

Modeling of Hydrology and Soil Erosion of Upper Awash River Basin

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor-Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 30.03.2006

Dilnesaw Alamirew Chekol.,

B.Sc in Agri. Eng., from Alamaya University of Agriculture (Ethiopia)

M.Eng., from University of Applied Science Cologne (Germany)

M.Sc., from University of Bonn (Germany)

aus

Äthiopien

VI ABSTRACTS

Ethiopia can realize its food security and sustainable development not by depending on rainfed agriculture but by utilizing its plentiful water resources and conserving soil resources. Proper utilization of these resources necessitates assessment and management of the quantity and quality of the water resources both spatially and temporally. To quantify such variability of hydrologic fluxes and flow of matter a distributed watershed model with a high resolution of space and time is necessary.

The objectives of this study was to evaluate the applicability and performance of a distributed watershed model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) in predicting the daily, weekly and monthly water yield and monthly sediment yield, the long-term impacts of agricultural management practices on water and sediment yield and the impact of climate change on the water and its components (surface runoff, lateral flow and base flow) and sediment yield, in Upper Awash River basin. The impact of DEM (Digital Elevation Model) resolution, level of sub-basin discretization, level of soil and land use threshold in defining HRU (Hydrological Response Unit), and spatial variability of rainfall input on the SWAT model output were analysed. The simulated annual sediment yield was compared with the soil erosion and deposition on the landscape using ¹³⁷Cs method

SWAT was successfully calibrated and validated for measured stream flow at Berga, Melkukuntere and Hombole gauging stations and for measured sediment yield at Hombole gauging stations in the Upper Awash River Basin. The model performance evaluation statistics (Nash-Sutcliffe model efficiency (E_{NS}), coefficient of determination (r^2) and percentage deviation of simulated mean from measured one (D)) clearly show that the model can produce reliable estimates of daily, weekly and monthly discharge and monthly sediment yield. Results of this analysis demonstrated that SWAT is a capable modeling tool for analyzing hydrologic processes and water resources planning and management and sedimentation in the Upper Awash River Basin using the set of optimized parameters along with the other parameters. These parameters can be accepted as the representative set of parameters for the Upper Awash River Basin.

Following calibration and validation of SWAT model different soil conservation scenarios were tested with respect to sediment yield. Results of simulations were used to illustrate the potential reduction in sediment yield that could be expected by various management/conservation measures. Results of the simulation show that land management/conservation measures in a watershed scale can result in a reduction of sediment yield at Hombole station by about 10-72%. The simulation using parallel terraces with the reduction of slope length by 75% gave the highest reduction in sediment yield which is from 21.53t/ha/y (baseline scenario with current management and conservation measures) to 6.09t/ha/y. Besides, this measure shows its capability of conservation of water resources by resulting the highest increment in water yield by 11%.

The sensitivity of the hydrologic system and sediment yield of Upper Awash River basin to future climate change were analyzed using SWAT model by formulating climate change scenarios. A regression analysis of the flow responses for the scenarios with a precipitation decrease and increase resulted in a slope of 2.01, indicating that a unit percent increase in precipitation produced a 2.01 percent increase in flow for the Upper Awash River Basin. But sediment response to climate change behave differently it is expressed by exponential regression equation and as the rainfall increases the sediment yield increases exponentially. This is because of the limited capabilities of absorbing the water which is falling as a rainfall as a result the surface runoff will increase and hence sediment yield will increase.

The soil erosion and deposition rates using ^{137}Cs technique were calculated by proportional model (PM) and simplified mass balance model (MBM1) calibration models. The results from these calibration models were compared with the annual simulated sediment yield by SWAT model and the annual measured sediment yield at Hombole gauging station. Based on this comparison the erosion rate simulated by SWAT model (21.53t/ha/y) and the annual soil erosion rate modeled by PM (21t/ha/y for Tede and 34t/ha/y for Ejere site) are almost in the same range. The erosion rates from the PM were extrapolated and maps soil erosion-deposition were created and this can be used to formulate appropriate soil conservation practices.

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln sicherzustellen und die Nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten, wird es in Äthiopien über die Nutzung des Regenfeldbaus hinausgehend notwendig, auf die reichen Wasserressourcen zurückzugreifen und dem Gesichtspunkt der Erhaltung der Bodenressourcen verstärkt Beachtung zu schenken. Die angemessene Nutzung dieser Ressourcen setzt die Beurteilung und Bewirtschaftung sowohl nach Menge als auch nach Güte unter Beachtung räumlicher sowie zeitlicher Abhängigkeiten voraus. Um Wasserflüsse und Stofftransportvorgänge mit den angesprochenen Abhängigkeiten zu bestimmen, wird der Einsatz konzeptioneller Einzugsgebietsmodelle mit hoher räumlich-zeitlicher Auflösung notwendig.

