

M. Quirnbach, E. Freistühler, M. Jessen

Bereitstellung hoch aufgelöster Niederschlagsdaten für wasserwirt. Modellanwendungen

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Klimawandel in Regionen



Bereitstellung hoch aufgelöster Niederschlagsdaten des regionalen Klimamodells CLM für wasserwirtschaftliche Modellanwendungen

dynaklim-WIKI Stichworte: Niederschlag, Regionales Klimamodell, CLM, Bias-Korrektur, Downscaling

Einleitung

Durch das Globale Klimamodell ECHAM5 wird deutschlandweit eine zu hohe Feuchte an die räumlich höher aufgelösten Regionalen Klimamodelle übergeben, wobei das Maß der Überschätzung regional stark differenzieren kann. Als Folge resultieren zu hohe Niederschläge in den dynamischen Regionalen Klimamodellen [HOLLWEG et al., 2008]. Dieser systematische Fehler (sogenannter Bias) zeigt sich auch in dem in *dynaklim* verwendeten Regionalen Klimamodell CLM [LAUTENSCHLAGER et al., 2009]. In *dynaklim* werden zwei Realisierungen des CLM-Modells für den Referenzzeitraum von 1961 – 1990 („C20-Läufe“) und für das Szenario A1B in der Zukunft verwendet, die im Folgenden als CLM 1 und CLM 2 bezeichnet werden.

Abbildung 1 stellt beispielhaft für mittlere Jahresniederschlagssummen in der Emscher-Lippe-Region (ELR, schwarze Umrandung) den Niederschlag-Bias für CLM1 dar. Die Überschätzungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen im Zeitraum 1961 – 1990 liegen hier in den einzelnen Rasterfeldern zwischen 16 % und 64 %. Ein Rasterfeld entspricht dabei der räumlichen Auflösung des CLM-Modells von 0,2°, in der ELR entspricht dies einer Rasterfeldgröße von ca. 14 km x 22 km.

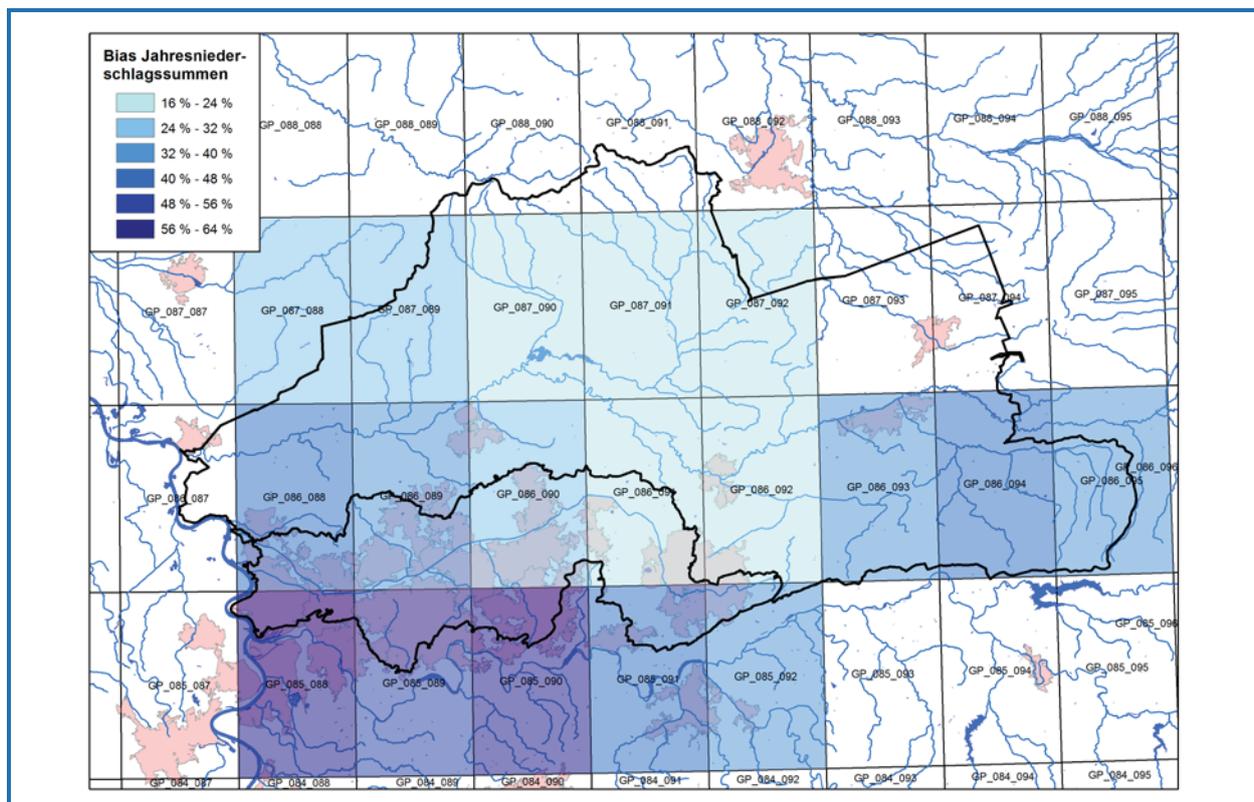


Abbildung 1: Bias in den CLM1-Daten bei den Jahresniederschlagssummen im Zeitraum 1961 – 1990

Zur Aufbereitung und Bereitstellung von Niederschlagszeitreihen des Regionalen Klimamodells CLM für wasserwirtschaftliche Modellanwendungen (z. B. Kanalnetzmodelle, hydrologische Gebietsmodelle) wurde eine Methodik entwickelt, um die Modelldaten von den systematischen Fehlern zu

bereinigen. Hierbei lag der Focus neben einer realitätsnäheren Abbildung von Summenparametern wie Tages-, Monats- und Jahresniederschlagssummen auch auf Kenngrößen wie Starkregen oder Trockenzeiten, die für wasserwirtschaftliche Anwendungen von Interesse sind.

