

DISS. ETH Nr. 18191

Climate Change Impacts and Adaptation in Swiss Cereal Production: Integrating Biophysical and Economic Modeling

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by

Robert Finger

Dipl. Volksw., European University of Frankfurt (Oder)
born on 25 March 1981
German citizen

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Bernard Lehmann, examiner
PD Dr. Werner Hediger, co-examiner
Prof. Dr. Jürg Fuhrer, co-examiner

2009

Abstract

Because agriculture is intimately linked to climate, it is the most vulnerable economic sector to climate change. Thus, agricultural production systems will be affected by expected changes in climatic conditions over the next decades and century. These changes comprise, in general, elevated CO₂ concentration, higher temperatures, altered precipitation and transpiration regimes and an increased frequency of climatic extreme events. Because agriculture causes a variety of benefits and problems, impacts of climate change on agricultural systems are of importance from an economic but also from a social and environmental point of view. Moreover, the assessment of impacts and potential adaptation supports the decision making processes of farmers, governments, and other stakeholders. This thesis addresses impacts and adaptation to climate change in maize and winter wheat production at the Swiss Plateau. In particular, this thesis aims to assess climate change impacts taking farmers' incentives to adapt to both changing climatic conditions and potential changes in socioeconomic conditions into account. An overview over different approaches of modeling climate change impacts on crop production as well as a review of studies that analyze climate change impacts on Swiss agriculture are given in the introductory chapter 1.

Chapter 2 describes the evaluation of three functional forms and two estimation methods for the estimation of crop production functions, which are the linkage between biophysical and economic models. It shows that exceptional crop yield observations (outliers) can cause misleading results if least squares regression is applied for the estimation of these functions. In order to address this problem, robust regression techniques are applied that are not affected by such outliers. The use of robust regression narrows the range of optimal input levels across different functional forms and reduces potential costs of misspecification compared to least squares estimation. Thus, differences between functional forms are reduced by applying robust regression.

In chapter 3, an approach that integrates the biophysical model CropSyst in an economic model is used to analyze the impact of climate change on Swiss maize and winter wheat production. Adaptation options such as changes in sowing dates, changes in production intensity, and the adoption of irrigation farming are considered in the model. Assuming

different climate change and price scenarios, it shows that farmers' adaptation actions and crop yields are sensitive to both climate change and output prices. The latter is particularly important for Swiss crop production because decreases in crop prices due to market liberalization are expected to be large. Accordingly, the effects of market liberalization might outweigh climate change induced effects on crop production. Moreover, model results show that the considered adaptation measures are sufficient to generate higher and less variable crop yields in the future.

Chapter 4 investigates the impact of climate change on the profitability of site specific technologies in Swiss maize production. Site specific technologies are characterized by input application taking spatial variability across the field into account and the adoption of this management option can reduce environmental pollution and negative externalities caused by common agricultural practice. It shows that climate change increases the differences in optimal input application and yield variability between soils with different contents of soil organic matter. This leads, *ceteris paribus*, to higher incentives for the adoption of site specific technologies in the future.

In chapter 5, the economic potential of irrigation as an adaptation option to climate change in Swiss maize farming is analyzed. Three climate change scenarios (covering the time horizon 2030-2050) and two future price scenarios are considered. In addition, the economic viability of irrigation farming in future climate is analyzed with respect to changes in water prices. For rainfed maize production, the impact of climate change on yield levels is small but yield variability increases. Even though the adoption of irrigation leads to higher and less variable maize yields in the future, economic benefits of this adoption decision are expected to be rather small. Thus, no shift from the currently used rainfed system to irrigated production is expected in the future.

In general, not the expected changes in climatic conditions but rather changes in institutional arrangements and market conditions will influence the adaptation decisions taken by the farmers' and future developments in the Swiss cereal production. Moreover, future technological development and the future structure of agri-environmental policies might also far outweigh climate change induced effects on Swiss cereal production.

Zusammenfassung

Landwirtschaft ist direkt von klimatischen Bedingungen abhängig und deshalb einer der ökonomischen Sektoren, die am anfälligsten auf Änderungen in diesen Bedingungen reagieren. Klimawandel wird deshalb die zukünftige Struktur und Produktivität landwirtschaftlicher Systeme beeinflussen. Erwartete Änderungen in den klimatischen Bedingungen der nächsten Dekaden umfassen unter anderem, steigende CO₂ Konzentrationen und Temperaturen, sich ändernde Niederschläge, sowie häufigeres Auftreten von Extremereignissen. Die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Systeme sind von grosser ökonomischer, sozialer aber auch umweltrelevanter Bedeutung, da landwirtschaftliche Aktivitäten auf verschiedenste Art und Weise in diesen Bereichen Nutzen, Leistungen aber auch Probleme hervorrufen. Erkenntnisse über erwartete Auswirkungen sowie über mögliche Anpassungsmassnahmen können ausserdem die Entscheidungsprozesse von Landwirten, staatlichen Entscheidungsträgern und anderen involvierten Akteuren unterstützen. In dieser Arbeit werden Auswirkungen des Klimawandels und potentielle Anpassungsmassnahmen im Mais- und Winterweizenanbau des Schweizer Mittelandes analysiert. Dabei ist es ein besonderer Bestandteil dieser Analyse, sowohl die Anreize des Landwirtes sich ändernden klimatischen Bedingungen anzupassen als auch sich ändernde sozioökonomische Bedingungen zu berücksichtigen. Das einleitende Kapitel 1 diskutiert verschiedene Modellierungsansätze zur Bestimmung von Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau und gibt einen Überblick über Studien die die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Landwirtschaft analysieren.

