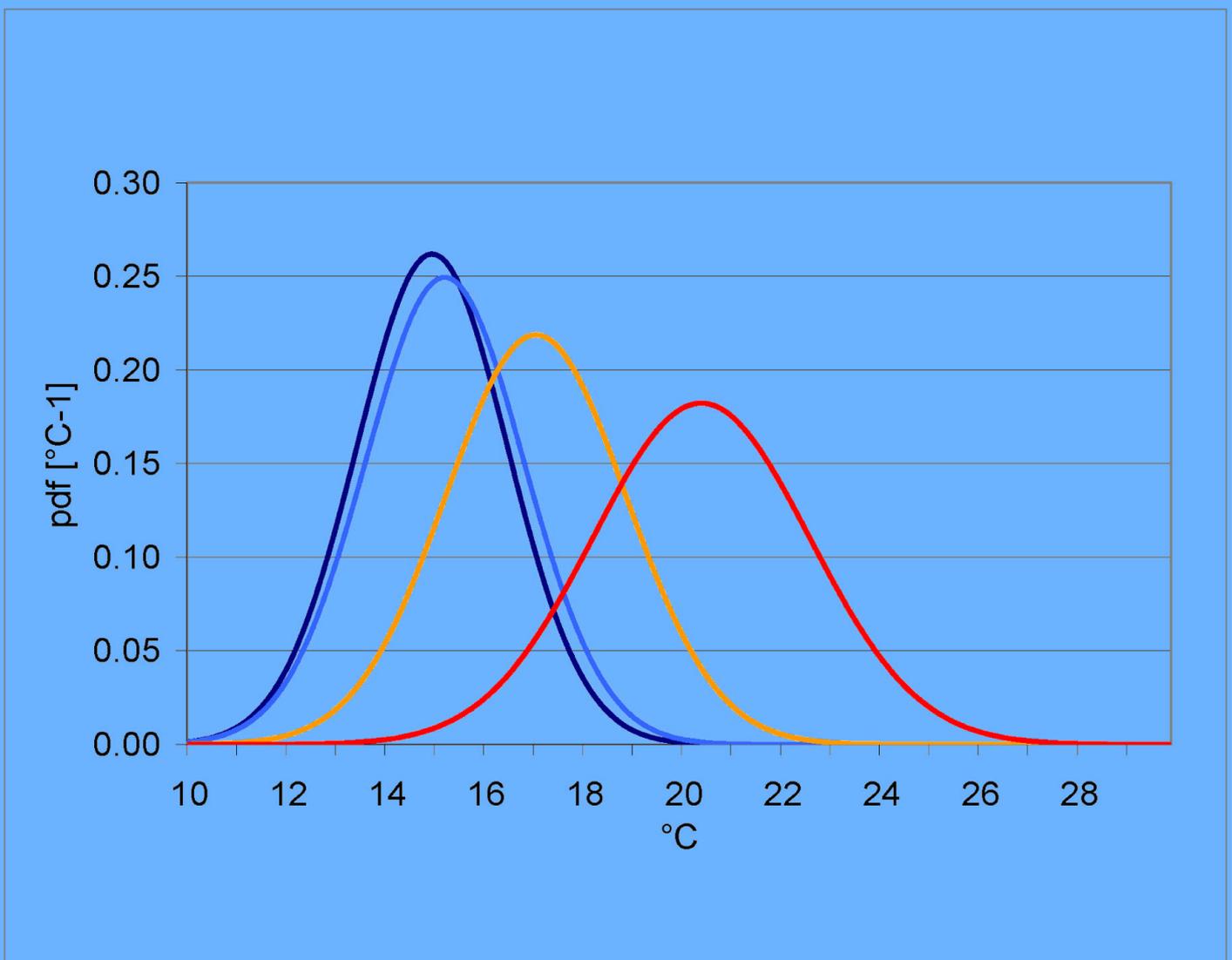


# Statistische Verfahren in der Auswertung von Klimamodell- und Impaktmodelldaten

eingesetzt in KLIMZUG und anderen Projekten sowie Institutionen, die sich mit Klimafolgen befassen



# Statistische Verfahren in der Auswertung von Klimamodell- und Impaktmodellldaten

**eingesetzt in KLIMZUG und anderen Projekten sowie  
Institutionen, die sich mit Klimafolgen befassen**

Gesammelt, sortiert und editiert durch  
Arbeitsgruppe Statistik am CSC

Katharina Bülow (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg)  
Barbara Hennemuth (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Hamburg)  
Peter Hoffmann (Meteorologisches Institut, Universität Hamburg)  
Elke Keup-Thiel (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Hamburg)  
Andreas Kochanowski (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Hamburg)  
Oliver Krüger (Helmholtz-Zentrum Geesthacht)  
Christine Radermacher (Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg)  
Robert Schoetter (Meteorologisches Institut, Universität Hamburg)

Fachlich beraten durch

Petra Friederichs (Meteorologisches Institut, Universität Bonn) und  
Manfred Mudelsee (Climate Risk Analysis)

Version 1.0, Januar 2012  
Kontakt: [barbara.hennemuth@hzg.de](mailto:barbara.hennemuth@hzg.de)

Titelbild: © Katharina G. Bülow

# Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen .....	4
2	Begriffsklärung .....	5
3	Nutzung der vorgestellten Verfahren .....	6
4	Steckbriefe statistischer Verfahren .....	6
4.1	Allgemeine Verfahren .....	9
4.1.1	Häufigkeitsverteilungen .....	9
4.1.2	Relative Häufigkeitsverteilungen .....	11
4.2	Analyse von Extremwerten .....	13
4.2.1	Anpassung von extremwertstatistischen Verteilungsfunktionen mittels Maximum-Likelihood- oder Momenten-Methode .....	13
4.2.2	R-largest in Kombination mit einer GEV .....	15
4.2.3	Extremwertanalyse mit Allgemeiner Extremwertverteilung (GEV) .....	16
4.2.4	Instationäre Extremwertanalyse mit Allgemeiner Extremwertverteilung ....	17
4.2.5	Multivariate Extremwertanalyse mit Copulas .....	18
4.2.6	Überschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederholungszeitspanne .....	19
4.2.7	Schwellenwertstatistik, Empirische Überschreitungswahrscheinlichkeiten	20
4.3	Auswahlverfahren .....	21
4.3.1	Block-Maxima .....	21
4.3.2	Peak over Threshold .....	22
4.4	Bias-Korrektur .....	24
4.4.1	Quantile-Mapping mit Transferfunktion .....	24
4.4.2	Modifiziertes Quantile-Mapping .....	26
4.5	Downscaling / Verfeinerung .....	27
4.5.1	Statistisches Downscaling mit linearen statistischen Modellen .....	27
4.6	Interpolationsverfahren .....	29
4.6.1	Bilineare Interpolation im Rastermodell .....	29
4.6.2	Inverse Distance Weighting .....	31
4.6.3	Lineare Regression mit Residueninterpolation mittels Inverse Distance Weighting .....	33
4.6.4	Splines .....	34
4.6.5	Kriging .....	36
4.7	Kennzahlen .....	38
4.7.1	Transpirationsdifferenz als Maß für die Standorteignung .....	38
4.7.2	Vergleich von Zeitreihen durch Berechnung der Nash-Sutcliffe Modell- Effizienz .....	40
4.7.3	Vergleich von Zeitreihen hydrologischer Größen durch Percent bias .....	41
4.7.4	Quantitative Evaluierung von Klimamodellrechnungen in einem Referenzzeitraum .....	42
4.7.5	Häufigkeit von Frosttagen nach Vegetationsbeginn/ zeitlicher Abstand von Terminen des letzten Frosttages und des Vegetationsbeginns .....	43
4.7.6	Abzählmethode zur Bestimmung der thermischen Vegetationsperiode ....	44
4.7.7	Evaluierung der Häufigkeitsverteilung durch skill-score und hit-rate of the percentiles .....	46
4.8	Raum-Zeit-Verfahren .....	47
4.8.1	Objektive Wetterlagenklassifikation mit statistischen Verfahren .....	47
4.8.2	Temperatursummenmethode zur Projektion phänologischer Eintrittstermine .....	48

4.8.3	Korrelation zweier Variablen (Korrelationskarten) .....	50
4.9	Signifikanztest .....	51
4.9.1	Bootstrap-Hypothesis Test .....	51
4.9.2	Trend-Rauschverhältnis .....	52
4.9.3	Mann-Kendall-Test .....	54
4.10	Zeitreihenanalyse .....	55
4.10.1	Strukturorientierte Zeitreihenzerlegung, Maximum Likelihood Methode.....	55
4.10.2	Lineare Regression .....	56
4.10.3	Varianzanalyse .....	57
4.10.4	Gleitendes Mittel .....	58
4.10.5	Methode gleitender Mittelwerte .....	59
4.10.6	Numerische Filterung: Hoch-, Tief- und Bandpassfilterung .....	61
4.10.7	Vergleich verschiedener Zeitscheiben hinsichtlich ihrer Mittelwerte, Variabilität und/oder Verteilung .....	62
4.10.8	Gleitender Mittelwert .....	63
	Literatur .....	65

# 1 Vorbemerkungen

Seit einigen Jahren stehen Projektionen globaler und regionaler Klimamodelle bis zum Ende dieses Jahrhunderts auch für Wissenschaftler anderer Disziplinen und Behörden zur Verfügung. Das bietet die Möglichkeit, diese Daten als Ausgangspunkt für die Klimafolgen- und Klimawirkungsforschung, z.B. als Eingangsdaten für Impaktmodelle der unterschiedlichsten Fragestellungen, zu verwenden. Dies geschieht insbesondere in Projekten, die sich mit der Anpassung an den Klimawandel befassen. Dabei kommen eine große Anzahl statistischer Verfahren zum Einsatz, die beispielsweise zur spezifischen Aufbereitung der Klimamodelldaten, zur weiteren Nutzung, oder zur Bewertung der Ergebnisse der Impaktmodelle verwendet werden.

Die enge Zusammenarbeit des Climate Service Centers (CSC) mit dem Forschungsprogramm "KLIMZUG-Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten" zeigt, dass ein Bedarf an einer Zusammenstellung der eingesetzten statistischen Verfahren, deren Anwendungen und deren Bewertung besteht. Diese Bündelung und Weiterverbreitung möglicher Werkzeuge im Umgang mit Klimamodell- und Impaktmodelldaten stellt einen Mehrwert innerhalb des KLIMZUG-Verbundes und darüber hinaus her.

So entstand innerhalb einer am CSC etablierten Arbeitsgruppe für Statistik die Idee, Projektmitarbeiter des KLIMZUG-Verbundes darum zu bitten, ihre genutzten statistischen Verfahren in einer vorgegebenen Tabelle als eine Art Steckbrief zu beschreiben. Hinzu kamen bald auch Steckbriefe anderer Anpassungsprojekte und Institutionen, die sich mit Klimafolgen beschäftigen.

Die Statistik-Arbeitsgruppe strukturiert die Verfahrensabfrage nach eigenen Erfahrungen, wobei großer Wert auf die Voraussetzungen zur Anwendung, die Bewertung des Verfahrens und auf Anwendungsbeispiele gelegt wird. Es werden folgende Kategorien festgelegt, die in Anpassungsprojekten eine wichtige Rolle spielen:

- Allgemeine statistische Verfahren
- Analyse von Extremwerten
- Auswahlverfahren
- Biaskorrektur
- Interpolationsverfahren
- Kennzahlen
- Raum-Zeit-Analyse
- Räumliche Analyse
- Signifikanzanalyse
- Zeitreihenanalyse

Bei der Zusammenstellung der Steckbriefe wird die Arbeitsgruppe Statistik von Dr. Petra Friederichs und Dr. Manfred Mudelsee fachlich beraten.

Das vorgelegte Dokument enthält die zum jeweiligen Datum eingegangenen, geprüften und editierten Steckbriefe, die einen Überblick über die eingesetzten Verfahren geben und in zukünftigen ähnlichen Fragestellungen unter den aufgelisteten Voraussetzungen genutzt werden können. Gleiche statistische Verfahren mit unterschiedlichen Anwendungen werden jeweils einzeln aufgeführt. Dadurch soll die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Die Sammlung wird weitergeführt und in Abständen aktualisiert veröffentlicht. Daher besteht für alle Leserinnen und Leser die Gelegenheit, noch nicht beschriebene Verfahren oder bereits beschriebene Verfahren mit einem anderen Anwendungsbeispiel einzuschicken. Bei Bedarf können auch neue Kategorien eingeführt werden.

## 2 Begriffsklärung

In der Klima- und Klimafolgenforschung kommen bestimmte Begriffe vor, die hier in ihrer spezifischen Bedeutung erläutert werden sollen.

### **Bandbreite**

Wertebereich, den eine Variable annehmen kann. Die Bandbreite kann unter anderem durch Verwendung unterschiedlicher Klimamodelle (Multi-Modell-Ensemble), durch Rechnen unterschiedlicher Emissionsszenarien mit demselben Klimamodell oder durch Rechnen mehrerer Realisierungen desselben Emissionsszenarios mit demselben Klimamodell zustande kommen.

Die Interpretation der Bandbreite hängt davon ab, mit welcher der genannten Methoden oder Kombinationen davon diese Bandbreite erzeugt wurde.

### **Bias**

Der Bias ist ein systematischer Fehler. Er ist die Differenz zwischen dem Erwartungswert der Schätzung und dem tatsächlich ermittelten Wert einer Variable.

In den hier vorgestellten Anwendungen wird unter Bias meist die Abweichung der Erwartungswerte der Schätzung aus Modelldaten von denen aus Beobachtungsdaten verstanden.

### **Downscaling / Verfeinerung**

Aus grob aufgelösten Ausgangsdaten werden anhand eines mathematischen Verfahrens Daten auf einer feineren Skala ermittelt. Im Unterschied zur Interpolation werden beim Downscaling zusätzlich physikalische Zusammenhänge berücksichtigt.

### **Interpolation**

Aus Daten, die an bestimmten Stützstellen bekannt sind, werden anhand eines mathematischen Verfahrens Daten an Zwischenstellen ermittelt. Die Interpolation liefert umso bessere Ergebnisse, je ‚glatter‘ das Ausgangsfeld ist.

Häufige Anwendungen sind Interpolationen von Daten mit einem zeitlichen oder räumlichen Bezug. Lücken in Zeitreihen können mittels Interpolationsverfahren geschlossen werden. Bei der räumlichen Interpolation werden aus Punktdaten flächenhafte Informationen generiert.

### **Signifikanz**

In der Terminologie der Statistik bedeutet signifikant, dass eine Null-Hypothese (z.B. 'Zwei Zeitreihen sind gleich') mittels einer Teststatistik zu einem vorher festgelegten Irrtumsniveau abgelehnt wird. Ein Signifikanztest kann für viele Verfahren, z.B.

Trendbestimmung durchgeführt werden.

## **Trend**

Ein Trend ist eine langzeitliche Variation in einer Zeitreihe. In der Klimawissenschaft spricht man von einem Trend, wenn in einer Zeitreihe eine zeitliche Veränderung nachweisbar ist (s. Signifikanztest). Ein Trend muss nicht linear sein.

Ein Beispiel wäre eine Klimaänderung welche sich von der natürlichen Klimavariabilität abhebt. Die Feststellung eines Trends sagt noch nichts über dessen Ursache aus.

## **3 Nutzung der vorgestellten Verfahren**

Das vorgestellte Dokument ist kein Statistiklehrbuch und ersetzt auch ein solches nicht (s.a. Literaturverzeichnis). Es soll vielmehr eine Hilfestellung darstellen, um die Entscheidung zu erleichtern, welches statistische Verfahren für welche Fragestellung eingesetzt werden kann, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen und wie es zu bewerten ist. Die Entscheidung zwischen „wähle ich ein einfaches Verfahren“ (bspw. eine lineare Regression für eine Trendbestimmung) oder „muss ich ein aufwändiges Verfahren wählen“ (bspw. eine strukturorientierte Zeitreihenzerlegung mit der Maximum Likelihood Methode) überlassen wir dem geneigten Leser.

Die Personen, die unter der Rubrik Kontakt / Projekt ihre mail-Adresse angegeben haben, können angesprochen werden, um nähere Einzelheiten des dargestellten Verfahrens zu erläutern.

