

## 5. Diskussion und Ausblick

### 5.1 Zusammenfassung

Die Überprüfung der Nachvollziehbarkeit der langjährigen Mittelwerte und der kleinsten und größten Niederschlagssummen durch das CCLM4.8-Modell im Zeitraum 1971-2000 dient als Voraussetzung für die zukünftige Abschätzung von Hoch- und Niedrigwassergefahren im Lahnggebiet.

Dazu wurde zunächst ein Untersuchungsrahmen gewählt, der das Lahnggebiet umschließt. Die vorliegenden Daten sind so miteinander vergleichbar. Der Vergleich des 30-jährigen-Mittels der bereits vom KIT Bias-korrigierten CCLM4.8-Daten zeigt, dass das regionale Klimamodell sowohl das Gebietsmittel der Stationen, als auch die unkorrigierten REGNIE-Daten sehr gut nachvollzieht. Die projizierten CCLM4.8-Niederschlagsdaten sind im Vergleich mit dem Gebietsmittel der Stationen im 30-jährigen-Mittel 1,1% höher und im Vergleich mit dem 30-jährigen-Mittel der unkorrigierten REGNIE-Daten 1,5% niedriger. Die Abweichung der CCLM4.8-Daten zu den korrigierten REGNIE-Daten beträgt 9,6% und ist damit größer, da die Bias-Korrektur an unkorrigierten Messdaten durchgeführt wurde. Im hydrologischen Winterhalbjahr werden die Niederschläge durch das CCLM4.8-Modell 8,9% überschätzt und im hydrologischen Sommerhalbjahr 5,5% unterschätzt. Die Untersuchung der gebildeten Niederschlagssummen für die Hoch- und Niedrigwasserkennwerte für das hydrologische Jahr im Zeitraum 1971-2000 zeigt anhand der Unterschreitungsdauerlinien unterschiedlich starke Abweichungen. Die CCLM4.8-Niederschlagssummen weisen für die Hochwasserkennwerte insbesondere auf Unterschätzungen bis zu 20% im hydrologischen Winterhalbjahr hin, obwohl die Niederschläge im Halbjahresmittel überschätzt werden. Bei den Niedrigwasserkennwerten sind überwiegend Unterschätzungen im hydrologischen Sommerhalbjahr im Bereich der feuchteren Jahre zu beobachten. Im Halbjahresmittel werden die Niederschläge durch das CCLM4.8-Modell ebenfalls unterschätzt. Die Extrema der Verteilung werden also im Modell etwas zu schwach dargestellt, indem sie die 20% höchsten bzw. 20% niedrigsten Niederschlagsraten der jeweiligen Kennwerte unterschätzen. Dies wird bereits an den Boxplots der Hoch- und Niedrigwasserkennwerte deutlich. Die Extrema der Hochwasserkennwerte werden vom CCLM4.8-Modell im hydrologischen Winterhalbjahr deutlich zu gering dargestellt. Das gilt auch für die Niedrigwasserkennwerte im Bereich der 50% feuchtesten Jahre. Besonders signifikant ist die Unterschätzung der Niedrigwasserkennwerte in diesem Bereich im hydrologischen Sommerhalbjahr. Der besonders relevante Bereich mit den niedrigsten Niedrigwasserkennwerten wird jedoch in der Regel gut abgebildet.

## 5.2 Problemfelder

Die Datenaufbereitung brachte im Rahmen der Untersuchungen einige Herausforderungen mit sich. Die erste Fragestellung lag in der Wahl des Untersuchungsraumes, um das Lahngebiet eingrenzen zu können. Das shapefile, das zur Auswahl der CCLM4.8-Niederschlagsdaten diente, erwies sich nicht als geeigneter Ausschnitt. Das für die bereitgestellten CCLM4.8-Rastermittelpunkte erstellte Raster diente daher als Untersuchungsrahmen. Der ausgewählte Untersuchungsrahmen umfasst eine Fläche von 3773km<sup>2</sup>. Die Größe des Einzugsgebietes der Lahn bis zum Pegel Leun beträgt 3571km<sup>2</sup>. Das Untersuchungsgebiet ist damit 202km<sup>2</sup> größer und ist damit nicht deckungsgleich.

Die Auswahl der Stationen erfolgt nach dem Untersuchungsrahmen. Hier besteht die Schwierigkeit, nach welchem Verfahren das Gebietsmittel der Stationen gebildet wird und welche Stationen im Gebietsmittel berücksichtigt werden. Zu beachten ist, dass das Untersuchungsgebiet in Form eines Rechtecks ausgewählt wurde. Die Form des Einzugsgebietes ist jedoch nicht rechteckig. Es sind also Niederschlagsdaten im Gebietsmittel berücksichtigt, die im Lahngebiet nicht abflusswirksam sind. Für den Vergleich von zwei rechteckigen Ausschnitten aus dem Modell und dem entsprechenden Stationsmittel für diesen Ausschnitt hat dies jedoch keine Auswirkung. Das Gebietsmittel aus dem arithmetischen Mittel zu bilden, ist sicherlich nicht die optimale Methode. Die Stationen sind nicht gleichmäßig verteilt und das Untersuchungsgebiet ist nicht eben. Die Niederschlagsmenge ist abhängig von der geographischen Höhe. Deshalb wäre eine Methode, die die geographische Höhe mit einbezieht, für das Lahngebiet geeigneter, da hier hauptsächlich Berg- und Hügelland im Zuflussgebiet des Flusses vorzufinden sind. Eine solche Methode war jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht umsetzbar und hat für den Vergleich der abgeleiteten Kennwerte keine Auswirkungen.