Darüber hinaus benötigen einige der oben genannten wasserwirtschaftlichen Modellanwendungen zeitlich und räumlich höher aufgelöste Niederschlagsdaten, als diese das CLM-Modell zur Verfügung stellt. Im Anschluss an die Bias-Korrektur wird daher ein Downscaling-Verfahren vorgestellt, bei dem mit Hilfe von Radarniederschlagsmessdaten die grob aufgelösten CLM-Niederschlagsdaten auf feinere räumliche Rasterelemente mit kleineren Zeitschritten aufgelöst wurden. Die resultierenden Niederschlagszeitreihen besitzen während der relevanten Starkregen eine räumliche Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ und eine zeitliche Auflösung von $\Delta t = 5 \text{ min}$.

Bias-Korrektur von Niederschlagsdaten des Regionalen Klimamodells CLM

Für die Bias-Korrektur der Niederschlagsdaten wurde eine Methodik entwickelt, die einer modifizierten Form des Quantile Mappings (PIANI et al, 2010; MUDELSEE et al., 2010) entspricht. Beim Quantile Mapping werden die Mittelwerte und die Häufigkeitsverteilung der modellierten Niederschläge (hier: Tagessummen) den Verteilungen von gemessenen Niederschlägen angepasst. Die empirischen Verteilungsfunktionen der gemessenen und modellierten Daten werden dabei gegeneinander (Werte der Größe nach geordnet) aufgetragen (siehe Abbildung 2).

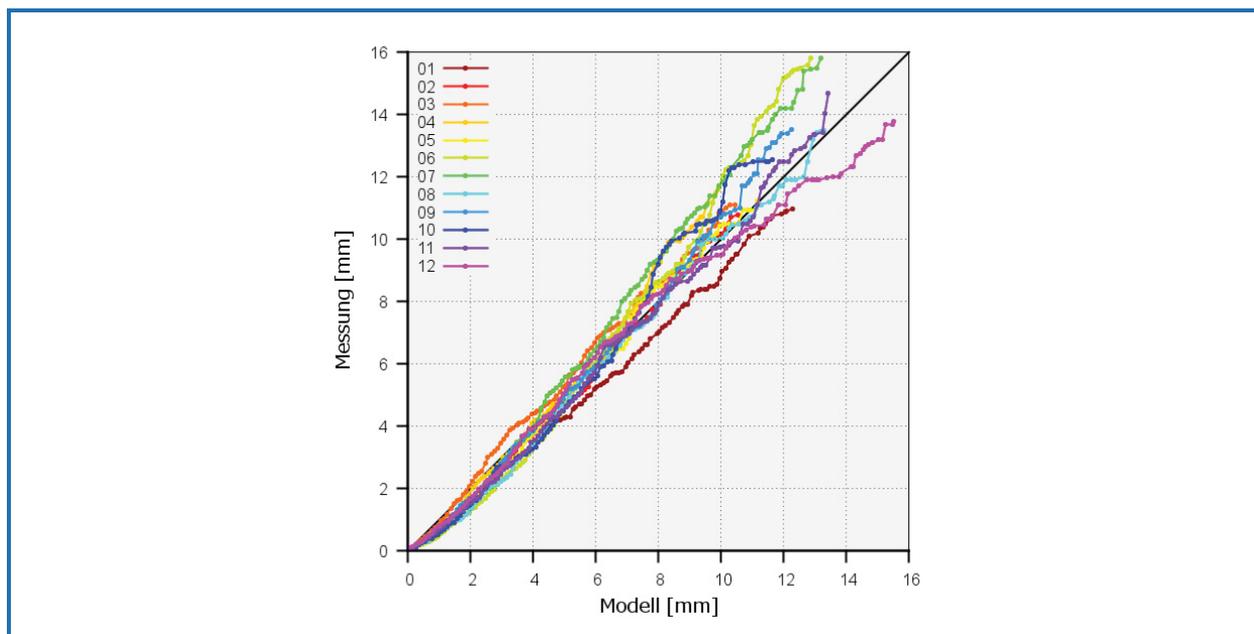


Abbildung 2: Monatsweises Quantile Mapping nach Abzug des Trockenwertes bis zum 97%-Quantil am Beispiel GP_086_091 – Dortmund Nettebach

Die Anpassung der Modelldaten an die Messdaten erfolgt für den Referenzzeitraum 1961 – 1990. Es werden Niederschlagszeitreihen des Regionalen Klimamodells CLM aus zwei Modellläufen untersucht und gemeinsam als ein Datenpool behandelt. Zur Berücksichtigung der räumlichen Unterschiede wurden Regionen bestehend aus zwei bis vier CLM-Rasterfeldern mit ähnlichen Eigenschaften bzgl. ihres Niederschlags-Bias zusammengefasst.