## **4 Steckbriefe statistischer Verfahren**

Die Steckbriefe wurden verfasst von

Katharina Bülow  
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg  
katharina.buelow@bsh.de  
KLIWAS

Norman Dreier  
Universität Rostock, Fachgebiet Küstenwasserbau  
norman.dreier@uni-rostock.de  
KLIMZUG-Projekt RAdOst

Maria Foltyn (ehemals LfULG)  
Technische Universität Bergakademie Freiberg  
foltyn@mailserver.tu-freiberg.de  
KLIMZUG-Projekt REGKLAM

Johannes Franke  
Technische Universität Dresden  
johannes.franke@tu-dresden.de  
KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

Ulf Gräwe  
Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemuende  
ulf.graewe@io-warnemuende.de  
KLIMZUG-Projekt RAdOst

Stephanie Hänsel  
Technische Universität Bergakademie Freiberg  
stephanie.haensel@ioez.tu-freiberg.de  
KLIMZUG-Projekt REGKLAM

Majana Heidenreich  
Technische Universität Dresden  
majana.heidenreich@tu-dresden.de  
KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

Sandra Hellmers  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für Wasserbau  
s.hellmers@tuhh.de  
KLIMZUG NORD

Frank Herrmann  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Bio- und Geowissenschaften  
f.herrmann@fz-juelich.de  
KLIMZUG Nord

Peter Hoffmann  
Universität Hamburg, Meteorologisches Institut  
peter.hoffmann@zmaw.de  
KLIMZUG NORD

Andreas Hoy  
Technische Universität, Bergakademie Freiberg  
andreas.hoy@ioez.tu-freiberg.de  
KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

Nina Hüffmeyer  
Hamburger Stadtentwässerung AöR  
nina.hueffmeyer@hamburgwasser.de  
KLIMZUG NORD

Andreas Kochanowski  
Helmholtz-Zentrum Geesthacht  
Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center  
andreas.kochanowski@hzg.de

Oliver Krüger  
Helmholtz-Zentrum Geesthacht  
Institut für Küstenforschung  
Oliver.krueger@hzg.de

Daniel Leistner  
Technische Universität Bergakademie Freiberg  
Daniel.Leistner@ioez.tu-freiberg.de  
KLIMZUG-Projekt REGKLAM

Christopher Moseley  
MPI für Meteorologie  
Christopher.moseley@zmaw.de  
KLIMZUG NORD; KLIFF

Christoph Mudersbach  
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt  
christoph.mudersbach@uni-siegen.de

Hannaleena Pöhler  
UDATA Umweltschutz und Datenanalyse  
Hydrologie, Klimafolgenforschung, Boden- und Grundwasserschutz  
poehler@udata.de  
KLIMZUG NORD

Markus Qirnbach  
dr. papadakis GmbH, Hattingen  
M.Quirnbach@drpapadakis.de  
KLIMZUG-Projekt DYNAKLIM, ExUS

Diana Rechid  
MPI für Meteorologie  
diana.rechid@zmaw.de  
KLIMZUG NORD

Christian Schlamkow  
Universität Rostock Fachgebiet Küstenwasserbau  
christian.schlamkow@uni-rostock.de  
KLIMZUG RAdOst

Robert Schoetter  
Meteorologisches Institut, Universität Hamburg  
robert.schoetter@zmaw.de  
KLIMZUG NORD

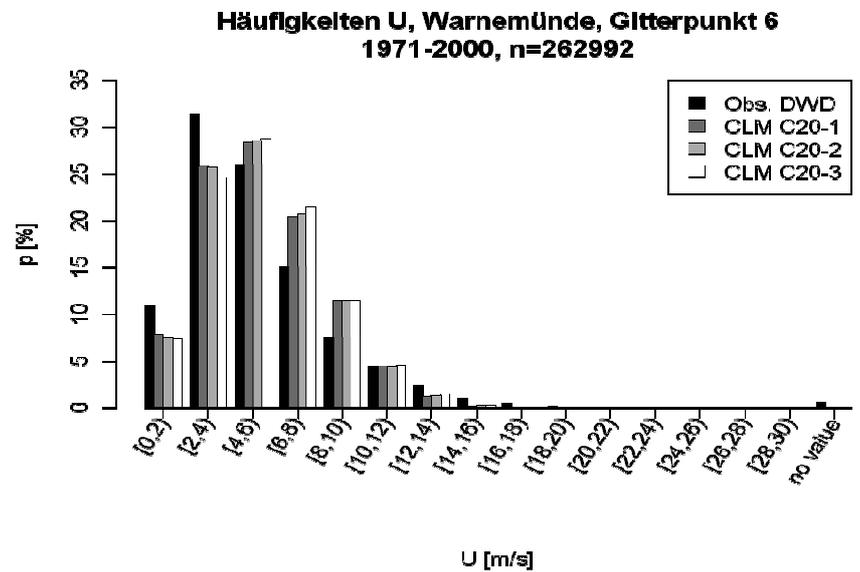
## 4.1 Allgemeine Verfahren

### 4.1.1 Häufigkeitsverteilungen

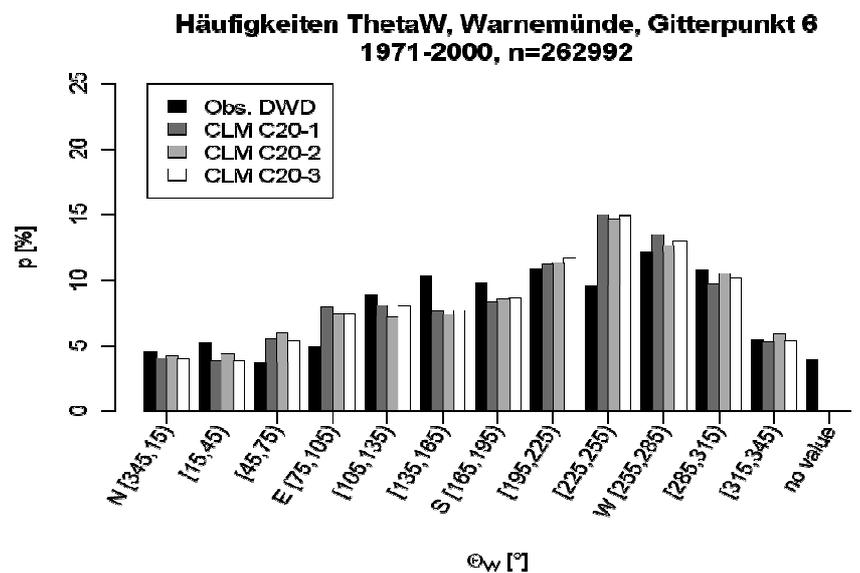
Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Allgemeine statistische Verfahren</b> mit unterschiedlichen Zielsetzungen
Verfahren	Häufigkeitsverteilungen
Beschreibung + Literatur	<p>Ordnen der Daten der Stichprobe nach der Größe, Einteilung in Klassen und Auszählen wie häufig diese in einem definierten Zeitraum vorkommen.</p> <p><i>Sachs L.: Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden, 6. Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 1984, ISBN 3-540-12800-X, S. 46-48.</i>  <i>Plate E.-J.: Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure, Ernst &amp; Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, 1993, ISBN 3-433-01073-0, S.20-22.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	prinzipiell sämtliche Parameter, z.B. hydrografische oder meteorologische Daten, welche sich nach der Größe ordnen lassen (metrische Daten)
Voraussetzungen für Anwendung	Zeitreihen in regelmäßigem Zeitraster
Ergebnis / Interpretation	Ein- oder mehrdimensionale Häufigkeitsverteilungen. Dargestellt werden kann z.B. die absolute oder prozentuale Anzahl einer Größe (z.B. Wellenhöhe) in einer bestimmten Klasse (z.B. Wellenhöhenklasse). Die dargestellte Treppenfunktion kann in eine kontinuierliche Häufigkeitsfunktion (Häufigkeitsdichte) überführt werden. Integriert man letztere erhält man die Summenhäufigkeit der Stichprobe.
Bewertung	Einfaches und sehr anschauliches Verfahren zur statistischen Auswertung von Zeitreihen. Die Wahl der Klassenbreite wirkt sich auf die Darstellung der Treppenfunktion aus. Werden Beobachtungsdaten analysiert ist darauf zu achten eine zusätzliche Klasse für Messfehler vorzusehen, damit die Summe der Häufigkeiten genau 1 bzw. 100% ergibt.
Beispiel / Publikation	<p>Eignung z.B. für die Auswertung von Seegang (Wellenhöhe und -anlaufrichtung) oder Wind (Windgeschwindigkeit und -richtung). Ferner ermöglicht das Verfahren Häufigkeiten aus unterschiedlichen Datenmengen zu vergleichen (z.B. Wind aus Beobachtungs- und Simulationsdaten, siehe Bsp. S. 2)</p> <p><i>Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (2002): Die Küste - EAK 2002: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken, Bd. 65, Westholsteinisch Verlagsanstalt Boyens und Co., Heide i. Holstein. S. 277.</i></p>

Prozentuale Häufigkeiten von Windgeschwindigkeit (a) und richtung (b) aus Simulations- (CLM) und Beobachtungsdaten (DWD) für den Referenzzeitraum 1971-2000, Station Warnemünde [Norman Dreier, Universität Rostock 2011]

a)



b)



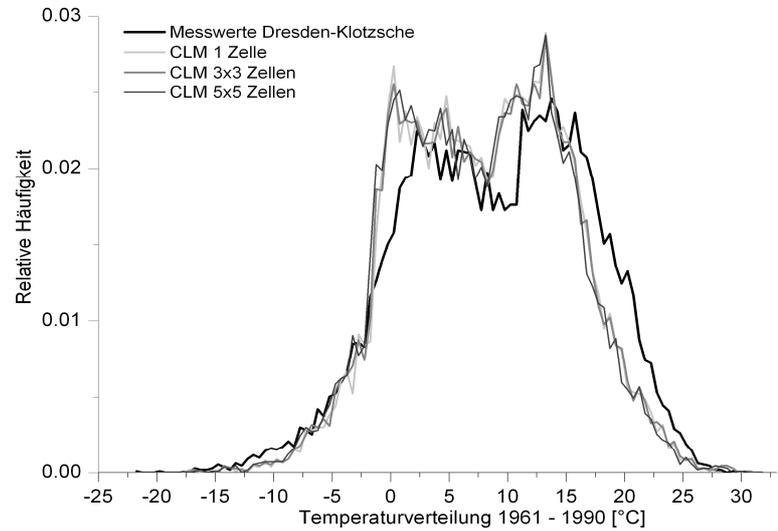
Kontakt / Projekt

Christian Schlamkow, Norman Dreier  
 Universität Rostock, Fachgebiet Küstewasserbau  
 christian.schlamkow@uni-rostock.de  
 norman.dreier@uni-rostock.de  
 KLIMZUG-Projekt RAdOst

## 4.1.2 Relative Häufigkeitsverteilungen

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Allgemeine statistische Verfahren</b>
Verfahren	relative Häufigkeitsverteilungen (deskriptive Statistik)
Beschreibung + Literatur	<p>Ordnen der Daten der Stichprobe nach der Größe, Einteilung in Klassen. Häufigkeit pro Klasse bestimmen und Normierung (durch die Gesamtanzahl der Stichprobe teilen).</p> <p><i>Sachs L.: Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden, 6. Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 1984, ISBN 3-540-12800-X, S. 46-48.</i>  <i>Plate E.-J.: Statistik und angewandete Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure, Ernst &amp; Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, 1993, ISBN 3-433-01073-0, S.20-22.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl.Auflösung)	angewendet auf Temperatur und Niederschlag
Voraussetzungen für Anwendung	Zeitreihen in regelmäßigem Zeitraster
Ergebnis / Interpretation	Relative (prozentuale) Häufigkeit in einer bestimmten Klasse (z. B. Temperatur, Klassenbreite 0,5°C). Die darges tellten Häufigkeiten können in die relativen Summenhäufigkeiten (empirische Verteilungsfunktion) überführt werden.
Bewertung	Einfaches und sehr anschauliches Verfahren zur statistischen Auswertung von Zeitreihen. Die Wahl der Klassenbreite wirkt sich auf die Darstellung der Häufigkeitsverteilung aus (Klassenanzahl in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs). Werden Beobachtungsdaten analysiert ist darauf zu achten eine zusätzliche Klasse für Messfehler vorzusehen, damit die Summe der relativen Häufigkeiten genau 1 bzw. 100% ergibt.
Beispiel / Publikation	<p>Beispiel 1: Vergleich der beobachteten und mit CLM modellierten Häufigkeiten der Tagesmitteltemperatur an der Station Dresden-Klotzsche → „cold“ Bias von CLM für Temperaturen &gt;15°C</p>

Beispiel 2: Vergleich der beobachteten und mit CLM modellierten Häufigkeiten der Tagesmitteltemperatur – mit und ohne räumliche(r) Mittelung → Häufigkeitsverteilung für Dresden-Klotzsche unabhängig von der Anzahl betrachteter Gitterzellen



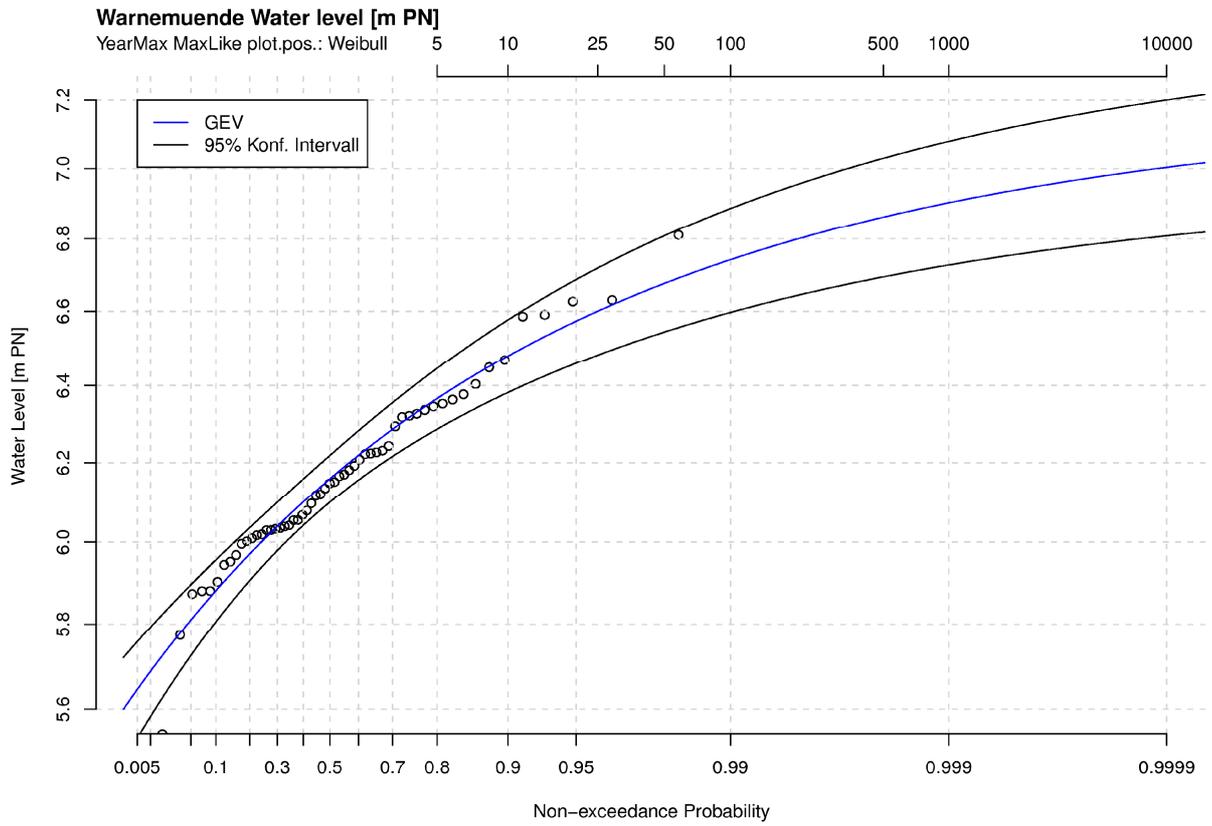
Kontakt / Projekt

Majana Heidenreich  
Technische Universität Dresden  
majana.heidenreich@tu-dresden.de  
KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

## 4.2 Analyse von Extremwerten

### 4.2.1 Anpassung von extremwertstatistischen Verteilungsfunktionen mittels Maximum-Likelihood- oder Momenten-Methode

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Analyse von Extremwerten
Verfahren	Anpassung von extremwertstatistischen Verteilungsfunktionen (z.B. GEV - generalisierte Extremwertverteilung) mittels Maximum-Likelihood- oder Momenten-Methode
Beschreibung + Literatur	<p><u>Momenten-Methode:</u> Ermittlung der Verteilungsparameter durch das 1. Moment (Mittelwert) oder 2. Moment (Varianz) für die jeweilige Verteilung.</p> <p><u>Maximum- Likelihood-Methode:</u> Berechnung der Parameter der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, für welche die Likelihood-Funktion ein Maximum hat.</p> <p><i>Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (2002): Die Küste - EAK 2002: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken, Bd. 65, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens und Co., Heide i. Holstein. S. 285-291.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Stichprobe mit Extremwerten, die zuvor z.B. nach einem Auswahlverfahren (z.B. Block-Maxima- oder POT-Methode) ermittelt wurden
Voraussetzungen für Anwendung	Gleichwertigkeit, Homogenität, Unabhängigkeit und Repräsentanz der Daten
Ergebnis / Interpretation	Anpassungsparameter der jeweiligen Verteilungsfunktion.
Bewertung	<p>Die <u>Momenten-Methode</u> liefert gute Schätzwerte für die Verteilungsparameter, kann aber bei kleinen Stichproben und schiefen Verteilungen zu großen Schätzfehlern (BIAS) führen.</p> <p>Die <u>Maximum- Likelihood-Methode</u> führt zu kleinen Schätzfehlern für die Verteilungsfunktion. Oftmals ist die Berechnung nur numerisch zu lösen.</p>
Beispiel / Publikation	<p>Verteilungsfunktionen extremer signifikanter Wellenhöhen und/oder hoher Wasserstände</p> <p>Generalisierte Extremwertverteilung (GEV) extremer Wasserstände, Pegel Warnemünde Auswahlverfahren: Jahres-Maxima, Plotting-Position nach WEIBULL, Verteilungsfunktion: GEV [Dörte Salecker, Universität Rostock 2011]</p>



Kontakt / Projekt

Christian Schlamkow, Norman Dreier  
 Universität Rostock, Fachgebiet Küstewasserbau  
 christian.schlamkow@uni-rostock.de  
 norman.dreier@uni-rostock.de  
 KLIMZUG-Projekt RAdOst

