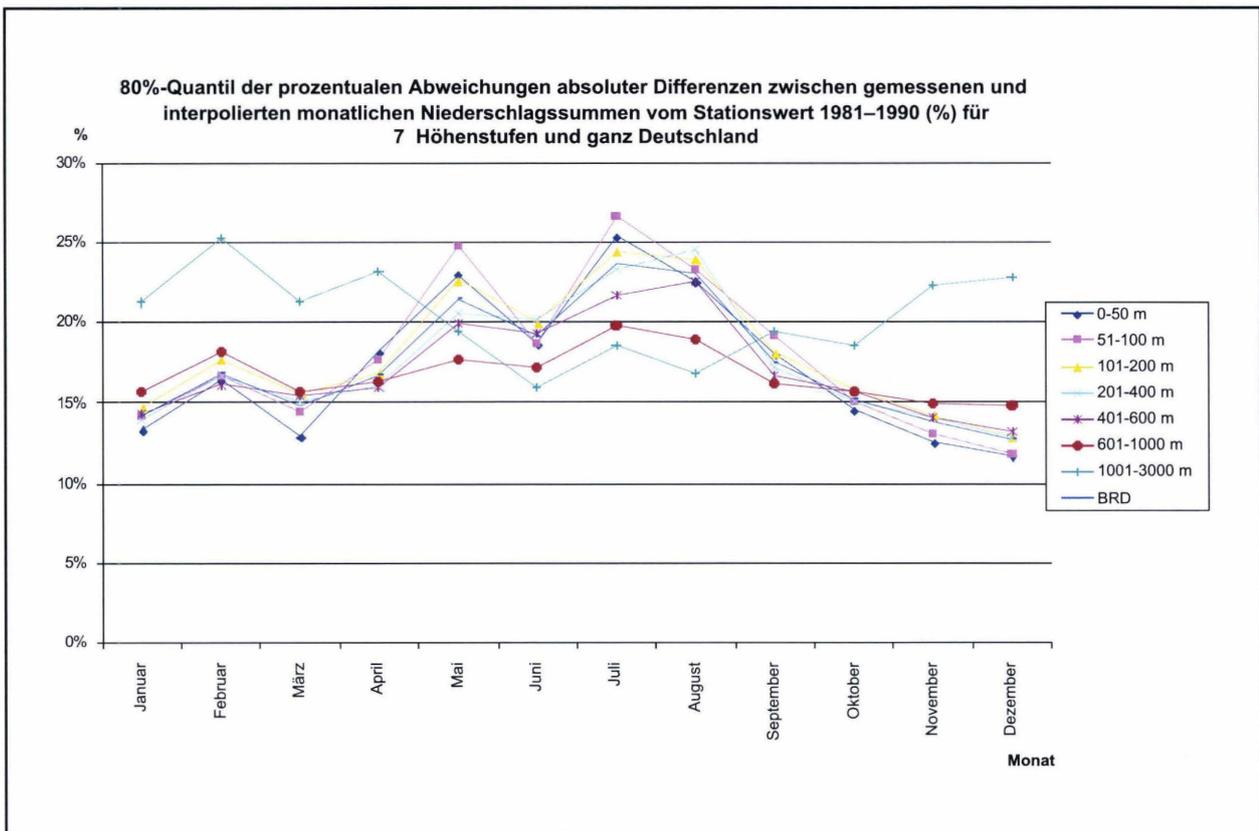


Abbildung 56

Tab. D: Monatliche Niederschlagssummen mit prozentualen Abweichungen der absoluten Differenzen zwischen gemessenen und interpolierten Werten zum Stationswert > 500 %

Jahr	Station	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September
1989	12050								3,4
1988	13086			0,6					
1983	22540						1,4		
1983	22710						0,5		
1990	41606				0,7				
1990	43712				1,9				
1990	44192				0,6				
1990	44194				0,8				
1990	44198				0,5				
1990	44323				0,3				
1990	44325				1,7				
1990	44415						0,2		
1988	44432			1,0					
1989	44530				0,8				
1982	44533	0,2							
1990	44554		2,7	6,7	1,2		5,6		
1983	46110						0,2		
1982	46130								1,7
1988	46360			0,3					
1982	46514								0,7
1982	46609						3,0		
1988	46609			0,2					
1988	47060			0,3					
1988	47115			1,2					
1988	47325			0,5					
1983	48352						0,3		
1983	48372						3,3		
1989	48426				0,4				
1983	60343						2,9		
1983	73313						1,8		
1990	73323				2,7				
1983	73335						0,2		
1990	73443				1,4				
1990	73444				1,1				
1983	73569						1,8		
1983	74030						3,5		
1983	74151						2,8		
1990	74151				2,7				
1990	74158				1,5				
1983	91408						0,9		
1983	91412						0,8		
1983	92193						4,4		