Eine Analyse der Modelldaten zeigte, dass der Bias nicht nur eine räumliche, sondern auch eine zeitliche Komponente besitzt. Es konnte ein jahreszeitlich und auch monatsweise differenzierter Bias festgestellt werden. Die Bias-Korrektur wird daher getrennt für die einzelnen Monate des Jahres durchgeführt (siehe Abbildung 2). Ferner treten in den CLM-Daten vermehrt über längere Zeiträume

sehr kleine Niederschlagsintensitäten ($N < 0,1 \text{ mm/h}$) auf, die nicht plausibel sind und als Modellrauschen interpretiert werden. Um Trockenzeiten besser abzubilden, werden daher zunächst mit Hilfe der Messdaten sogenannte Trockenwerte bestimmt, die vor dem eigentlichen Quantile Mapping von den Modelldaten abgezogen werden.

Das Vorhandensein bzw. das Fehlen besonders hoher Tagesniederschlagssummen in den Datensätzen besitzt eine räumlich und zeitlich stark zufällige Komponente, diese wirkt sich aber signifikant auf das Korrekturverfahren aus. Um die zufällige Komponente von Starkregen zu berücksichtigen, erfolgt die Bias-Korrektur für die Bereiche bis zum 97%-Quantil und jenseits des 97%-Quantils unterschiedlich, d. h. die größten 3 % der modellierten Tagesniederschläge erfahren eine andere Anpassung als kleinere und mittlere Tagessummen. Die Korrektur erfolgt hier halbjahresweise, d. h. die Starkregenereignisse des wasserwirtschaftlichen Sommerhalbjahres (Mai – Oktober) und Winterhalbjahres (November – April) werden pro Region jeweils zu einem Datenpool zusammengefasst. Somit wird an dieser Stelle zur Reduzierung der Zufälligkeiten einem größeren Datensatz Vorrang gegenüber monatsweisen Unterschieden eingeräumt. Die Anpassung jenseits des 97%-Quantils erfolgt mit einer bereichsweisen linearen Regression. Trägt man hier erneut die Quantile der Mess- und Modelldaten gegeneinander auf, sind lineare Zusammenhänge erkennbar. In der Regel lassen sich zwei Abschnitte festlegen, die jeweils durch eine Gerade abgebildet werden können. Diese Geradengleichungen werden für die Korrektur der hohen Niederschläge verwendet. Da die lineare Regression die Möglichkeit zur Extrapolation bietet, können somit auch höhere Niederschläge korrigiert werden, als im Referenzzeitraum aufgetreten sind.

Die CLM-Niederschlagsdaten verlieren bei dieser Korrektur ihre Eigenschaft als mittlere Flächenniederschläge, da sie an punktuelle Regenschreibermessungen angepasst wurden. Ähnlich wie beim KOSTRA-DWD-2000 (DWD, 2005) sind die korrigierten CLM-Werte daher als Punktwerte zu verstehen, die an jedem Ort innerhalb eines CLM-Rasterfeldes auftreten können.

Die Ergebnisse der Bias-Korrektur führen zu einer sehr guten Anpassung der CLM-Modelldaten an die Messdaten. Diese wird exemplarisch in den folgenden Abbildungen dargestellt. Abbildung 3 zeigt die mittleren monatlichen Niederschlagssummen, Abbildung 4 die Anzahl von Trockentagen jeweils vor und nach der Bias-Korrektur am Beispiel des Rasterfeldes GP_086_088 / der Station Dinslaken Emschermündung. Hier wird sichtbar, dass sowohl die Niederschlagssummen als auch die Trockentage in den jeweiligen Monaten gut mit den Messdaten im Referenzzeitraum 1961 – 1990 übereinstimmen.

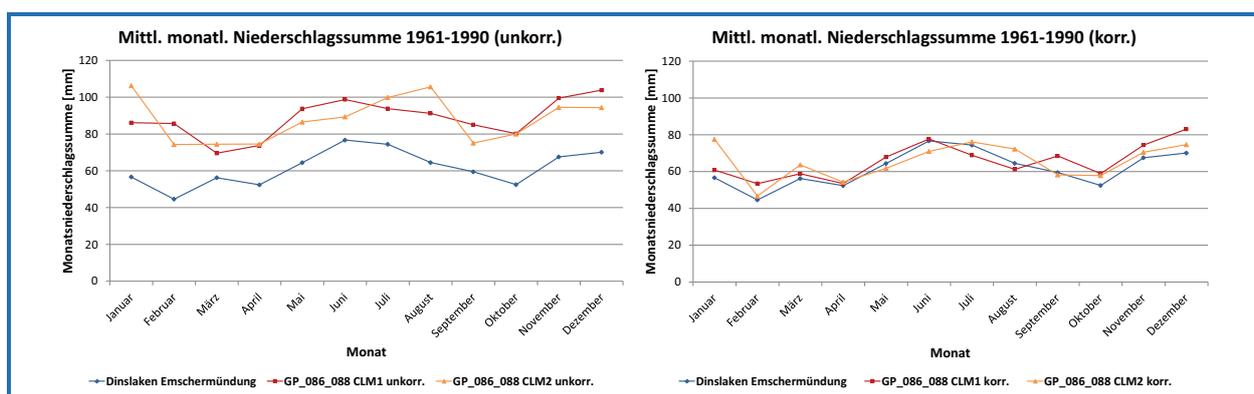


Abbildung 3: Vergleich der Monatsniederschlagssummen 1961 – 1990 vor und nach der Bias-Korrektur am Beispiel GP_086_088 / Dinslaken Emschermündung

