

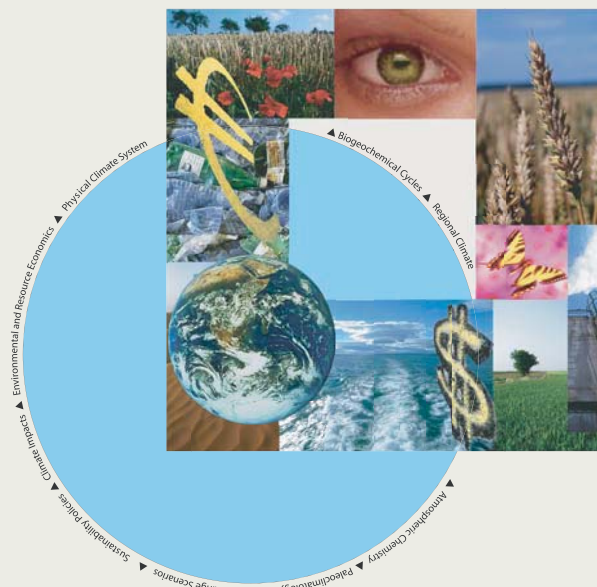


International Max Planck Research School on
EARTH SYSTEM MODELLING

The global agricultural
land-use model KLUM
– A coupling tool for integrated assessment –

Kerstin Ellen Ronneberger

PhD Thesis prepared within the
International Max Planck Research School on
Earth System Modelling



ABSTRACT

Despite the indisputable impact of human action on global climate, the representation of the interaction between the human and the natural dimension in earth system models is still weak. Models of the economy and the biosphere commonly stand on their own; their mutual impacts are only considered by exogenous scenarios. Land-use decisions are one of the most direct links of anthroposphere and biosphere. Land use is target as well as driver of environmental changes, building a vital feedback loop of human societies and the natural environment.

In this thesis, the global agricultural land-use model KLUM (*Kleines* Land Use Model) is developed and the couplings of the model with a global economic trade model as well as with a dynamic vegetation model are described. The aim of the model is to establish a dynamic interface of economy and vegetation in an integrated modeling framework. For this purpose, land allocation algorithm determines the area shares of different crops based on the essential biophysical as a well as economic aspects of agricultural land-use decisions. The developed algorithm is derived by profit maximization, where yield projections enter as a spatially explicit decision factor. The restriction to only the essential parameters as well as the motivationally based approach qualifies the model for long-term predictions, for global analysis and for a dynamic coupling to comprehensive state-of-the-art models of the respective disciplines.

The feedback loop of economic development and agricultural land-use decisions is studied by coupling KLUM to the global computable general equilibrium model GTAP-EFL, an extended version of the established Global Trade Analysis Project model GTAP. The models are linked by replacing the land allocation mechanism of GTAP-EFL with KLUM. Price and management changes, according to GTAP-EFL, and exogenous scenarios of country specific yield values drive KLUM; regionally aggregated changes in area shares of different crops, determined by KLUM are used to update the area-shares in GTAP-EFL. This intimate link establishes a dynamic feedback of country-specific land-use decisions and world-regional economic trade and production decisions. The purely economic representation of crop production in GTAP-EFL benefits from the introduction of biophysical aspects of land-use decisions; the impacts of the changing economy can be projected on agricultural land cover on country level enabling a spatially more explicit analysis of biophysical consequences.

For a spatially explicit analysis of the interaction between land-use decisions, crop growth and organic carbon storage, a C++ version of KLUM is implemented into the dynamic global vegetation model LPJ-C, the Lund Potsdam Jena model for crops. The linking is realized by exchanging the crop specific potential yields, as determined by LPJ-C, with the crop allocation shares, determined by KLUM. The potential yields are used together with exogenous crop prices to drive the land-use decisions; the allocation coefficients for the different crops are used in LPJ-C to scale the carbon entering the soil litter pool. Like this, the effects of a changing economy are projected on the carbon cycle; the environmental changes are projected back on the agricultural sector and can be expressed in economic measures.

In each step of the model development and couplings, the performance is evaluated and relevance and impact of the coupling for the results could be highlighted by means of illustrative future simulations. The results underpin the robustness of the model as well as the importance of land-use changes and their integrated representation for an assessment of climate change impacts.