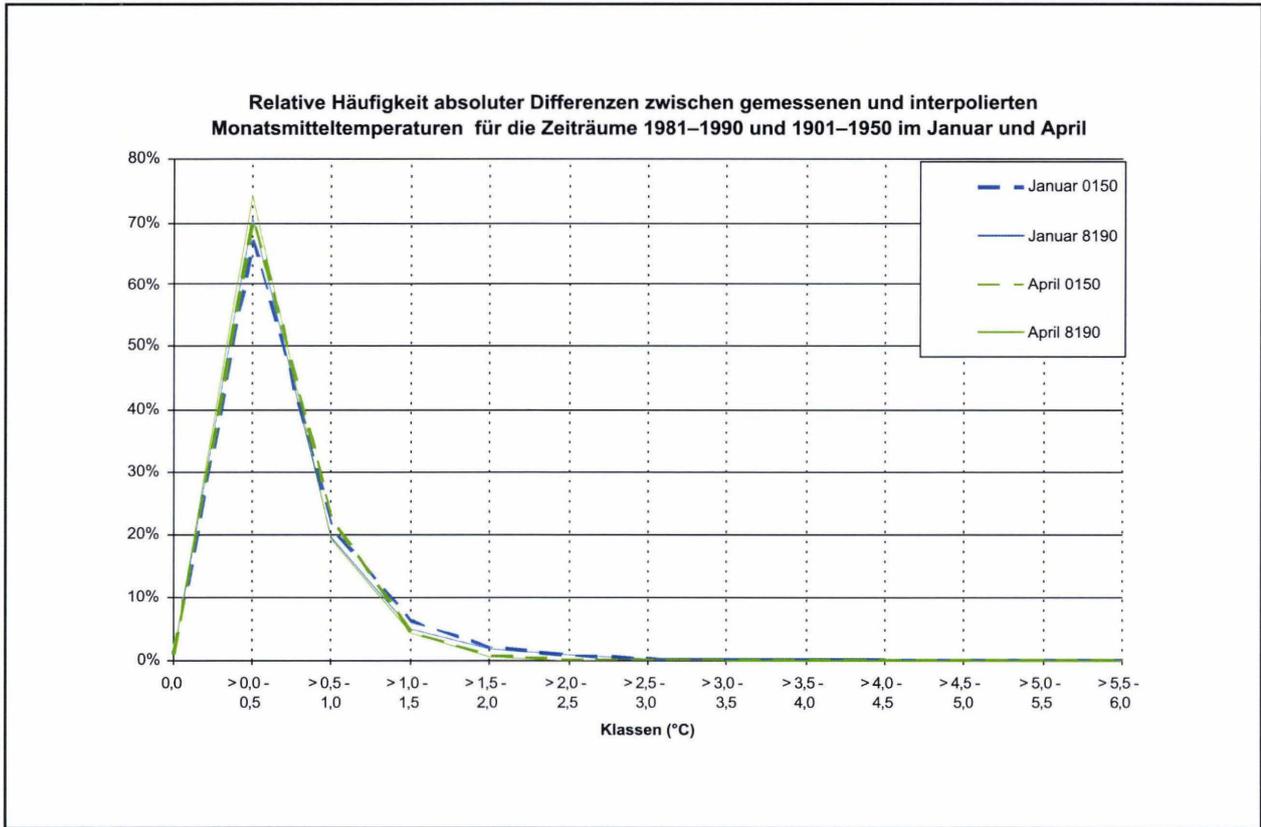


Abbildung 57

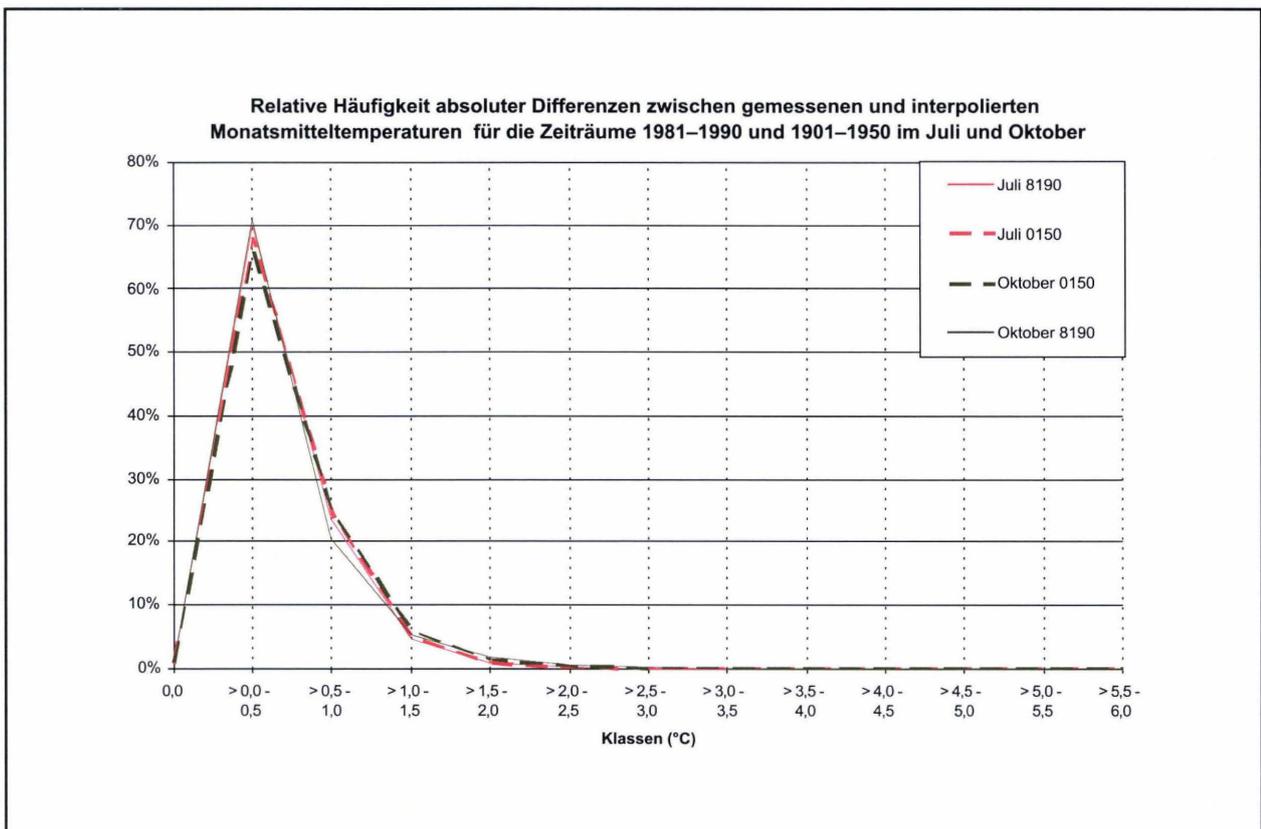


Abbildung 58

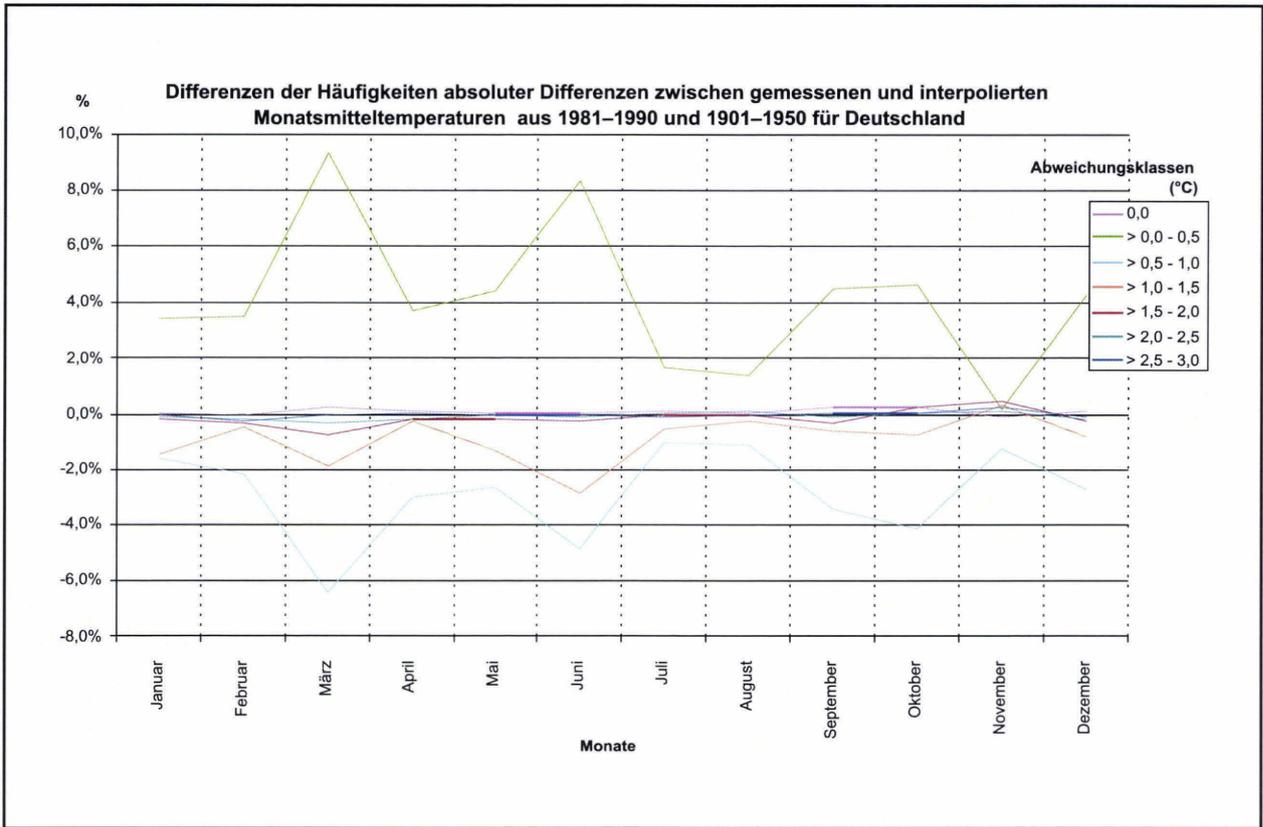


Abbildung 59

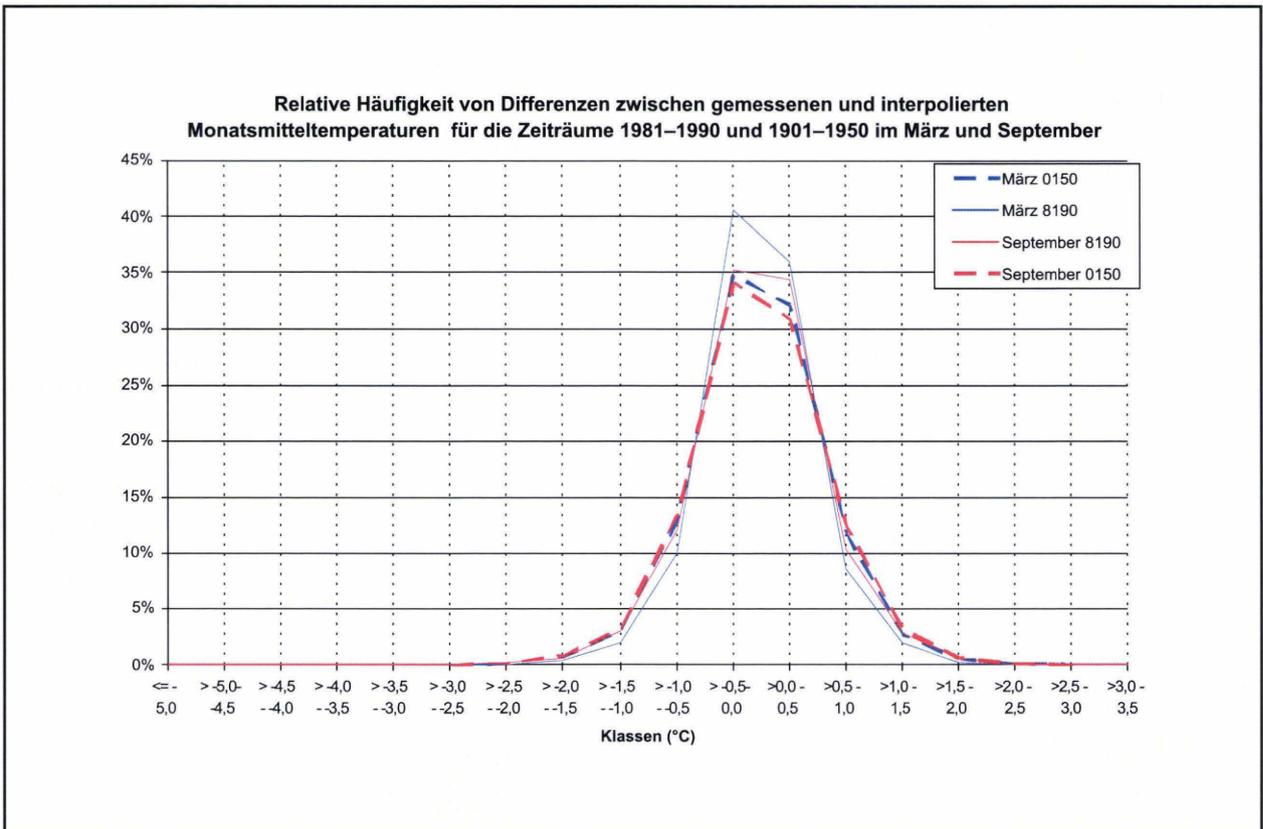


Abbildung 60