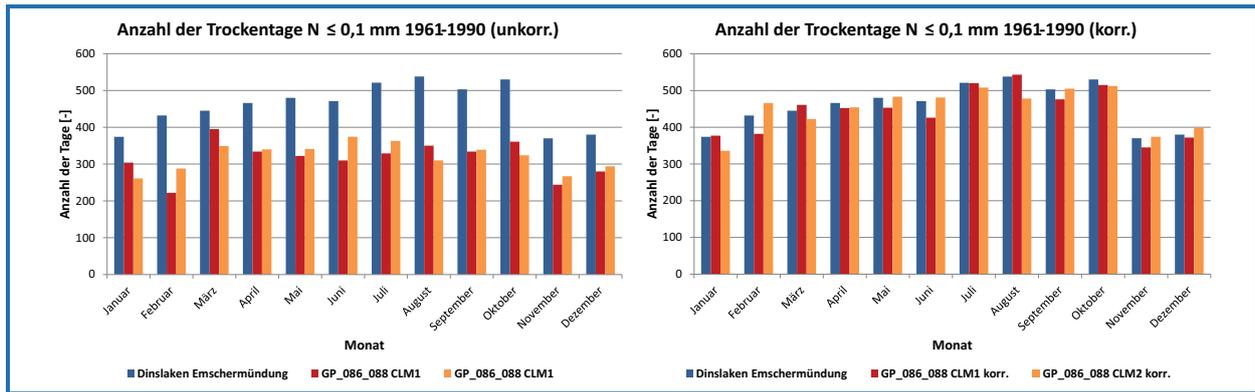


Abbildung 4: Vergleich der mittleren Anzahl der Trockentage pro Monat 1961 – 1990 vor und nach der Bias-Korrektur am Beispiel GP_086_088 / Dinslaken Emschermündung

Es werden aber nicht nur die Anzahl von Trockentagen, sondern auch die Länge von Trockenphasen mit den korrigierten Modelldaten sehr gut abgebildet, wie Abbildung 5 an drei definierten Trockenphasen zeigt. Im Hinblick auf Starkregen stellt Abbildung 6 beispielhaft die mittlere jährliche Auftretenshäufigkeit von Tagessummen mit $N > 20$ mm/d im Referenzzeitraum vor und nach der Bias-Korrektur dar. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Anpassung an die Messdaten.

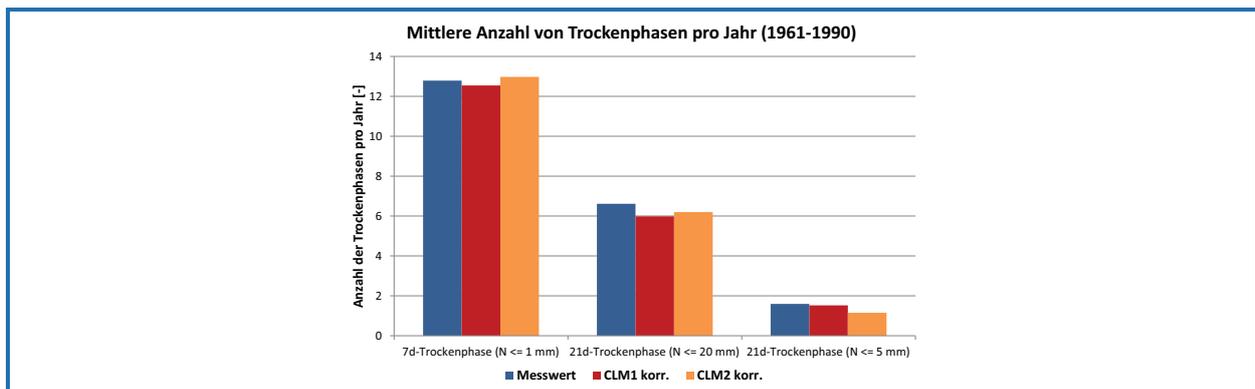


Abbildung 5: Mittlere Anzahl von Trockenphasen pro Jahr in der ELR 1961 – 1990 nach der Bias-Korrektur

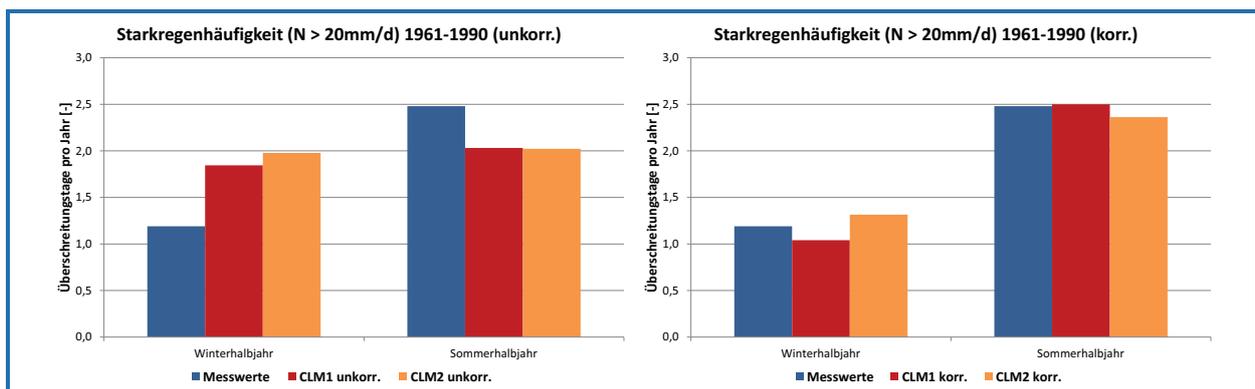


Abbildung 6: Vergleich der mittleren Starkregenhäufigkeit ($N > 20$ mm/d) in der ELR 1961 – 1990 vor und nach der Bias-Korrektur, differenziert nach hydrologischem Sommer- und Winterhalbjahr

