

Zusammenfassung

Die Elbe und ihr Einzugsgebiet sind vom Klimawandel betroffen. Um die Wirkkette von projizierten Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt und die daraus resultierenden Nährstoffeinträge und -frachten für große Einzugsgebiete wie das der Elbe zu analysieren, können integrierte Umweltmodellsysteme eingesetzt werden. Fallstudien, die mit diesen Modellsystemen ad hoc durchgeführt werden, repräsentieren den Istzustand von Modellentwicklungen und -unsicherheiten – sie sind daher statisch.

Diese Arbeit beschreibt den Einstieg in die Dynamisierung von Klimafolgenanalysen im Elbegebiet. Dies umfasst zum einen eine Überprüfung von Auswirkungsrechnungen, die mit Szenarien des statistischen Szenariengenerators STARS durchgeführt wurden, mit neueren Klimaszenarien aus dem ISI-MIP Projekt, die dem letzten Stand der Klimamodellierung entsprechen. Hierfür wird ein integriertes Modellsystem mit „eingefrorenem Entwicklungsstand“ verwendet. Die Klimawirkungsmodelle bleiben dabei unverändert. Zum anderen wird ein Bestandteil des integrierten Modellsystems – das ökohydrologische Modell SWIM – zu einer „live“-Version weiterentwickelt. Diese wird durch punktuelle Testung an langjährigen Versuchsreihen eines Lysimeterstandorts sowie an aktuellen Abflussreihen validiert und verbessert. Folgende Forschungsfragen werden bearbeitet: (i) Welche Effekte haben unterschiedliche Klimaszenarien auf den Wasserhaushalt im Elbegebiet und ist eine Neubewertung der Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt notwendig? (ii) Was sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nährstoffeinträge und -frachten im Elbegebiet und wie beeinflusst dieser die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge? (iii) Ist unter der Nutzung (selbst einer sehr geringen Anzahl) verfügbarer tagesaktueller Witterungsdaten in einem stark heterogenen Einzugsgebiet eine valide Ansprache der aktuellen ökohydrologischen Situation des Elbeeinzugsgebietes möglich?

Die aktuellen Szenarien bestätigen die Richtung jedoch nicht das Ausmaß der Klimafolgen. Die Rückgänge des mittleren jährlichen Gesamtabflusses und der monatlichen Abflüsse an den Pegeln bis Mitte des Jahrhunderts betragen für das STARS-Szenario ca. 30 %. Die Rückgänge bei den auf dem ISI-MIP-Szenario basierenden Modellstudien liegen hingegen nur bei ca. 10 %. Hauptursachen für diese Divergenz sind die Unterschiede in den Niederschlagsprojektionen sowie die Unterschiede in der jahreszeitlichen Verteilung der Erwärmung. Im STARS-Szenario gehen methodisch bedingt die Niederschläge zurück und der Winter erwärmt sich stärker als der Som-

mer. In dem ISI-MIP-Szenario bleiben die Niederschläge nahezu stabil und die Erwärmung im Sommer und Winter unterscheidet sich nur geringfügig.

Generell nehmen die Nährstoffeinträge und -frachten mit den Abflüssen in beiden Szenarien unterproportional ab, wobei die Frachten jeweils stärker als die Einträge zurückgehen. Die konkreten Effekte der Abflussänderungen sind gering und liegen im einstelligen Prozentbereich. Gleiches gilt für die Unterschiede zwischen den Szenarien. Der Effekt von zwei ausgewählten Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge und -frachten unterscheidet sich bei verschiedenen Abflussverhältnissen, repräsentiert durch unterschiedliche Klimaszenarien in unterschiedlich feuchter Ausprägung, ebenfalls nur geringfügig.

Die Beantwortung der ersten beiden Forschungsfragen zeigt, dass die Aktualisierung von Klimaszenarien in einem ansonsten „eingefrorenen“ Verbund von ökohydrologischen Daten und Modellen eine wichtige Prüfoption für die Plausibilisierung von Klimafolgenanalysen darstellt. Sie bildet die methodische Grundlage für die Schlussfolgerung, dass bei der Wassermenge eine Neubewertung der Klimafolgen notwendig ist, während dies bei den Nährstoffeinträgen und -frachten nicht der Fall ist.

Die zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage mit SWIM-live durchgeführten Validierungsstudien ergeben Diskrepanzen am Lysimeterstandort und bei den Abflüssen aus den Teilgebieten Saale und Spree. Sie lassen sich zum Teil mit der notwendigen Interpolationsweite der Witterungsdaten und dem Einfluss von Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen erklären. Insgesamt zeigen die Validierungsergebnisse, dass schon die Pilotversion von SWIM-live für eine ökohydrologische Ansprache des Gebietswasserhaushaltes im Elbeinzugsgebiet genutzt werden kann. SWIM-live ermöglicht eine unmittelbare Betrachtung und Beurteilung simulierter Daten. Dadurch werden Unsicherheiten bei der Modellierung direkt offengelegt und können infolge dessen reduziert werden. Zum einen führte die Verdichtung der meteorologischen Eingangsdaten durch die Verwendung von nun ca. 700 Klimabzw. Niederschlagstationen zu einer Verbesserung der Ergebnisse. Zum anderen wurde SWIM-live beispielhaft für einen Zyklus aus punktueller Modellverbesserung und flächiger Überprüfung der Simulationsergebnisse genutzt.

