

Diss ETH No. 21029

How climate change impacts on local cropping systems: A bioeconomic simulation study for western Switzerland

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

For the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Niklaus Lehmann

M.Sc. ETH Agr.

born on 7 October 1984

citizen of Langnau im Emmental, Bern, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Achim Walter

Prof. Dr. Bernard Lehmann

Prof. Dr. Jürg Fuhrer

Dr. Robert Finger

2013

Abstract

The Broye catchment, located in the cantons of Vaud and Fribourg, is an important crop production area in Switzerland. In particular, the region's northern plain exhibits very appropriate topographic conditions for intensive and profitable crop cultivation. Due to the region's low precipitation levels irrigation is a common management strategy for certain crops such as potatoes, sugar beets and grain maize. As the required water resources for irrigation are primarily withdrawn from surface water bodies, water scarcity in rivers has become a serious issue in the Broye catchment. Considering the fact that climate change is expected to further increase the region's agricultural water demand, water might become even scarcer in the near future.

In order to overcome future problems associated with water scarcity and to avoid potential losses in agricultural income, it will be important to identify specific adaptation measures with regard to agricultural management strategies and the region's water policy. Therefore, this thesis aimed in a first step to assess the direct impact of local climate change on cropping systems in the Broye catchment and to deduce potential agricultural adaptation options. Considering such optimal adaptation options, forecasts on the region's agricultural water demand were made for different climate and socio-economic scenarios. Finally, this work evaluated different policy measures to reduce the agricultural water demand in the Broye catchment in the context of current and future climate conditions.

To address these objectives, two bioeconomic models were developed operating at the single crop and at the whole farm level, respectively. Both models combine the process-based crop growth model CropSyst with an economic decision model and apply a genetic algorithm for optimization. Furthermore, both of them use the certainty equivalent as target value which enabled the simultaneous consideration of the average income and income risks in the objective function. While maximizing the certainty equivalent, the developed modeling approaches optimized a wide range of agricultural management decisions such as crop choice, land allocation to different crop types, as well as crop-specific nitrogen and irrigation strategies under different climate, crop price and water policy scenarios. Besides changes in optimal management schemes, the use of the bioeconomic models allowed investigation of the effects of the applied scenarios on agricultural income, income variability and agricultural water demand.

Using the single crop model, our simulations results show that climate change will decrease average income and certainty equivalents in winter wheat and grain maize

production in the Broje catchment by up to 25% even considering potential adaptation measures. At farm scale, however, agricultural average income is found to decrease only by 8-12% under the applied climate change scenarios, since also adaptation measures with regard to crop choice and crop land allocation are possible. At the same time, the simulation studies performed in this thesis predict no significant impact of climate change on the farm's income volatility.

Furthermore, our results indicate that crop prices as currently observed in the European Union (EU) are likely to result in much larger changes in the optimal management schemes and agricultural income levels than local climate effects. As a matter of fact, the whole farm model used in this thesis projects losses in average farm income of about 50% under EU crop prices.

Although crop prices have a more significant impact on future agricultural practices and income levels than local climate change, the latter still requires major consideration in the Broje catchment. Irrespective from the chosen crop price scenario, climate change will sharply increase the modeled farm's water demand for irrigation by up to 100%. Interestingly, this increase in agricultural water consumption is not due to an expanded irrigated surface area but solely resulting from higher irrigation water requirements in potato and sugar beet production. For winter crops such as winter wheat or winter barley, irrigation is also under rather strong assumed climate signals not a viable adaptation measure.

Considering these results with regard to irrigation, we finally evaluated different water policies measures to counteract the higher agricultural water demand in the Broje catchment under climate change. Our findings suggest that both, a volumetric water price as well as a water quota, are promising policy measures for the reduction of the region's agricultural water consumption, not only under current but also under future expected climate conditions. Both policies are likely to significantly decrease the modeled farm's water demand while their impacts on the farm income are relatively small since the applied modeling approach accounts for adjustments in the farm's optimal management decisions (e.g., crop choice, crop land allocation).

Overall, this thesis shows that negative climate change effects on arable cropping systems can be mitigated to a large extent by adaptation. Such adaptation measures, however, will cause a sharp increase in the region's agricultural water demand. Thus, provided that water for irrigation purposes will not be withdrawn from other sources, changes in the region's water policy are inevitable in the near future to prevent the frequent occurrence of water scarcity.

Zusammenfassung

Das Einzugsgebiet der Broye, welche in den Kantonen Waadt und Fribourg liegt, zählt zu den wichtigsten Ackerbaugebieten der Schweiz. Vor allem die Topographie der nördlichen Ebene der Region weist eine sehr gute Eignung für den Ackerbau auf, was intensive und profitable landwirtschaftliche Anbausysteme ermöglicht. Da die jährlichen Niederschlagsmengen im Broye Einzugsgebiet relativ tief sind, ist die Bewässerung von einigen landwirtschaftlichen Kulturen wie z.B. Kartoffeln, Zuckerrüben oder auch Körnermais gängige Praxis. In den letzten Jahren hat dies jedoch wiederholt zu Wasserknappheit in den Flüssen, aus welchen das benötigte Wasser normalerweise entnommen wird, geführt. In Anbetracht der Tatsache, dass der Klimawandel wohl zu einer Erhöhung des landwirtschaftlichen Wasserbedarfes führen wird, kann man davon ausgehen, dass Wasserknappheit in den nächsten Jahren zu einem noch grösseren Problem in der Broye Region werden dürfte.