Ein grundsätzliches Ziel der Arbeit war es, die Anwendbarkeit und die Eignung des konzeptionellen Einzugsgebietsmodells SWAT (Soil Water Assessment Tool) zur Vorhersage des Wasserhaushalts mit täglicher, wöchentlicher sowie monatlicher Auflösung und zur Prognose der Sedimentfracht in Monatsintervallen zu prüfen (räumlicher Bezug: oberes Einzugsgebiet des Flusses Awash). Weitergehende Ziele der Arbeit bestanden darin, mit dem SWAT-Modell eine Abschätzung der langfristigen Auswirkungen der Landnutzung auf den Wasser- sowie Stoffhaushalt vorzunehmen und eine Prognose von Folgen der Klimaänderung auf die wesentlichen Komponenten des Wasserhaushalts (Oberflächen-, Zwischen- und Basisabfluss) und auf die Sedimentfracht aufzustellen. Weiterhin wurden der Einfluss der Auflösung des Digitalen Geländemodells, des Grades der Diskretisierung der Teileinzugsgebiete, der Boden- sowie Landnutzungsgrenzwerte bei der Abgrenzung der ‚hydrological response units‘ des SWAT-Modells und der räumlich-zeitlichen Variabilität des einzugebenden Niederschlags auf die Modellergebnisse des SWAT untersucht. Die simulierte jährliche Sedimentfracht wurde verglichen mit Erosions- sowie Ablagerungswerten, die aus der Anwendung der ¹³⁷Cs-Methode gewonnen werden konnten.

SWAT wurde erfolgreich kalibriert und validiert in Bezug auf die an den Stationen Berga, Melkukuntere sowie Hombole gemessenen Abflüsse und im Hinblick auf die für die Station Hombole vorliegenden Sedimentationsmessungen. Die statistische Prüfung der Modellleistung mit dem Nash-Sutcliffe efficiency-Verfahren (E_{NS}), dem Bestimmtheitsmaß (r^2) und der prozentualen Abweichung (D) zwischen simulierten sowie gemessenen Mittelwerten belegen eindeutig, dass SWAT zuverlässige Abschätzungen der täglichen, wöchentlichen und monatlichen Abflüsse sowie der monatlichen Sedimentfracht ermöglicht. Das Ergebnis der Untersuchungen weist das SWAT-Modell als geeignetes Instrument zur Modellierung und Analyse hydrologischer Prozesse, zur Planung der Wasserressourcenbewirtschaftung und zur Kontrolle der Sedimentation im oberen Einzugsgebiet des Awash bei Verwendung

optimierter Parameter aus. Diese Parameter können als repräsentativ für das obere Einzugsgebiet des Awash angesehen werden.

Auf der Grundlage des kalibrierten und validierten SWAT-Modells wurden alternative Szenarien zum Zwecke des Bodenschutzes getestet (im Hinblick auf die Sedimentfracht). Die Ergebnisse von Simulationsläufen eignen sich, um das Potenzial zur Reduzierung der Sedimentfracht aufzuzeigen, das von den Bodenschutz- bzw. Bewirtschaftungsstrategien erwartet werden kann. Im Ergebnis weisen die Simulationen mögliche Verringerungen der Sedimentfracht an der Station Hombole zwischen 10 bis 72 % nach. Die Simulation mit Parallelterrassen, die eine Verringerung der Hanglänge auf 75 % bewirken, führt zu einer Senkung der Sedimentfracht vom Referenzwert in Höhe von 21.53 t/ha/y (derzeitige Landnutzungs- und Bodenschutzmaßnahmen) auf 6.09 t/ha/y. Darüber hinaus ergab sich für dieses Szenario der höchste Beitrag zur Schonung der Wasserressourcen durch eine Steigerung des Gesamtabflusses um 11 %.

Die Empfindlichkeit des hydrologischen Systems und der Sedimentfracht im oberen Awash Einzugsgebiet gegenüber der Klimaänderung wurden ebenfalls untersucht, indem Szenarien zur Beschreibung des Klimawandels (abgestufte Variation der Parameter Temperatur und Niederschlag) mit dem SWAT-Modell analysiert wurden. Veränderungen des Abflusses in Abhängigkeit abgestuft variiertes Niederschläge wurden simuliert und eine Regression aufgestellt. Die errechnete Steigung der Regression von 2.01 bedeutet, dass eine Erhöhung des Niederschlags um eine Einheit den Abfluss um 2.01 Einheiten vergrößert. Bei den Simulationen reagierte die Sedimentfracht auf die verwendeten Szenarien der Klimaänderung numerisch so stark, dass ein exponentieller Zusammenhang zwischen Niederschlag und Sedimentfracht aufgestellt wurde.

Die Berechnung der Erosions- und Ablagerungsraten aus den ¹³⁷Cs-Auswertungen erfolgte mit Hilfe des Proportionalitäts-Modells (PM) und der vereinfachten Massenbilanz-Methode (MBM1). Die Ergebnisse dieser Eichung wurden verglichen mit der simulierten jährlichen Sedimentfracht (SWAT-Modell) und den jährlichen Messwerten der Sedimentation an der Station Hombole. Auf der Grundlage des durchgeführten Vergleichs ergab sich, dass die mit SWAT simulierte Erosionsrate von 21.53 t/ha/y in der Größenordnung der mit dem Proportionalitätsmodell (PM) für die Teilgebiet Tede (21 t/ha/y) und Ejere (34 t/ha/y) liegt. Die mit dem Proportionalitätsmodell punktuell ermittelten Erosionsraten wurden auf die Fläche übertragen, um Karten der Erosion bzw. Ablagerung zu erzeugen. Diese bilden die Grundlage zur Konzeption angemessener Bodenschutzpraktiken.