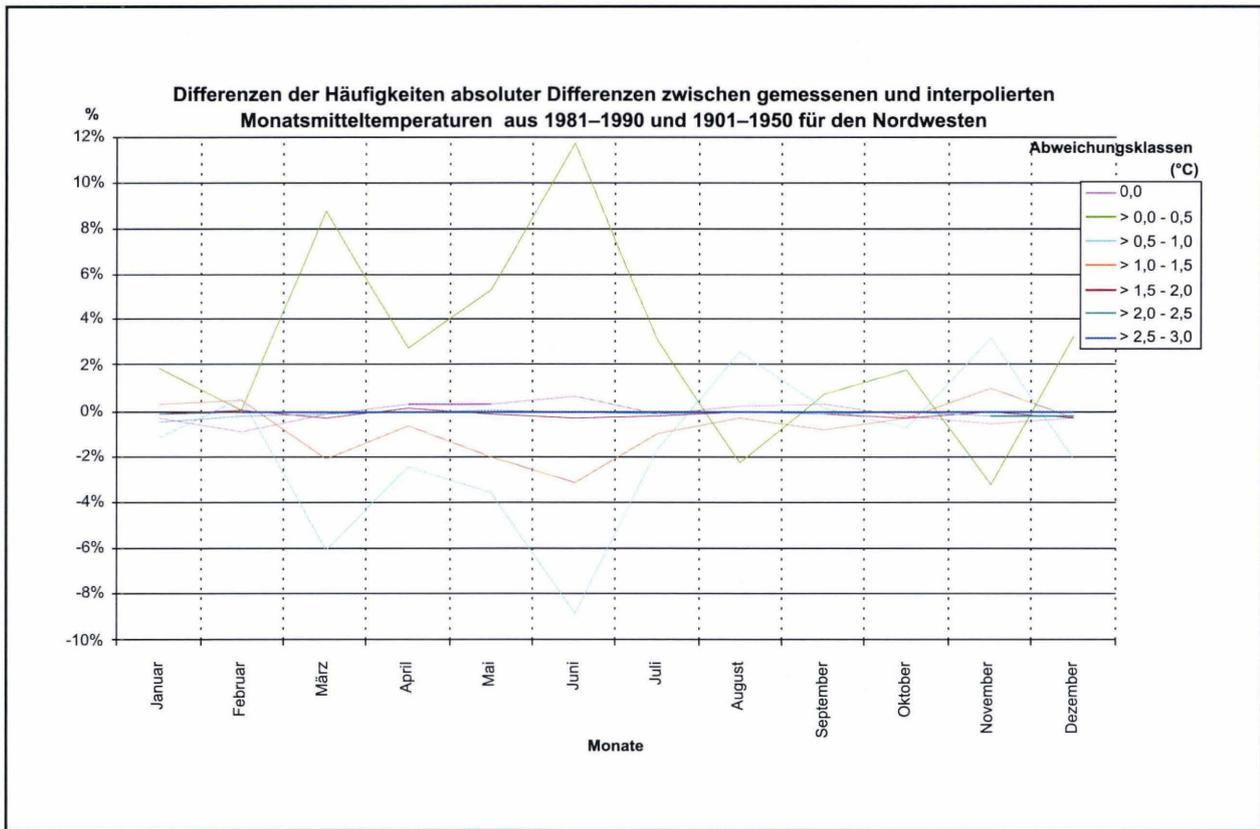


Abbildung 61

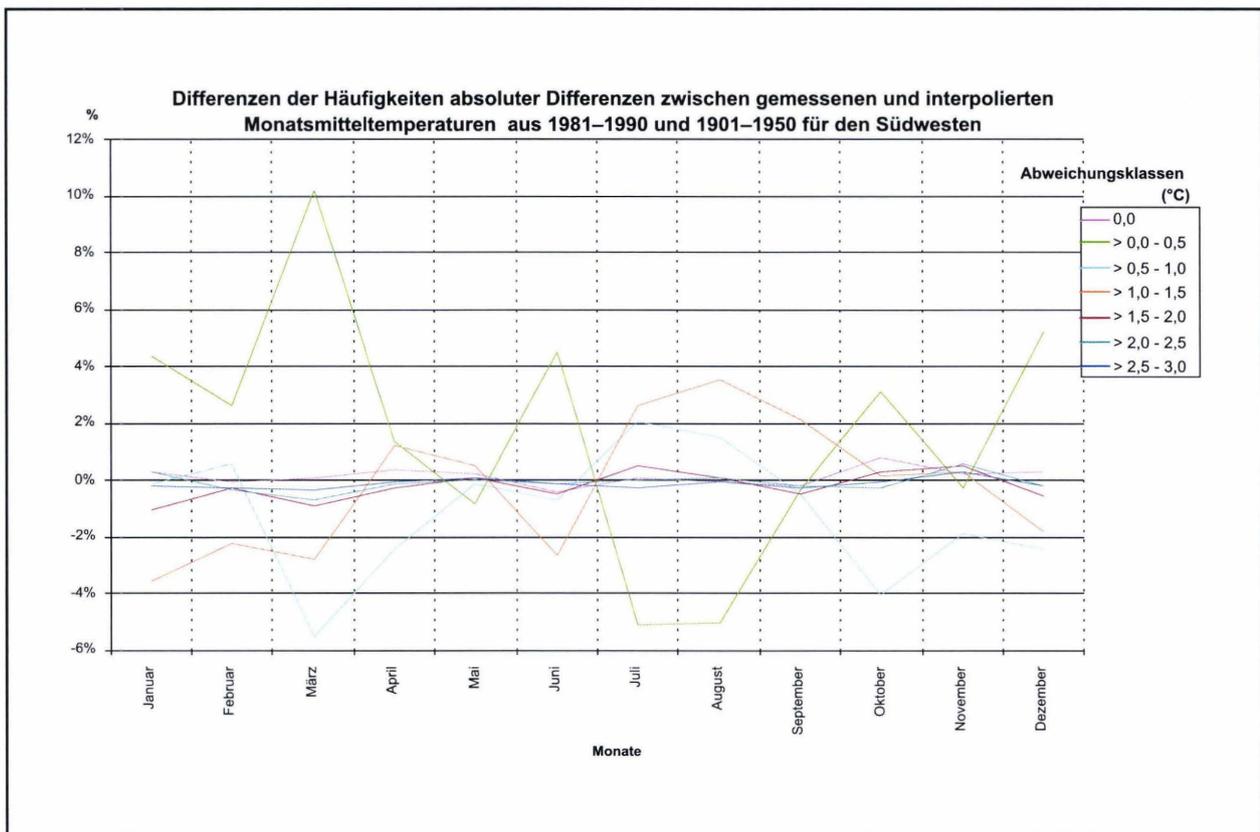


Abbildung 62

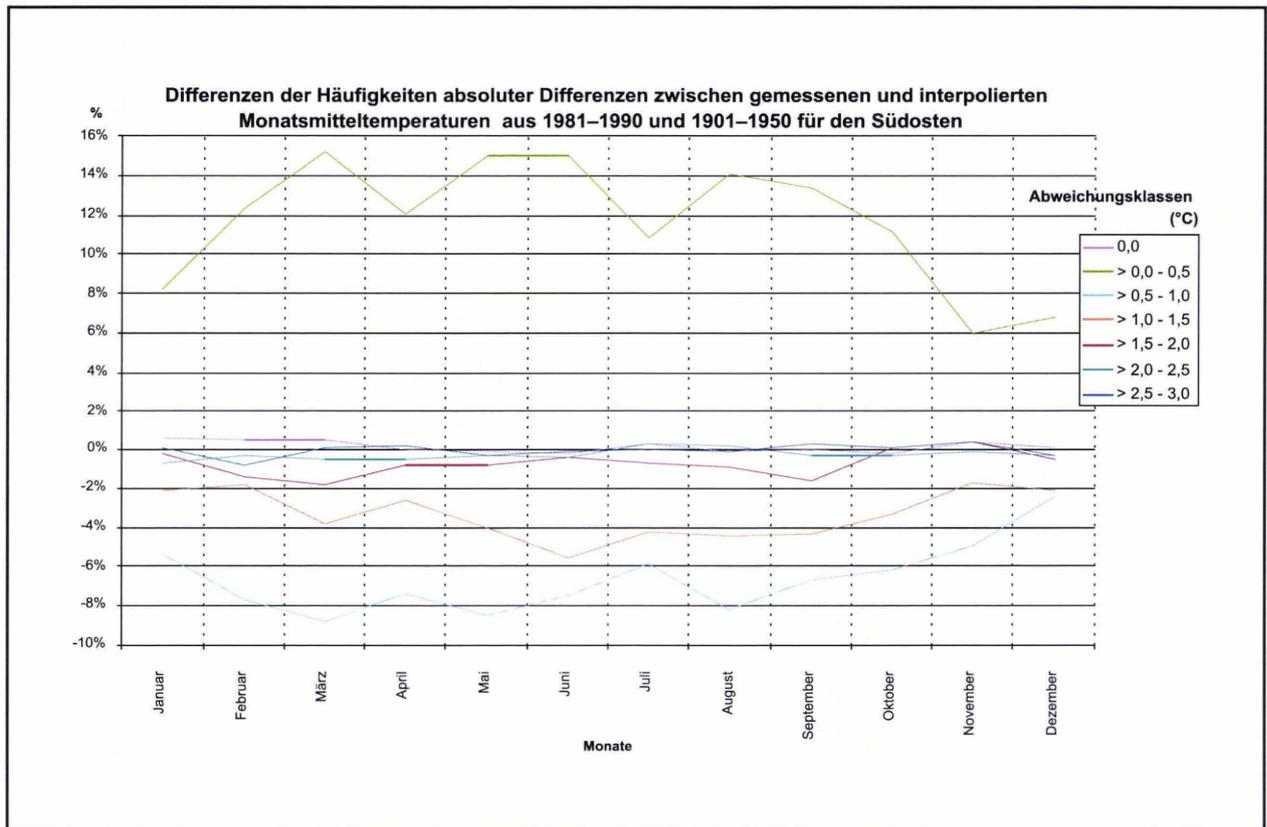


Abbildung 63

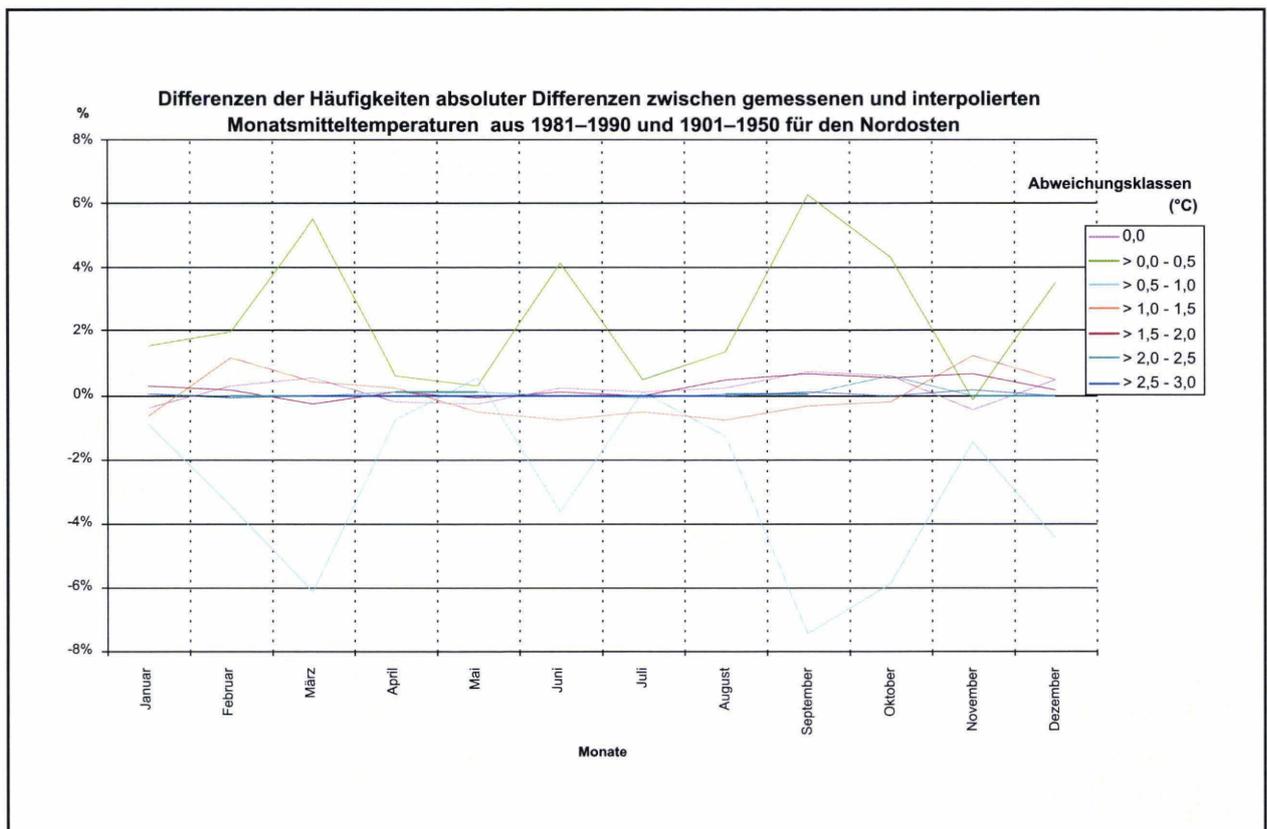


Abbildung 64

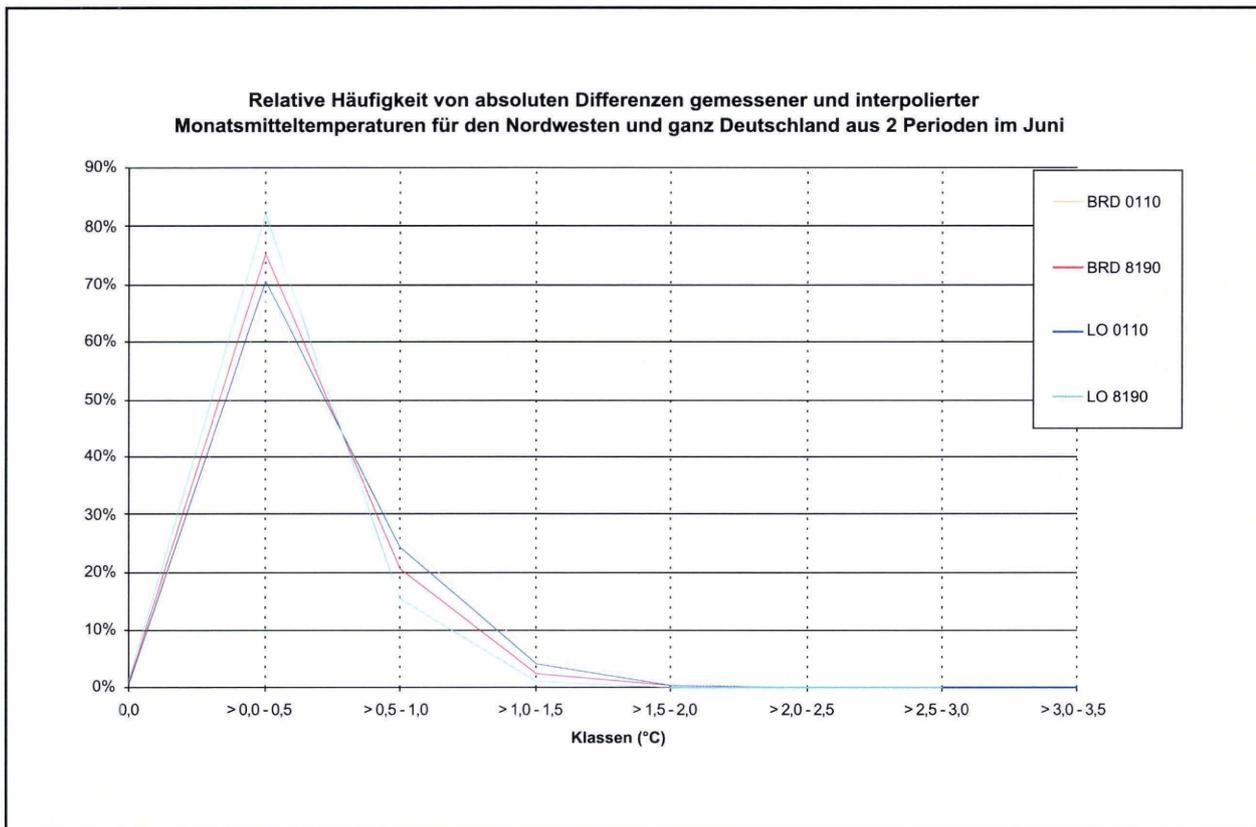