Um in Zukunft Wasserknappheit und etwaige Verluste im landwirtschaftlichen Einkommen möglichst zu vermeiden, ist es wichtig Anpassungsstrategien in Bezug auf lokale landwirtschaftliche Produktionsformen und die lokale Wasserpolitik zu entwerfen. Zu diesem Zwecke wurden in dieser Arbeit in einem ersten Schritt direkte Folgen des Klimawandels im Ackerbau und mögliche Anpassungsmassnahmen untersucht. In einem zweiten Schritt wurde ausgehend von den identifizierten Anpassungsmassnahmen abgeschätzt, wie sich der landwirtschaftliche Wasserbedarf im Broye Einzugsgebiet unter verschiedenen Klimawandel- und sozio-ökonomischen Szenarien entwickeln wird. Schliesslich wurde auch analysiert, wie sich die landwirtschaftliche Wassernachfrage unter aktuellen und zukünftigen Klimaszenarien durch geeignete Politikmassnahmen verringern lässt.

Diesen Forschungsfragen wurde mittels zweier bioökonomischen Modellen, welche für Untersuchungen auf der Einzelkultur- resp. auf der Betriebsebene entwickelt wurden, nachgegangen. Beide Modelle verknüpfen das mechanistische Pflanzenwachstumsmodell CropSyst mit einem ökonomischen Entscheidungsmodell und verwenden einen genetischen Algorithmus als Optimierungstechnik. Zudem wurde in beiden Modellen das Sicherheitsäquivalent als Zielwert definiert, so dass nicht nur das Durchschnittseinkommen, sondern auch das Einkommensrisiko in der Zielfunktion der Optimierung berücksichtigt wurde. Mit dem Ziel das Sicherheitsäquivalent zu maximieren wurde eine Vielzahl verschiedener landwirtschaftlichen Managemententscheidungen (z.B. Kulturwahl, Flächenallokation, sowie Düngungs- und Bewässerungsintensität) unter verschiedenen Klimawandel-, Agrarpreis- und Wasserpolitikszenerarien optimiert. Neben der Optimierung der genannten Managemententscheidungen konnte mithilfe der

bioökonomischen Modelle auch simuliert werden, wie sich das landwirtschaftliche Einkommen, die Einkommensvariabilität sowie die landwirtschaftliche Wassernachfrage unter den verwendeten Szenarien verändert.

Die Resultate des Einzelkulturmodells veranschaulichen, dass sich das Durchschnittseinkommen und auch das Sicherheitsäquivalent im Winterweizen- und Körnermaisbau unter den verwendeten Klimawandelszenarien um bis zu 25% verringert, obwohl Anpassungen der optimalen landwirtschaftlichen Managemententscheidungen berücksichtigt wurden. Dagegen zeigen Simulationen des Betriebsmodell, dass der Klimawandel das Durchschnittseinkommen eines gesamten Ackerbaubetrieb nur um 8-12% reduziert, da auf Betriebsebene auch Anpassungen in der Kulturwahl, sowie der optimalen Flächenallokation möglich sind. Gleichzeitig lassen sich aufgrund unserer Simulationen keine signifikanten Veränderungen in der Variabilität des landwirtschaftlichen Betriebseinkommens unter Klimawandel erkennen.

Tiefere Agrarpreise haben nicht nur auf die optimalen Managemententscheidungen, sondern auch auf das landwirtschaftliche Betriebseinkommen viel grössere Effekte als der Klimawandel. So sagt das Betriebsmodell unter der Annahme von EU Agrarpreisen eine Reduktion des landwirtschaftlichen Betriebseinkommens von etwa 50% voraus.

Obschon das gewählte Preisszenario eine wichtigere Rolle bezüglich optimaler Managemententscheidungen und des landwirtschaftlichen Einkommens als der Klimawandel spielt, bleibt letzterer für die Untersuchungsregion nicht ohne Folgen. Unabhängig vom gewählten Preisszenario, führt der Klimawandel zu einem starken Anstieg der landwirtschaftlichen Wassernachfrage in der Broye. Interessanterweise ist diese nicht auf eine Ausdehnung der bewässerten Fläche, sondern nur auf einen erhöhten Wasserbedarf im Anbau von Kartoffeln und Zuckerrüben zurückzuführen. Für Winterkulturen, wie z.B. Winterweizen oder Wintergerste, lohnt sich die Bewässerung von einem ökonomischen Standpunkt aus auch unter zukünftigen Klimaszenarien nicht.

Schlussendlich wurden die Wirkungen verschiedener Massnahmen in der lokalen Wasserpolitik simuliert, um die unter Klimawandel erhöhte landwirtschaftliche Wassernachfrage zu reduzieren. Diesbezüglich zeigen unsere Resultate, dass die benötigte Wassermenge des modellierten Betriebes sowohl unter der Annahme eines variablen Wasserpreises, wie auch unter der Annahme einer Kontingentierung der betrieblich verwendbaren Wassermenge stark abnimmt. Der negative Einfluss dieser Massnahmen auf das landwirtschaftliche Einkommen ist dagegen eher gering, da das Modell Anpassungen im Betriebsmanagement (z.B. Kulturwahl, Flächenallokation, etc.) zulässt.

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass negative Klimawandeleffekte im Ackerbau im Broye Einzugsgebiet weitgehend durch Anpassungsmassnahmen minimiert werden

können. Allerdings bringen solche Anpassungsmassnahmen eine starke Steigerung der landwirtschaftlichen Wassernachfrage mit sich. Geht man von der Annahme aus, dass keine neuen Wasserressourcen für Bewässerungszwecke erschlossen werden, sind Anpassungen der Wasserpolitik in der Broye, um häufige Wasserknappheit in den Flüssen zu vermeiden, in der nahen Zukunft unumgänglich.