

**Impacts of Climate Change and Land-use Change on the Water
Resources of the Upper Kharun Catchment, Chhattisgarh, India**

Inaugural – Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor-Ingenieur

(Dr.-Ing.)

der

Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

Navneet Kumar

aus

Patna, Indien

ABSTRACT

The Upper Kharun Catchment (UKC) is one of the most important, economically sound and highly populated watersheds of Chhattisgarh state in India. It covers diverse land-use types: urban, rural, agricultural, forest and industrial areas. The study area is a part of the newly formed state, which was established in 2000 and is characterized by considerable population growth and expansion of urban areas, industrialization, and irrigation areas and facilities for meeting the increasing food demand. Furthermore, the government has planned the formation of the new capital city. The planning unit is partly in the study area, and hence there is an urgent need to estimate the impact of future land-use change on the water resources of UKC, and to consider whether and to which degree the intensification of irrigated agriculture is putting the groundwater resources of the UKC at risk of over-exploitation that might lead to a major water crisis in near future.

Climate change is likely to severely affect the surface and groundwater resources due to changes in precipitation and evapotranspiration and their spatio-temporal distribution. The impact of future climate change may be felt more severely in the study area, which is already under stress due to the current population increase and associated demands for energy, freshwater and food. In spite of the uncertainties about the precise magnitude of climate change and its possible impacts, particularly on regional scales, measures must be taken to anticipate, mitigate and/or adapt to its adverse effects on surface and groundwater availability.

There is no research documented in literature related to climate change and land-use change impacts on water resources of the UKC. Hence, an attempt is made to overcome these shortcomings and to run the Soil Water Assessment Tool (SWAT) with high resolution input data taking irrigation issues relevant in the UKC explicitly into account. For this purpose, the climate scenarios of the PRECIS regional climate model were bias corrected to station level, and land-use maps of 1991, 2001, 2011 and 2021 were prepared with details of surface and groundwater-irrigated areas. The results of the study provide the base for framing strategies for water resource management in the study area.

The trend analyses show that the overall rainfall trend for the UKC increased at a rate of 1.94 mm per annum at $p=0.033$ level of significance from 1961-2011. No statistically significant change in rainfall in the month of peak rainfall was observed. Mid July remains the period of peak rainfall over the years (1961-2011). There was no significant trend for mean annual temperature. However, slight increase in temperature was detected in specific months.

The bias-corrected PRECIS RCM scenarios show an increasing trend for both mean annual rainfall and temperature (except for the q0 and q1 scenarios for the 2020s, where there is a decrease in annual rainfall compared to the baseline). The mean monthly rainfall increases for all scenarios, except for the month of June, where a significant decrease in rainfall is predicted.

The main land-use change pattern between 1991 and 2011 shows a significant increase in urban areas by 4.67%, decrease in wasteland by 3.76%, increase in area under two-season crops by 5.43 %, while 5.67% of the area is under more than two-season crops with paddy as a summer crop. The two and more than two-season crops are irrigated by groundwater sources. The land-use scenario of 2021 shows a further increase in built-up area by 2.6% compared to 2011. Also, the groundwater-irrigated area with two-season crops is expected to increase by 24.25% and the area with more than two-season crops with summer paddy by 12.57%, which indicates an excessive increase in groundwater irrigation for some villages in the UKC and unsustainable use of the precious groundwater resources.

On the UKC scale, the impact of land-use change on different water balance components is small. There is a decreasing trend of annual discharge, water yield and groundwater contribution to streamflow, and an increasing trend of annual surface runoff and actual evapotranspiration over the decades. The impact on water resources is significant and clearly visible at sub-catchment level, where an increasing trend for urban areas can be observed. Based on the bias-corrected climate scenarios q0, q1 and q14, changes in the main water balance components were simulated with the SWAT model.

The simulated annual discharge for the 2020s ranged between 25.9% decrease to 23.6% increase depending on the PRECIS scenario. For the 2050s, discharged ranges between 17.6% decrease to 39.4% increase, and for the 2080s an increase in the range of 16.3% to 63.7% is simulated.

The annual surface runoff for the 2020s ranges between 28.8% decrease to 26.8% increase. For the 2050s, predictions vary between 17.9% decrease to 44.1% increase, whereas for the 2080s an increase in the range of 19.5% to 69.6% is expected.

The annual percolation for the 2020s is estimated to range between 12.8% decrease to 8.7% increase. Predictions for the 2050s range between 10.3% decrease to 15.4% increase, and for the 2080s between 0.3% decrease and 13.7% increase.