Downscaling von Niederschlagsdaten des Regionalen Klimamodells CLM

Um Ergebnisse aus regionalen Klimamodellen für kleinräumige wasserwirtschaftliche Modellierungen verwenden zu können, müssen zeitliche und räumliche Skalenunterschiede überbrückt werden. Zur Überbrückung dieser Skalenunterschiede werden Downscaling-Verfahren verwendet. Als Eingangsdaten für hydrologische Gebietsmodelle und Kanalnetzmodelle eignen sich radarbasierte Messungen des Niederschlags, die eine ausreichend hohe Auflösung haben. Vor diesem Hintergrund wurde ein statistisches Downscaling-Verfahren entwickelt, das mithilfe von Radardaten des DWD-Radars Essen auf Basis von Niederschlagsdaten des Regionalen Klimamodells CLM hochaufgelöste Niederschlagsdaten erzeugt.

Datenbasis und Untersuchungsgebiet

Für das Downscaling-Verfahren wurden korrigierte und angeeichte Daten des DWD-Radar Essen (1 km x 1°, 5 min, DX-Produkt) vom 01.11.2001 – 01.11.2009 verwendet. Die Daten wurden von der hydro & meteo GmbH & Co. KG für die Emschergenossenschaft für das Projekt „DX-Offline“ erstellt und von dieser zur Verfügung gestellt. Die Aneichung wurde auf Basis von 580 geprüften Regenschreibern - davon 117 zur Validierung - durchgeführt. Weiterhin wurden Messungen der objektiven Wetterlagenklassen des DWD von 2001 – 2009 mit täglichen Werten aus 40 objektiven Wetterlagenklassen (oWLK) verwendet. Die objektiven Wetterlagenklassen aus dem Regionalen Klimamodell CLM wurden vom Climate Service Center (CSC) bereitgestellt und beruhen auf den Auswertungen von KRAHE et al. (2011).

Das Untersuchungsgebiet für das Downscaling besteht aus zehn CLM-Gitterpunkten und wurde auf Grund von ähnlichen Niederschlagscharakteristiken und ähnlichen orographischen Begebenheiten ausgewählt. Für drei Einzugsgebiete bei Dortmund, Duisburg und Bönen wurden für den Referenzzeitraum (1961 – 1990), Nahe Zukunft (2021 – 2050) und Ferne Zukunft (2071 – 2100) Datensätze erstellt. Kleinräumige orographische Besonderheiten wurden im Downscaling-Verfahren nicht berücksichtigt, so dass sich die Ergebnisse nicht als spezielle lokale Ergebnisse für die betrachteten Einzugsgebiete interpretieren lassen, sondern die mittlere Charakteristik der ELR widerspiegeln.

Verfahren

Das angewandte Downscaling-Verfahren ist ein statistisches Verfahren: Statistische Beziehungen zwischen verschiedenen Skalen werden aus Beobachtungen abgeleitet, um aus den grob aufgelösten Modelldaten Informationen auf kleineren Skalen zu erhalten. Für die vorliegende Anwendung wurde die Analogmethode (ZORITA & STORCH, 1999) mit einem Wetterlagenansatz kombiniert. Mithilfe von Radardaten und Messungen der oWLK wurden analoge Tage aus dem Zeitraum 2001 – 2009 ermittelt.

Die Zuordnung der historischen Tage zu einem CLM-Tag erfolgte über einen stufenweisen Auswahlprozess: Zu einem CLM-Tag werden ähnliche Tage im Messzeitraum gesucht, Kriterien dafür sind die gleiche oWLK und eine ähnliche Niederschlagsmenge (24h-Summe innerhalb eines schmalen Intervalls um den vorgegebenen Wert). Aus den historischen Ereignissen, auf die die Kriterien zutreffen, wird zufällig ein Ereignis gezogen. Wenn keine passenden Ereignisse gefunden werden, wird das Intervall schrittweise vergrößert und die benachbarten objektiven Wetterlagenklassen mit einbezogen.

Um die Datenbasis möglicher räumlicher Muster insbesondere bei seltenen Starkregen zu vergrößern, wurde in Hinblick auf die zuvor beschriebenen ähnlichen Niederschlagscharakteristiken in der ELR der direkte räumliche Bezug zwischen Starkregenmustern der Radarmessdaten und Niederschlagssummen der CLM-Rasterfelder aufgelöst. Das bedeutet, dass ein beliebiges Starkregenereignis der Radarmessdaten beim Downscaling für jedes der zehn CLM-Rasterfelder herangezogen werden kann.

Der Auswahlprozess wurde jeweils für 30 Jahre durchgeführt. Die Zuordnungen wurden geprüft auf:

- zu häufige Verwendung eines Radarereignisses (max. drei Mal pro 30 Jahres-Zeitraum)
- Auftreten des „selection effect“ (vgl. YOUNG, 1994). Dieser entsteht durch enge Vorgaben im Auswahlprozess und führt zu einer zu seltenen Auswahl bestimmter Ereignisse, insbesondere ist die Auswahl von Extremereignissen betroffen.
- Abweichung der 24h-Summe eines Ereignisses größer als 4 mm

Bei 2 – 4 Ereignissen pro Auswahlzeitraum traten Abweichungen über 4 mm auf. In diesen Fällen wurde das zugeordnete Radarereignis mit einem konstanten Faktor verändert, um die Tagessumme aus dem Modellereignis zu erreichen.