Abbildung 65

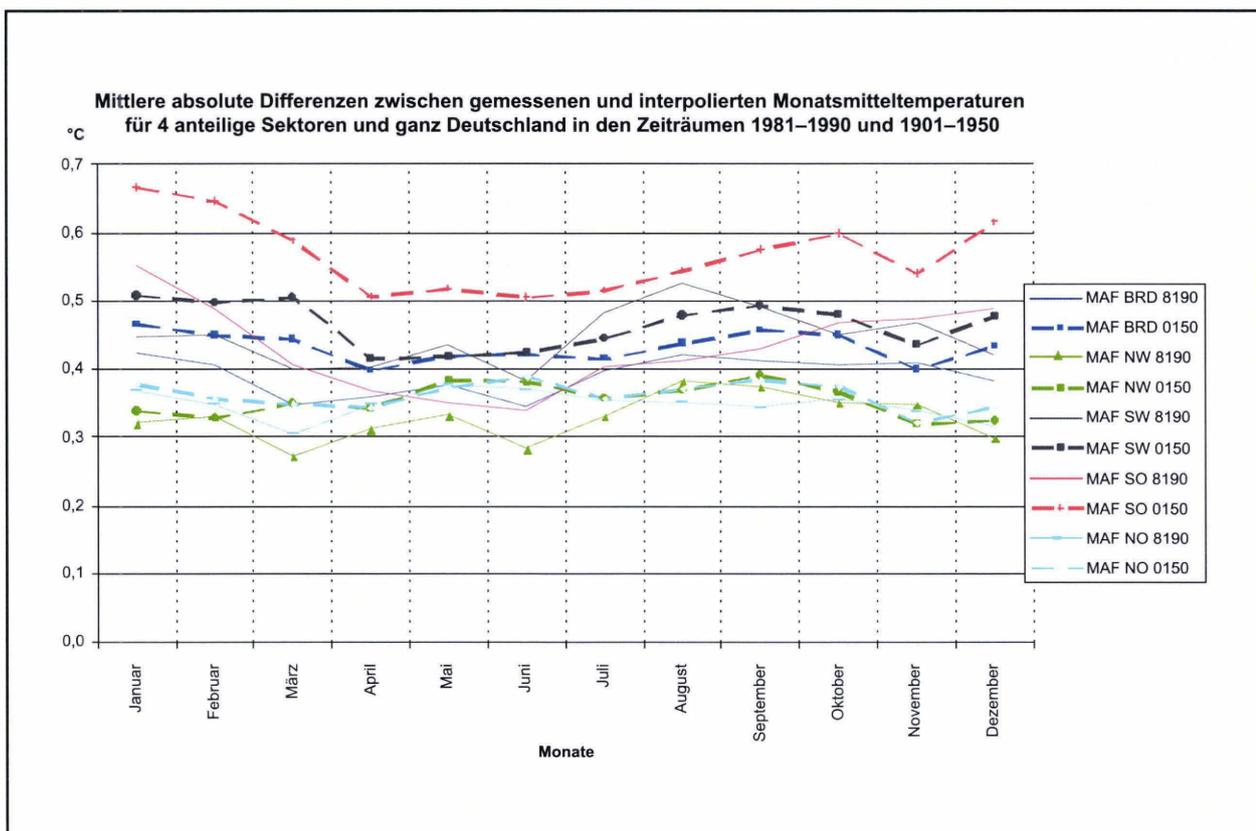


Abbildung 66

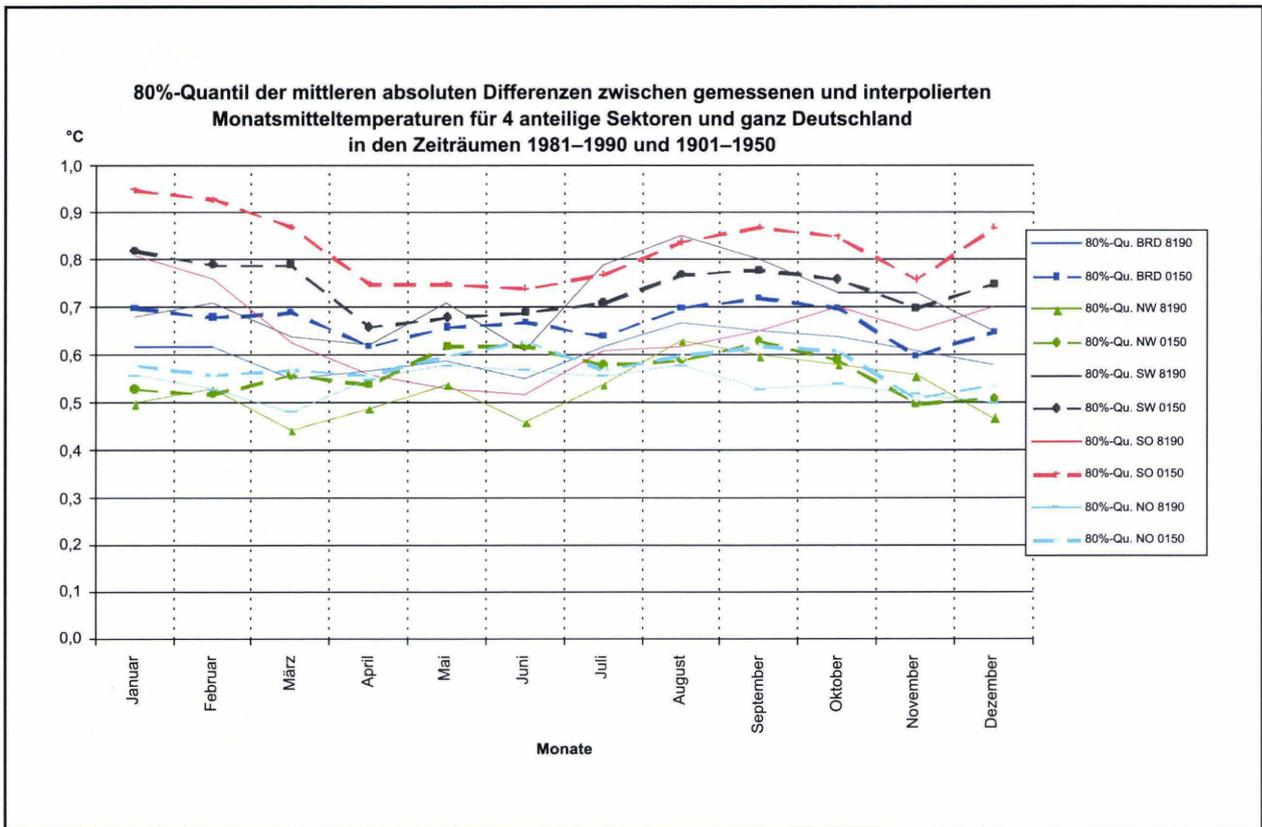


Abbildung 67

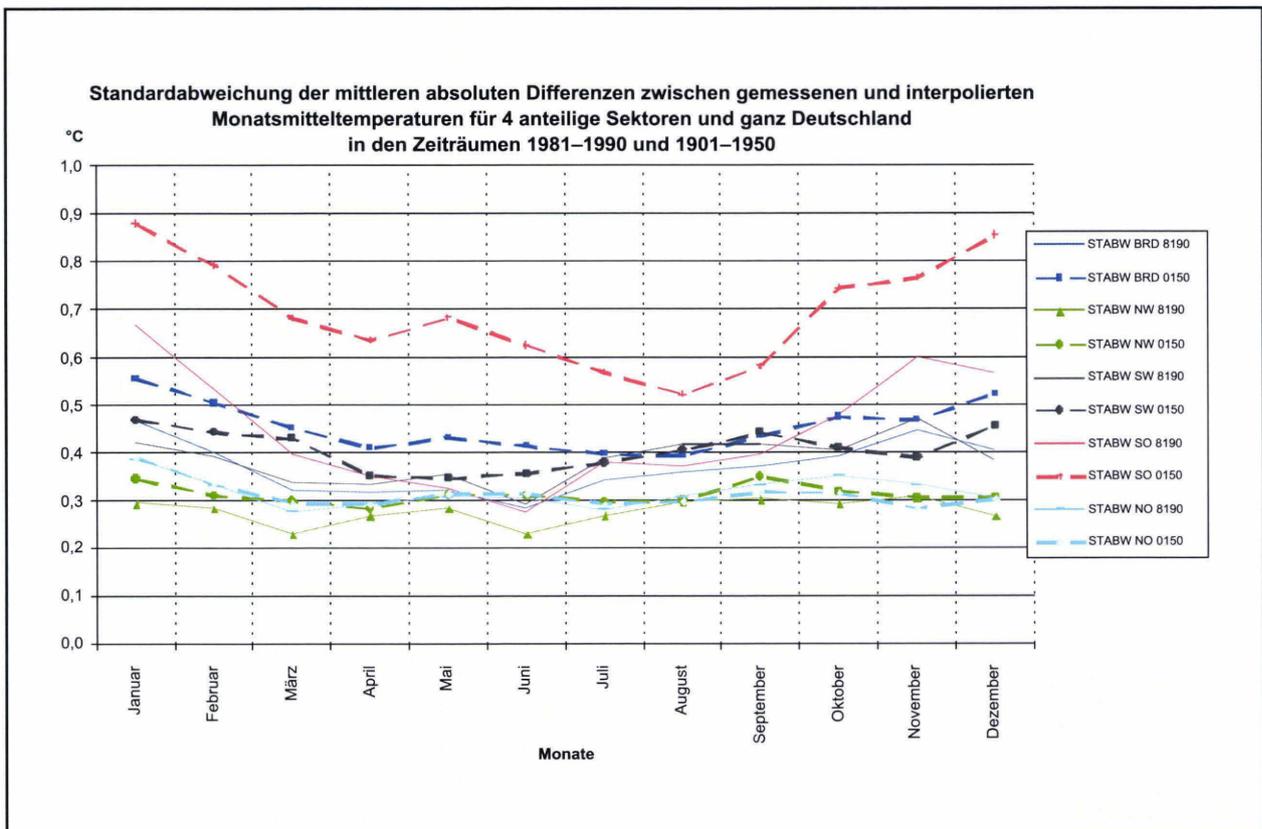


Abbildung 68

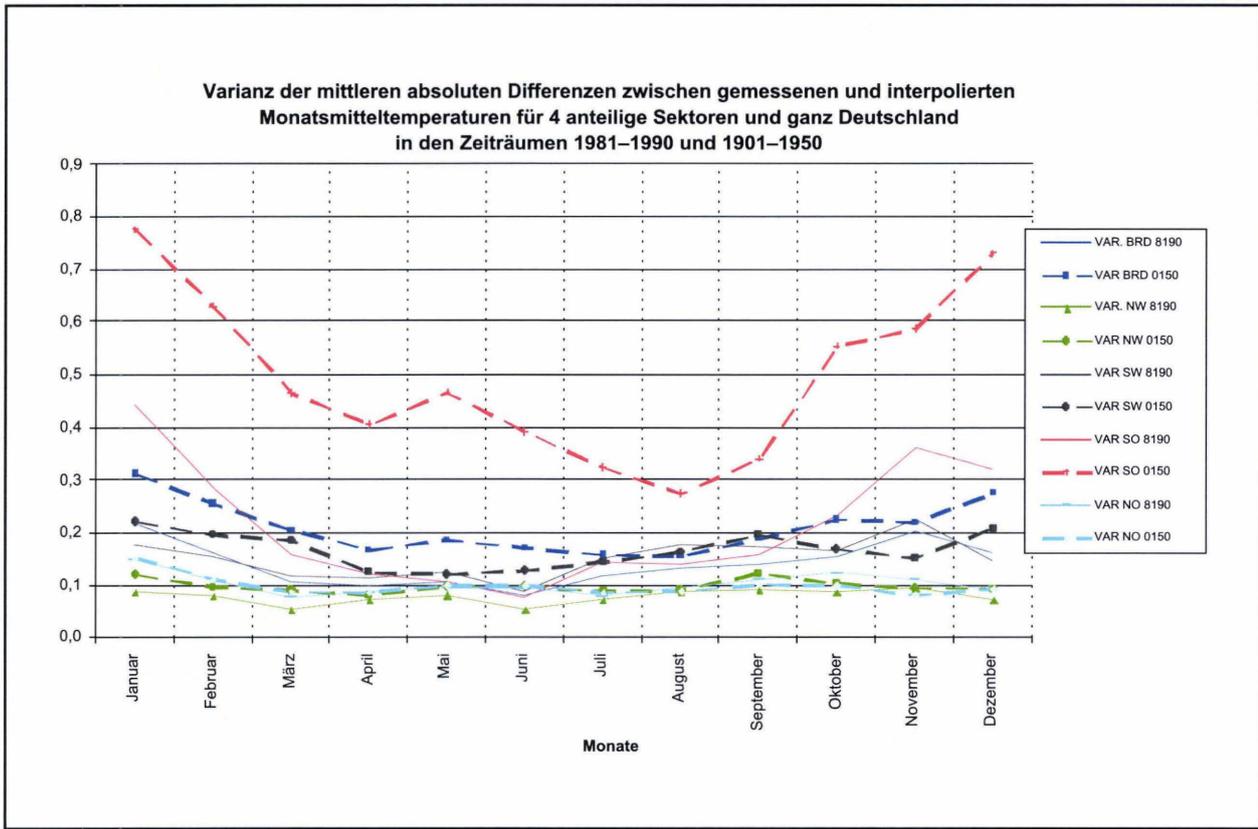


