

From Professorship Geotechnical Engineering and Coastal Engineering
Faculty of Agriculture, Civil and Environmental Engineering

Summary of cumulative Dissertation

**MODELLING THE HYDROLOGICAL RESPONSE AND OPTIMAL
OPERATION STRATEGIES FOR HYDROPOWER RESERVOIRS IN THE
OMO RIVER BASIN OF ETHIOPIA
UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS**

for obtaining the academic the degree
of Doctor of Engineering (Dr.-Ing.)

at Faculty of Agriculture, Civil and Environmental Engineering,
of the University of Rostock

submitted by
M.Sc. Tolera Abdissa Feyissa

Defence on 23. October 2026

All life on earth depends heavily on water resources, which are also crucial to the sustainable development of the ecosystem, socioeconomic system, hydropower, and agricultural productivity in the Omo River Basin. However, climate change and water demand escalation have been affecting hydrological processes, water resources management and optimal reservoir operations strategies immensely. Therefore, future water resources and watershed management, efficient operation of water infrastructure, and the development of climate adaptation strategies depend on the integration evaluation with climate change using the latest Coupled Model Inter-comparison Project (CMIP6) climate scenarios. The study objective was to investigate the potential impact of climate change on hydrological responses and optimal reservoir operation of the Omo River Basin. To address this objective, performances evaluation of 20 of the CMIP6 models and future climate scenarios of Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) in the Omo River Basin was properly performed to reproduce the precipitation and the maximum and minimum temperature in the basin. The model's performance was carried out against the best selected mean monthly reference data set using mainly five statistical metrics indicators. The best skill full models were ranked using a compromise programming multi-criteria decision-making approach. The result show that the top 3 ensemble models, NorESM2-MM and GFDL-CM4 models have designated to reproduce the precipitation, maximum and minimum temperature in the basin respectively. The trend of the chosen CMIP6 models was evaluated using the Mann-Kendall-test, after downscaling and bias adjustment/correction methods were applied. The future seasonal precipitation of June, July, August, September (JJAS) and March, April, May (MAM) shows an increasing trend under all, however, decline trend in JJAS season for SSP2452071-2100 scenario. The maximum and minimum temperature projection are to be increased on average under the both climate change scenarios. Also, the basin temporal-spatial climate variation in precipitation and temperature will observe immensely.

To evaluate the climate change impact on the basin hydrological processes, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used for three time periods: the baseline (1990–2019), near (2031–2060), and far future (2071–2100) under the SSP245 and SSP585 climate change scenarios. The model calibration and validation process were accomplished and the result reveals that the model performance was well in the basin hydrological simulation based on statistical indicators results. The expected stream flow in the basin will increase on average, both annually under both scenarios and in the months of June, July, August, and September (JJAS). However, for the months of March, April, and May (MAM), the projected stream flow indicates a drop under the SSP245 scenario and an increase under the SSP585 scenario. Under the SSP245 and SSP585 scenarios, the basin's mean annual surface runoff will fall and rise, respectively. Similarly, under the SSP245 scenario, the seasons' surface runoff of JJAS and MAM decreases, but under the SSP585 scenario, it increases on average. The basin hydrological cycle

components are predicted to exhibit significant spatial variation in the future under the specified climate change scenarios.

Finally, the study examines the optimal reservoirs operation strategies of the Omo River Basin under the Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) climate change scenarios. The optimalization operation of the Gilgel Gibe reservoirs I and III under the two Shared Socioeconomic Pathways (SSP245 and SSP585) climate change scenarios was calculated using the Hydrologic Engineering Center's Prescriptive Reservoir Model (HEC-ResPRM). The SWAT model simulated time series, spatial data, reservoirs physical parameters and boundary conditions were used as the model input during optimisation computation periods. The results show that, in comparison to the baseline period, Gilgel Gibe Reservoir I's average monthly optimized power generation will rise by 29.0, 19.8, and 34.0 % in the SSP245_2080, SSP585_2050, and SSP585_2080 scenarios, respectively, with the exception of a -2.5 % decline in the SSP245_2050 scenario. Similar to this, Gilgel Gibe Reservoir III's future optimal power generation is predicted to grow by 5.3, 7.4, and 10.6 % in the climate change scenarios of SSP245_2080, SSP585_2050, and SSP585_2080, respectively, but decrease by -7.1 % under the SSP245_2050 scenario. In addition, the temporal-spatial variance of climatic change in the basin causes the discrepancies of maximum optimum power generation when compared to the actual installed capacity of both reservoirs during maximum normal full operation. The study result is crucial for future water resources management, environmental conservation, developing climate adaptation strategies, policy makers and adjusting reservoir operation rule curve to maximize the power generation.