Aus jedem der 30-Jahre-Zeiträume wurden die höchsten 300 Ereignisse ausgewählt, basierend auf den höchsten 4h-Summen im jeweiligen Einzugsgebiet. Ausgehend von den Radardaten wurden zu diesen Ereignissen mit der Software SCOUT (HYDRO & METEO, 2009) Zeitreihen im Einzugsgebiet erzeugt (für jedes 1x1 km² Feld, $\Delta t = 5\text{min}$) und in das in *dynaklim* verwendete Zeitreiheninformationssystem AquaZIS (aqua_plan, 2010) importiert.

Ergebnisse

Mit den hochaufgelösten Niederschlagsdaten wurden extremwertstatistische Auswertungen der Starkniederschläge im Referenzzeitraum, der Nahen und der Fernen Zukunft durchgeführt. Zu jedem dritten 1 x 1 km² Feld in einem Einzugsgebiet wurde mit AquaZIS die Starkniederschlagsstatistik nach Wiederkehrzeit und Dauer (ATV, 1985; DWA, 2011) erstellt und anschließend über das Gebiet gemittelt. Die Ergebnisse im Referenzzeitraum zeigen, dass die produzierten Daten, unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereiches (DWD, 2005), zu Stationsmessungen in dem Gebiet passen. Die Daten für die Zukunft zeigen wie die CLM-Ausgangsdaten fast durchweg positive Trends, deren Höhe je nach Lauf und Zeitraum variiert. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Starkniederschlagsauswertung für die Dauerstufe 1 h und die Wiederkehrzeit 5 a. Die downgescalten Daten auf Grundlage von CLM 1, die im Referenzzeitraum in etwa dem Niveau der Messdaten entsprechen, zeigen sowohl für die Nahe als auch die Ferne Zukunft im Vergleich zum Referenzzeitraum signifikant positive Trends (Signifikanzniveau 90 %). Die Trends auf Basis von CLM 2 sind ebenfalls im Mittel positiv, aber nicht signifikant. Dies ist auf ein insgesamt hohes Niveau der CLM2-Daten bereits im Referenzzeitraum zurückzuführen. Die mittleren Zunahmen betragen für die Nahe Zukunft 18,8 % (CLM 1) bzw. 16,4 % (CLM 2) und für die Ferne Zukunft 16,4 % (CLM 1) bzw. 8,8 % (CLM 2).

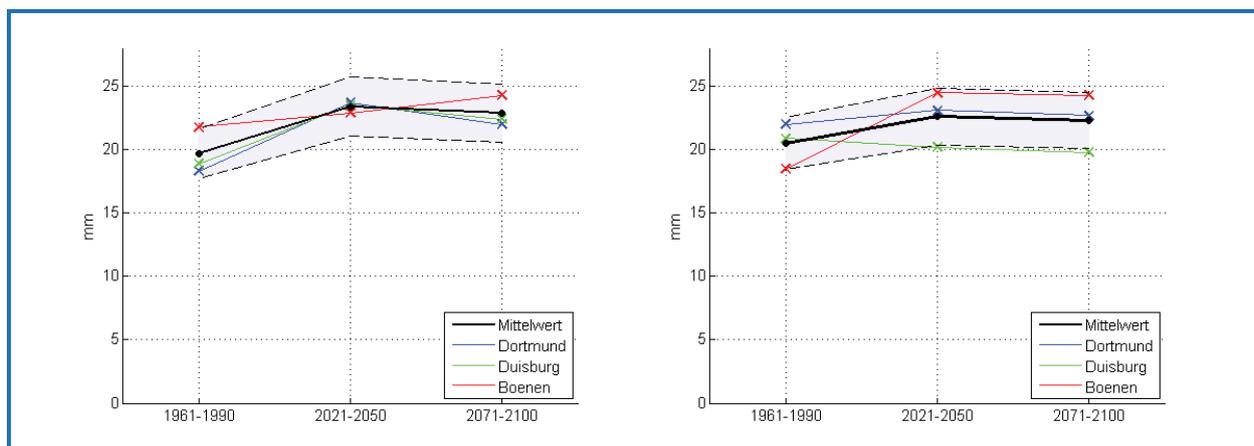


Abbildung 7: Werte aus der Starkniederschlagsstatistik der hochaufgelösten Daten für Referenzzeitraum, Nahe und Ferne Zukunft für eine Wiederkehrzeit von 5 a und einer Dauerstufe von 1 h (links: CLM1, rechts: CLM2). Die schwarzen Punkte kennzeichnen die Mittelwerte der drei Gebiete Dortmund, Duisburg und Bönen und der hellgraue Bereich den Unsicherheitsbereich nach KOSTRA ($\pm 10\%$).