#### 4.2.2 R-largest in Kombination mit einer GEV

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Analyse von Extremwerten</b> Analyse von Sturmflut-Wasserständen
Verfahren	R-largest in Kombination mit einer GEV
Beschreibung + Literatur	Anwendung der Generalisierten Extremwert-Verteilung auf $r$ Datenpunkte aus einem Block
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Keine Einschränkungen
Voraussetzungen für Anwendung	1. Ereignisse sind unabhängig voneinander 2. die Anzahl ( $r$ ) der Maxima innerhalb eines Blockes muss festgelegt werden
Ergebnis / Interpretation	
Bewertung	- Gut anzuwenden - robust - Es muss kein Grenzwert festgelegt werden
Beispiel / Publikation	<i>Smith, Richard L.: Extreme value theory based on the <math>r</math> largest annual events, Journal of Hydrology 86(1-2), 27–43, 1986</i>  <i>Katz, Richard W, Parlange, Marc B, and Naveau, Philippe: Statistics of extremes in hydrology, Advances in Water Resources 25(8-12), 1287–1304, 2002</i>  <i>Soares, C. G., and Scotto, M. G.: Application of the <math>r</math> largest-order statistics for long-term predictions of significant wave height, Coastal Engineering 51(5-6), 387–394, 2004</i>
Kontakt / Projekt	Ulf Gräwe Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemuende ulf.graewe@io-warnemuende.de KLIMZUG-Projekt RADOST

### 4.2.3 Extremwertanalyse mit Allgemeiner Extremwertverteilung (GEV)

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Analyse von Extremwerten</b>
Verfahren	Extremwertanalyse mit Allgemeiner Extremwertverteilung (GEV)
Beschreibung + Literatur	Bestimmung von der Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Extremwerten (univariate Statistik)
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Monats-/Jahres-Maxima bzw. –Minima, historische Extremereignisse
Voraussetzungen für Anwendung	Stationäre Zeitreihen (evtl. vorherige Trendkorrektur), voneinander unabhängige Daten
Ergebnis / Interpretation	Ergebnis ist eine univariate Wahrscheinlichkeitsverteilung, die eine Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremereignissen ermöglicht.
Bewertung	Bei dem Verfahren ist darauf zu achten, dass die Daten stationäre sind oder zuvor in eine stationäre Zeitreihe überführt werden. Bei starken zeitlichen Trends ist die Aussagekraft der Ergebnisse eingeschränkt.
Beispiel / Publikation	<p><i>Mudersbach, Ch. and Jensen, J. (2009): Extremwertstatistische Analyse von historischen, beobachteten und modellierten Wasserständen an der Deutschen Ostseeküste, Die Küste, Heft 75, Sonderheft MUSTOK, S. 131-162, Boyens Medien GmbH, Heide i. Holstein</i></p> <p><i>Mudersbach, Ch. and Jensen, J. (2010): Non-stationary extreme value analysis of annual maximum water levels for designing coastal structures on the German North Sea coastline, Journal of Flood Risk Management, Vol. 3., Issue 1, pp. 52-62, DOI:10.1111/j.1753-318X.2009.01054.x</i></p>
Kontakt / Projekt	<p>Christoph Mudersbach          Universität Siegen          Forschungsinstitut Wasser und Umwelt          christoph.mudersbach@uni-siegen.de</p>

#### 4.2.4 Instationäre Extremwertanalyse mit Allgemeiner Extremwertverteilung

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Analyse von Extremwerten</b>
Verfahren	Instationäre Extremwertanalyse mit Allgemeiner Extremwertverteilung (GEV)
Beschreibung + Literatur	Bestimmung der zeitlichen Entwicklung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten (Trends) von Extremwerten (univariate Statistik)
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Geeignet für Maxima bzw. –Minima aus Bezugszeiträumen (z.B. Monate oder Jahre), die einen Trend aufweisen
Voraussetzungen für Anwendung	voneinander unabhängige Daten
Ergebnis / Interpretation	Ergebnis ist eine univariate Wahrscheinlichkeitsverteilung, die sich über die Zeit ändert. Bei der Ergebnisdarstellung und -interpretation ist somit entscheidend, dass jeweils ein Zeitbezug mit angegeben wird.
Bewertung	Das Verfahren liefert für trendbehaftete Daten aussagekräftige Ergebnisse zu den zeitlichen Änderungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten. Das zugrunde liegende Trendmodell (z.B. linear, exponentiell) muss auf seine Eignung hin untersucht werden.
Beispiel / Publikation	<i>Mudersbach, Ch. and Jensen, J. (2010): Non-stationary extreme value analysis of annual maximum water levels for designing coastal structures on the German North Sea coastline, Journal of Flood Risk Management , Vol. 3., Issue 1, pp. 52-62, DOI:10.1111/j.1753-318X.2009.01054.x</i>
Kontakt / Projekt	Christoph Mudersbach Universität Siegen Forschungsinstitut Wasser und Umwelt christoph.mudersbach@uni-siegen.de

#### 4.2.5 Multivariate Extremwertanalyse mit Copulas

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Analyse von Extremwerten</b>
Verfahren	Multivariate Extremwertanalyse mit Copulas
Beschreibung + Literatur	Bestimmung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten kombinierter Ereignisse (z.B. Sturmflutscheitel und Intensität bzw. Fülle) mittels Copula-Funktionen
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Wasserstandsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung (z.B. 1 min)
Voraussetzungen für Anwendung	ausreichende Wasserstandsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung
Ergebnis / Interpretation	Ergebnis sind zweidimensionale oder mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Hiermit lassen sich Extremereignisse anhand mehrerer Parameter, z.B. Scheitelwasserstand und Fülle des Hochwasserereignisses, statistisch einordnen.
Bewertung	Das Verfahren eignet sich insbesondere für komplexere hydrologische Bemessungsverfahren und Risikoanalysen.
Beispiel / Publikation	<i>Wahl, T., Jensen, J. and Mudersbach, Ch.: A multivariate statistical model for advanced storm surge analyses in the North Sea, International Conference on Coastal Engineering (2010), Shanghai</i>
Kontakt / Projekt	Christoph Mudersbach Universität Siegen Forschungsinstitut Wasser und Umwelt christoph.mudersbach@uni-siegen.de

## 4.2.6 Überschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederholungszeitspanne

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Analyse von Einzelereignissen (Extremwerte)</b>
Verfahren	Überschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederholungszeitspanne von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen in Fließgewässern bestimmen
Beschreibung + Literatur	<u>Hochwasserstatistiken:</u> Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen; DVWK Merkblatt 251 (1999), Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit, DVWK-Regel 101 (1976), DVWK Regel 121/1992: Niedrigwasseranalyse  <u>Niederschlagsstatistiken:</u> ATV 121 1985: Starkniederschlagshöhen für Deutschland
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Extremwerte von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen mit möglichst hoher zeitlicher Auflösung Niederschlagsereignisse unterschiedlicher Dauerstufen
Voraussetzungen für Anwendung	Ereignisse müssen unabhängig voneinander sein (Einzelereignisse über einen Schwellenwert), zeitlich hochaufgelöste Niederschlagswerte für Spitzenabflusssimulationen: < 1h, Ausreichende Anzahl von Extremereignissen über einen möglichst langen Zeitraum
Ergebnis / Interpretation	Vergleich der Überschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederholungszeitspanne von Hoch- und Niedrigwasserereignissen in den Klimaszenarien  Ermittlung von zeitlichen Trends im Auftreten von Hochwasserereignissen
Bewertung	Etabliertes Standard Verfahren zur Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten ermöglicht den Bezug zu anderen Projekten. Einfaches, praxisbewehrtes Verfahren.
Beispiel / Publikation	<i>Wasserbauschrift Band 13: S. Hellmers: Hydrological Impacts of Climate Change on Flood Probability in Small Urban Catchments and Possibilities of Flood Risk Mitigation, 2010 (Ebook) ISBN 978-3-937693-13-2</i>
Kontakt	Sandra Hellmers Technische Universität Hamburg-Harburg Institut für Wasserbau s.hellmers@tuhh.de KLIMZUG NORD

#### 4.2.7 Schwellenwertstatistik, Empirische Überschreitungswahrscheinlichkeiten

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Analyse von Extremwerten</b> (Verteilung, Extreme, Peak over Threshold – POT)
Verfahren	Schwellenwertstatistik, Empirische Überschreitungswahrscheinlichkeiten
Beschreibung + Literatur	Für ausgewählte Schwellenwerte wird innerhalb einer Zeitscheibe (z. B. 1961–1990, 2021–2050, 2071–2100) die Häufigkeit (empirische Wahrscheinlichkeit) seiner Erreichung bzw. Überschreitung berechnet. Anschließend können verschiedene Zeitscheiben hinsichtlich ihrer Überschreitungswahrscheinlichkeiten verglichen werden  <i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden</i>  <i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2009): Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 1, Rhombos-Verlag Dresden</i>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	verschiedene Klimaparameter wie Niederschlag, Temperatur, Wind, etc. sowie abgeleitete Kenngrößen z. B. Trockenperioden; verwendet für Tagesdaten (prinzipiell sind auch andere zeitliche Auflösungen wie h oder min denkbar)
Voraussetzungen für Anwendung	Als von der Verteilung der Daten unabhängiges Verfahren keinen besonderen Voraussetzungen unterliegend
Ergebnis / Interpretation	Sichtbarmachen von Veränderungen in der Verteilung der Daten sowie der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Extremwerte
Bewertung	einfaches (geringer Rechenaufwand) empirisches Verfahren, v. a. im Hinblick auf die großen Unsicherheiten mit denen die Klimaprojektionen belegt sind sowie ihrer Schwierigkeiten die beobachteten Häufigkeitsverteilungen realistisch wiederzugeben
Beispiel	<i>REGKLAM Heft 1 und 2 (Bernhofer et al., 2009 und 2011)</i>
Kontakt / Projekt	Johannes Franke (TU Dresden), Stephanie Hänsel (TU BA Freiberg) johannes.franke@tu-dresden.de stephanie.haensel@ioez.tu-freiberg.de KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

## 4.3 Auswahlverfahren

### 4.3.1 Block-Maxima

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Auswahlverfahren</b>
Verfahren	Block-Maxima
Beschreibung + Literatur	<p>Verfahren zur Auswahl einer Stichprobe für die Extremwertanalyse. Bei der Methode werden Maximalwerte in einem definierten Zeitraum bestimmt. An die Stichprobe können dann z.B. Extremwertverteilungen angepasst werden.</p> <p><i>Woeste B., Diplomarbeit (2010): Eine Anwendung der Block Maxima Methode im Risikomanagement. Mathematisches Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Alle Parameter mit zeitlich konstanter Auflösung. Bei langen Zeitreihen können längere Zeiträume zur Ermittlung des Maximums herangezogen werden (z.B. Jahresmaxima). Bei kurzen Zeitreihen empfehlen sich kürzere Zeiträume (z.B. Monatsmaxima).
Voraussetzungen für Anwendung	Gleichwertigkeit, Homogenität, Unabhängigkeit und Repräsentanz der Daten
Ergebnis / Interpretation	Stichprobe für die extremwertstatistische Auswertung.
Bewertung	Es werden nur wenige Daten aus der Grundgesamtheit in die Stichprobe übernommen. Je nach Definition des Zeitraums muss die Grundgesamtheit entsprechend groß genug sein. Es ist darauf zu achten, dass die Daten der Stichprobe unabhängig voneinander sind
Beispiel	Angaben über z.B. Jahresmaxima von Wasserständen (entspricht per Definition der Block-Maxima) in der Literatur (z.B. Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Teilbuch Küstengebiet der Nord- und Ostsee. Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten, Schleswig-Holstein, Kiel)
Kontakt / Projekt	Christian Schlamkow, Norman Dreier Universität Rostock, Fachgebiet Küstewasserbau christian.schlamkow@uni-rostock.de norman.dreier@uni-rostock.de KLIMZUG-Projekt RAdOst

### 4.3.2 Peak over Threshold

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Auswahlverfahren</b>
Verfahren	Peak over Threshold (POT)
Beschreibung + Literatur	<p>Verfahren zur Auswahl einer Stichprobe für die Extremwertanalyse. Bei der Methode werden Maximalwerte über einer Schwelle betrachtet. Die Schwelle wird dabei jeweils problemabhängig definiert.</p> <p>Möglichkeiten zur Bestimmung des Schwellwertes sind z.B. der Mean Excess Plot oder der Kolmogorov-Smirnov-Test. An die Stichprobe kann z.B. die generalisierte Paretoverteilung angepasst werden.</p> <p><i>Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T., 1997. Modelling Extremal Events. Vol. 33 of Applications in Mathematics. Springer-Verlag, New York.</i></p> <p><i>Coles, S., 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer-Verlag, London.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Alle Parameter mit zeitlich konstanter Auflösung
Voraussetzungen für Anwendung	Gleichwertigkeit, Homogenität, Unabhängigkeit und Repräsentanz der Daten
Ergebnis / Interpretation	Stichprobe für die extremwertstatistische Auswertung
Bewertung	<p>Die Schwierigkeit bei der Methode besteht in der Wahl des Schwellwertes. Dies entspricht in etwa der Problematik bei der Wahl des Zeitraums für die Block-Maxima-Methode. Auch hier gilt es die Unabhängigkeit der Daten der Stichprobe zu gewährleisten. Hierzu kann beispielsweise ein erforderlicher Zeitabstand zwischen zwei Extremereignissen oder eine untere Schwelle eingeführt werden.</p>
Beispiel	<p>Definitionsmöglichkeiten von POT-Ereignissen am Beispiel von Seegangsdaten finden sich z.B. in:</p> <p><i>Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (2002): Die Küste - EAK 2002: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken, Bd. 65, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens und Co., Heide i. Holstein. S. 283.</i></p> <p><i>Van Vledder, G., Goda, Y., Hawkes, P. J., Mansard, E., Martin, M. J., Mathiesen, M., Peltier, E. and Thompson, E. 1993. A case study of extreme wave analysis : a comparative analysis. WAVES'93, pp. 978-992.</i></p> <p><i>Piscopia, R., Inghilesi, R., Panizzo, A., Corsini, S. and Franco, L. (2002): Analysis of 12-year wave measurements by the italian wave network. In: Smith, J. Mckee. COASTAL ENGINEERING 2002: Solving Coastal Conundrums. Proceedings of the 28th International Conference, Cardiff, Wales, July 2002, pp 121-133.</i></p>

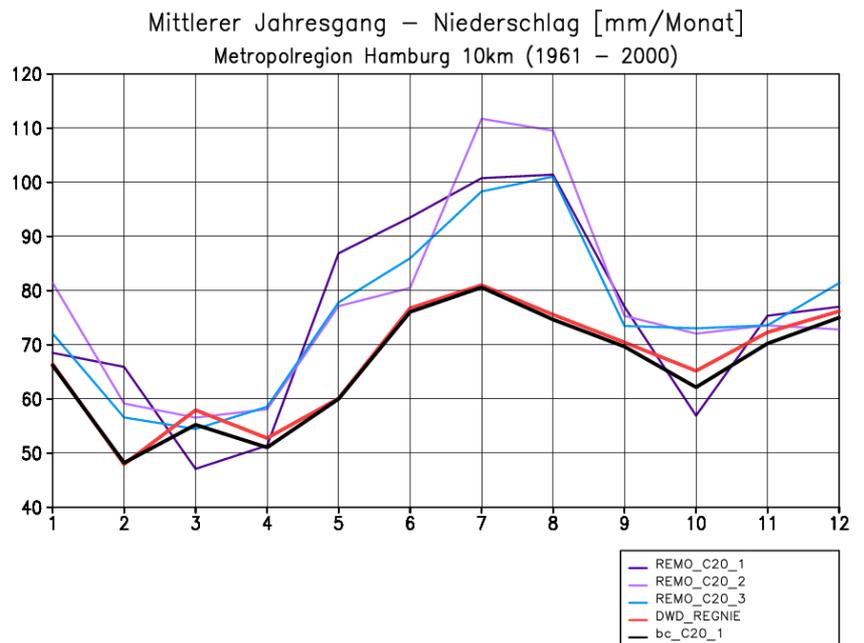
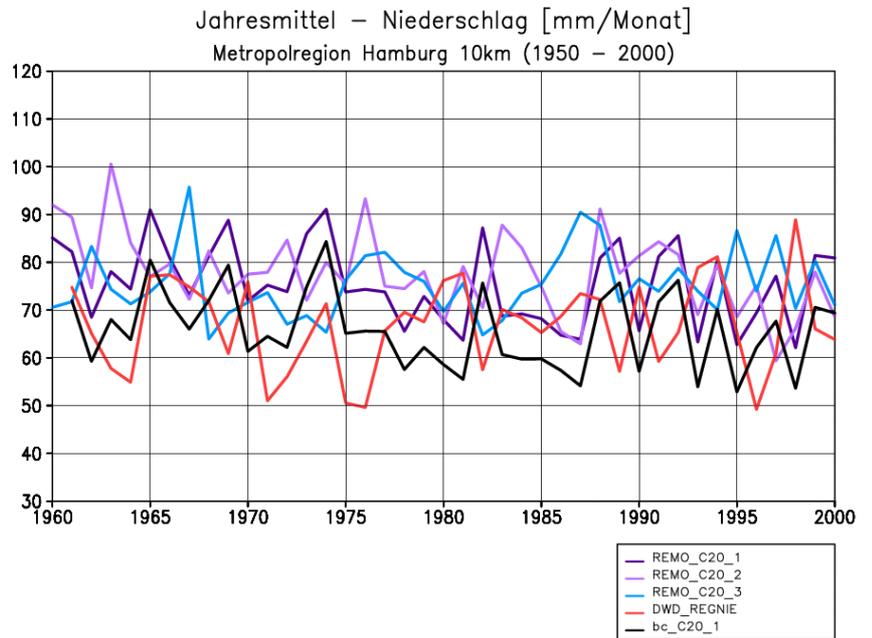
Kontakt / Projekt	Christian Schlamkow, Norman Dreier Universität Rostock, Fachgebiet Küstewasserbau christian.schlamkow@uni-rostock.de norman.dreier@uni-rostock.de KLIMZUG-Projekt RAdOst
-------------------	--