The annual groundwater contribution to streamflow for the 2020s is expected in the range of 7.0% decrease to 14.7% increase. Predictions for the 2050s range from 13.3% decrease to 64.7% increase, and for the 2080s between 10.4% decrease and 59.1% increase. Scenario Q1 shows a decrease in annual groundwater contribution to streamflow in all time steps.

ZUSAMMENFASSUNG

Das obere Kharun-Einzugsgebiet (UKC) ist eines der wichtigsten, wirtschaftlich bedeutsamen und dicht besiedelten Einzugsgebiete im indischen Bundesstaat Chhattisgarh. Es enthält vielfältige Landnutzungstypen: bebaute städtische und ländliche Flächen, Landwirtschaft, Wald und Industriegebiete. Das Untersuchungsgebiet ist ein Teil des im Jahr 2000 neu gebildeten Bundesstaates. Die Entstehung des Bundesstaates führt zu dynamischen Entwicklungen: erhebliches Bevölkerungswachstum und Ausdehnung der bebauten Flächen, Industrialisierung und Erweiterung der Bewässerungsflächen/-einrichtungen, um den steigenden Nahrungsmittelbedarf zu decken. Darüber hinaus hat die Regierung den Aufbau einer Hauptstadt für den neuen Bundesstaat geplant. Diese Planungseinheit fällt teilweise in das Untersuchungsgebiet, und somit ergibt sich die dringende Notwendigkeit, die Auswirkungen künftiger Landnutzungsänderung auf die Wasserressourcen des UKC einzuschätzen. Eine wichtige Frage besteht in diesem Zusammenhang darüber hinaus darin, ob und in welchem Ausmaß die Intensivierung der Bewässerungslandwirtschaft zu einer Gefährdung der Grundwasserressourcen durch Übernutzung im UKC führen kann und eine Wasserkrise in naher Zukunft bedingen könnte.

Der Klimawandel lässt deutliche Auswirkungen auf die Oberflächen- und Grundwasserressourcen erwarten, und zwar aufgrund von Änderungen in Niederschlag und Evapotranspiration und deren räumlich-zeitlicher Verteilung. Diese Auswirkungen sind für das Untersuchungsgebiet deswegen relevant, weil es bereits aufgrund des aktuellen Bevölkerungswachstums und den damit verbundenen Anforderungen an die Versorgung mit Energie, Wasser und Nahrungsmitteln unter Stress steht. Trotz der – insbesondere auf der regionalen Ebene bestehenden - Unsicherheiten über das genaue Ausmaß des Klimawandels und seiner möglichen Auswirkungen, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um negative Auswirkungen auf die Oberflächen- und Grundwasserressourcen vorherzusehen, zu mildern und/oder Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Die Literatur dokumentiert keine Forschungen im oberen Kharun-Einzugsgebiet zu den Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzungsänderungen auf die Wasserressourcen. Diese Studie stellt den Versuch dar, dieses Defizit abzubauen. Dazu wird das Einzugsgebietsmodell SWAT genutzt, und zwar mit hoch-aufgelösten Eingangsdaten sowie expliziter Berücksichtigung der im UKC relevanten Aspekte der Bewässerung. Zu diesem Zweck wurden die Klimaszenarien des regionalen Klimamodell PRECIS auf Stationsebene Schiefe-korrigiert und detaillierte Karten der Landnutzung für 1991, 2001, 2011 und 2021 erstellt, wobei die mit Oberflächen- und Grundwasser bewässerten Flächen besondere Berücksichtigung fanden. Die Ergebnisse der Studie liefern die Grundlage für die Konzeption von Strategien für Wasserbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet.

Ein wichtiges Ergebnis der Trendanalysen besteht darin, dass die Jahressumme des Niederschlags für das UKC zwischen 1961-2011 mit einer Rate von 1,94 mm pro Jahr ($p = 0,033$ Signifikanzniveau) zugenommen hat, wohingegen beim Jahresmittelwert der Temperatur kein signifikanter Trend festgestellt wurde. Es ergaben sich jedoch geringe Zunahmen der Temperatur in Bezug auf einige Monate. Es gibt keine statistisch signifikante Veränderung des Niederschlags in dem Monat mit den höchsten Niederschlägen. Mitte Juli bleibt der Zeitraum des Spitzenniederschlags in den Jahren 1961-2011.