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei beiden CLM-Modellläufen um zwei mögliche Änderungen des Klimas, bzw. des Parameters Niederschlag handelt. Die angegebenen Werte beziehen sich daher nur auf die im *dynaklim*-Projekt zur Verfügung stehenden Datensätze und sind nicht allgemeingültig. Um die Bandbreite möglicher Änderungen des Niederschlages mit einer größeren Repräsentativität zu erhalten, wäre eine Ensembleauswertung nötig. D. h. es müsste eine Anzahl von Datensätzen geschaffen werden, die sowohl eine größere Anzahl an Modellläufen aus unterschiedlichen Klimamodellen, als auch mehrere Realisierungen des Downscaling-Verfahrens beinhaltet. Da der Aufwand für solch eine Ensemblebetrachtung sehr hoch ist und die Ergebnisse auch nicht mehr in den wasserwirtschaftlichen Modellen umgesetzt werden können, wurde eine begrenzte Ensemblebetrachtung mit zehn unterschiedlichen Realisierungen aus unterschiedlichen Modellen, Szenarien und Modellläufen für den Kennwert „Tagesniederschlagssummen $N \geq 20 \text{ mm/d}$ “ durchgeführt. Dabei zeigt, sich, dass die Zunahmen der korrigierten CLM-Daten etwas über dem Mittelwert des Ensembles liegen.

Verifizierung der Niederschlagsdaten nach dem Downscaling anhand von Abflussdaten im Rossbacheinzugsgebiet (Dortmund)

Statistische Auswertungen und die darauf basierenden Trendauswertungen sind nicht eindeutig und können in einer gewissen Spannweite zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Dies liegt zunächst darin begründet, dass eine räumliche (natürliche) Variabilität besteht und sich das Trendverhalten für Niederschläge verschiedener Wiederkehrzeiten unterscheidet. Auch die durchgeführte Bias-Korrektur führt zu einer Veränderung des Trendverhaltens in einer Größenordnung von etwa $\pm 5 \%$. Um in *dynaklim* weiterhin mit einem konsistenten Datensatz arbeiten zu können, sollten nach dem Downscaling-Prozess die Charakteristika der CLM-Daten vor dem Downscaling weiterhin erkennbar sein. Dies bedeutet, dass die CLM1-Datensätze im Referenzzeitraum in etwa den Messwerten entsprechen sollten und die CLM2-Datensätze im Referenzzeitraum größer sind als die CLM1- bzw. Messdaten. Ebenso sollte das generelle Trendverhalten weiterhin widerspiegelt werden, d. h. die Tendenz (positiv / negativ) und die Größenordnung unter Berücksichtigung von begründeten Spannweiten sollten übereinstimmen.

Zur Verifizierung des Trendverhaltens wurden mit den downgescalten Niederschlagsdaten – beispielhaft für das Rossbacheinzugsgebiet in Dortmund – Abflussberechnungen durchgeführt, die anschließend statistisch über eine Abflussscheitelstatistik für $T = 20 \text{ a}$ ausgewertet wurden.

Um den Einfluss von hoch aufgelöstem Niederschlagsinput gegenüber flächengemitteltem Niederschlagsinput zu prüfen, wurden zunächst Abflüsse im Rossbacheinzugsgebiet auf Basis von Stationsdaten und hoch aufgelösten Radarniederschlagsdaten im Zeitraum 2002 – 2009 berechnet und ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass die statistisch berechneten Abflussscheitel bei Verwendung der Radarniederschlagsdaten ca. 30 % niedriger als bei Verwendung von Stationsdaten (für $T = 20 \text{ a}$) liegen. Um die Ergebnisse der Abflussberechnungen mit den hoch aufgelösten downgescalten Niederschlagsdaten im Referenzzeitraum mit den Abflüssen auf Basis von Stationsdaten vergleichen zu können, sind daher die statistischen Abflussscheitel der Stationsdaten um 30 % zu reduzieren. Tatsächlich liegen dann die statistischen Abflussscheitel der CLM1-Daten im Referenzzeitraum 1961 – 1990 in der gleichen Größenordnung wie die der Stationsdaten, während die CLM2-Daten auf einem höheren Niveau liegen (Abbildung 8). Dies entspricht dem Verhalten der Ausgangsdaten.

Die Entwicklung der statistisch berechneten Abflussscheitel in der Nahen Zukunft 2021 – 2050 und Fernen Zukunft 2071 – 2100 zeigt, dass die Abflüsse auf Basis der CLM1-Daten deutlich zunehmen; bei den Abflüssen auf Basis der CLM2-Daten ist ein leicht negativer Trend festzustellen. In der Zukunft liegen aber die statistischen Abflussscheitel bei beiden CLM-Läufen auf einem höheren Niveau als die Messwerte in der Vergangenheit. Somit spiegeln auch hier die Ergebnisse der

Abflussscheitelstatistik das Trendverhalten der Ausgangsdaten wider. Die geforderte Konsistenz der hochaufgelösten Niederschlagsdaten hinsichtlich ihrer wesentlichen Charakteristika wird somit gewährleistet.