## 4.4 Bias-Korrektur

### 4.4.1 Quantile-Mapping mit Transferfunktion

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Bias-Korrektur</b>
Verfahren	"Quantile-Mapping mit Transferfunktion"
Beschreibung + Literatur	<p>Statistische Korrektur systematischer Abweichungen von Klimamodelldaten mit beobachteten Klimadaten der Vergangenheit zur Anwendung in prozessbasierten Klimaimpaktmodellen</p> <p><i>PIANI, C., G.P. WEEDON, M. BEST, S.M. GOMES, P. VITERBO, S. HAGEMANN, J.O. HAERTER, 2010: Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. Journal of Hydrology. 395, 199-215</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	z. B. Niederschlag, bodennahe Lufttemperatur, Globalstrahlung
Voraussetzungen für Anwendung	Ausreichend guter Beobachtungsdatensatz in täglicher Auflösung und entsprechend hoher räumlicher Auflösung. Zudem sollte der Beobachtungsdatensatz von ausreichender Länge sein, um sicherzustellen, dass der Modell-Bias nicht durch kurzfristige Variabilität zustande kommt.
Ergebnis / Interpretation	Täglich korrigierte Klimaparameter aus REMO- und CLM-Simulationen. Bei der Anwendung auf für die Zukunft projizierte Parameter ist zu beachten, dass das Klimaänderungssignal der Bias-korrigierten Daten von unkorrigierten Daten abweichen kann. Ob dies realistischer ist, kann nicht ausgesagt werden.
Bewertung	Bei der Anwendung Bias-Korrigierter Klimadaten ist zu beachten: 1. Verlust der "modell-internen" Konsistenz verschiedener Klimavariablen untereinander, 2. Mögliche Veränderung des Klimaänderungssignals durch die Bias-Korrektur, 3. Unsicherheiten durch Beobachtungsdaten und Methode (Gegenstand aktueller Forschungen).
Beispiel / Publikation	Bias-Korrektur von Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Gefühlte Temperatur und Abfluss im Rahmen von KLIFF und KLIWAS ( <i>MUDELSEE, M., D. CHIRILA, T. DEUTSCHLÄNDER, C. DÖRING, J.O. HAERTER, S. HAGEMANN, H. HOFFMANN, D. JACOB, P. KRAHÉ, G. LOHMANN, C. MOSELEY, E. NILSON, O. PANFEROV, T. RATH, B. TINZ, 2010: Climate Model Bias Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie. Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft 03/2010.</i>

Beispiel Metropolregion Hamburg: Jahreswerte (oben) und Klimatologie (unten) des Niederschlags simuliert mit REMO in den 3 Realisierungen des Kontrollklimas 1961-2000 sowie Bias korrigierter Niederschlag der 1. Realisierung des Kontrollklimas (bc\_C20\_1) mit REGNIE-Daten des DWD:



Kontakt / Projekt

Diana Rechid; Christopher Moseley  
MPI für Meteorologie  
diana.rechid@zmaw.de, christopher.moseley@zmaw.de  
KLIMZUG NORD; KLIFF

#### 4.4.2 Modifiziertes Quantile-Mapping

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Bias-Korrektur</b>
Verfahren	Modifiziertes Quantile Mapping
Beschreibung + Literatur	Basis: <i>Quantile Mapping nach Piani C., Haerter J. O and Coppala E. (2010). Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. Theor. Appl. Climatol. 99, 187-192.</i>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Niederschlag, Tageswerte; Anwendungen in der Wasser- und Siedlungswasserwirtschaft
Voraussetzungen für Anwendung	Für einen Referenzzeitraum müssen neben den Modelldaten auch Messdaten vorliegen
Ergebnis / Interpretation	Es erfolgt für Tageswerte eine Anpassung an folgende wasserwirtschaftlich relevante Parameter / Kenngrößen: Trockentage / -phasen, Monats- und Jahresniederschlagssummen, Verteilung der Niederschlagsklassen (Tageswerte), Starkregentage. Es erfolgt eine differenzierte Betrachtung für Tagesniederschlagssummen unterhalb und oberhalb des 97%-Quantils. Bis 97%-Quantil: Quantile Mapping, differenziert nach Kalendermonaten; ab 97%-Quantil: Bereichsweise lineare Regression für hydrologische Halbjahre. Für den Gesamtdatensatz gilt: Korrektur um einen „Trockenwert“ zur Unterdrückung sehr kleiner Tagessummen; Zusammenfassung räumlich benachbarter Rasterfelder mit ähnlichen Eigenschaften; gemeinsame Betrachtung von beiden CLM-Realisierungen. Die funktionalen Zusammenhänge des Referenzzeitraum werden auf zukünftige Untersuchungszeiträume übertragen
Bewertung	Im Referenzzeitraum werden alle genannten Parameter / Kenngrößen realitätsnah angepasst. Durch die Anpassung an Punktdaten sind die korrigierten CLM-Daten ebenfalls wie Punktdaten zu interpretieren. Im Hinblick auf die Anwendungen ist dies sinnvoll, da die wasserwirtschaftlichen Modelle bei Messdaten auch auf Punktdaten zurückgreifen. Der räumliche Bezug ist so zu interpretieren, dass die korrigierten CLM-Daten an jedem Punkt innerhalb des CLM-Rasterfeldes auftreten können (vergleichbare Interpretation wie bei KOSTRA-DWD-2000).
Beispiel / Publikation	In 2012 wird im Rahmen der dynaklim-Publikationen eine ausführliche Beschreibung erscheinen: Quirnbach, M., Freistühler, E. (2012): Bias-Korrektur der Niederschlagsdaten aus dem Regionalmodell CLM in der Emscher-Lippe-Region ( <a href="http://www.dynaklim.de">www.dynaklim.de</a> )
Kontakt / Projekt	Markus Quirnbach dr. papadakis GmbH, Hattingen M.Quirnbach@drpapadakis.de KLIMZUG-Projekt DYNAKLIM, ExUS

## 4.5 Downscaling / Verfeinerung

### 4.5.1 Statistisches Downscaling mit linearen statistischen Modellen

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Downscaling / Verfeinerung
Verfahren	Statistisches Downscaling von Klimaprognosen mit Hilfe von linearen statistischen Modellen
Beschreibung + Literatur	<p>Ein statistisches Modell für eine Zielgröße wird erstellt. Diese basiert auf den statistischen Zusammenhang zwischen der Zielgrößen (Predictand) und von der Zielgröße unabhängigen meteorologischen Größen (Predictoren). Die Modellparameter können mit multipler linearer Regression berechnet werden. Hierfür gibt es verschiedene Verfahren (z.B. generalized least squares). Als Datengrundlage dienen dabei Messungen der jeweiligen Größen. Um die Zielgröße in der Zukunft zu bestimmen müssen die unabhängigen Größen aus den Klimamodellen bestimmt werden. Anschließend können diese dann in das statistische Modell eingesetzt werden um die Änderung der Zielgröße durch den Klimawandel zu bestimmen.</p> <p><i>Hoffmann P., Krueger O., Schlünzen K.H. (2011): A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario. International Journal of Climatology (accepted)</i></p> <p><i>Muthers, S.; Matzarakis, A.; Koch, E (2010). Climate Change and Mortality in Vienna—A Human Biometeorological Analysis Based on Regional Climate Modeling. Int. J. Environ. Res. Public Health, 7, 2965-2977</i></p> <p><i>Wilby, R.L. (2008): Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality. Environment and Planning B: Planning and Design, 35, 902-919.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Wärmeinselintensität, Luftqualität, Mortalität
Voraussetzungen für Anwendung	Statistischer Zusammenhang zwischen der Zielgröße und den unabhängigen Größen; es wird angenommen, dass sich dieser Zusammenhang in einen zukünftigen Klima nicht ändert, was oftmals nicht erfüllt sein könnte; Modellparameter müssen mit Beobachtungsdaten bestimmt und wenn möglich auch getestet werden
Ergebnis / Interpretation	Man erhält ein statistisches Modell für die eine Zielgröße. Durch Einsetzen der Klimamodelldaten in die Modellgleichungen kann die Änderung der Zielgröße aufgrund der Klimaänderung bestimmt werden. Da aber das statistische Modell meist nur zum Teil das Verhalten der Zielgröße beschreiben kann, sind die Änderungssignale nur mit Vorsicht zu betrachten.

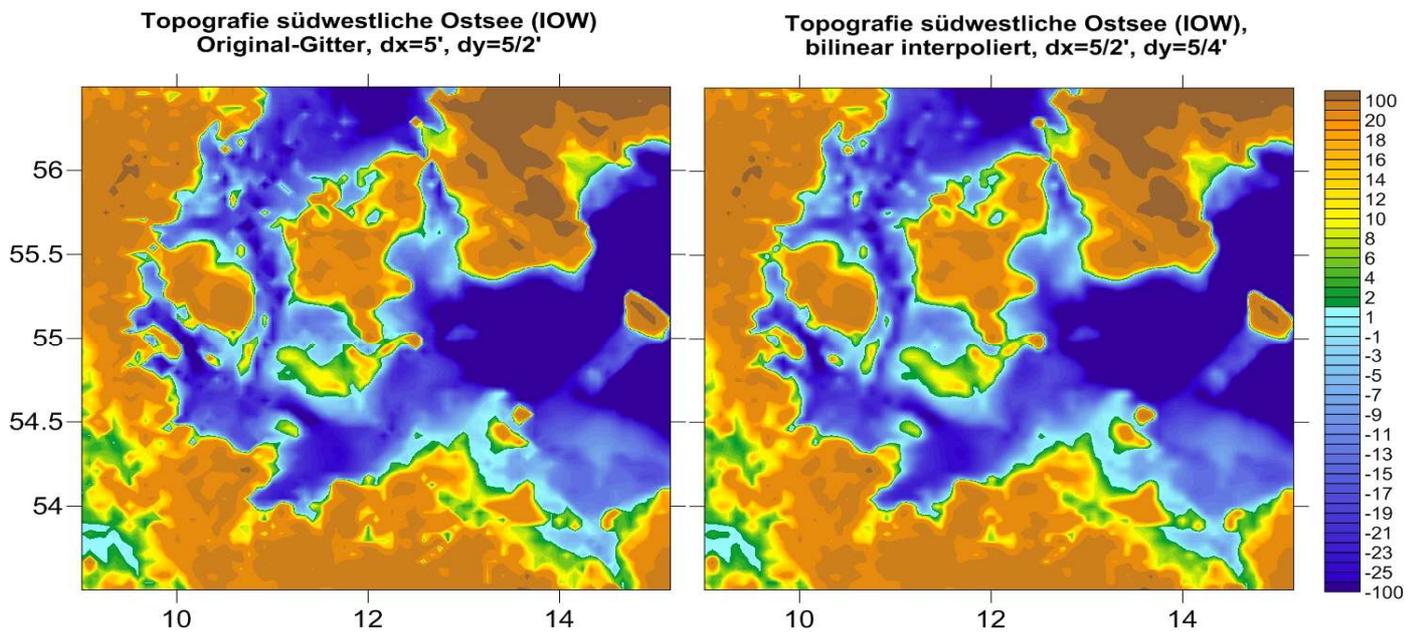
Bewertung	Das Verfahren ist einfach zu programmieren und lässt sich einfach auf Klimamodellergebnisse anwenden. Es benötigt allerdings eine ausreichend große Anzahl von Messdaten
Beispiel / Publikation	<i>Hoffmann et al. (2011) für die städtische Wärmeinsel von Hamburg, Muthers et al. (2010) für Mortalität in Wien, Wilby (2008) städtische Wärmeinsel und Luftqualität in London</i>
Kontakt / Projekt	Peter Hoffmann Universität Hamburg, Meteorologisches Institut peter.hoffmann@zmaw.de KLIMZUG NORD

## 4.6 Interpolationsverfahren

### 4.6.1 Bilineare Interpolation im Rastermodell

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Interpolationsverfahren
Verfahren	Bilineare Interpolation im Rastermodell (Zweidimensionale räumliche Interpolation im Rastermodell)
Beschreibung + Literatur	<p>Zwischen den Punkten des Rasters (Spaltenindex <math>j</math>, Zeilenindex <math>i</math>) werden nach einer festgelegten Startrichtung (in Richtung <math>j</math> bzw. <math>i</math>) die erforderlichen Zwischenwerte durch lineare Interpolation bestimmt. Anschließend erfolgt die Bestimmung der Zwischenwerte in der entgegen gesetzten Richtung (<math>i</math> bzw. <math>j</math>) nach der gleichen Methode.</p> <p><u>Speziell:</u> Halbiert man die Rasterweite des Ausgangsgitters, entsprechen die Zwischenwerte dem arithmetischen Mittel der Nachbarwerte.</p> <p><i>Streit, U.: Vorlesungen zur Geoinformatik, Kap. 7.4.4 Zweidimensionale räumliche Interpolation im Rastermodell, Institut für Geoinformatik der Universität Münster, <a href="http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/kap/kap7/k07_4.htm">http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/kap/kap7/k07_4.htm</a></i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	alle, z.B. Windgeschwindigkeiten über Wasser, Bathymetriedaten (Topografie des Meeresbodens), Temperaturen etc.
Voraussetzungen für Anwendung	zweidimensionales, reguläres Raster keine starken (nichtlinearen) Änderungen der interpolierten Größe im Interpolationsraum, z.B. bei Bathymetriedaten keine Steilwände oder Vorsprünge.
Ergebnis / Interpretation	Es entsteht ein räumlich verfeinertes (alternativ auch gröberes) Raster der betrachteten Größe. Infolge der Interpolation kommt es jedoch zu keinem Informationsgewinn sondern lediglich bei räumlicher Verfeinerung zu einer verbesserten Darstellung. Weiterhin wird die Methode dazu angewendet, Daten auf unterschiedliche Gitterweiten abzubilden, um diese für numerische Simulationen nutzen zu können.
Bewertung	Einfach und schnelle Berechnung da nur arithmetische Grundoperationen verwendet werden. Am Rand des Gitters werden die Daten nur in eine Richtung interpoliert, was jedoch keinen Nachteil darstellt.
Beispiel / Publikation	Räumlich interpolierte Höheninformationen (siehe Seite 2).
Kontakt / Projekt	Christian Schlamkow, Norman Dreier Universität Rostock , Fachgebiet Küstewasserbau <a href="mailto:christian.schlamkow@uni-rostock.de">christian.schlamkow@uni-rostock.de</a> <a href="mailto:norman.dreier@uni-rostock.de">norman.dreier@uni-rostock.de</a> KLIMZUG-Projekt RAdOst

Beispiel: Bathymetrie der südwestlichen Ostsee, bilineare Interpolation von 75 Spalten x 73 Zeilen auf 150 Spalten x 146 Zeilen



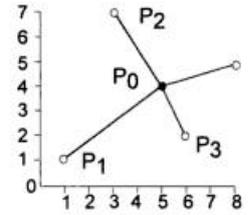
Universität Rostock, 2011

## 4.6.2 Inverse Distance Weighting

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Interpolationsverfahren</b>
Verfahren	Inverse Distance Weighting (IDW) – Umgekehrte Distanzgewichtung
Beschreibung + Literatur	<p>lokal-deterministisches Verfahren Schätzung von Werten zwischen bekannten Datenpunkten Interpolation zwischen (Mess-)Punkten Generierung flächenhafter Information aus Punktdaten</p> $w_i = \frac{1}{d_i^2}$ <p><math>w_i</math> = Gewicht des Punktes <math>d_i^2</math> = Distanz zu <math>z(x)</math></p> $z(x) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i}$ <p><math>z(x)</math> = der zu interpolierende Punkt im Raum <math>z_i</math> = bekannte Wert (z.B. Niederschlagsmenge) an Punkt <math>i</math> <math>w_i</math> = Gewicht</p> <p><i>Hartkamp et al. (1999): Interpolation Techniques for Climate Variables. Geographic Information Systems. Series 99-01.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	punktuell vorliegende Daten im Raum
Voraussetzungen für Anwendung	<p>„ausreichend“ Datenpunkte (auch außerhalb des Betrachtungsgebietes – um Randgebiete zu interpolieren)</p> <p><i>W. Tobler „Erstes Gesetz der Geographie“ „The first law of geography is that everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.“ Tobler 1970 in Abler et al. (1992): Geography’s inner worlds, Pervasive Themes in Contemporary American Geography. New Jersey.</i></p>
Ergebnis / Interpretation	<p>Interpolation durch Mittelwertbildung -&gt; Interpolierte Werte liegen nur im Wertebereich der Messwerte Validierung über „Jack- Knife“ bzw. „Cross Validation“ Methode Hinweis auf entsprechende Steckbriefe, falls vorhanden</p>
Bewertung	Einfache Berechnung aber keine Aussage über Qualität der Interpolation möglich
Beispiel	In GIS Software häufig als Standardverfahren integriert.