Kapitel 2 beschreibt die Evaluierung von drei Funktionstypen und zwei Regressionsverfahren zur Schätzung von landwirtschaftlichen Produktionsfunktionen, welche das Bindeglied zwischen biophysikalischen und ökonomischen Modellen darstellen. Ungewöhnliche Ertragsbeobachtungen (Ausreisser) können zu irreführenden Resultaten führen, wenn kleinste Quadrate Regression zur Schätzung der Produktionsfunktionen verwendet wird. Deshalb werden zusätzlich robuste Regressionsmethoden verwendet, welche nicht durch Ausreisser beeinträchtigt werden. Im Vergleich zur kleinsten Quadrate Schätzung führt die Verwendung robuster

Regressionsmethoden zu kleineren Unterschieden zwischen den optimalen Input-Empfehlungen die aus den verschiedenen Funktionstypen abgeleitet werden und reduziert somit die potentiellen Kosten durch Misspezifizierung. Durch die Verwendung robuster Regressionsmethoden werden Unterschiede zwischen verschiedenen Funktionstypen deutlich reduziert.

Kapitel 3 beschreibt einen Modellierungsansatz, der das biophysikalische Modell CropSyst und ein ökonomisches Modell miteinander verbindet um Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Mais- und Winterweizenproduktion zu bestimmen. In diesem Modell werden veränderte Saattermine, veränderte Produktionsintensität sowie der Einsatz von Bewässerung als Anpassungsmassnahmen berücksichtigt. Unter Verwendung verschiedener Klimawandel- und Preisszenarien zeigt sich, dass sowohl zukünftige Erträge als auch die Anpassungsentscheidungen des Landwirtes stark von den Annahmen über zukünftige Klimabedingungen und Preise abhängen. Es zeigt sich, dass eine eventuelle Marktliberalisierung, die zu grossen Änderungen in landwirtschaftlichen Preisniveaus in der Schweiz führen würde, die Effekte des Klimawandels aufwiegen kann. Die Modellresultate zeigen ausserdem, dass die hier berücksichtigten Anpassungsmassnahmen ausreichen, um in der Zukunft höhere sowie weniger variable Erträge in der Mais- und Winterweizen Produktion zu erreichen.

In Kapitel 4 werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Rentabilität teilflächenspezifischer Produktionssysteme im Schweizer Maisanbau analysiert. Diese Produktionssysteme zeichnen sich durch einen Inputeinsatz aus, der Unterschiede innerhalb eines Feldes berücksichtigt und somit zu einer Reduzierung von Umweltverschmutzung und anderer negativer Externalitäten führen kann. Es zeigt sich, dass Klimawandel die Unterschiede zwischen unterschiedlich fruchtbaren Böden bezüglich optimalem Inputeinsatz und Ertragsvariabilität erhöht. Dadurch steigen, ceteris paribus, die Anreize der Landwirte in Zukunft teilflächenspezifischer Produktionssysteme einzusetzen.

Kapitel 5 analysiert die ökonomischen Potentiale von Bewässerung als Anpassungsmassnahme an den Klimawandel im Schweizer Maisanbau unter Berücksichtigung von drei Klimawandelszenarien für den Zeitraum 2030-2050 und zwei Preisszenarien. Zusätzlich wird der Einfluss von Änderungen im Wasserpreis auf die

Wirtschaftlichkeit von Bewässerung in zukünftigen Klimabedingungen analysiert. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsniveaus sind gering, jedoch steigt die Ertragsvariabilität im unbewässerten Maisanbau. Obwohl der zukünftige Einsatz von Bewässerung zu höheren und stabileren Erträgen führt, bleibt die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme relativ gering. Daher wird auch unter zukünftigen klimatischen Bedingungen kein grossflächiger Wechsel vom heutigen unbewässerten Maisanbau zu bewässerter Produktion erwartet.

Es zeigt sich jedoch, dass erwartete Anpassungsentscheidungen der Landwirte und die zukünftigen Entwicklungen in der Schweizer Getreideproduktion eher durch die Änderungen im institutionellen und ökonomischen Umfeld als durch die Änderungen klimatischer Bedingungen beeinflusst werden. Des Weiteren können auch technologischer Fortschritt und die zukünftige Ausgestaltung agrarumweltpolitischer Massnahmen die Effekte des Klimawandels deutlich aufwiegen.