Wasserressourcen sind für alle Lebewesen der Welt unverzichtbar und spielen eine entscheidende Rolle für die nachhaltige Entwicklung von Ökosystemen, die sozioökonomische Entwicklung sowie die Wasserkraft- und Landwirtschaftsproduktivität im Einzugsgebiet des Omo-Flusses. Klimawandel und steigender Wasserbedarf beeinflussen jedoch hydrologische Prozesse, das Wassermanagement und Strategien für einen optimalen Stauseebetrieb erheblich. Daher ist die Integration der Klimafolgenabschätzung des Klimawandels anhand der neuesten Klimaszenarien des Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) in die Bewertung zukünftiger Wasserressourcen und des Stauseebetriebs für das zukünftige Wassereinzugsgebietsmanagement, den effektiven Betrieb der Wasserinfrastruktur und die Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien unerlässlich. Ziel dieser Studie war es, die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Prozesse und den optimalen Stauseebetrieb im Einzugsgebiet des Omo-Flusses zu untersuchen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die Leistungsfähigkeit von 20 CMIP6-Modellen und zukünftigen Klimaszenarien der Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) im Omo-Flussbecken hinsichtlich der Reproduktion von Niederschlag und Maximaltemperatur im Becken bewertet. Die Modellleistung wurde anhand eines optimalen monatlichen Referenzdatensatzes mit fünf statistischen Kennzahlen ermittelt. Die besten Modelle wurden mithilfe einer kompromissbasierten, multikriteriellen Entscheidungsanalyse eingestuft. Die Ergebnisse zeigen, dass die drei besten Ensemble-Modelle, NorESM2-MM und GFDL-CM4 geeignet sind, Niederschlag, Maximal- bzw. Minimaltemperatur im Becken zu reproduzieren. Der Trend der ausgewählten CMIP6-Modelle wurde nach Anwendung von Downscaling- und Bias-Adjustierung/Fehlerkorrektur mithilfe des Mann-Kendall-Tests analysiert. Der zukünftige saisonale Niederschlag für Juni bis September (JJAS) und März bis Mai (MAM) zeigt in allen Szenarien einen steigenden Trend, jedoch einen rückläufigen Trend in der JJAS-Saison im Szenario SSP2452071-2100. Die prognostizierten Höchst- und Tiefsttemperaturen werden sich in beiden Klimawandelszenarien im Durchschnitt erhöhen. Auch die zeitlich-räumlichen Klimaschwankungen im Becken hinsichtlich Niederschlag und Temperatur werden sich erheblich verstärken.

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die hydrologischen Prozesse im Einzugsgebiet zu bewerten, wurde das SWAT-Modell (Soil and Water Assessment Tool) für drei Zeiträume verwendet: den Basiszeitraum (1990–2019), den nahen (2031–2060) und den fernen (2071–2100) Zeitraum unter den Klimawandelszenarien SSP245 und SSP585. Die Kalibrierung und Validierung des Modells wurden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Modellleistung in der hydrologischen Simulation des Einzugsgebiets anhand statistischer Indikatoren gut war. Der erwartete Abfluss im Einzugsgebiet wird im Durchschnitt sowohl jährlich unter beiden Szenarien als auch in den Monaten Juni bis September (JJAS) zunehmen. Für die Monate März bis Mai (MAM) deutet der prognostizierte Abfluss jedoch auf einen Rückgang unter dem Szenario SSP245 und einen Anstieg unter dem Szenario SSP585 hin. Unter den

Szenarien SSP245 und SSP585 wird der mittlere jährliche Oberflächenabfluss des Einzugsgebiets sinken bzw. steigen. Im Szenario SSP245 nimmt der Oberflächenabfluss in der Zeit Juni bis September (JJAS) und März bis Mai (MAM) ab, im Szenario SSP585 hingegen steigt er im Durchschnitt an. Es wird prognostiziert, dass die Komponenten des hydrologischen Kreislaufs im Einzugsgebiet unter den genannten Klimawandelszenarien zukünftig erhebliche räumliche Unterschiede aufweisen werden.

Abschließend untersucht die Studie die optimalen Betriebsstrategien für die Stauseen im Einzugsgebiet des Omo-Flusses unter den Klimawandelszenarien des Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). Die Optimierung des Betriebs der Gilgel Gibe Stauseen I und III unter den beiden Klimawandelszenarien Shared Socioeconomic Pathways (SSP245 und SSP585) wurde mithilfe des präskriptiven Stauseemodells HEC-ResPRM des Hydrologic Engineering Center berechnet. Als Eingangsdaten für die Optimierungsberechnungen dienten die vom SWAT-Modell simulierten Zeitreihen, Geodaten, physikalischen Parameter der Stauseen und Randbedingungen. Die Ergebnisse zeigen, dass die durchschnittliche monatliche optimierte Stromerzeugung des Gilgel Gibe Stausees I im Vergleich zum Basiszeitraum in den Szenarien SSP245_2080, SSP585_2050 und SSP585_2080 um 29,0, 19,8 bzw. 34,0 % steigen wird, mit Ausnahme eines Rückgangs um 2,5 % im Szenario SSP245_2050. Ähnlich wird für den Gilgel Gibe Stausee III ein zukünftiger Anstieg der optimalen Stromerzeugung um 5,3, 7,4 bzw. 10,6 % in den Klimawandelszenarien SSP245_2080, SSP585_2050 und SSP585_2080 prognostiziert, jedoch ein Rückgang um 7,1 % im Szenario SSP245_2050. Darüber hinaus führt die zeitlich-räumliche Variabilität des Klimawandels im Einzugsgebiet dazu, dass die maximal mögliche Stromerzeugung im Vergleich zur tatsächlichen installierten Leistung beider Stauseen im maximalen Normalbetrieb sowohl unter- als auch überschätzt wird. Die Ergebnisse der Studie sind von entscheidender Bedeutung für das zukünftige Wassermanagement, den Umweltschutz, die Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien, für politische Entscheidungsträger sowie die Anpassung der Betriebskennlinie für den Stauseebetrieb zur Maximierung der Stromerzeugung.