$P_i$	$x_i$	$y_i$	$z_i$	$d(P_0, P_i)$	$d^{-1}(P_0, P_i)$	$z_i * d^{-1}(P_0, P_i)$
1	1	1	20	5	0,2	4
2	3	7	10	3,61	0,277	2,77
3	6	2	35	2,24	0,446	15,61
4	8	5	45	3,16	0,316	14,22
$\Sigma$			110		1,259	36,6

arithmetisches Mittel für  $P_0(5,4) = 110/4 = 27,5$   
gewichtetes Mittel für  $P_0(5,4) = 36,6/1,259 = 29,1$



*De Lange, N. (2006<sup>2</sup>): Geoinformatik in Theorie und Praxis, Berlin.*

*Serano et al., K. (2003): Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature, Climate Research, 24, 160-180.*

*Longley et al. (2001): Geographic Information Systems and Science, Chichester.*

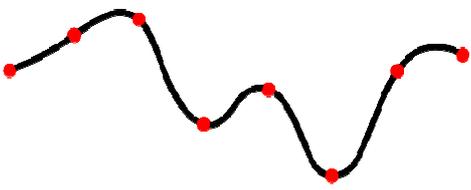
Kontakt / Projekt

Andreas Kochanowski  
Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center  
andreas.kochanowski@hzg.de

### 4.6.3 Lineare Regression mit Residueninterpolation mittels Inverse Distance Weighting

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Interpolationsverfahren</b>
Verfahren	Lineare Regression mit Residueninterpolation mittels (IDW) (Inverse Distance Weighting)
Beschreibung + Literatur	<p>Unter Verwendung eines digitalen Höhenmodells wird für jede Rasterzelle der Schätzwert (Ergebnisfeld A) aus einer für den entsprechenden Zeitraum gültigen Höhenregression berechnet. Diese leitet sich aus den Messwerten der Messstationen und deren zugehörige Seehöhe ab.</p> <p>Zur Erhöhung der Erwartungstreue des Ergebnisses wurden die Residuen (rasterfeldbezogene Differenz aus Messwert der Stützstelle und Ergebnisfeld A) mittels IDW interpoliert (Ergebnisfeld B). Der resultierende Schätzwert errechnet sich durch eine rasterfeldbezogene Addition der korrespondierenden Ergebnisfelder A und B.</p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden</i></p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2009): Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 1, Rhombos-Verlag Dresden</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	angewendet auf verschiedene Klimaelemente, z. B. Temperatur, Niederschlag, Strahlung...
Voraussetzungen für Anwendung	hohe Stationsdichte und digitales Höhenmodell
Ergebnis / Interpretation	Für die entsprechenden stationsbasierten Klimaelemente Raster in der räumlichen Auflösung des Höhenmodells
Bewertung	Vorteil der Berücksichtigung verteilungsrelevanter Abhängigkeiten der Klimaelemente, z. B. Höhenabhängigkeit der Temperatur.
Beispiel	<i>REGKLAM Heft 1 und 2 (Bernhofer et al., 2009 und 2011)</i>
Kontakt / Projekt	Johannes Franke Technische Universität Dresden johannes.franke@tu-dresden.de KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

#### 4.6.4 Splines

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Interpolationsverfahren</b>
Verfahren	Splines
Beschreibung + Literatur	<p>Erstellung einer Oberfläche mit minimaler Krümmung          Interpolation durch Verwendung einer Serie unterschiedlicher Polynome (meist <math>\geq 3</math>. Ordnung) zwischen den einzelnen Datenpunkten</p> <p><i>Burrough &amp; McDonnell (2004): Principles of Geographical Information Systems. Oxford.</i></p> <p><i>Schumacher (2007<sup>3</sup>): Spline Functions: Basic Theory. New York.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	punktuell vorliegende Daten im Raum
Voraussetzungen für Anwendung	„ausreichend“ Datenpunkte (auch außerhalb des Betrachtungsgebietes – um Randgebiete zu interpolieren) W. Tobler „Erstes Gesetz der Geographie“ (siehe Inverse Distance Weighting - Steckbrief)
Ergebnis / Interpretation	<p>Änderung des Funktionswertes einer Stützstelle hat nur lokale Auswirkungen          Erhaltung kleinräumiger Eigenschaften durch stückweise Berechnung          Problem bei scharfen Übergängen/Wechseln z.B. Temperaturinversion, Regenschatteneffekt          Validierung über „Jack- Knife“ bzw. „Cross Validation“ Methode</p>
Bewertung	keine Aussage über Qualität der Interpolation möglich
Beispiel	<p>Splines mit 8 Knoten</p>  <p>Beispielrechnung:  <a href="http://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/kubspline.htm#rechner">http://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/kubspline.htm#rechner</a>          gibt mehrere Abwandlungen z.B. Thin Plate Spline, Cubic Splines          findet bei der Erstellung von digitalen Geländemodellen (DGM/DEM) Anwendung</p>

	<p><i>Tait et al. (2006): Thin plate smoothing spline interpolation of daily rainfall for New Zealand using a climatological rainfall surface. In: International Journal of Climatology, Vol. 26, 2097-2115.</i></p> <p><i>Hong et al. (2005): Spatial interpolation of monthly mean climate data for china. In: International Journal of Climatology, Vol. 25, 1369-1379.</i></p>
Kontakt / Projekt	<p>Andreas Kochanowski  Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center  andreas.kochanowski@hzg.de</p>

#### 4.6.5 Kriging

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Interpolationsverfahren</b>
Verfahren	Kriging
Beschreibung + Literatur	<p>geostatistisches Verfahren jede Fläche besteht aus 3 separaten Komponenten</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trendfläche → genereller Trend</li> <li>2. zufällige Variation → kleine Variation des allgemeinen Trends (autokorreliert)</li> <li>3. zufälliges Rauschen → nicht mit generellen Trend verbunden → nicht autokorreliert</li> </ol> <p>in der Wahrscheinlichkeitstheoretischen Fläche wird räumliche Zusammenhang der Messpunkte betrachtet Wichtung/Gewichtung erfolgt nicht ausschließlich über Distanz sondern die Verteilung im Raum wird berücksichtigt räumliche Struktur der Datengrundlage wird über Semivariogramm ausgedrückt</p> <p><i><a href="http://bfe.hachti.de/kriging/dokumentation.pdf">http://bfe.hachti.de/kriging/dokumentation.pdf</a></i></p> <p><i>Webster &amp;. Oliver (2007<sup>2</sup>): Geostatistics for Environmental Scientists. Chichester.</i></p> <p><i>Stein (1999): Interpolation of Spatial Data: some theory for kriging. New York.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	punktuell vorliegende Daten im Raum
Voraussetzungen für Anwendung	„ausreichend“ Datenpunkte (auch außerhalb des Betrachtungsgebietes – um Randgebiete zu interpolieren) <i>W. Tobler: „Erstes Gesetz der Geographie“</i> (siehe IDW Steckbrief)
Ergebnis / Interpretation	<p><u>Semivariogramm</u>: mit Zunahme der Entfernung zwischen den Punkten steigt auch die Semivarianz Semivariogrammkurve verläuft nie durch Koordinatenursprung (Nugget)</p> <p><u>Ursache</u>: Residuen bzw. das zufällige Rauschen □ Abweichung/Variation zwischen wiederholten Messung am selben Punkt</p> <p>Co-Kriging erlaubt zusätzliche Variable die mit Ausgangsvariable korreliert z.B. Geländehöhe Validierung des Semivarianzmodells über „Cross Validation“ Methode</p>
Bewertung	statistische Ansätze ermöglichen die Wahrscheinlichkeit bzw. die Unsicherheit der Schätzung darzustellen z.B. mean relative error, root mean square error

Beispiel

In GIS Software bzw. in R-Statistics als Verfahren integriert. gibt mehrere Abwandlungen z.B. Co-Kriging, Simply Kriging, Block Kriging, Universal Kriging

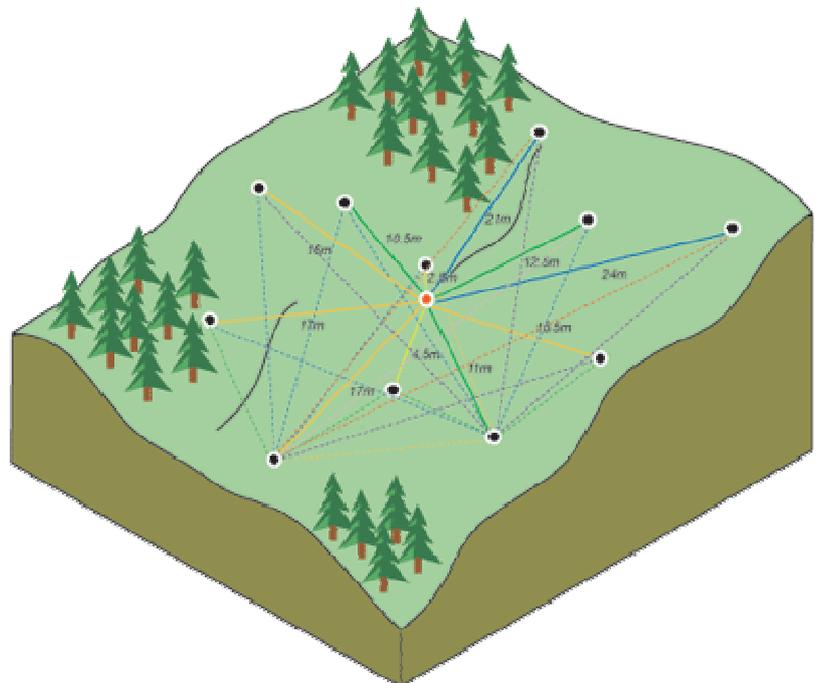
$$Z(s_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

$Z(s_i)$  = gemessene Wert an Ort  $i$

$\lambda_i$  = unbekanntes Gewicht für den gemessenen Wert an Ort  $i$

$s_o$  = der zu schätzende Punkt im Raum

$N$  = Anzahl der Messwerte



© ESRI

*Tobin et al. (2011): Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. In: Journal of Hydrology.*

*Ly et al. (2010): Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. In: Hydrology and Earth System Sciences Discussions, Vol. 7, pp 7383-7416, 27-9-2010.*

Kontakt / Projekt

Andreas Kochanowski  
Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center  
andreas.kochanowski@hzg.de

## 4.7 Kennzahlen

### 4.7.1 Transpirationsdifferenz als Maß für die Standorteignung

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Kennzahlen
Verfahren	Berechnung der Transpirationsdifferenz als Maß für die Standorteignung
Beschreibung + Literatur	<p>Ermittlung der Differenz zwischen potenzieller und realer Transpiration als Maß für die Standorteignung. Sowohl räumliche als auch zeitliche Vergleiche (z. B. Szenarien) sind möglich.</p> <p><u>Literatur:</u> Falk et al. (2008), Hammel und Kennel (2001), Schultze et al. (2005), Pöhler et al. (2010)            Falk, W., Dietz, E., Grünert, S., Schultze, B., Kölling, C. (2008): <i>Wo hat die Fichte genügend Wasser? - Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung</i>; LWF aktuell, 2008.            Hammel, K. U. Kennel, M. (2001): <i>Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90</i>. Forstliche Forschungsberichte München, 185, 135 S.            Pöhler, H., Schultze, B., Scherzer, J. (2010): <i>Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt eines bewaldeten Kleinzugsgebietes im Hochsauerland</i>, Freiburger Forstliche Forschung, in Druck            Schultze B., C. Kölling, C. Dittmar, T. Rötzer, W. Elling (2005): <i>Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung - Regression - Regionalisierung</i>; Forstarchiv 76, 155-163</p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	<p>Potentielle und reale Transpiration            Zeitliche Auflösung: 1 Tag, Vegetationsperiode, 1 Jahr</p>
Voraussetzungen für Anwendung	<p>Wasserhaushaltsmodell (Standortmodell oder Einzugsgebietsmodell), täglich aufgelöste meteorologische Eingangsdaten: Beobachtungsdaten oder Klimaszenarien</p>
Ergebnis / Interpretation	<p>Integraler Indikator für die Interaktion der Faktoren Klima, Boden, Baumart und Bestockungsdichte            Überblick über räumliche Unterschiede            Überblick über mögliche Veränderungen in Zukunft</p>
Bewertung	<p>Die Kennzahl ist gut geeignet, von irreführenden Ergebnissen ist nichts bekannt.</p>

Beispiel / Publikation	<i>Pöhler et al. (2010)</i>
Kontakt / Projekt	Hannaleena Pöhler UDATA Umweltschutz und Datenanalyse Hydrologie, Klimafolgenforschung, Boden- und Grundwasserschutz poehler@udata.de KLIMZUG NORD

#### 4.7.2 Vergleich von Zeitreihen durch Berechnung der Nash-Sutcliffe Modell-Effizienz

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Kennzahlen
Verfahren	Vergleich zwischen simulierten und gemessenen Zeitreihen hydrologischer Größen durch Berechnung der Nash-Sutcliffe Modell-Effizienz (NSE)
Beschreibung + Literatur	Die Nash-Sutcliffe Modell-Effizienz (Nash und Sutcliffe, 1970) ist eine normierte dimensionslose statistische Kennzahl die angibt, wie gut Werte einer beobachteten hydrologischen Größe mit den von einem hydrologischen Modell simulierten Werten übereinstimmen.  <i>Literatur: Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V.: River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles. In: Journal of Hydrology 10 (1970), Nr. 3, S. 282- 290</i>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Abflüsse, Frachten Jahreswerte, Monatswerte, Tageswerte, Stundenwerte
Voraussetzungen für Anwendung	Vollständige (lückenlose) äquidistante Zeitreihen
Ergebnis / Interpretation	Werte kleiner als 0 zeigen an, dass der Mittelwert der beobachteten Größen das System besser kennzeichnet, als die simulierten Größen, was als nicht akzeptable Modell-Effizienz angesehen wird. Ein Wert von 1 bedeutet eine perfekte Abbildung der Realität im Modell. Bei hydrologischen Simulationen sollten Werte größer als 0,5 angestrebt werden.
Bewertung	NSE ist relativ empfindlich gegenüber extremen Modellfehlern. NSE wird als beste objektive Funktion angesehen, um die Anpassung an eine beobachtete Zeitreihe zu bewerten.
Beispiel / Publikation	<i>Moriasi, D. N.; Arnold, J. G.; Liew, M. W. V.; Bingner, R. L.; Harmel, R. D.; Veith, T. L.: Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. In: Transactions of the ASABE 50 (2007), Nr. 3, S. 885-900</i>
Kontakt / Projekt	Frank Herrmann Forschungszentrum Jülich GmbH Institut für Bio- und Geowissenschaften f.herrmann@fz-juelich.de KLIMZUG Nord

### 4.7.3 Vergleich von Zeitreihen hydrologischer Größen durch Percent bias

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Kennzahlen
Verfahren	Vergleich zwischen simulierten und gemessenen Zeitreihen hydrologischer Größen durch Berechnung der Kennzahl Percent bias (PBIAS)
Beschreibung + Literatur	<p>Misst die mittlere Tendenz einer simulierten Größe (Zeitreihe), größer oder kleiner als die entsprechende beobachtete Größe zu sein. Quantifiziert somit die Neigung eines Modells, die Beobachtungen systematisch zu über- oder unterschätzen.</p> <p><u>Literatur:</u> Gupta, H. V.; Sorooshian, S.; Yapo, O. P.: Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. In: Journal of Hydraulic Engineering 4 (1999), Nr. 2, S. 135-143</p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Abflüsse, Frachten Jahreswerte, Monatswerte, Tageswerte, Stundenwerte
Voraussetzungen für Anwendung	Vollständige (lückenlose) äquidistante Zeitreihen
Ergebnis / Interpretation	Der Optimalwert von PBIAS ist 0. Positive Werte zeigen eine Neigung zur Unterschätzung der Beobachtungswerte an, negative Werte eine Überschätzung.
Bewertung	Mit PBIAS kann eine schlechte Leistung des Modells klar erkannt werden. PBIAS variiert innerhalb verschiedener Kalibrierungsperioden (nass, trocken) unterschiedlich stark.
Beispiel / Publikation	Moriasi, D. N.; Arnold, J. G.; Liew, M. W. V.; Bingner, R. L.; Harmel, R. D.; Veith, T. L.: Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. In: Transactions of the ASABE 50 (2007), Nr. 3, S. 885-900
Kontakt / Projekt	Frank Herrmann Forschungszentrum Jülich GmbH Institut für Bio- und Geowissenschaften f.herrmann@fz-juelich.de KLIMZUG Nord

#### 4.7.4 Quantitative Evaluierung von Klimamodellrechnungen in einem Referenzzeitraum

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Kennzahlen
Verfahren	Quantitative Evaluierung von Klimamodellrechnungen in einem Referenzzeitraum
Beschreibung + Literatur	<p>Berechnung von Kennzahlen zur Evaluierung der räumlichen Muster, der Varianz, und der mittleren Jahresgänge einer meteorologischen Größe.</p> <p><u>Literatur:</u>  <i>Keuler, K., A. Block, W. Ahrens, D. Jacob, D. Rechid, L. Kotova, S. Kotlarski, D. Heimann, M. Zemsch, R. Knoche, E. Dittmann, A. Walter, F. Berger, and M. Sommer, 2006: Quantification of uncertainties in regional climate and climate change simulations (QUIRCS).</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Monatswerte von Temperatur, Niederschlag, Bedeckungsgrad, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit.
Voraussetzungen für Anwendung	Verfügbarkeit von Beobachtungsdaten. Ausreichende Integrationszeit des zu evaluierenden Klimamodells (z.B. 30 Jahre Klimaperiode).
Ergebnis / Interpretation	Die Kennzahlen sind teilweise dimensionsbehaftet (z.B. BIAS), teilweise dimensionslos (z.B. Pattern Correlation). Die verschiedenen Kennzahlen haben unterschiedliche Wertebereiche.
Bewertung	Die Kennzahlen erlauben eine objektive Quantifizierung der Güte von Klimamodellrechnungen in einer Referenzperiode. Nicht alle Kennzahlen sind bei allen meteorologischen Größen sinnvoll in der Anwendung: Zum Beispiel ist der Jahresgang der Temperatur in den mittleren Breiten deutlich ausgeprägt. Aus diesem Grund zeigen die Kennzahlen zur Evaluierung des klimatologischen Jahresgangs der Temperatur allgemein gute Werte auf, auch wenn die Klimamodellergebnisse deutlich von den Beobachtungsdaten abweichen.
Beispiel / Publikation	<p><u>Literatur:</u>  <i>Böhm, U., M. Kücken, D. Hauffe, F.-W. Gerstengarbe, P.C. Werner, M. Flechsig, K. Keuler, A. Block, W. Ahrens, and Th. Nocke, 2004: Reliability of regional climate model simulations of extremes and of long-term climate. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, 417-431.</i>  <i>Schoetter, R., P.Hoffmann, D.Rechid, and K.H. Schlünzen, 2011: Evaluation and bias correction of regional climate model results using model evaluation measures. Submitted to Journal of Applied Meteorology and Climatology.</i></p>
Kontakt / Projekt	Robert Schoetter Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Universität Hamburg KLIMZUG-NORD