Der Schiefe-korrigierten PRECIS RCM Szenarien zeigen eine steigende Tendenz sowohl für die mittlere jährliche Niederschlagsmenge und die Temperatur (mit Ausnahme der 2020er Jahre und die q0 und q1 Szenarien, die einen Rückgang des Jahresniederschlags im Vergleich zum Referenzwert angeben). Der mittlere monatliche Niederschlag steigt für alle Szenarien, mit Ausnahme des Monats Juni, wo eine signifikante Abnahme der Niederschläge vorhergesagt wird.

Die Muster der Landnutzungsänderungen zwischen 1991 und 2011 bestehen in einem deutlichen Anstieg der bebauten Gebiete (4,67%), einer Abnahme des Ödlands (3,76%) und in klaren Ausweitungen der Flächen mit jährlich zwei (5,43%) oder mehr (5,67%) Anbaukulturen und mit Reis als Sommer-Kultur. Diese zwei- oder mehrfach genutzten Flächen werden mit Grundwasser bewässert. Ein realistisches Szenario der künftigen Landnutzung für 2021 zeigt einen weiteren Anstieg der bebauten Fläche um 2,6% im Vergleich zu 2011. Es wird auch eine weitere Zunahme der mit Grundwasser bewässerten zwei- oder mehrfach genutzten Anbaufläche erwartet, und zwar um 24,25% (zweifach) und 12,57% (drei Kulturen mit Reis im Sommer). Dies führt zu einem übermäßigen Anstieg der Grundentnahmen für Bewässerungszwecke in einigen Dörfern des UKC und wirft die Frage der nachhaltigen Nutzung der kostbaren Grundwasserressourcen auf.

Auf der Ebene des Gesamteinzugsgebietes bleiben die simulierten Auswirkungen der Landnutzungsänderungen auf relevante Komponenten des Wasserhaushalts eher gering. Es wird ein abnehmender Trend des jährlichen Gesamt-Abflusses und des Beitrags des Grundwassers zum Abfluss berechnet, wohingegen die Simulationen steigende Trends bei Oberflächenabfluss und aktueller Evapotranspiration über die Jahrzehnte anzeigen. Dagegen ist der von Änderungen der Landnutzung auf den Wasserhaushalt ausgehende Einfluss signifikant und deutlich sichtbar auf der Ebene von Teileinzugsgebieten des UKC. Den klarsten Anstieg des Oberflächenabflusses im Laufe der Jahrzehnte wurde für die Teileinzugsgebiete berechnet, die einen zunehmenden Trend für bebaute Flächen aufweisen.

Auf der Grundlage unterschiedlicher Schiefe-korrigierter Klimaszenarien (q0, q1 und q14) wurden Änderungen in den relevanten Komponenten des Wasserhaushalts mit dem SWAT-Modell simuliert. Der jährliche Abfluss für die 2020er Jahre schwankt in Abhängigkeit von dem als SWAT-Input verwendeten PRECIS Klimaszenario zwischen 25,9% Abnahme und 23,6% Erhöhung. Für 2050 liegt der simulierte Abfluss zwischen einer Abnahme um 17,6% und einer Zunahme um 39,4%. Dagegen führen die Simulationen für 2080 durchweg zu Anstiegen und zwar im Bereich von 16,3% auf 63,7%. Für den jährlichen Oberflächenabfluss in den 2020er Jahren wird ein Korridor zwischen einer Abnahme um 28,8% und einem Anstieg um 26,8% berechnet. Für 2050 schwanken die Vorhersagen zwischen 17,9% Rückgang und 44,1% Steigerung, wohingegen für 2080 generell steigenden Tendenzen im Bereich von 19,5% bis 69,6% erwartet werden.

In Bezug auf die jährliche Versickerung weisen die Simulationsergebnisse eine Bandbreite zwischen 12,8% Abnahme und einem Anstieg um 8,7%. Prognosen für 2050 differieren zwischen 10,3% Rückgang und 15,4% Steigerung, und für 2080 liegen sie im Bereich von 0,3% Abnahme und einem Anstieg um 13,7%.

Die Simulationen des jährlichen Grundwasserbeitrags zum Abfluss für die 2020er Jahre bewegen sich zwischen einem Absinken um 7,0% und einer Steigerung um 14,7%. Prognosen für 2050 reichen von 13,3% Abnahme bis auf 64,7% Steigerung, und für 2080 werden ein Rückgang um 10,4% und eine Zunahme um 59,1% zu geschätzt. Das Szenario Q1 führt in Bezug auf alle Simulationszeiten (im Vergleich mit dem Referenzzeitraum) zu Abnahmen des Grundwasserbeitrags zum Abfluss.