Abbildung 69

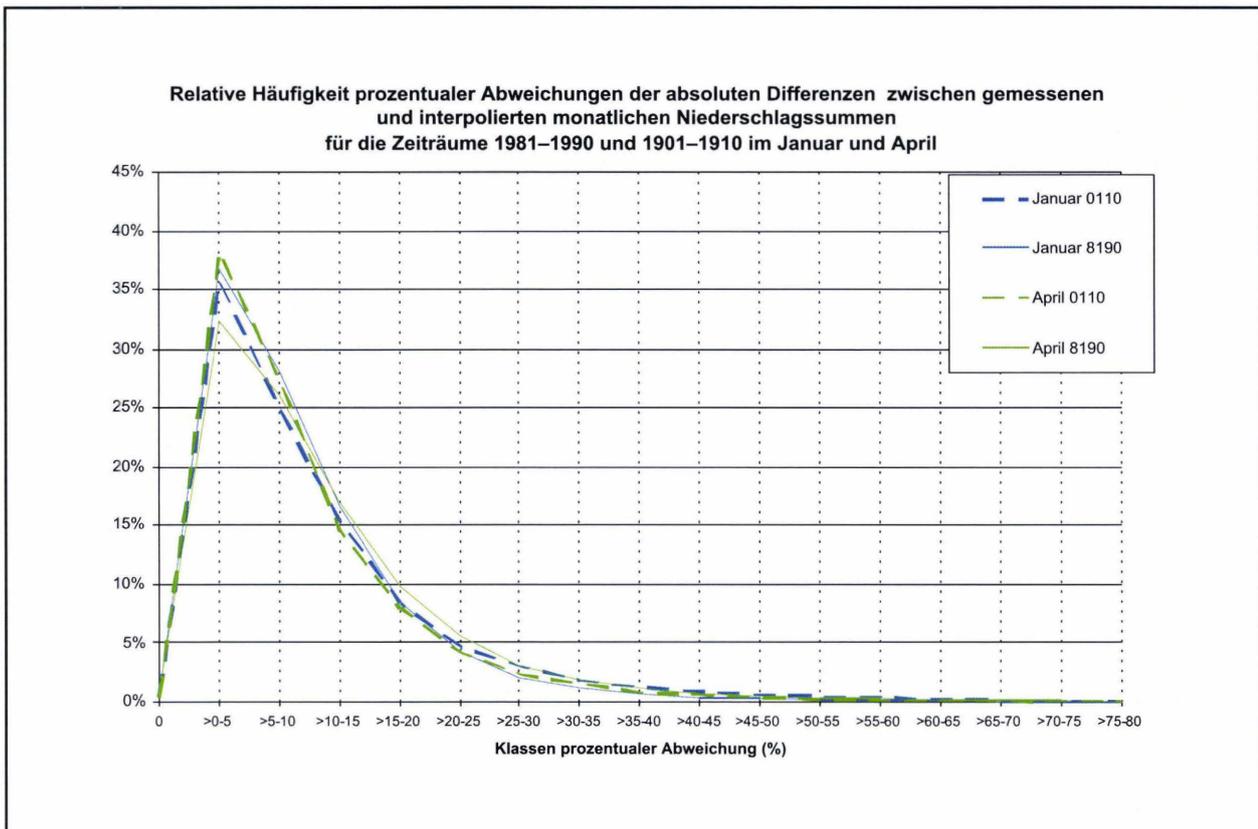


Abbildung 70

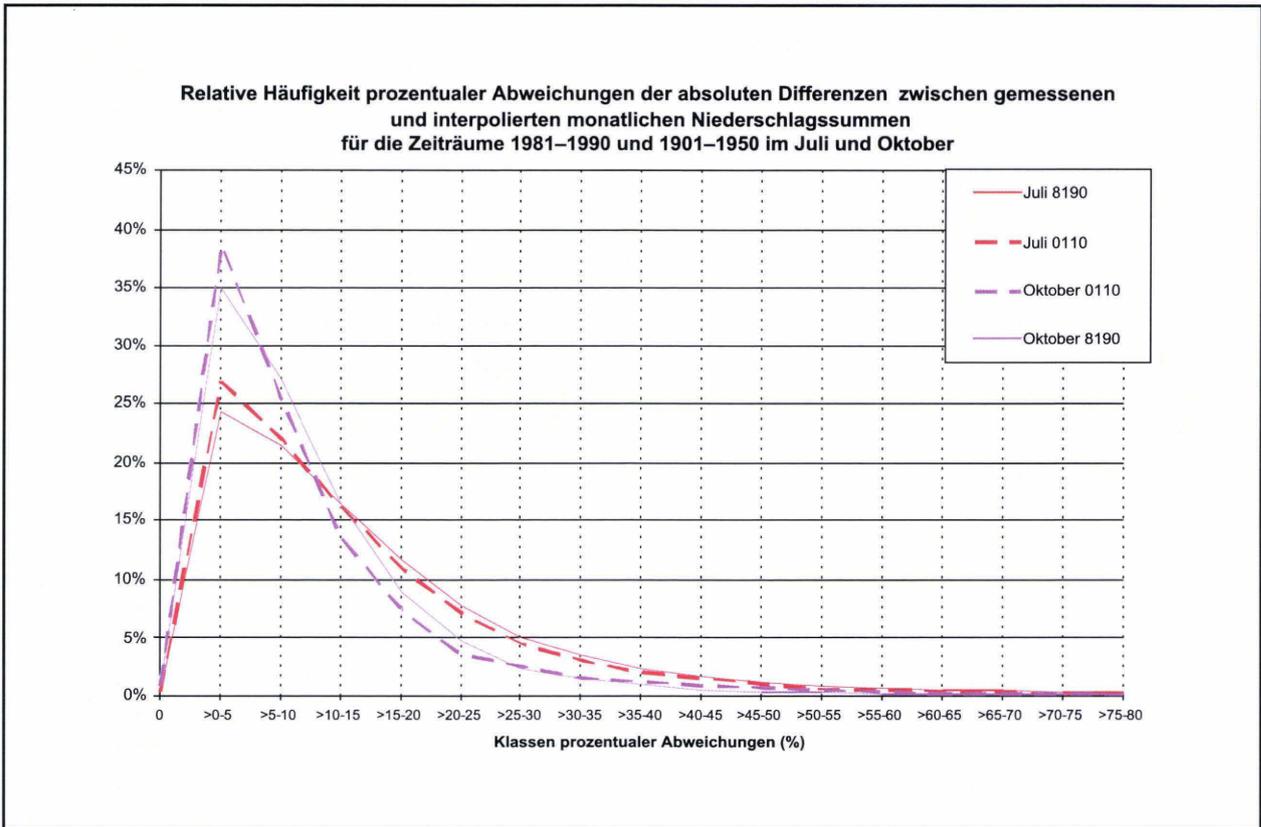


Abbildung 71

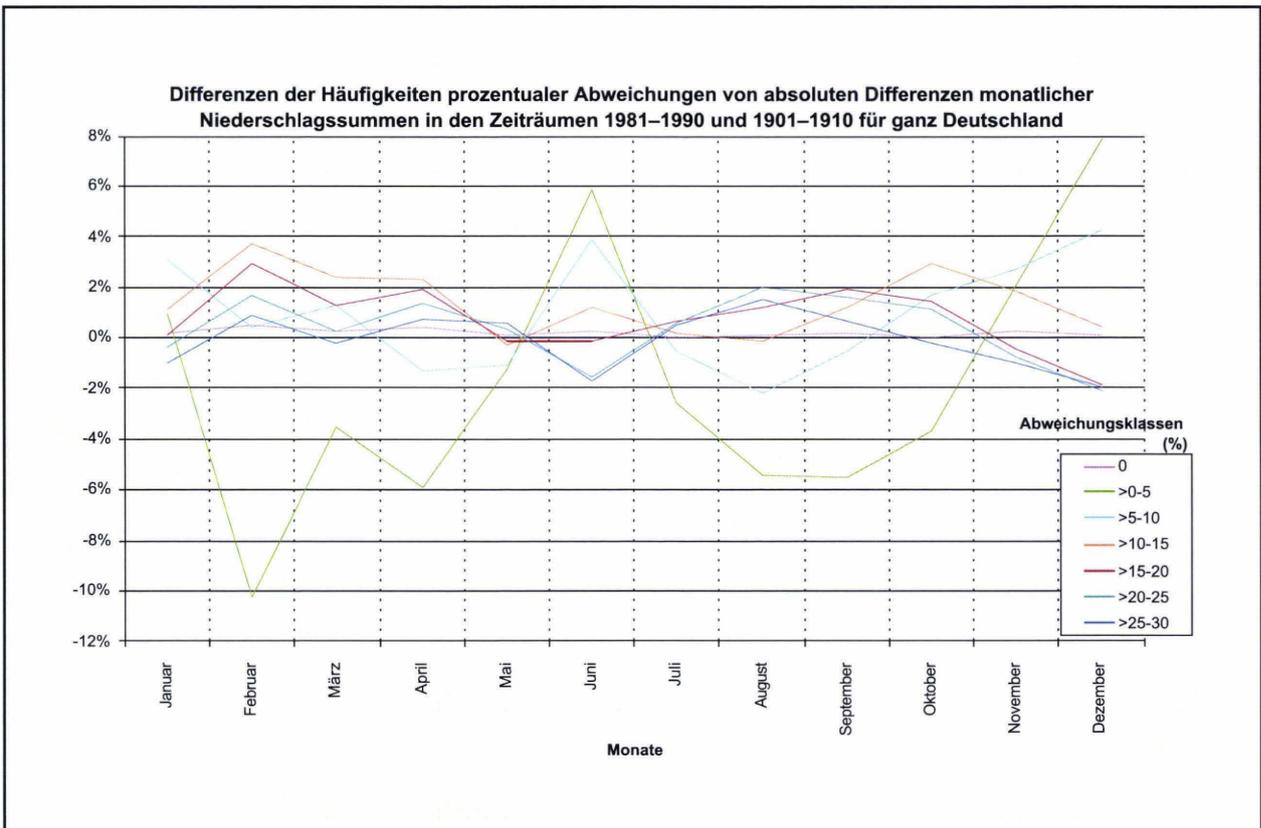


Abbildung 72

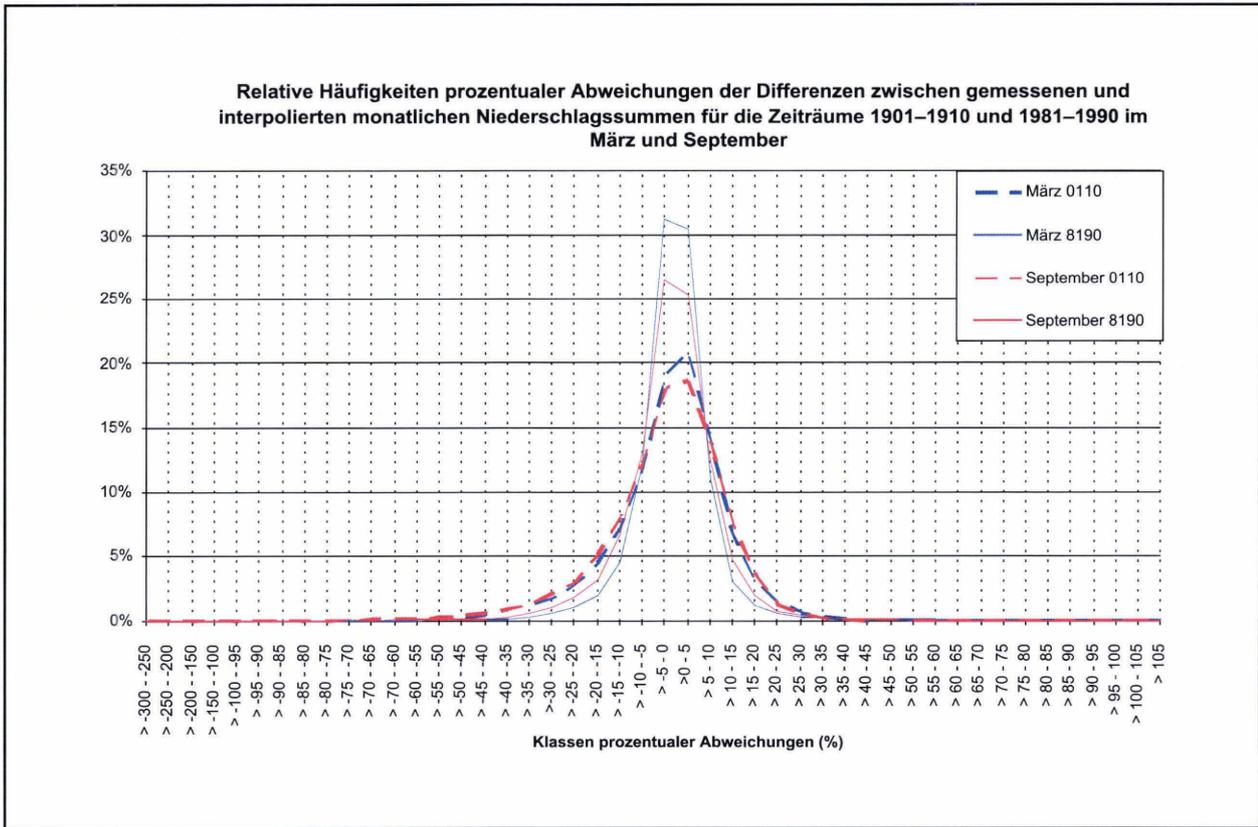


Abbildung 73