#### 4.7.5 Häufigkeit von Frosttagen nach Vegetationsbeginn/ zeitlicher Abstand von Terminen des letzten Frosttages und des Vegetationsbeginns

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Kennzahlen
Verfahren	Zählen der Häufigkeit von Frosttagen nach Vegetationsbeginn/ zeitlicher Abstand von Terminen des letzten Frosttages und des Vegetationsbeginns
Beschreibung + Literatur	<p>Landwirtschaftlicher Vegetationsbeginn = Blühbeginn Salweide gemäß Länderinitiative Klimaindikatoren (LIKI) bei Anwendung im Obstbau auch Termin für Beginn der Obstblüte möglich</p> <p>Frosttag = Tag mit Tagesminimumtemperatur &lt;0°C</p> <p>Festlegung eines Beeinflussungszeitraumes nach Vegetationsbeginn, in Anlehnung an Obstblüte 10 d (<i>Chmielewski et al. 2009</i>) → Zählen der Häufigkeiten von Frosttagen. Ggf. Klasseneinteilung nach Froststärke (z.B. &lt;-2 °C), da nicht alle Pflanzen gleich empfindlich</p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Abschätzung der zukünftigen Frostgefährdung in der Landwirtschaft
Voraussetzungen für Anwendung	vorliegende Informationen zum Blühbeginn Salweide, ansonsten Bestimmung des Vegetationsbeginns durch andere Methoden z.B. Temperaturschwellenkriterium
Ergebnis / Interpretation	Spätfrostgefährdung an einem Standort ist umso höher je größer Abstand zwischen Vegetationsbeginn und letztem Frosttag ist und je mehr Frosttage innerhalb eines definierten Zeitraumes nach Vegetationsbeginn auftreten.
Bewertung	liefert grobe Abschätzung auf regionaler Ebene, mikroklimatische Beeinflussung kann nicht erfasst werden, Aussagen zur Gefährdung einzelner Pflanzenarten erfordert genaue Kenntnis zur Frostempfindlichkeit in bestimmten Wachstumsabschnitten
Beispiel	<i>Abschätzung der Spätfrostgefährdung in der Modellregion Dresden (Kapitel Vegetationsperiode und Spätfrostgefährdung in Bernhofer et al. (2011))</i>
Kontakt / Projekt	Maria Foltyn (ehemals LfULG) Technische Universität Bergakademie Freiberg foltyn@mailserver.tu-freiberg.de KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

#### 4.7.6 Abzählmethode zur Bestimmung der thermischen Vegetationsperiode

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	Kennzahlen
Verfahren	Temperaturschwellenkriterium (Abzählmethode) zur Bestimmung der thermischen Vegetationsperiode
Beschreibung + Literatur	<p>Temperaturschwellenkriterium nach Vogel angewandt, wie es u. a. in der sächsischen Klimadatenbank implementiert ist.</p> <p>Beginn: Tagesmitteltemperatur <math>\geq 5</math> °C für 7 aufeinanderfolgende Tage            Ende: Tagesmitteltemperatur <math>&lt; 10</math> °C für 7 aufeinanderfolgende Tage</p> <p>Als Beginn/ Ende der thermischen Vegetationsperiode wird jeweils der letzte dieser aufeinanderfolgenden Tage festgelegt. Ungewöhnlich warme Perioden im Winter können zur Ausgabe eines unplausiblen, deutlich zu zeitigen Vegetationsbeginns führen. Um dem vorzubeugen, wird mit der Zählung erst begonnen, wenn drei aufeinander folgende Monatsmitteltemperaturen 5 °C übersteigen. Der Beginn des Monats vor Erfüllung dieses Zusatzkriteriums ist der Starttag für die Zählung.</p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden</i>  <i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2009): Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 1, Rhombos-Verlag Dresden</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Wasserhaushaltsbetrachtungen, Landwirtschaft, Bilanzierung C-Haushalt
Voraussetzungen für Anwendung	lückenlose Temperaturreihe
Ergebnis / Interpretation	sowohl in Beobachtungsdaten der letzten Jahre als auch in zukünftigen Projektionen besteht eine Vorverlagerung des Vegetationsbeginns und eine Verspätung des Vegetationsendes
Bewertung	relativ unkompliziert in Anwendung, da nur Tagesmitteltemperaturen benötigt, aber z. T. große zwischenjährliche Schwankungen
Beispiel	<i>Kapitel Vegetationsperiode in Bernhofer et al. (2009, 2011)</i>

Kontakt / Projekt

Majana Heidenreich (TU Dresden), Maria Foltyn (ehemals LfULG, jetzt TU BA Freiberg)  
majana.heidenreich@tu-dresden.de, foltyn@mailserver.tu-freiberg.de  
KLIMZUG-Projekt: REGKLAM, TP 2.1

## Evaluierung der Häufigkeitsverteilung durch skill-score und hit-rate of the percentiles

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Kennzahlen</b>
Verfahren	Evaluierung der Häufigkeitsverteilung von Tagesmittelwerten durch Berechnung der Kennzahlen SSC (skill-score) und HRP (hit-rate of the percentiles)
Beschreibung + Literatur	<p>Die Kennzahlen SSC und HRP quantifizieren wie gut simulierte und beobachtete Häufigkeitsverteilungen von Tagesmittelwerten übereinstimmen. Beide Kennzahlen sind dimensionslos und auf den Wertebereich 0-1 normiert.</p> <p><u>Literatur:</u> Perkins, S.E., A.J. Pitman, N.J. Holbrook, and J. McAneney, 2007: Evaluation of the AR4 climate models' simulated daily maximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. <i>J. Climate</i>, 20, 4356-4376.</p> <p>Schoetter, R., P.Hoffmann, D.Rechid, and K.H. Schlünzen, 2011: Evaluation and bias correction of regional climate model results using model evaluation measures. Submitted to <i>Journal of Applied Meteorology and Climatology</i>.</p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Temperatur, relative Feuchte, Wolkenbedeckungsgrad, Windgeschwindigkeit, Tageswerte
Voraussetzungen für Anwendung	Belastbarer Beobachtungsdatensatz für das Gebiet in welchem die Modellevaluierung stattfinden soll, oder für HRP zumindest eine Abschätzung für die Unsicherheit der Beobachtungsdaten.
Ergebnis / Interpretation	<p>SSC misst den Grad des Überlapps der Häufigkeitsverteilungen (0: Häufigkeitsverteilungen disjunkt, 1: Häufigkeitsverteilungen liegen perfekt übereinander), HRP den Anteil der Perzentile welcher innerhalb der Unsicherheit der Beobachtungsdaten liegt.</p> <p>HRP kann daher auch dann den Wert 1 annehmen wenn simulierte und beobachtete Häufigkeitsverteilungen nicht perfekt übereinstimmen</p>
Bewertung	<p>SSC ist sehr robust, der theoretische Wertebereich (0-1) wird in der Praxis aber nur selten ausgeschöpft.</p> <p>HRP ist deutlich empfindlicher.</p>
Beispiel / Publikation	aus Literatur s.o.
Kontakt / Projekt	<p>Robert Schoetter          Meteorologisches Institut, Universität Hamburg          robert.schoetter@zmaw.de          KLIMZUG NORD</p>

## 4.8 Raum-Zeit-Verfahren

### 4.8.1 Objektive Wetterlagenklassifikation mit statistischen Verfahren

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Raum-Zeit-Analyse</b>
Verfahren	Objektive Wetterlagenklassifikation mit statistischen Verfahren
Beschreibung + Literatur	<p>Mit Hilfe von statistischen Verfahren Daten (atmosphärische Felder) in Gruppen eingeteilt werden ohne vorher über die Gruppen Bescheid zu wissen. Huth et al. (2008);</p> <p><i>Huth, R. and Beck, C. and Philipp, A. and Demuzere, M. and Ustrnul, Z. and Cahynova, M. and Kysely, J. and Tveito, O. E., (2008): Classifications of Atmospheric Circulation Patterns, Recent Advances and Applications, Trends and Directions in Climate Research: Ann. N.Y. Acad. Sci. 1146: 105-152</i></p> <p><i>Philipp, A., J. Bartholy, C. Beck, M. Erpicum, P. Esteban, X. Fettweis, R. Huth, P. James, S. Jourdain, F. Kreienkamp, T. Krennert, S. Lykoudis, S. C. Michalides, K. Pianko-Kluczynska, P. Post, D. R. Álvarez, R. Schiemann, A. Spekat and F. S. Tymvios (2010): Cost733cat – A database of weather and circulation type classification. Physics and Chemistry of the Earth, 35, 360-373.</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Bodendruck, Geopotentielle Höhen und andere Größen, wie relative Feuchte, Temperatur, Vorticity, Schichtdicke usw.
Voraussetzungen für Anwendung	Meteorologische Felder sollten auf einem Gitter vorliegen (Reanalysedaten, Klimamodell Daten); ausgewählte Region sollte groß genug sein, um großskalige Phänomene aufzulösen; die Zeitreihe der Felder sollte genügend lang sein (am besten mehr als 30 Jahre bei täglichen Werten)
Ergebnis / Interpretation	Man erhält räumliche Muster (Wetterlagen), sowie eine Zeitserie in der jeder Zeitschritt (häufig 1 Tag) jeweils der am nächsten liegenden Wetterlage zugeordnet wird.
Bewertung	Gut geeignet um Datenmenge zu reduzieren, indem man z.B. nur noch für einzelne Wetterlagen eine Analyse durchführen muss. Berechnung geht meistens schnell. Allerdings müssen das geeignete Gebiet sowie die geeigneten Variablen bestimmt werden. Für Methoden, welche auf k-means basieren, muss zusätzlich noch die optimale Anzahl an Wetterlagen bestimmt werden.
Beispiel / Publikation	Mit Hilfe der in COST733 Software können verschiedenste Methoden zur Bestimmung von Wetterlagen genutzt werden: <a href="http://geo21.geo.uni-augsburg.de/cost733wiki/Cost733Software">http://geo21.geo.uni-augsburg.de/cost733wiki/Cost733Software</a> Literatur: Huth et al. (2008); Philipp et al. (2010)
Kontakt / Projekt	Peter Hoffmann Universität Hamburg, Meteorologisches Institut peter.hoffmann@zmaw.de KLIMZUG NORD

#### 4.8.2 Temperatursummenmethode zur Projektion phänologischer Eintrittstermine

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Raum-Zeit-Verfahren</b>
Verfahren	Temperatursummenmethode zur Projektion phänologischer Eintrittstermine
Beschreibung + Literatur	<p>Berechnung des Eintrittstermins <math>t_2</math> [Tag im Jahr] einer phänologischen Phase durch Aufsummierung von Tagesmitteltemperaturen <math>T_i</math> nach einem Starttag <math>t_1</math> (hier: 1. Januar, <math>T_{iJ} = 1</math>) bis pflanzenabhängige Temperatursumme <math>F^*</math> erreicht ist (Formel 1). Die einfachste Herangehensweise für <math>R_f</math> ist Formel 2. Je nach Untersuchungsgebiet und phänologischer Phase ergibt der nichtlineare Ansatz von Formel 3 geringere Abweichungen zur Beobachtung. <math>T_B</math> ist eine Basistemperatur, ab der ein Temperaturereiz wirksam wird.</p> <p>[ 1] <math display="block">F(t) = \sum_{i=t_1}^t R_f(T_i) \quad \text{mit } F(t_2) = F^*</math></p> <p>[ 2] <math display="block">R_f(T_i) = 0 \quad \text{wenn } T_i \leq T_B</math></p> <p>[ 2] <math display="block">R_f(T_i) = T_i - T_B \quad \text{wenn } T_i &gt; T_B</math></p> <p>[ 3] <math display="block">R_f(T_i) = \frac{28,4}{1 + e^{-0,185 \cdot (T_i - T_B - 18,4)}} \quad \text{wenn } T_i &gt; T_B</math></p> <p>Die Parameter <math>T_B</math>, <math>F^*</math> und ggf. <math>t_1</math>, sollten gebietsbezogen iterativ angepasst werden (RMSE als Fehlermaß). Ferner ist eine Höhenkorrektur nötig.</p> <p><i>Methodik u. a. in Pöhler et al. (2007), Chmielewski et al. (2009)</i></p> <p><i>Chmielewski, F.-M.; Blümel, K.; Henniges, Y.; Müller, A. (2009): Klimawandel und Obstbau in Deutschland. Endbericht des BMBF-Verbundprojekts KliO., Eigenverlag, Humboldt-Universität zu Berlin, 237 S</i></p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden</i></p> <p><i>Pöhler H, Chmielewski F-M, Jasper, K, Henniges Y, Scherzer J (2007): KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe. Weiterentwicklung von WaSiM-ETH: Implikation dynamischer Vegetationszeiten und Durchführung von Testsimulationen für sächsische Klimaregionen. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie</i></p>

Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Übertragung punktueller phänologischer Eintrittstermine (Beobachtung) in die Fläche, ggf. Füllen von Lücken in phänologischen Zeitreihen, Projektion auf Grundlage von Klimamodellen
Voraussetzungen für Anwendung	Möglichst lückenlose, lange Reihen von Eingangsdaten mit guter räumlicher Abdeckung zur Optimierung der Parameter und der internen Validierung, Vorliegen von Temperaturdaten in Tagesauflösung Bei Nutzung von Modellparametern aus Literatur auf Ähnlichkeit zwischen Modellgebiet und Gebiet, für das Parametrisierung vorgenommen wurde
Ergebnis / Interpretation	Abschätzungen der zukünftigen Vegetationsentwicklung sind möglich; Fehlerwerte liegen innerhalb der Standardabweichungen der Beobachtungsdaten, also im akzeptablen Bereich
Bewertung	Bei hier verwendeten Grundgleichungen nur Temperatureingangsdaten benötigt (unaufwendig in Datengrundlage), aber: keine Dormanzbrechung (Erfüllung eines Kältebedürfnisses) berücksichtigt → zukünftige Eintrittstermine, die sehr zeitig im Jahr simuliert werden, sind u.U. pflanzenphysiologisch nicht möglich
Beispiel	<i>Projektion phänologischer Phasen wildwachsender Pflanzen in Modellregion Dresden (Kapitel Phänologie in Bernhofer et al. (2011))</i>
Kontakt / Projekt	Maria Foltyn (ehemals LfULG) Technische Universität Bergakademie Freiberg foltyn@mailserver.tu-freiberg.de KLIMZUG-Projekt REGKLAM

### 4.8.3 Korrelation zweier Variablen (Korrelationskarten)

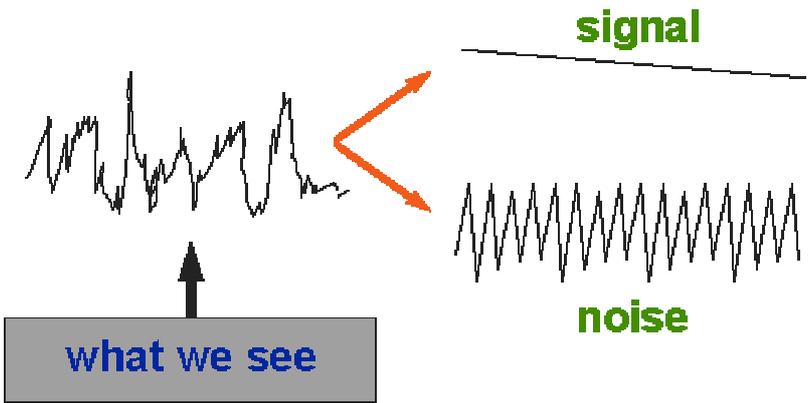
Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Raum-Zeit-Verfahren</b> (Korrelationskarten)
Verfahren	Korrelation zweier Variablen
Beschreibung + Literatur	Korrelation von Zeitreihen atmosphärischer Zirkulation und atmosphärischen Parametern ; z.B.  <i>Sepp M &amp; Jaagus J (2002) Frequency of circulation patterns and air temperature variations in Europe. Bor Env Res 7, 3: 273-279</i>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Zeitreihen von Häufigkeiten atmosphärischer Zirkulation und mittlerem Wert von Klimaparametern (Luftdruck, Temperatur, Niederschlag usw.); zeitliche Auflösung: frei definierbar (eigene Verwendung: monatliche, jahreszeitliche, halbjährliche, jährliche Auflösung)
Voraussetzungen für Anwendung	Lückenlose und möglichst lange und homogene Zeitreihe
Ergebnis / Interpretation	Räumliche Karten diverser Zusammenhänge
Bewertung	Ermöglicht Interpretation von Zusammenhängen auf räumlicher Ebene; Rauschen durch Vergleich von Teilen der Periode (Häufigkeit) mit Mittelwert der kompletten Periode
Beispiel/ Publikation	<i>Sepp und Jaagus 2002; Hoy A, Jaagus J Sepp M, Matschullat J (eingereicht bei TAC): "Spatial response of two European atmospheric circulation classifications (data from 1901 to 2010)"</i>
Kontakt / Projekt	Andreas Hoy Technische Universität, Bergakademie Freiberg andreas.hoy@ioez.tu-freiberg.de KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