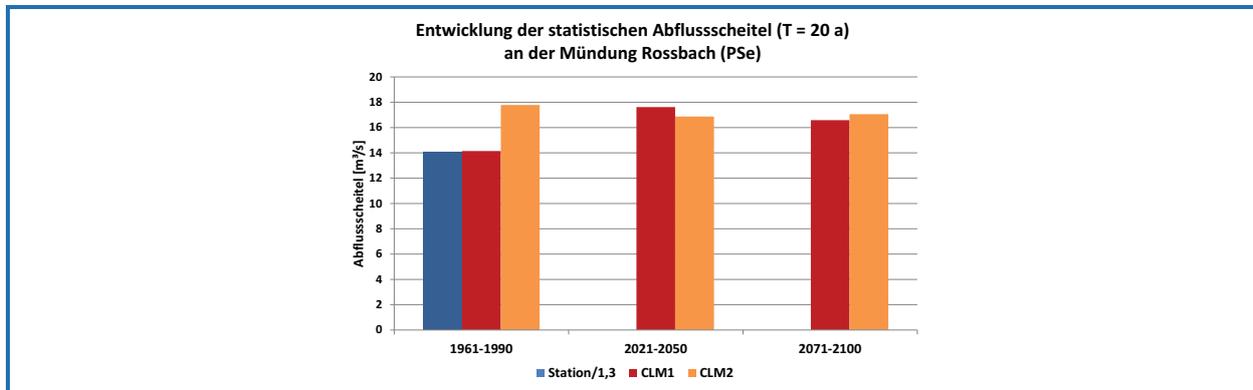


Abbildung 8: Entwicklung der statistischen Abflussscheitel (der partiellen Serie) für eine Wiederkehrzeit von $T = 20$ a an der Mündung Rossbach

Zusammenfassung

Für die Bereitstellung von Niederschlagszeitreihen des Regionalen Klimamodells CLM für die meisten wasserwirtschaftliche Modellanwendungen ist eine realitätsnahe Abbildung des Parameters Niederschlag hinsichtlich wesentlicher Kenngrößen, wie Jahresniederschlagssummen, Starkregen und Trockenzeiten erforderlich. Zudem benötigen Modelle, die schnelle und kleinräumige Niederschlag-Abfluss-Prozesse beschreiben, zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Niederschlagseingangsdaten. Beide Voraussetzungen, die realitätsnahe sowie die hoch aufgelöste Abbildung des Parameters Niederschlag, sind zunächst in den CLM-Modelldaten nicht ohne weiteres erfüllt. Es wurden daher zwei Methoden entwickelt, die zum einen eine sinnvolle Korrektur der Tagesniederschlagssummen (Bias-Korrektur) und zum anderen eine feinere zeitliche und räumliche Auflösung (Downscaling) der CLM-Modelldaten ermöglichen. Beide Methoden konnten erfolgreich auf die CLM-Niederschlagsdaten angewendet werden, sodass für die Emscher-Lippe-Region nun flächendeckend korrigierte Tagesniederschlagssummen und für die drei Projektregionen Duisburg, Dortmund und Bönen zudem zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Starkregenereignisse zur Verfügung stehen. Die Plausibilität und Qualität der erzeugten Datensätze wurde anhand unterschiedlicher Kriterien überprüft und nachgewiesen. Eine Übertragung der beiden Verfahren auf andere Regionen und auch auf andere Klimamodelle ist gewährleistet.

[LITERATURVERZEICHNIS]

ATV (1985): Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer, ATV-Arbeitsblatt A 121, 1985

DWA (2011): Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Arbeitsblatt DWA-A 531, Gelbdruck, ISBN 978-3-941897-85-4, 2011

AQUA_PLAN (2011): AquaZIS - Zeitreiheninformationssystem für die Wasserwirtschaft, Dokumentation, aqua_plan Ing.-Ges. für Problemlösungen in Hydrologie und Umweltschutz mbH, Aachen, Oktober 2011

HOLLWEG H.-D., BÖHM U., FAST I., HENNEMUTH B., KEULER K., KEUP-THIEL E., LAUTENSCHLAGER M., LEGUTKE S., RADTKE K., ROCKEL B., SCHUBERT M., WILL A., WOLDT M., WUNRAM C. (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. Gruppe Modelle & Daten, Support for Climate- and Earth System Research at the Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Technical Report No. 3, ISSN 1619-2249 (in web form ISSN 1619-2257).

DWD (2005): KOSTRA-DWD-2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Grundlagenbericht. Offenbach am Main.

HYDRO & METEO (2009): The SCOUT Documentation version 3.30. Lübeck, 69 Seiten

KRAHE, P., NILSON, E., GELHARDT, U., LANG, J. (2011): Auswertungen ausgewählter globaler Klimamodelle hinsichtlich atmosphärischer Zirkulationsbedingungen im Nordatlantisch-Mitteuropäischen Sektor (oWVK, NAO). BfG-1682-2011

LAUTENSCHLAGER ,M.; KEULER,K.; WUNRAM,C.; KEUP-THIEL,E.; SCHUBERT, M.; WILL, A.; ROCKEL,B.; BOEHM,U. (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.1 / no.2, Scenario A1B run no.1 / no.2, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate.

MUDELSEE, M., D. CHIRILA, T. DEUTSCHLÄNDER, C. DÖRING, J. 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. DMG Mitteilungen 03/2010, 2-7.

PIANI, C., J.O. HAERTER, E. COPPALA (2010): Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. Theor. Appl. Climatol. 99, 187-192.

YOUNG, K. (1994): A multivariate chain model for simulating climatic parameters from daily data, J. Appl. Meteorol., 33(6), 661-671.

ZORITA, E., VON STORCH, H. (1999): The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods, J. Clim., 12, 2474-2489.

Autor/in

M. Quirnbach, E. Freistühler
dr. papadakis GmbH, Hattingen
<http://www.drpapadakis.de>

M. Jessen

hydro &meteo GmbH & Co. KG,
Lübeck; www.hydrometeo.de

Projektbüro *dynaklim*

Birgit Wienert
Mozartstraße 4
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 38
wienert@fiw.rwth-aachen.de

www.dynaklim.de