Die einzelnen Teilarbeiten tragen jeweils zur Dynamisierung von Klimafolgenanalysen im Elbegebiet bei. Der Anlass hierfür war durch die fehlerhaften methodischen Grundlagen von STARS gegeben. Die Sinnfälligkeit der Dynamisierung ist jedoch nicht an diesen konkreten Anlass gebunden, sondern beruht auf der grundlegenden Einsicht, dass Ad-hoc-Szenarienanalysen immer auch pragmatische Vereinfachungen zugrunde liegen, die fortlaufend überprüft werden müssen.

Summary

The Elbe River basin is affected by climate change. To analyse the chain of effects of projected climate change on the water balance and the resulting nutrient emissions and loads in big river basins like the Elbe River basin, integrated environmental model systems can be applied. Case studies, that are conducted ad hoc with these model systems, represent the current state of model developments and uncertainties – therefore they are static.

This thesis describes the access to a dynamisation of climate impact studies in the Elbe River basin. This comprises on the one hand a verification of impact simulations, that are conducted with scenarios of the statistical scenario generator STARS, with newer climate scenarios of the ISI-MIP project, that represent the state-of-the-art of climate modelling. For this purpose an integrated model system with a “frozen” development status is used. At the same time the climate impact models remain unchanged. On the other hand a component of the integrated model system – the ecohydrological model SWIM – is enhanced to a “live”-system. This is validated and improved by punctual testing with experimental long time series of a lysimeter site and with recent runoff time series. The following research questions are addressed: (i) What are the effects of different climate scenarios on the water balance in the Elbe River basin and is a reassessment of the impacts of climate change on the water balance necessary? (ii) What are the impacts of climate change on the nutrient emissions and loads in the Elbe River basin and how does it influence the effectiveness of measures for reducing nutrient emissions? (iii) Is a valid assessment of the actual ecohydrological situation in the Elbe River basin possible, using (only a small amount of) available day-to-day weather data in a highly heterogeneous river basin?

The recent scenarios confirm the direction but not the magnitude of climate impacts. In the STARS scenario the decrease in mean annual discharge and of the mean monthly streamflow until the middle of the century is approx. 30 %. However, the model studies based on the ISI-MIP scenarios show only a decrease of approx. 10 %. The main reason for this divergence are the differences in the precipitation projections and the differences in the seasonal distribution of the warming. In the STARS scenario the precipitation decreases due to the methodological principles applied and the warming in winter is stronger than in summer. In the ISI-MIP scenario the precipitation is almost stable and the warming in summer and winter differs only slightly.

In general, the nutrient emissions and loads decrease underproportionally with the river basin discharge in both scenarios, with loads declining more sharply than the emissions. The concrete effects of the change in river basin discharge are small, reaching only single-digit percentages. The same holds true for the difference between the scenarios. The effect of selected measures for the reduction of nutrient emissions and loads also differs only slightly between varying runoff conditions, represented by different climate scenarios with dry, mean and wet specification.

Answering the first two research question shows that the actualisation of climate scenarios in an otherwise “frozen” combination of ecohydrological data and models represents an important testing option for the plausibilisation of climate impact studies. It forms the methodological basis for the conclusion, that regarding the water quantity a reassessment of climate impact is necessary whereas this is not the case for the nutrient emissions and loads.

The validation studies that were conducted to answer the third research question, show discrepancies at the lysimeter site and in the flows from the sub-catchments of the rivers Saale and Spree. They can be explained partly by the low spatial density of the climate data and the influences from water-management practices. However, the validation results show that already the pilot version of SWIM-live can be used for an eco-hydrological assessment of the water balance in the Elbe river basin. SWIM-live provides a immediate visualisation and assessment of simulated data. By this means uncertainties of the simulations are directly revealed and can be reduced in consequence. On the one hand a concentration of the meteorological input data by now using approx. 700 climate and precipitation stations, respectively, leads to an improvement of the results. On the other hand SWIM-live is used exemplarily for a cycle of punctual model improvement and spatial verification of the simulations.

The individual parts of this thesis contribute to the dynamisation of climate impact studies in the Elbe river basin. The occasion was given by the flawed methodological basis of STARS. The manifestness of the dynamisation is not bound to this concrete occasion, but is based on the underlying understanding, that ad hoc scenario analyses involve pragmatic simplifications, that have to be verified continuously.