## 4.9 Signifikanztest

### 4.9.1 Bootstrap-Hypothesis Test

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Signifikanztest</b>
Verfahren	Bootstrap-Hypothesis Test
Beschreibung +Literatur	<p>Bootstrapping ist in der Statistik eine Methode des Resampling. Dabei werden wiederholt Statistiken auf der Grundlage lediglich einer Stichprobe parametrisch oder nicht-parametrisch berechnet und eine Verteilung dieser erstellt (die sogenannte Nullverteilung).</p> <p>In der Regel wird dabei eine statistische Kennzahl eines Samples mit einer durch Resampling gewonnenen Verteilung der Statistiken verglichen. Dabei wird Signifikanz festgestellt, indem die sample-Statistik mit besonderen Quantilen (je nach Signifikanzlevel) der durch Bootstrapping erstellten Verteilung verglichen wird.</p> <p><i>Climate Time Series Analysis, Mudelsee, 2010, pp 74-7</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl.Auflösung)	Verwendung finden Bootstrap-Methoden, wenn die theoretische Verteilung der interessierenden Statistik unbekannt ist, oder parametrische Verfahren nicht erwünscht sind.
Voraussetzungen für Anwendung	<p>Erstellung einer Nullverteilung ist abhängig von Problemstellung. Im Allgemeinen entspricht die Nullverteilung der Nullhypothese.</p> <p>Es muss darauf geachtet werden, dass bei Erstellung der Nullverteilung die ursprünglichen Eigenschaften der Daten nicht zerstört werden. Beispielsweise muss Autokorrelation berücksichtigt werden. Dafür bieten sich speziellere Formen des Bootstrappings, wie der Block-Bootstrap, an.</p>
Ergebnis Interpretation	Signifikanz einer Statistik kann festgestellt werden (also die Nullhypothese des Signifikanztestes abgelehnt werden), wenn die Teststatistik größer als das Quantil der Nullverteilung ist, das dem Signifikanzlevel entspricht.
Bewertung	Zwar liefert dieses Verfahren Ergebnisse, die wünschenswerterweise unabhängig von teilweise zwingenden Voraussetzungen sind, aber kann auch kompliziert in der Anwendung sein. Zudem kann, je nach Konzept und Umfang der benutzten Bootstrapping-Methode, dieses Verfahren sehr rechenintensiv sein.
Beispiel	Signifikanztest von Korrelationen
Kontakt / Projekt	<p>Oliver Krüger  Helmholtz-Zentrum Geesthacht  Institut für Küstenforschung  Oliver.krueger@hzg.de</p>

## 4.9.2 Trend-Rauschverhältnis

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Signifikanztest</b> für lineare Trends
Verfahren	Trend-Rauschverhältnis – T/R
Beschreibung + Literatur	Prüfung auf Signifikanz durch die Analyse der Stärke des Trendsignals Trend (T) / Standardabweichung(Rauschen) (R) Trend > Standardabweichung(Rauschen) d.h. $T/R > 1$  <i>Schönwiese (2006<sup>4</sup>): Praktische Methoden für Meteorologen und Geowissenschaftler, 232-234. Stuttgart</i>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Daten/Zeitreihen mit einem linearen Trend
Voraussetzungen für Anwendung	(annähernd) normalverteilte Daten linearer Trend lange Zeitreihen ( <a href="http://www.kliwa.de/download/Verfahren.pdf">http://www.kliwa.de/download/Verfahren.pdf</a> )
Ergebnis / Interpretation	$T/R > 1$ d.h. signifikanter Trend von $p = \text{mind. } 70\%$ $p$ bzw. $\alpha$ werden aus Tabelle abgelesen  <i>Schönwiese (2006<sup>4</sup>): Praktische Methoden für Meteorologen und Geowissenschaftler, 98. Stuttgart</i>
Bewertung	einfacher & unkomplizierter Signifikanztest für lineare Trends schwacher Entscheidungstest ( <a href="http://www.kliwa.de/download/Verfahren.pdf">http://www.kliwa.de/download/Verfahren.pdf</a> )
Beispiel	<p><b>What we observe can be divided into:</b></p>  <p><a href="http://www.socialresearchmethods.net/kb/Assets/images/expclas1.gif">http://www.socialresearchmethods.net/kb/Assets/images/expclas1.gif</a></p> <p><i>Schableger (1996): Statistische Analysen klimatologischer Zeitreihen. Historical Social Research, 21, 3, 4-33.</i> <a href="http://hsr-trans.zhsf.uni-koeln.de/hsrretro/docs/artikel/hsr/hsr1996_395.pdf">http://hsr-trans.zhsf.uni-koeln.de/hsrretro/docs/artikel/hsr/hsr1996_395.pdf</a></p>

	<i>Kabas (2005): Das Klima in Südosterreich 1961-2004. Wissenschaftlicher Bericht Nr.4-2005.</i> <i><a href="http://www.uni-graz.at/igam7www_wcv-wissber-nr4-tkabas-okt2005.pdf">http://www.uni-graz.at/igam7www_wcv-wissber-nr4-tkabas-okt2005.pdf</a></i>
Kontakt / Projekt	Andreas Kochanowski Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center <a href="mailto:andreas.kochanowski@hzg.de">andreas.kochanowski@hzg.de</a>

### 4.9.3 Mann-Kendall-Test

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Signifikanz von Trends</b>
Verfahren	Mann-Kendall-Test
Beschreibung + Literatur	Verteilungsunabhängiger Trendtest, bei dem die positive/negative Entwicklung aufeinander folgender Werte betrachtet wird
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Grundsätzlich alle Dauerstufen des Niederschlages; Kennwerte des Niederschlages und der Temperatur
Voraussetzungen für Anwendung	Es müssen mindestens 10 Werte vorliegen
Ergebnis / Interpretation	Änderung eines Parameters über die Zeit mit Angabe der Signifikanz möglich
Bewertung	Die Änderungen können über die Signifikanz oder relativ über den Vergleich mehrerer Untersuchungen (z. B. an verschiedenen Niederschlagsstationen) bewertet werden. Eine praktisch vorstellbare Änderung (z. B. mm/a) liefert dieses Verfahren nicht.
Beispiel / Publikation	ExUS – Studie des Landes NRW (LANUV NRW)
Kontakt / Projekt	Markus Quirnbach dr. papadakis GmbH, Hattingen M.Quirnbach@drpapadakis.de KLIMZUG-Projekt DYNAKLIM, ExUS

## 4.10 Zeitreihenanalyse

### 4.10.1 Strukturorientierte Zeitreihenzerlegung, Maximum Likelihood Methode

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b>
Verfahren	strukturorientierte Zeitreihenzerlegung, Maximum Likelihood Methode
Beschreibung + Literatur	Die Gauss, Gumbel und Weibull Wahrscheinlichkeitsdichte Funktion werden durch 2 zeitlich abhängige Parameter (Mittelwert und Standardabweichung) beschrieben.  <i>Trömel, S. (2004): Statistische Modellierung von Klimazeitreihen, Dissertation, J.W. Goethe Universität Frankfurt am Main, 2004.</i>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Monatsmitteltemperatur und Monatsniederschlagssummen
Voraussetzungen für Anwendung	Lange vollständige Zeitreihe von min. 100 Jahren
Ergebnis / Interpretation	Trendbestimmung des Mittelwerts und der Standardabweichung
Bewertung	Die Methode ist nur möglich, wenn sich die Zeitreihe durch eine Verteilungsfunktion beschreiben lässt, Kolmogoroff Smirnow Test
Beispiel / Publikation	<i>Bülow, K. (2010): Zeitreihenanalyse von regionalen Temperatur- und Niederschlagssimulationen in Deutschland, Dissertation, Uni-Hamburg, Berichte zur Erdsystem Forschung 75, 2010.</i>  <i>Trömel, S. und C.-D. Schönwiese (2007): Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany, Theor. Appl. Climatol., 87, 29--39, doi:10.1007/s00704-005-0230-4.</i>
Kontakt / Projekt	Katharina Bülow Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie katharina.buelow@bsh.de KLIWAS

#### 4.10.1 Lineare Regression

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b> zur Trendbestimmung
Verfahren	Lineare Regression
Beschreibung +Literatur	<p>Beschreibung einer linearen Abhängigkeit einer Variablen von anderen unabhängigen Variablen der Form <math>y=c+ax</math>. Bei linearer Regression wird dabei die Summe der quadratischen Fehler (die Residualvarianz) minimiert. Anschaulich beschrieben bedeutet dies, dass eine Ausgleichsgerade zwischen den Größen eine möglichst gute Anpassung an sämtlich empirisch ermittelte (bzw. gemessene) y-Werte darstellen soll. Die Summe der Quadrate der vertikalen Abweichungen der y-Werte von der geschätzten Gerade soll kleiner sein als die von irgendeiner anderen Geraden.</p> <p>Siehe dazu z.B.: von Storch and Zwiers, <i>Statistical Analysis in Climate Research</i>;  <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression">http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression</a>, ...</p> <p>Generell ist dieses Thema ausführlich in Literatur über die Einführung in die Statistik behandelt.</p>
Geeignet für (Parameter, zeitl.Auflösung)	Variablen, die von anderen Variablen abhängig sind, welche kontinuierlich sind und deren Zusammenhang untereinander linear ist.
Voraussetzungen für Anwendung	<p>Linearer Zusammenhang zwischen abhängiger und unabhängigen Variablen. Unabhängige und normalverteilte Residuen mit konstanter Varianz.          Verletzungen dieser Annahmen führen meist zu falschen Ergebnissen und Schlussfolgerungen.</p> <p>Unbedingt berücksichtigt werden muss, dass die unabhängigen Variablen auch wirklich unabhängig voneinander sind. Je mehr die unabhängigen Parameter korrelieren, desto verfälschter wird das Ergebnis.</p>
Ergebnis Interpretation	Beschreibung des linearen Zusammenhangs durch ermittelte Parameter. Zudem wird in den meisten Statistikprogrammen auch die Signifikanz der Parameter (signifikant unterschiedlich von 0) automatisch ermittelt.
Beispiel	z.B. „ <i>A simple empirical model for decadal climate prediction</i> “ (Krueger, O & J-S von Storch), <i>Journal of Climate</i> , 2011, doi: 10.1175/2010JCLI3726.1
Kontakt / Projekt	Oliver Krüger Helmholtz-Zentrum Geesthacht Institut für Küstenforschung Oliver.krueger@hzg.de

## 4.10.2 Varianzanalyse

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b>
Verfahren	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
Beschreibung +Literatur	<p>Zerlegung der Variabilität einer Variable in Abhängigkeit von verschiedenen Klassen. Dafür wird die zu untersuchende Variable in verschiedene Klassen eingeteilt (abhängig von gewählten Faktoren). Sofern die Faktoren die Variabilität der Variable beeinflussen, ist dies in unterschiedlichen Mittelwerten der einzelnen Faktoren erkennbar. Zudem lässt sich damit auch entscheiden, ob die Variabilität durch bekannte Gründe (die Faktoren) oder unerklärte Gründe verursacht werden. Es gibt mehrere Unterarten der Varianzanalyse. Gemein ist ihnen jedoch, dass für jede Gruppe an Faktoren eine Teststatistik berechnet wird, die das Verhältnis von erklärter zu unerklärter Varianz beschreibt. Diese folgt einer zentrierten F-Verteilung mit 2 Freiheitsgraden. Unter den gewählten Null Hypothesen (in der Regel, dass es keinen Unterschied zwischen den Untergruppen der einzelnen Faktoren gibt) nutzt man die Teststatistik um sie mit dieser F-Verteilung zu vergleichen und erhält die Wahrscheinlichkeit P ein Varianzverhältnis zu finden, das mindestens genauso hoch ist wie die berechnete Teststatistik. Wenn P sehr klein ist (kleiner als das gewählte Signifikanzlevel), wird die einzelne Nullhypothese abgelehnt.</p> <p>Siehe dazu z.B.: von Storch and Zwiers (1999) Generell ist dieses Thema ausführlich in Literatur über die Einführung in die Statistik behandelt.</p>
Geeignet für (Parameter, zeitl.Auflösung)	Variablen, die von anderen Variablen abhängig sind, welche aber faktorisiert sind. Die Varianzanalyse beschreibt diese Abhängigkeit.
Voraussetzungen für Anwendung	<p>Faktorisierte/kategorisierte Variablen! Die einzelnen Gruppen sollten zudem gleiche Gruppengrößen haben.</p> <p>Es wird angenommen, dass die untersuchte Variable einer Normalverteilung folgt mit identischer Varianz. Zudem wird angenommen, dass die einzelnen Realisationen unabhängig voneinander sind.</p>
Ergebnis Interpretation	Bestimmung, ob es signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Gruppen einer kategorisierten Variable gibt.
Beispiel	z.B. <a href="http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2011JCLI3913.1">http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2011JCLI3913.1</a>
Kontakt / Projekt	Oliver Krüger Helmholtz-Zentrum Geesthacht Institut für Küstenforschung, Oliver.krueger@hzg.de

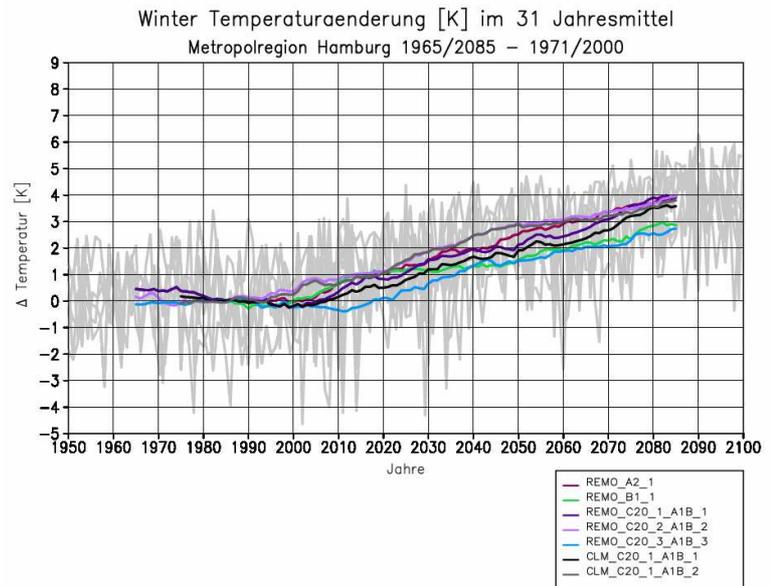
### 4.10.3 Gleitendes Mittel

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b> zur Trendbestimmung
Verfahren	Gleitendes Mittel
Beschreibung + Literatur	Bildung arithmetischer Mittelwerte von zeitlich aufeinander folgenden Datenpunkten
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Hier: Überstau-/Überlaufhäufigkeit und –mengen, zeitliche Auflösung beliebig
Voraussetzungen für Anwendung	lückenlose Zeitreihe
Ergebnis / Interpretation	Reduziert Variabilität und erlaubt so Untersuchung von Trends
Bewertung	schnelle und einfache Anwendung zur Untersuchung von Zeitreihen
Beispiel / Publikation	<i>Kuchenbecker et al., KA 2010</i>
Kontakt / Projekt	Nina Hüffmeyer Hamburger Stadtentwässerung AöR nina.hueffmeyer@hamburgwasser.de KLIMZUG-NORD

#### 4.10.4 Methode gleitender Mittelwerte

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b> allgemein
Verfahren	Methode gleitender Mittelwerte
Beschreibung + Literatur	Berechnung fortlaufender 10 bzw. 11-Jahresmittel sowie fortlaufender 30- bzw. 31-Jahresmittel transienter Zeitreihen simulierter Klimaparameter (Anmerkung: Bei der Abbildung der fortlaufenden Mittel auf den mittleren Zeitpunkt des gemittelte Zeitintervalls ist die Verwendung von 11- und 31- Jahresmittel sinnvoll)
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Beliebige Parameter in monatlicher, saisonaler und jährlicher Auflösung
Voraussetzungen für Anwendung	Ausreichend lange lückenlose Zeitreihen
Ergebnis / Interpretation	Die Darstellung der Zeitreihen als gleitende 10- bzw. 11-Jahresmittel ermöglicht die Visualisierung der dekadischen Variabilität. Die Darstellung der Zeitreihen als gleitende 30- bzw. 31-Jahresmitte ermöglicht die Bestimmung der Bandbreite der Klimaänderung.
Bewertung	Einfache, schnelle Auswertung und Visualisierung
Beispiel / Publikation	<p><i>Jacob D, Göttel H, Kotlarski S, Lorenz P, Sieck K (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland mit dem Klimamodell REMO. Forschungsbericht 204 41 138 Teil 2, i.A. des UBA Dessau</i></p> <p><i>Jacob D, Bülow K, Kotova L, Moseley C, Petersen J, Rechid D: Regionale Klimasimulationen für Europa und Deutschland – in Vorbereitung</i></p> <p>Beispiel 1: Projizierte Änderung der Temperatur im Winter in der Metropolregion Hamburg simuliert mit REMO und CLM im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 dargestellt im gleitenden 11-Jahresmittel</p> <p>Sommer Temperatureänderung [K] im 11 Jahresmittel Metropolregion Hamburg 1955/2095 – 1971/2000</p> <p>Legend:  REMO_A2_1  REMO_B1_1  REMO_C20_1_A1B_1  REMO_C20_2_A1B_2  REMO_C20_3_A1B_3  CLM_C20_1_A1B_1  CLM_C20_1_A1B_2</p>