Die Auflösung der Rasterdatensätze ist unterschiedlich und daher nicht direkt vergleichbar. Durch die Zuordnung des feineren DWD-1\*1 km-Raster zu dem gröberen CCLM4.8-7\*7 km-Raster konnte man einen Vergleich des 30-jährigen Mittels anstellen. Um diese Problematik zu lösen fand eine Zuordnung über die Rasterzellen statt.

Die vom KIT freigegebenen korrigierten CCLM4.8-Daten aus dem KLIWA-Projekt beinhalten einen durch die Bias-Korrektur an einem niederschlagsunkorrigierten regionalisierten Datensatz vom DWD einen systematischen Niederschlagsmessfehler, der regional variiert. Dieser systematische Messfehler ist in den korrigierten CCLM4.8-Daten enthalten und überträgt sich somit auf die Niederschlagssummen des Lahngebiets. Der eigentliche Modellfehler des CCLM4.8-Modells ist nicht bekannt und so kann keine Aussage über die Größe des Gesamt-

fehlers getroffen werden, lediglich über die verbleibenden Fehler in den bereits Bias-korrigierten Klimamodelldaten.

Für die Anwendung der größten und kleinsten Niederschlagssummen in Wasserhaushaltsmodellen bedeutet dies, dass infolge von systematischen Schwachstellen, Fehlinterpretationen bei der Prognose von Hoch- und Niedrigwasserereignissen zu erwarten sind. Hochwasser entsteht vor allem im hydrologischen Winterhalbjahr und infolge von Stark- und Dauerregenereignissen. Starkregen, also kurze lokale heftige Schauer treten vorwiegend im Sommer auf. Diese sind in Klimamodellen schwieriger darzustellen und problematisch für kleine Flussgebiete. Niedrigwasser entsteht in den Sommerhalbjahren in Verbindung mit Trockenperioden.

Im Lahngbiet ist vorwiegend mit Winterhochwässern zu rechnen. Zu dieser Jahreszeit sind die meist wassergesättigten Böden sehr abflussbereit. Werden im hydrologischen Winterhalbjahr zu geringe Niederschläge projiziert, kann es sein, dass Hochwasserereignisse unterschätzt werden. Daher muss bei der Interpretation die Überschätzung des Jahresmittels aus 30 Jahren sowie die Unterschätzung im Bereich der 20% höchsten Niederschlagssummen durch CCLM4.8-Modell im hydrologischen Winterhalbjahr unmittelbar berücksichtigt werden. Fallen Niederschläge im hydrologischen Sommerhalbjahr zu gering aus, werden Niedrigwasserereignisse im Modell länger andauern bzw. extremer ausfallen.

### 5.3 Ausblick

ArcGIS9 ist ein hilfreiches Instrument zur Rasterdatenverarbeitung. Es erleichtert den Vergleich von unterschiedlichen Rasterauflösungen durch die Zuordnung der Rasterdaten durch geographischen Bezug. Um ein besseres Ergebnis für das Gebietsmittel der Stationen zu erzielen, ist die Empfehlung, das Gebietsmittel mit ArcGIS aus den Stationen erneut unter Einbeziehung der geographischen Höhe zu berechnen und gegebenenfalls ein Raster für die CCLM4.8-Daten mit feineren Übergängen zu erstellen. Ein weiterer Vorschlag ist, Stationen mit Fehlwerten bis etwa 2% in das Gebietsmittel einzubeziehen. Vorzuziehen ist, bei Verfügbarkeit, regionalisierte Tagesdaten vom DWD. Diese sind bereits höhen- und flächenkorrigiert und besser geeignet für eine Evaluierung. Falls das nicht möglich sein sollte, ist der Versuch, die Originaldaten von CCLM4.8-Daten zu erhalten, eine Alternative, um aus dem Gebietsmittel und den unkorrigierten CCLM4.8-Daten eine für das Lahnggebiet konzipierte Bias-Korrektur durchzuführen. Die Kenntnis über die Höhe des korrigierten Bias würde jedoch schon ausreichen, um feststellen zu können, ob sich der Bias vergrößert oder reduziert.

Zur vollständigen Analyse von Hoch- und Niedrigwasser sollten auch klimatologische Trocken- und Nassperioden im Zeitraum 1971-2000 analysiert und dahingehend überprüft werden, ob das regionale Klimamodell CCLM4.8 deren Ausmaß und Häufigkeit nachvollziehen kann.

Um eine Zukunftsprognose der CCLM-4.8-Daten bezüglich der Hoch- und Niedrigwasser relevanten Kennwerte zu erstellen bietet sich der Zeitraum 2021–2050 an. Dieser Zeitraum wird auch in relevanten hydrologischen Untersuchungen gewählt und so ist ein Vergleich zu anderen Studien in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt ermöglicht. Allerdings ist aus Sicht der Klimamodellierer noch nicht ersichtlich, ob dieser Zeitraum als alleiniger Vergleichszeitraum geeignet ist.

Um regionale Unterschiede der größten und kleinsten Niederschlagssummen festzustellen, ist das Heranziehen weiterer Gebiete erforderlich, wie z.B das Diemelgebiet, das Fuldagebiet oder das Odenwaldgebiet in Hessen.