

MANAGEMENT SUPPORT BY OPTIMIZATION-BASED TRADE-OFF ANALYSIS – THE EXAMPLE OF BIODIESEL CROP PRODUCTION

SVEN LAUTENBACH, MARTIN VOLK, MICHAEL STRAUCH, GERALD WHITTAKER & RALF SEPPELT

SUMMARY

Modeling in decision support applications has often been used to compare outcomes between alternative scenarios of decision options. The introduction of optimization methods enable the comparison of a very large number of scenarios that can be used to construct an approximation of Pareto optimal trade-offs among competing objectives. These represent the best compromise solutions that are available to the stakeholders. We show for the example of biodiesel crop production how such an optimization approach can be used to identify a set of potential solutions. We specified the separate objectives of biodiesel crop production, food and fodder production, water quality and minimum discharge, and searched for the best trade-offs among them using a relative recent optimization method. The analysis was based on an integrated river basin model (SWAT) and a multi-objective genetic algorithm (NSGA-II), and was set in the Parthe catchment in Central Germany. To ease communication with stakeholders and decision makers, we identified clusters in the results through use of a self organizing map approach. The clusters represent solutions of similar management strategies for the watershed, from which decision makers and stakeholders can select suitable compromise solutions. The effects of increased biodiesel crop production on the other objectives were mainly triggered by the share of silage corn and sugar beets in the crop rotations. Generally speaking, negative effects on low flow caused by increased biodiesel crop production in the region could be avoided by a shift from silage corn to sugar beets or a reduction of total crop yields. Nitrate concentrations were more sensitive to total crop yield by bioenergy and food and fodder crops.

Keywords: River Basin Management, water quality, bioenergy, land use, genetic algorithm, crop rotation schemes, self organizing map, optimization, trade-offs

ZUSAMMENFASSUNG

Simulationen im Umweltbereich werden oftmals eingesetzt um die Ergebnisse unterschiedlicher Szenarien miteinander zu vergleichen. Mithilfe von

Optimierungsansätzen lassen sich darüber hinaus potentielle Managementmaßnahmen in sehr hoher Zahl vergleichen. Auf Grundlage dieses Vergleiches lassen sich dann Pareto-optimale Zielkonflikte zwischen den einzelnen Zielen abschätzen. Pareto-optimale Lösungen stellen Kompromisslösungen hinsichtlich der unterschiedlichen Zielerreichungsgrade dar und können von Entscheidungsträgern und Interessensvertretern verwendet werden, um den für sie bevorzugten Lösungsbereich zu identifizieren. Wir zeigen in der vorliegenden Arbeit am Beispiel der Biodieselpflanzenproduktion optimale Lösungen abgeleitet werden können. Als Zieldimensionen fanden dabei Mindestabfluss, Wasserqualität, sowie der Ertrag von Nahrungs- und Futterpflanzen sowie der Ertrag von Energiepflanzen für die Biodieselproduktion Verwendung. Hinsichtlich der Energiepflanzen wurde nur Raps eingesetzt, da dieser hinsichtlich Biodieselproduktion in Deutschland die dominante Anbaufrucht ist. Die Optimierung verwendet ein Einzugsgebietsmodell (SWAT) zusammen mit einem mehrdimensionalen genetischen Algorithmus (NSGA-II). Die Analysen wurden im Einzugsgebiet der Parthe in Sachsen durchgeführt. Um die Kommunikation mit Entscheidungsträgern und Interessensvertretern zu vereinfachen wurden die Ergebnisse mithilfe einer self-organizing map geclustert. Die abgeleiteten Cluster repräsentieren dabei Managementstrategien, die ähnlich hinsichtlich der eingesetzten Fruchtarten und der Wasserqualität und des Mindestabflusses sind. Steigende Bioenergieproduktion bietet nach unseren Simulationen durchaus Anpassungspotential. Insbesondere die Anteile von Silage Mais und Zuckerrüben in den Fruchtfolgen hatten großen Einfluss hinsichtlich Mindestabfluss und Wasserqualität. Negative Effekte auf den Mindestabfluss durch steigenden Rapsanbau konnten durch eine Verschiebung von Silage Mais hin zu Zuckerrüben oder eine generelle Reduktion der Nahrungs- und Futtermittelproduktion aufgefangen werden. Für die Wasserqualität hinsichtlich Nitratkonzentrationen spielte weniger das Ausmaß des Rapsanbaus als die gesamte Pflanzenproduktion im Gebiet die entscheidende Rolle.

Schlüsselworte: Einzugsgebietsmanagement, Wasserqualität, Bioenergiepflanzenproduktion, Landnutzung, Genetischer Algorithmus, Fruchtfolgen, Self organizing maps, Optimierung, Zielkonflikte

1 INTRODUCTION

Decision makers in environmental management are oftentimes confronted with complex questions in which the outcomes of management strategies and the associated trade-offs among different objectives cannot easily be foreseen. Simulation models play an important role in informing decision makers about the likely outcomes of management options, but the range of potential options is typically rather large. Therefore, efficient ways to identify suitable options are needed.