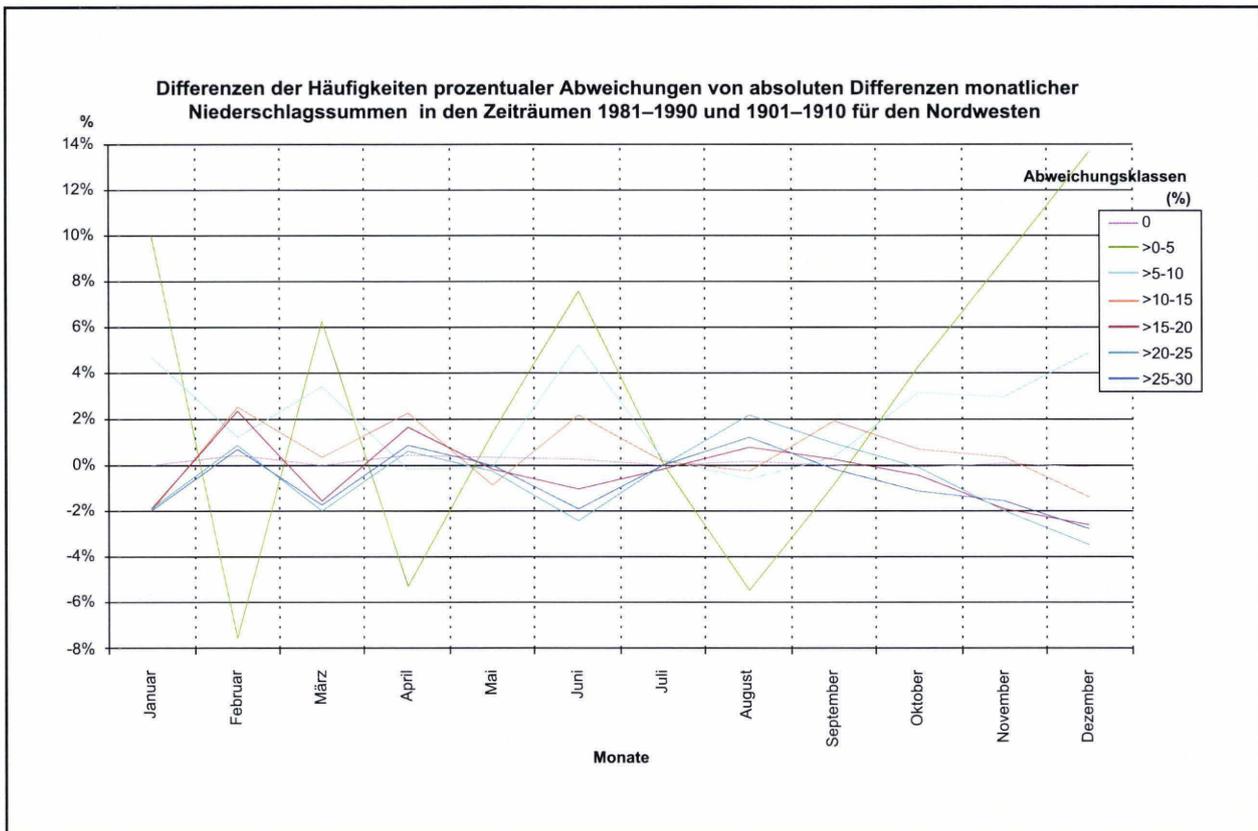


Abbildung 74

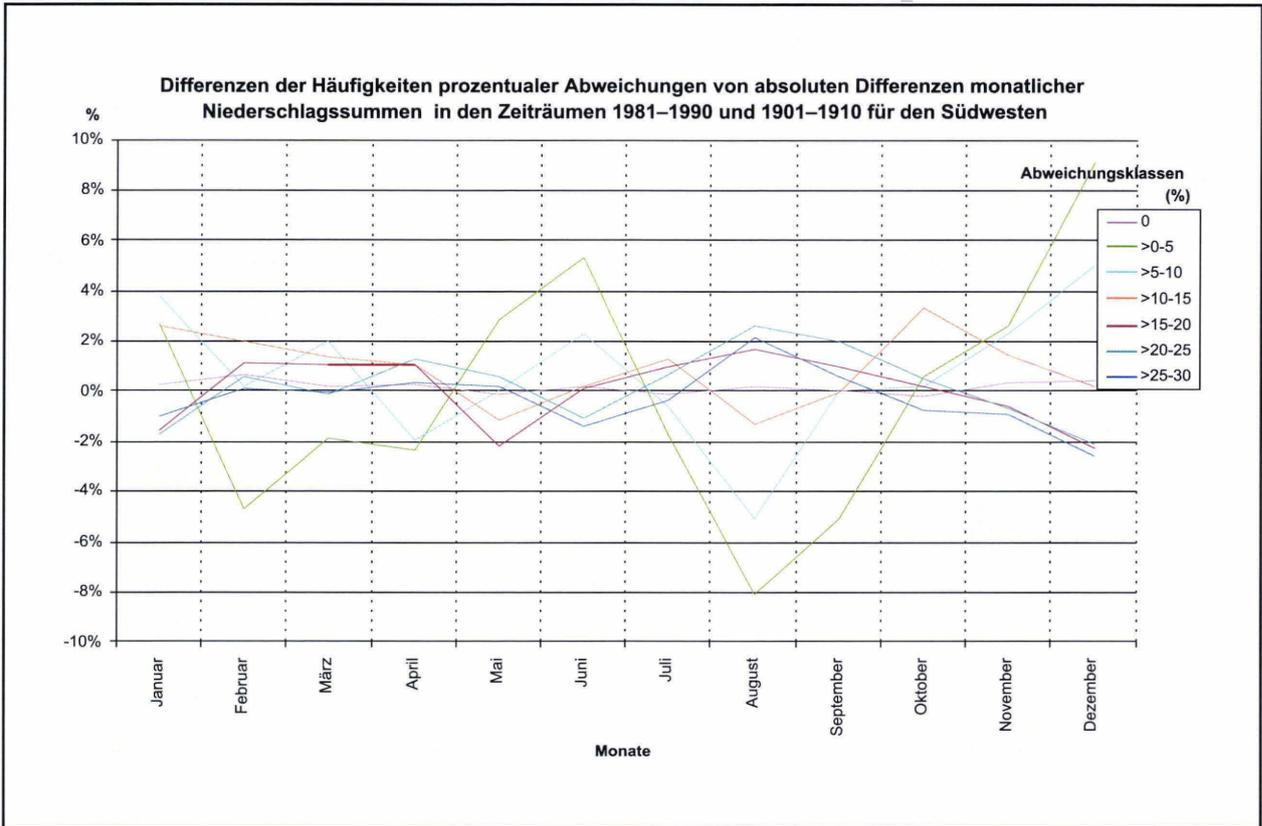


Abbildung 75

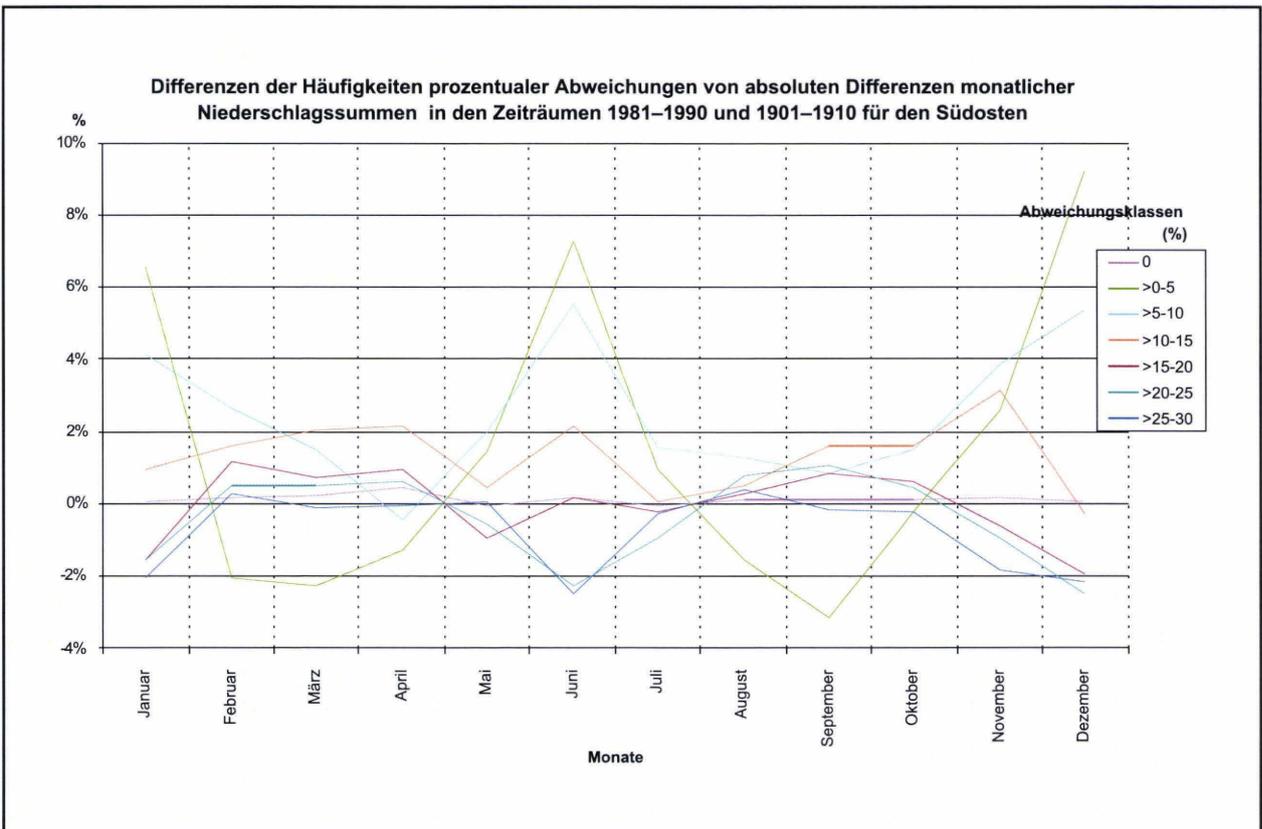


Abbildung 76

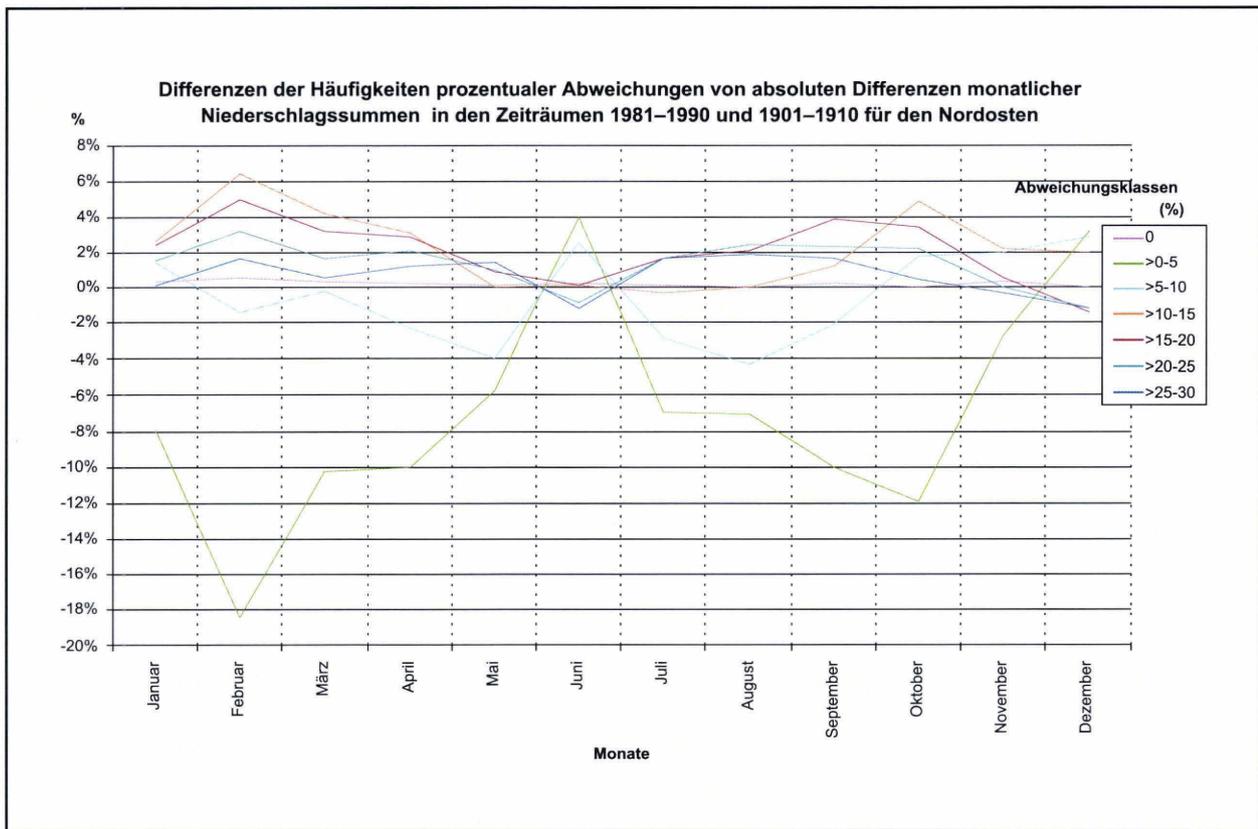


Abbildung 77

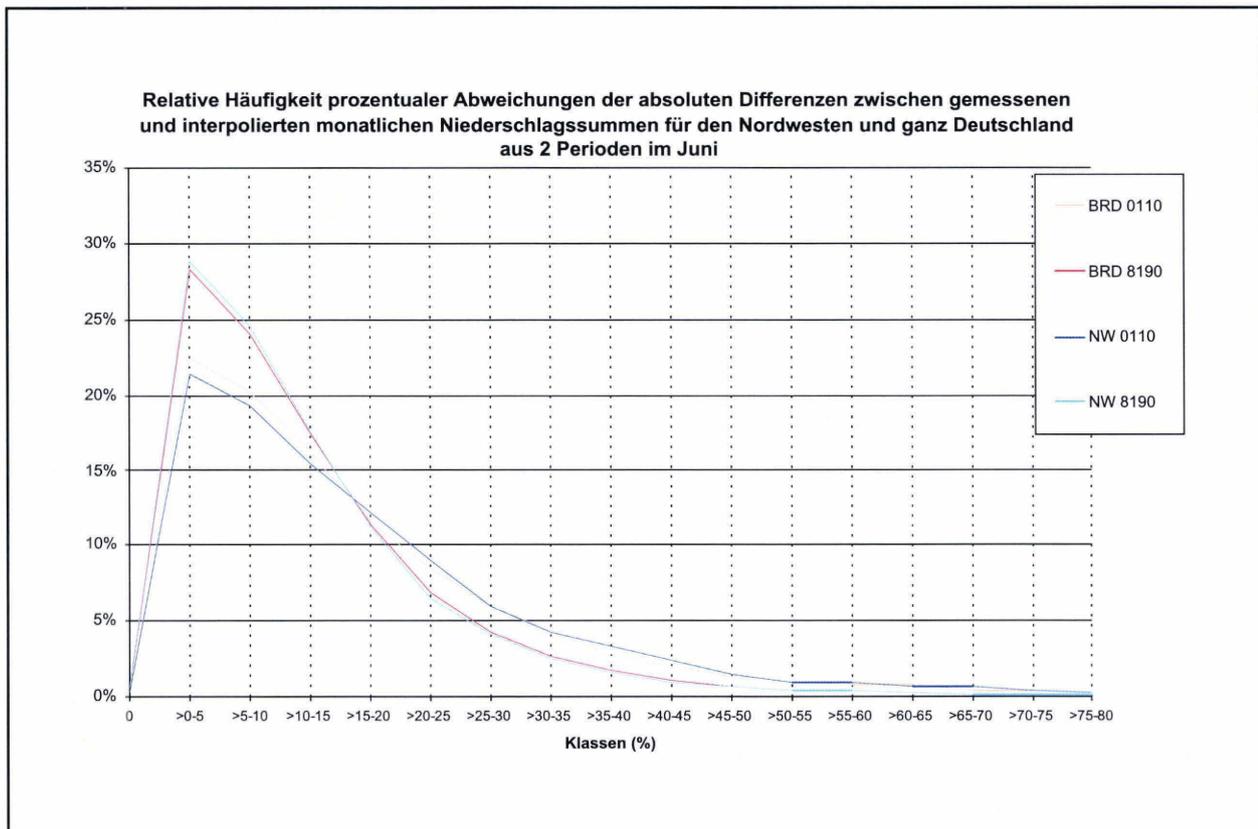