ZUSAMMENFASSUNG

Trotz des unumstrittenen Einflusses menschlichen Handelns auf das globale Klima, werden die Wechselwirkungen zwischen menschlicher und natürlicher Sphäre in heutigen Erdsystemmodellen immer noch vernachlässigt. Modelle der Ökonomie und der Biosphäre werden zumeist unabhängig voneinander betrachtet und gegenseitige Einflüsse werden lediglich durch exogene Szenarien berücksichtigt.

Die Bewirtschaftung von Land ist einer der unmittelbarsten Einflüsse des Menschen auf die Natur: Landnutzung verändert die Umwelt und wird gleichzeitig von Umweltveränderungen beeinflusst. Als solches stellen die Entscheidungen über die Nutzung von Land ein entscheidendes Bindeglied im Kreislauf gegenseitiger Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur dar.

Diese Arbeit beschreibt die Entwicklung des globalen landwirtschaftlichen Landnutzungsmodells KLUM (*Kleines Land Use Model*) und dessen Kopplung mit einem globalen Weltwirtschaftsmodell sowie mit einem dynamischen Vegetationsmodell.

Ziel des Landnutzungsmodells ist es, in einem integrierten Modellsystem eine dynamische Schnittstelle zwischen Modellen der Ökonomie und der Vegetation zu bilden. Dafür werden im zugrunde gelegten Algorithmus, der die Flächenanteile verschiedener Feldfrüchte bestimmt, sowohl die essentiellen ökonomischen als auch biophysikalischen Aspekte globaler Landnutzungsentscheidungen abgebildet. Der Algorithmus geht aus einer Profitmaximierung hervor in die Ernteertragsprojektionen als ortsspezifische Entscheidungsfaktoren eingehen. Der motivationsbasierte Algorithmus, sowie der Verzicht auf große Mengen von Inputdaten ermöglichen nicht nur die direkte Kopplung mit detaillierten Modellen der spezifischen Disziplinen sondern erlauben darüber hinaus langfristige, globale Zukunftsprojektionen.

Die Kopplung von KLUM mit dem allgemeinen ökonomischen Gleichgewichtsmodell GTAP-EFL, einer erweiterten Version des Global Trade Analysis Projekt Models GTAP, gestattet die Simulation und Untersuchung der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen globalwirtschaftlichen Veränderungen und Entscheidungen über die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen. Indem der Landallokationsmechanismus in GTAP-EFL durch KLUM ersetzt wird, wird die rein ökonomische Darstellung von Landnutzungsentscheidungen in GTAP-EFL um biophysikalische Aspekte erweitert. Der Einfluss sich verändernder Wirtschaftsaktivitäten kann länderspezifisch auf die Veränderung landwirtschaftlicher Flächen abgebildet werden. So wird eine feiner aufgelöste Analyse etwaiger Umweltfolgen möglich. KLUM stützt dabei die Simulation der Landnutzungsentscheidungen auf die berechneten Preis- und Bewirtschaftungsveränderungen des GTAP-EFL Modells, sowie auf exogen vorgegebene Ernteertragsszenarien. Die so berechneten Veränderungen der Flächenanteile für den Anbau verschiedener Feldfrüchte werden auf regionale Ebene aggregiert und bestimmen im GTAP-EFL Model den benötigten Landanteil verschiedenener Feldfruchtproduktionen.

Eine ortsabhängige Analyse der Wechselwirkungen von Pflanzenwachstum, Kohlenstoffanreicherung und Landnutzungsentscheidungen wird durch die Integration einer C++ Version des KLUM Modells in das dynamische globale Vegetationsmodell LPJ-C (Lund Potsdam Jena for crops) realisiert. In der Kopplung werden die von LPJ-C errechneten feldfruchtabhängigen potentiellen Ernteerträge und die entsprechend von KLUM bestimmten Flächenanteilen ausgetauscht. So wird sowohl der Einfluß einer sich ändernden Wirtschaft auf den Kohlenstoffkreislauf als auch die Auswirkung von Umweltveränderungen auf den landwirtschaftlichen Sektor abgebildet. Die potentiellen Ernteerträge sowie exogen vorgegebene Preisszenarien dienen KLUM als Grundlage