Beispiel 2: Projizierte Änderung der Temperatur im Winter in der Metropolregion Hamburg simuliert mit REMO und CLM im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 dargestellt im gleitenden 31-Jahresmittel und grau hinterlegt mit den 1-Jahreswerten der verschiedenen Szenarien und Realisierungen



Kontakt / Projekt

Diana Rechid  
MPI für Meteorologie  
diana.rechid@zmaw.de  
KLIMZUG NORD

#### 4.10.5 Numerische Filterung: Hoch-, Tief- und Bandpassfilterung

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b>
Verfahren	Numerische Filterung: Hoch-, Tief- und Bandpassfilterung (Filtergewichte z.B. aus der Gauß'schen standardisierten Normalverteilung)
Beschreibung + Literatur	Darstellung kurz- und langfristiger Schwankungen (verschiedener Perioden) in Zeitreihen  Numerische Filterung ist beispielweise anschaulich beschrieben bei:  <i>C.-D. Schönwiese. Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart: 1985</i>  Eine R-Funktion zur Berechnung der gefilterten Zeitreihe kann auf Anfrage bereitgestellt werden
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Hydrologischen Zeitreihen (Niederschlag, Verdunstung, Abflusskomponenten, etc.) Jahreswerte, Monatswerte, Tageswerte, Stundenwerte
Voraussetzungen für Anwendung	Vollständige (lückenlose) äquidistante Zeitreihe
Ergebnis / Interpretation	Ergebnis ist eine gefilterte Zeitreihe, die die kurz-/langfristigen Schwankungen der ursprünglichen Zeitreihe zeigt.
Bewertung	Tiefpassfilter zeigt besser als gleitender Mittelwerte die langfristigen Schwankungen.
Beispiel / Publikation	<i>W. Roedel u. T. Wagner: Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre, 4th ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, auf S. 177</i>
Kontakt / Projekt	Frank Herrmann Forschungszentrum Jülich GmbH Institut für Bio- und Geowissenschaften f.herrmann@fz-juelich.de KLIMZUG Nord

#### 4.10.6 Vergleich verschiedener Zeitscheiben hinsichtlich ihrer Mittelwerte, Variabilität und/oder Verteilung

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b> (Trends)
Verfahren	Zeitscheibendifferenz → Vergleich von „Zukunftszeitscheiben“ in den Projektionen (z. B. 2021–2050, 2071–2100) mit den in der Referenzperiode (z. B. 1961–1990) modellierten bzw. beobachteten Werten bzw. Verteilungen
Beschreibung + Literatur	Vergleich verschiedener Zeitscheiben hinsichtlich ihrer Mittelwerte, Variabilität und/oder Verteilung  Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden  Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2009): Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 1, Rhombos-Verlag Dresden
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Geeignet für verschiedener Klimaparameter wie Niederschlag, Temperatur, Wind, etc. sowie abgeleiteter Kenngrößen z. B. klimatologische Kenntage. Prinzipiell für alle zeitlichen Auflösungen möglich.
Voraussetzungen für Anwendung	Verglichene Zeitscheiben sollten gleich viele Jahre umfassen und lang genug zur statistischen Beschreibung des Klimas sein (möglichst 30a)
Ergebnis / Interpretation	Klimaänderungssignale sichtbar machen
Bewertung	Durch die Darstellung relativer Änderungssignale (Bezug zur Referenz des Modells anstelle zu den Beobachtungswerten) werden die Trends von Modellen mit unterschiedlichem systematischen Fehler (Bias) vergleichbar
Beispiel	REGKLAM Heft 1 und 2 (Bernhofer et al., 2009 und 2011)
Kontakt / Projekt	Majana Heidenreich (TU Dresden), Stephanie Hänsel (TU BA Freiberg) majana.heidenreich@tu-dresden, stephanie.haensel@ioez.tu-freiberg.de KLIMZUG-Projekt: REGKLAM

#### 4.10.7 Gleitender Mittelwert

Übergeordnetes Ziel (Kategorie)	<b>Zeitreihenanalyse</b> (Trends)
Verfahren	Gleitender Mittelwert
Beschreibung + Literatur	<p>einfache Trendschätzung mit Hilfe gleitender Mittelwerte</p> <p><i>J.-P. Kreiß &amp; G. Neuhaus (2006): Einführung in die Zeitreihenanalyse, Springer-Verlag.</i></p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden</i></p> <p><i>Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg. 2009): Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 1, Rhombos-Verlag Dresden</i></p>
Geeignet für (Parameter, zeitl. Auflösung)	Monats- und Jahreswerte von Temperatur, Niederschlag, Strahlung u. a. meteorologischen Größen, Abflüsse
Voraussetzungen für Anwendung	lange lückenlose Zeitreihen; hier >100 Jahre
Ergebnis / Interpretation	Reduzierung der Variabilität □ Visualisierung von Trends
Bewertung	Einfaches schnelles Verfahren
Beispiel / Publikation	<p>Zentrierte/symmetrische 11jährig gleitende Mittelwerte</p> <p><i>REGKLAM Heft 1 und 2 (Bernhofer et al., 2009 und 2011)</i></p>

Kontakt / Projekt	Majana Heidenreich (TU Dresden), Daniel Leistner (TU BA Freiberg), Andreas Hoy (TU BA Freiberg) majana.heidenreich@tu-dresden.de daniel.leistner@ioez.tu-freiberg.de andreas.hoy@ioez.tu-freiberg.de KLIMZUG-Projekt: REGKLAM
-------------------	---

## Literatur

Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg.) (2009): *Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 1, Rhombos-Verlag Dresden*

Bernhofer C, Matschullat M, Bobeth A (Hrsg.) (2011): *Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, Heft 2, Rhombos-Verlag Dresden*

Bülow, K. (2010): *Zeitreihenanalyse von regionalen Temperatur- und Niederschlags-simulationen in Deutschland, Dissertation, Uni-Hamburg, Berichte zur Erdsystem Forschung 75, 2010.*

Burrough & McDonnell (2004): *Principles of Geographical Information Systems. Oxford.*

Chmielewski, F.-M.; Blümel, K.; Henniges, Y. und Müller, A. (2009): *Klimawandel und Obstbau in Deutschland. Endbericht des BMBF-Verbundprojekts KliO., Eigenverlag, Humboldt-Universität zu Berlin, 237 S.*

Clarke & Warwick, (2001): *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. PRIMER-E, Plymouth, UK, 172 S.*

Coles, S., (2000). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer-Verlag, London.*

DVWK Merkblatt 251 (1999), *Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. ATV-DVWK-Regelwerk, DVWK, Bonn.*

DVWK-Regel 101 (1976) *Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit, DVWK, Bonn.*

DVWK Regel 121 (1992): *Niedrigwasseranalyse Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits, DVWK, Bonn.*

Embrechts, P., Klüppelberg, C. und Mikosch, T. (1997): *Modelling Extremal Events. Vol. 33 of Applications in Mathematics. Springer-Verlag, New York, 648 S.*

Falk, W., Dietz, E., Grünert, S., Schultze, B. und Kölling, C. (2008): *Wo hat die Fichte genügend Wasser? - Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung; LWF aktuell, 2008.*

Gupta, H. V.; Sorooshian, S. und Yapo, O.P. (1999).: *Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. In: Journal of Hydraulic Engineering 4, Nr. 2, S. 135-143*

Hammel, K. und Kennel, M. (2001): *Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90*. Forstliche Forschungsberichte München, 185, 135 S.

Hartkamp et al. (1999): *Interpolation Techniques for Climate Variables*. Geographic Information Systems. Series 99-01.

Hellmers, S. (2010): *Hydrological Impacts of Climate Change on Flood Probability in Small Urban Catchments and Possibilities of Flood Risk Mitigation*, ISBN 978-3-937693-13-2, Wasserbauschrift Band 13.

Hoffmann, P., Krüger, O., Schlünzen, K.H. (2011): *A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario*. *International Journal of Climatology* (accepted).

Hong et al. (2005): *Spatial interpolation of monthly mean climate data for china*. In: *International Journal of Climatology*, Vol. 25, 1369-1379.

Huth, R. and Beck, C. and Philipp, A. and Demuzere, M. and Ustrnul, Z. and Cahynova, M. and Kysely, J. and Tveito, O. E., (2008): *Classifications of Atmospheric Circulation Patterns, Recent Advances and Applications, Trends and Directions in Climate Research: Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1146: 105-152

Jacob D, Göttel H, Kotlarski S, Lorenz P, Sieck K (2008): *Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland mit dem Klimamodell REMO*. Forschungsbericht 204 41 138 Teil 2, i.A. des UBA Dessau

Jacob D, Bülow K, Kotova L, Moseley C, Petersen J, Rechid D: *Regionale Klimasimulationen für Europa und Deutschland - Eine Übersicht und Einführung. – in Vorbereitung*

Kabas (2005): *Das Klima in Südosterreich 1961-2004. Wissenschaftlicher Bericht Nr.4-2005*.  
[http://www.uni-graz.at/igam7www\\_wcv-wissber-nr4-tkabas-okt2005.pdf](http://www.uni-graz.at/igam7www_wcv-wissber-nr4-tkabas-okt2005.pdf)

Katz, Richard W, Parlange, Marc B, and Naveau, Philippe (2002): *Statistics of extremes in hydrology*, *Advances in Water Resources* 25(8-12), 1287–1304

Keuler, K., A. Block, W. Ahrens, D. Jacob, D. Rechid, L. Kotova, S. Kotlarski, D. Heimann, M. Zemsch, R. Knoche, E. Dittmann, A. Walter, F. Berger, and M. Sommer, (2006): *Quantification of uncertainties in regional climate and climate change simulations (QUIRCS)*.

Kreiß, J.-P., G. Neuhaus, (2006): *Einführung in die Zeitreihenanalyse*, Springer-Verlag.

Krüger, O u. J-S von Storch,(2011): *A simple empirical model for decadal climate prediction*, *Journal of Climate*, doi: 10.1175/2010JCLI3726.1.

Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (2002): *Die Küste - EAK 2002: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken*, Bd. 65,

Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens und Co., Heide i. Holstein. S. 285-291.  
Leander, R., T. Adri Buishand (2007): Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows; *Journal of Hydrology* 332, 487-496  
Leps & Smilauer, 2003: *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*.

Longley et al. (2001): *Geographic Information Systems and Science*, Chichester.  
Tobin et al. (2011): Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. In: *Journal of Hydrology*.

Ly et al. (2010): Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. In: *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 7, pp 7383-7416, 27-9-2010.

Marques, J. C., Salas, F., Patricio, J., Teixeira, C. M., & Neto, J. M. (2009). *Ecological indicators for Coastal and estuarine environmental assessment - a user guide*. WIT Press.

McCune, B. and M. J. Mefford. (1999): *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.0*. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon. 237 pp.

Moriasi, D. N.; Arnold, J. G.; Liew, M. W. V.; Bingner, R. L.; Harmel, R. D.; Veith, T. L. (2007): *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*. In: *Transactions of the ASABE* 50, Nr. 3, S. 885-900  
Mudelsee, M., *Climate Time Series, Analysis*, 2010, pp 74-77.

MUDELSEE, M., D. CHIRILA, T. DEUTSCHLÄNDER, C. DÖRING, J.O. HAERTER, S. HAGEMANN, H. HOFFMANN, D. JACOB, P. KRAHÉ, G. LOHMANN, C. MOSELEY, E. NILSON, O. PANFEROV, T. RATH, B. TINZ, (2010): *Climate Model Bias Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie*. *Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft* 03/2010.

Mudersbach, Ch. and Jensen, J. (2009): *Extremwertstatistische Analyse von historischen, beobachteten und modellierten Wasserständen an der Deutschen Ostseeküste, Die Küste, Heft 75, Sonderheft MUSTOK, S. 131-162, Boyens Medien GmbH, Heide i. Holstein*

Mudersbach, Ch. and Jensen, J. (2010): *Non-stationary extreme value analysis of annual maximum water levels for designing coastal structures on the German North Sea coastline, Journal of Flood Risk Management , Vol. 3., Issue 1, pp. 52-62, DOI:10.1111/j.1753-318X.2009.01054.x*

Muthers, S.; Matzarakis, A.; Koch, E (2010). *Climate Change and Mortality in Vienna—A Human Biometeorological Analysis Based on Regional Climate Modeling*. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7, 2965-2977.

Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V.(1970): *River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles*. In: *Journal of Hydrology* 10, Nr. 3, S. 282- 290

Philipp, A., J. Bartholy, C. Beck, M. Erpicum, P. Esteban, X. Fettweis, R. Huth, P. James, S. Jourdain, F. Kreienkamp, T. Krennert, S. Lykoudis, S. C. Michalides, K. Pianko-Kluczynska, P. Post, D. R. Álvarez, R. Schiemann, A. Spekat and F. S.

Tymvios (2010): Cost733cat – A database of weather and circulation type classification. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 360-373.

Piani, C., G.P. Weedon, M. Best, S.M. Gomes, P. Viterbo, S. Hagemann, J.O. Haerter, (2010): Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*. 395, 199-215.

Piscopio, R., Inghilesi, R., Panizzo, A., Corsini, S. and Franco, L. (2002): Analysis of 12-year wave measurements by the Italian wave network. In: Smith, J. Mckee. COASTAL ENGINEERING 2002: Solving Coastal Conundrums. Proceedings of the 28th International Conference, Cardiff, Wales, July 2002, pp 121-133.

Plate E.-J.(1993): *Statistik und angewandete Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure*, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, ISBN 3-433-01073-0, S.20-22.

Pöhler H, Chmielewski F-M, Jasper, K, Henniges Y, Scherzer J (2007): *KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe. Weiterentwicklung von WaSiM-ETH: Implikation dynamischer Vegetationszeiten und Durchführung von Testsimulationen für sächsische Klimaregionen. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie*

Pöhler, H., Schultze, B., Scherzer, J. (2010): *Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt eines bewaldeten Kleineinzugsgebietes im Hochsauerland*, Freiburger Forstliche Forschung, in Druck.

Rapp 2000; Hoy A, Sepp M, Matschullat J (in Bearbeitung): *Variability of atmospheric circulation in Europe and Russia, 1901-2010*.

Roedel, W., T. Wagner (2011): *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre*, 4th ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, auf S. 177

Sachs L.(1984): *Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden*, 6. Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, ISBN 3-540-12800-X, S. 46-48.

Schableger (1996): *Statistische Analysen klimatologischer Zeitreihen. Historical Social Research*, 21, 3, 4-33.  
[http://hsr-trans.zhsf.uni-koeln.de/hsrretro/docs/artikel/hsr/hsr1996\\_395.pdf](http://hsr-trans.zhsf.uni-koeln.de/hsrretro/docs/artikel/hsr/hsr1996_395.pdf)

Scherzer, J., Schultze, B., Niederberger, J., Pöhler, H. (2010): *WASKlim - Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt am Beispiel der Wupper (NRW), der oberen Iller (Bayern) und der Salza (Sachsen-Anhalt)*. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 29/10, 9-15.

Schönwiese, C.-D., (2006): *Praktische Methoden für Meteorologen und Geowissenschaftler*, 232-234. Stuttgart.

Schönwiese, C.-D.,(1985): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart: 1985

Schultze B., C. Kölling, C. Dittmar, T. Rötzer, W. Elling (2005): Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung - Regression - Regionalisierung; *Forstarchiv* 76, 155-163.

Schumacher (2007): *Spline Functions: Basic Theory*. New York.

Sepp und Jaagus (2002): Hoy A, Jaagus J Sepp M, Matschullat J (eingereicht bei TAC): Spatial response of two European atmospheric circulation classifications (data from 1901 to 2010).

Serano et al., K. (2003): Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature, *Climate Research*, 24, 160-180.

Soares, C. G., and Scotto, M. G.(2004): Application of the  $r$  largest-order statistics for long-term predictions of significant wave height, *Coastal Engineering* 51(5-6), 387–394.

Smith, Richard L. (1986): Extreme value theory based on the  $r$  largest annual events, *Journal of Hydrology* 86(1-2), 27–43..

Stein (1999): *Interpolation of Spatial Data: some theory for kriging*. New York.

Woeste B., Diplomarbeit (2010): Eine Anwendung der Block Maxima Methode im Risikomanagement. Mathematisches Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

Streit, U.: Vorlesungen zur Geoinformatik, Kap. 7.4.4 Zweidimensionale räumliche Interpolation im Rastermodell, Institut für Geoinformatik der Universität Münster, [http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/kap/kap7/k07\\_4.htm](http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/kap/kap7/k07_4.htm)

Tait et al. (2006): Thin plate smoothing spline interpolation of daily rainfall for New Zealand using a climatological rainfall surface. In: *International Journal of Climatology*, Vol. 26, 2097-2115.

Tobin et al. (2011): Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. In: *Journal of Hydrology*.

Tobler, W. (1970): „Erstes Gesetz der Geographie“

„The first law of geography is that everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.“ in Abler et al. (1992): *Geography's inner worlds, Pervasive Themes in Contemporary American Geography*. New Jersey.

Trömel, S. (2004): *Statistische Modellierung von Klimazeitreihen*, Dissertation, J.W. Goethe Universität Frankfurt am Main.

Trömel, S. und C.-D. Schönwiese (2007): Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany, *Theor. Appl. Climatol.*, 87, 29--39, doi:10.1007/s00704-005-0230-4.

Van Vledder, G., Goda, Y., Hawkes, P. J., Mansard, E., Martin, M. J., Mathiesen, M.,