Abbildung 78

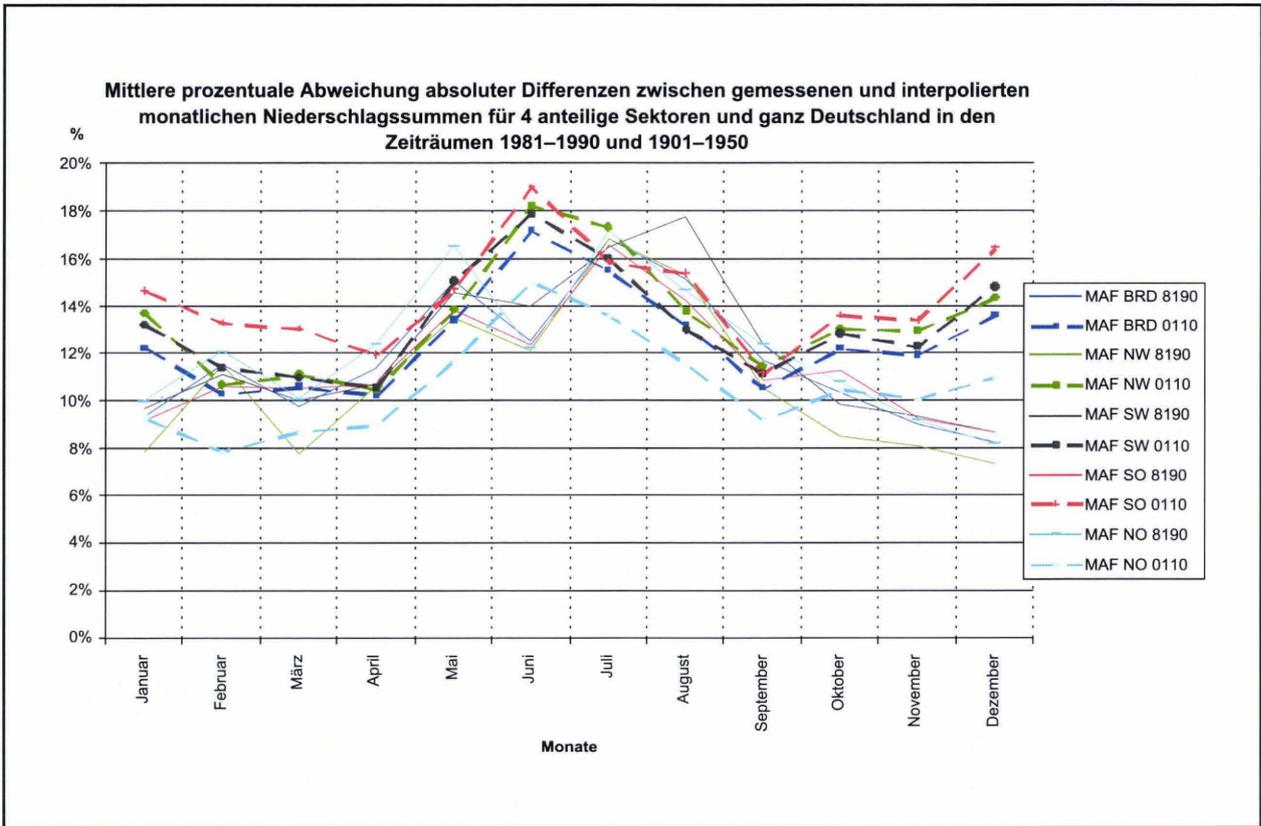


Abbildung 79

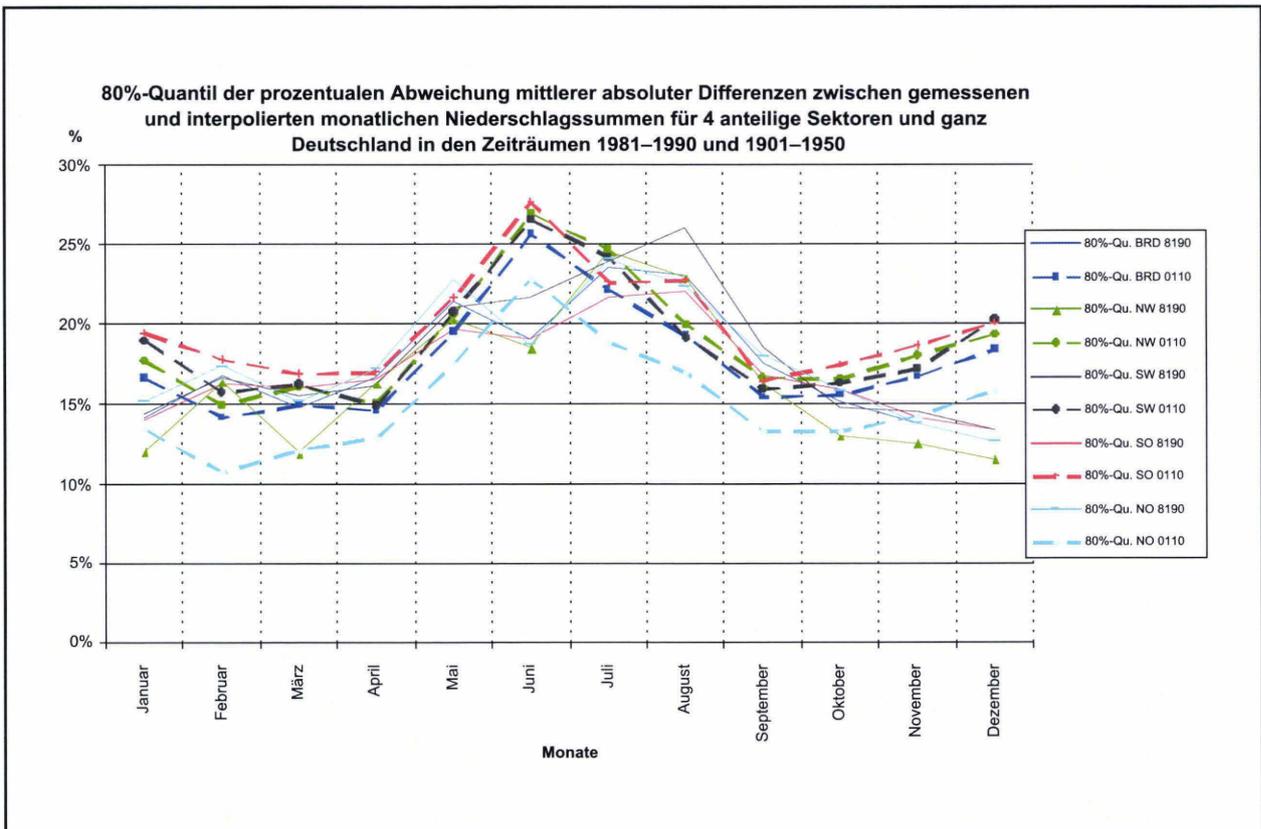


Abbildung 80

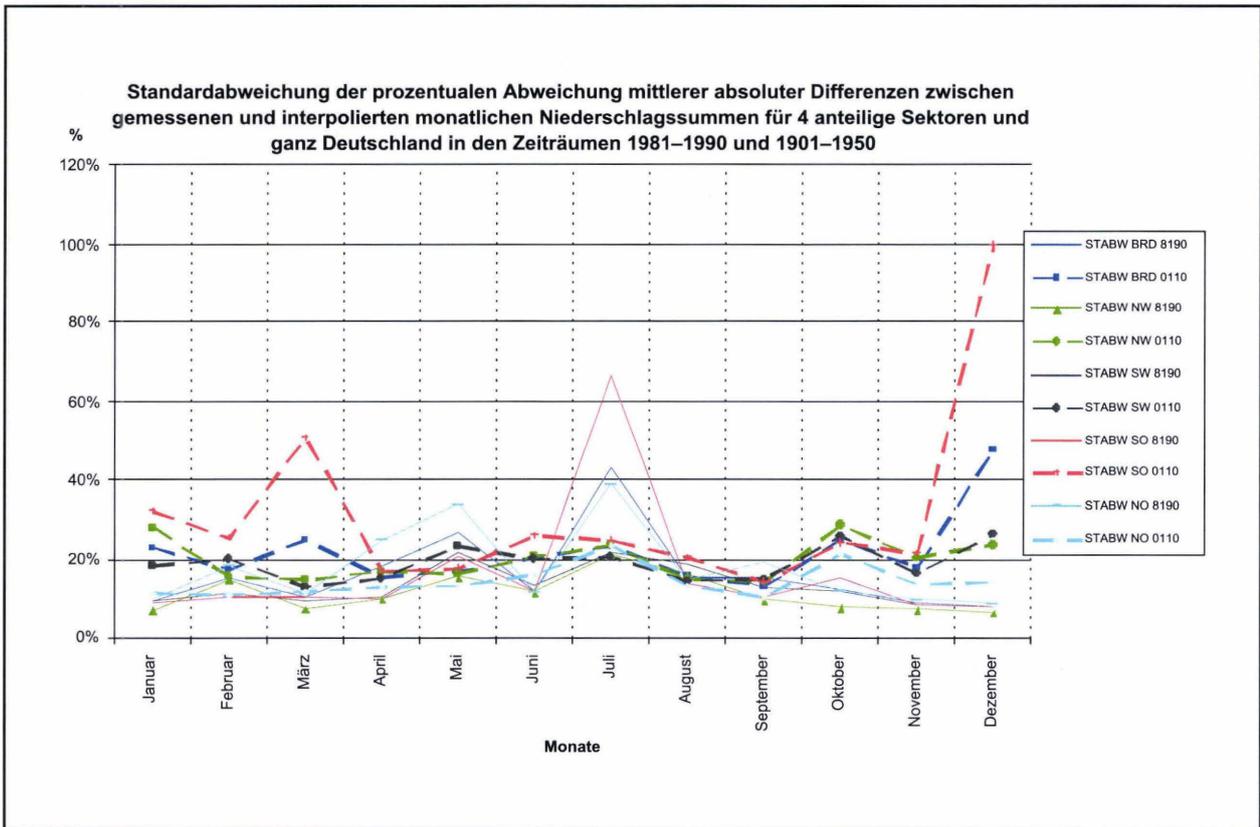


Abbildung 81

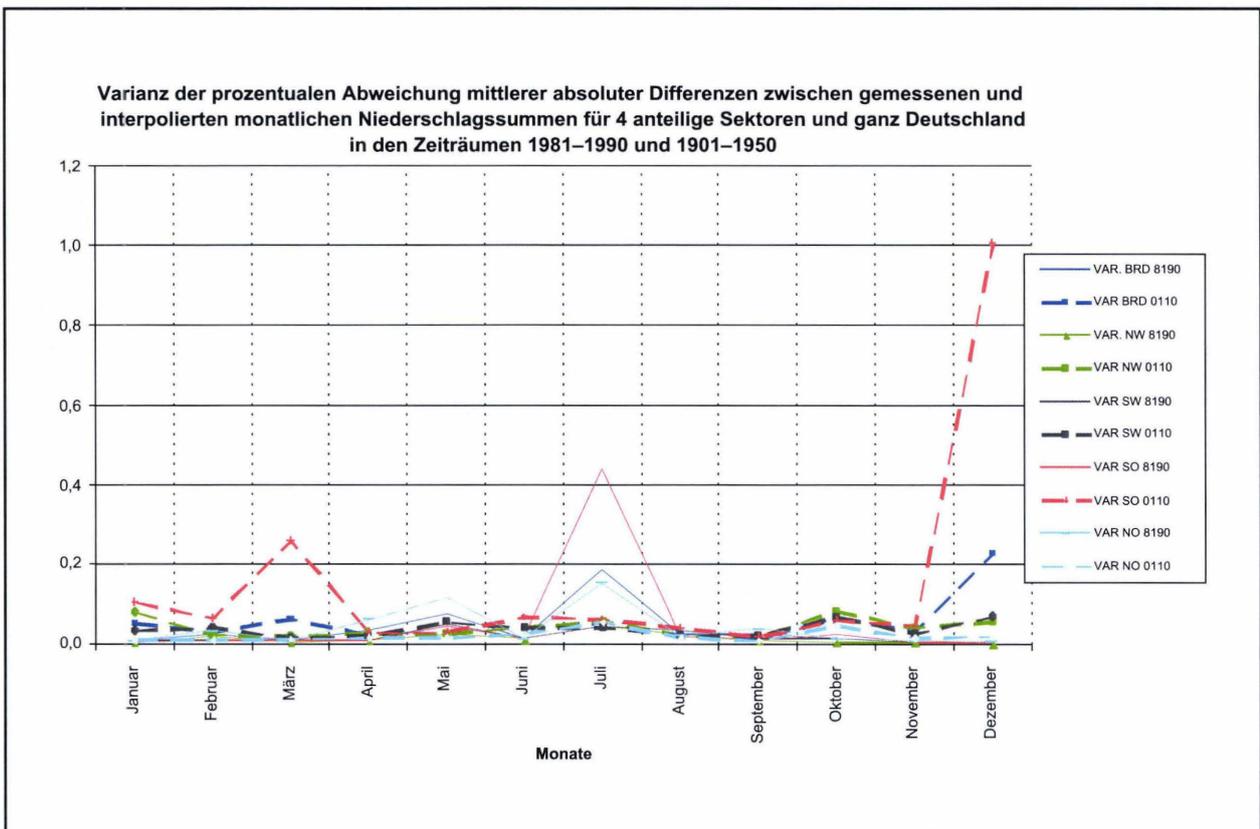


Abbildung 82

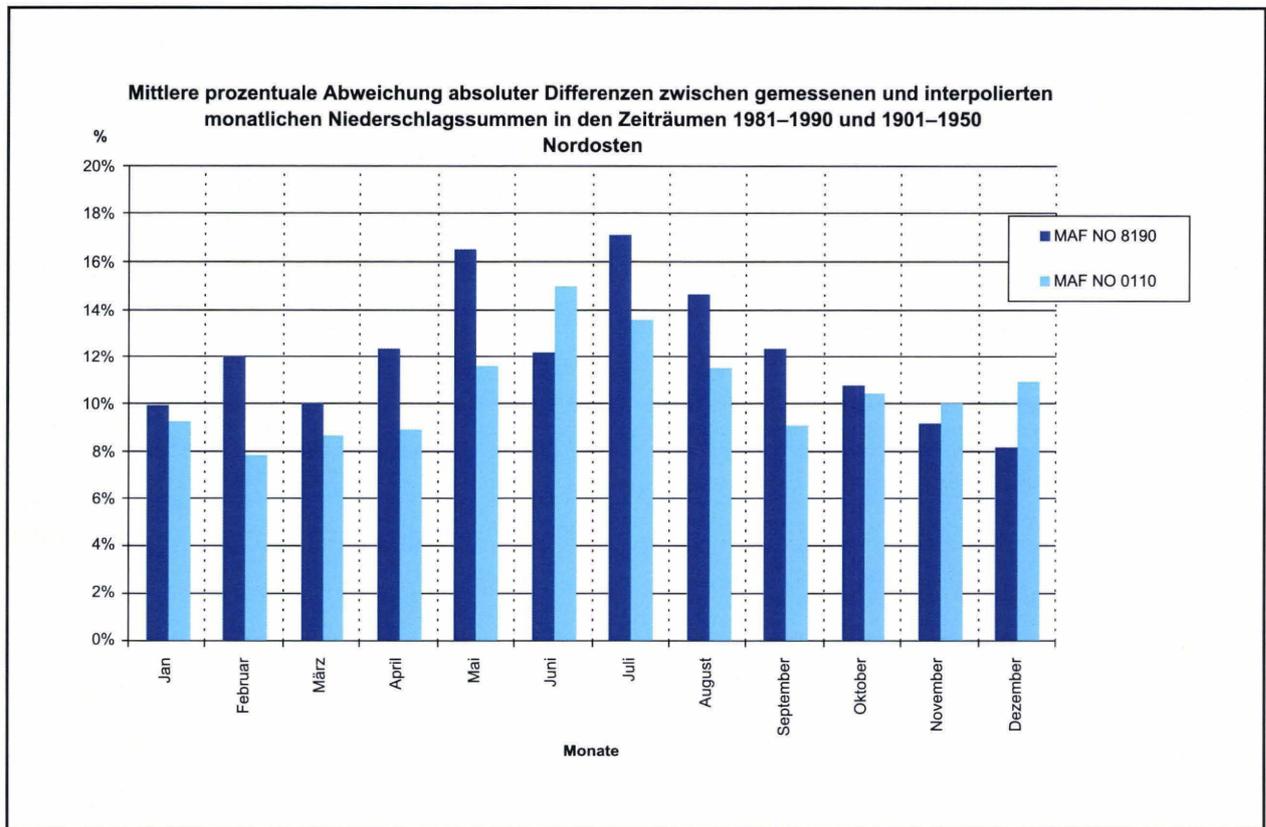


Abbildung 83

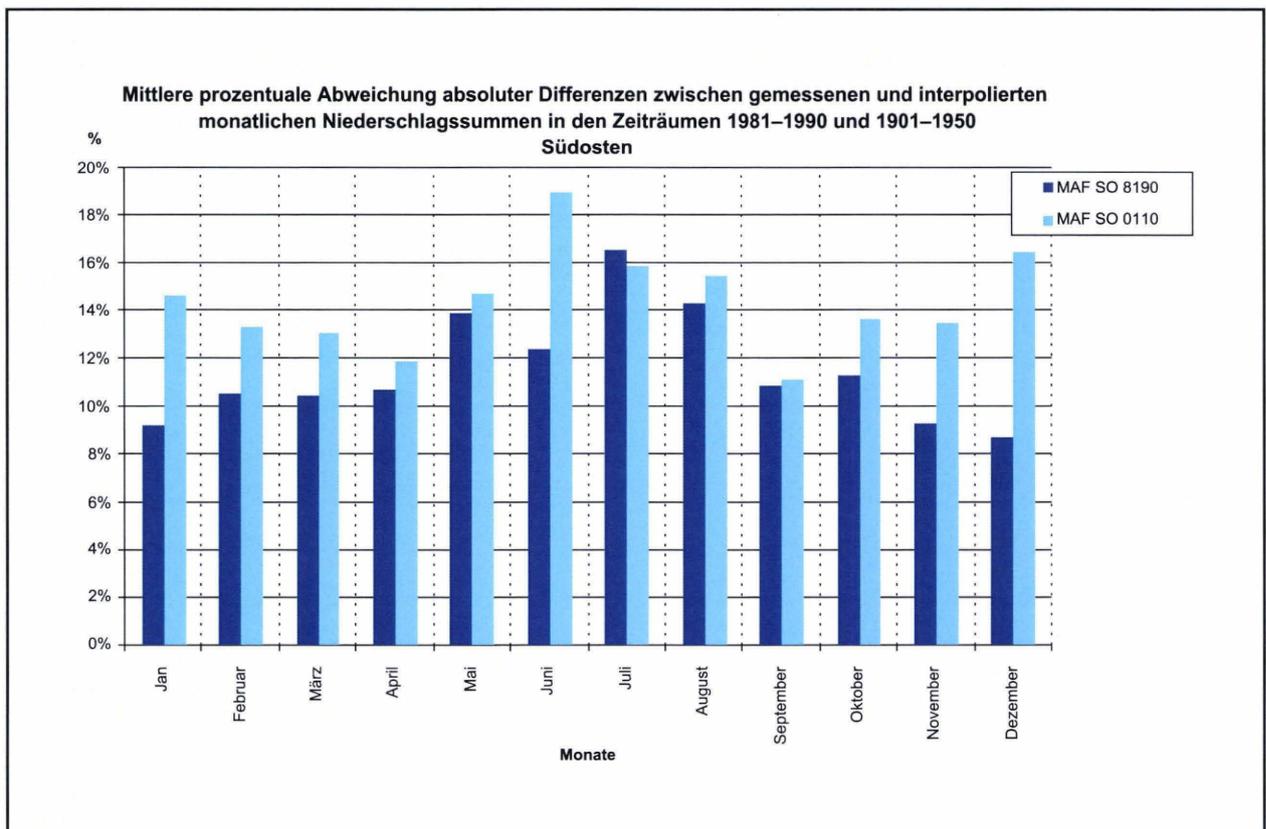


Abbildung 84

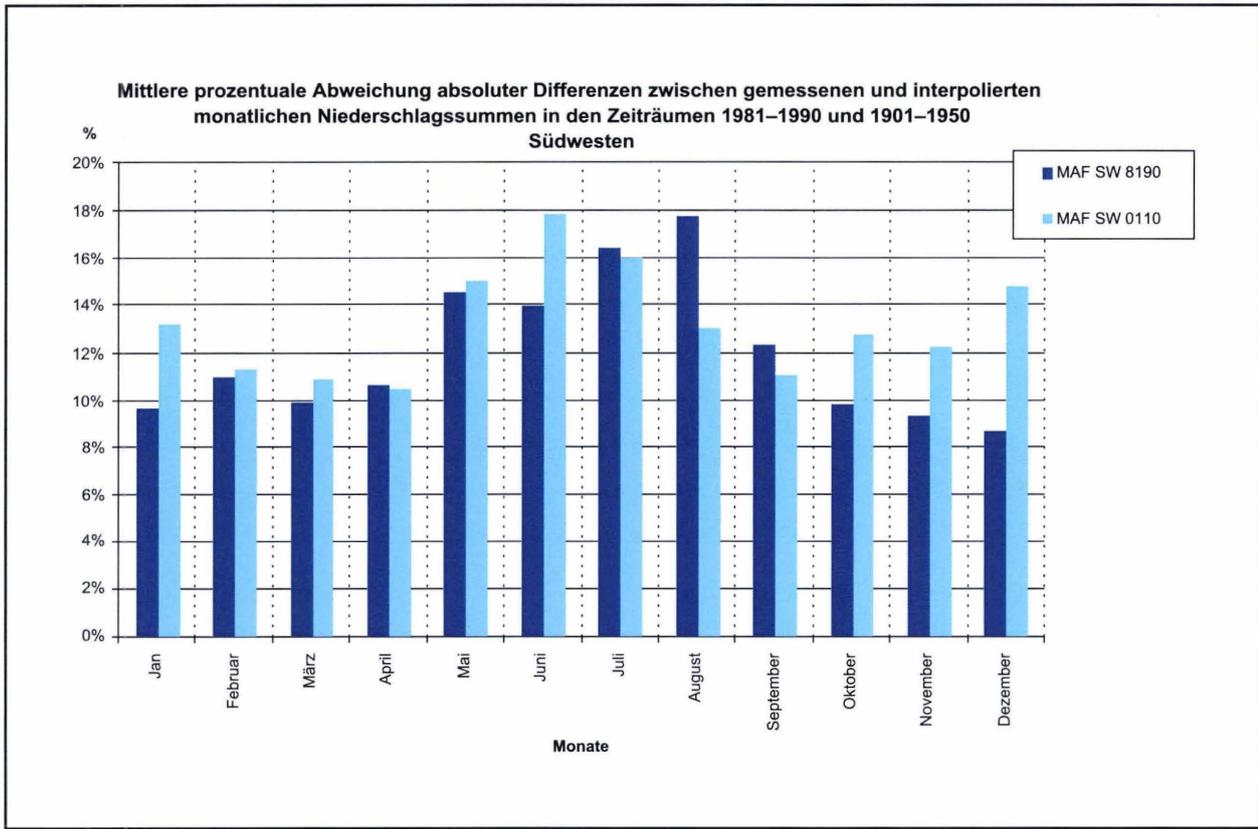


Abbildung 85

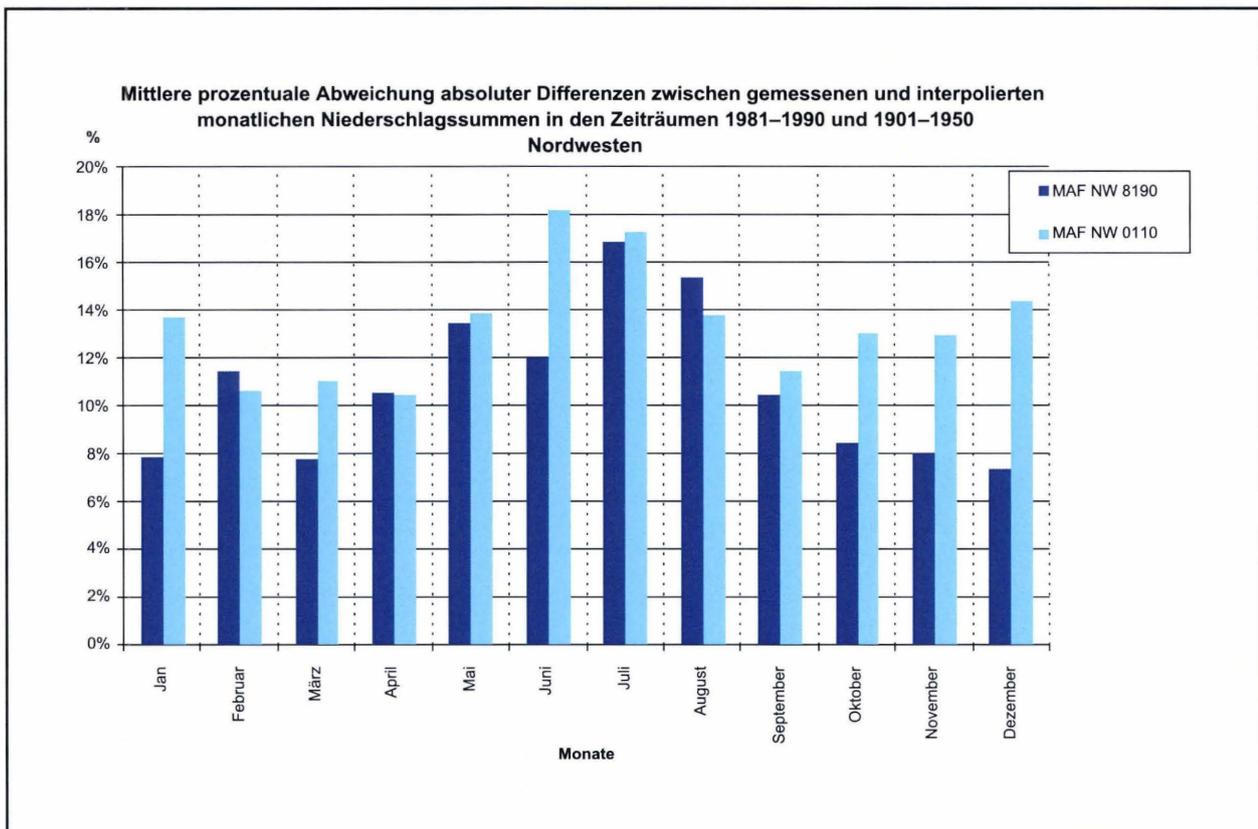


Abbildung 86

