

DISS. ETH NO. 21475

**MEASURING ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE  
OF SWISS DAIRY FARMS USING STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS**

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
PHATIMA MAMARDASHVILI  
M.Sc. ETH Agr.  
born on 18. Juli 1979  
citizen of Georgia

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Emmanuel Frossard  
Prof. Dr. Bernard Lehmann  
Dr. Grigorios Emvalomatis

2013

## **Abstract**

The growing public concern about the environmental issues associated with agriculture has encouraged the adoption of agri-environmental measures in most developed countries' policy agendas. Switzerland implemented agricultural environmental regulations in the early 1990s. Despite improvements in the last two decades, these regulations were not sufficient to meet the environmental targets set for Swiss agriculture. Nitrogen pollution, which contributes to environmental problems such as acidification, eutrophication, and global climate change, is still an important issue in Swiss agriculture. In addition to possible market liberalization, Swiss agriculture faces the challenge of further improving economic performance without compromising environmental quality. To cope with this challenge, Swiss farmers have to use their resources as efficiently as possible.

This thesis aims to investigate the economic and environmental performances of Swiss dairy farms from the perspective of production efficiency. Economic performance is assessed using technical efficiency (TE) measure, which basically illustrates the ability of a farm to produce the maximal output with a given set of inputs. With respect to the environmental performance, this thesis focuses on the nitrogen pollution caused by farms. Nitrogen surplus of farms is used to represent the environmental damage caused by excess nitrogen from agricultural production. Environmental performance is identified through environmental efficiency (EE), which measures the ability of a farm to produce the minimal nitrogen surplus under conventional inputs and outputs. The distance functions (the input, output, and hyperbolic distance functions) are used to represent the production technology of farms. The analyses employ stochastic frontier analysis (SFA), a parametric approach that takes the stochastic nature of the data into consideration.

The analyses are based on farm-level data from the Swiss Farm Accountancy Data Network. To measure technical efficiency, panel data on dairy farms in the plain, hill, and mountainous regions of Switzerland from 2003-2009 are employed. To measure environmental efficiency, cross-sectional data on Swiss mountainous dairy farms from 2010 are used.

The results from the separability tests of different farm outputs suggest separate modeling of agricultural output, para-agricultural output and direct payments. A comparison of the estimates

obtained from single (aggregate) and multiple output technology show considerable differences; the estimated technology parameters and the technical efficiency scores of the individual farms are highly affected by the choice of the aggregation of different outputs.

The economic performance results show that Swiss dairy farms are highly technically efficient on average. The mean TE value is between 0.93 and 0.95, depending on the region. Despite some potential for improvement, as indicated in the range of TE scores (0.48-1.00), Swiss dairy farms appear to be well adapted to the current natural and regulatory environment. In contrast, environmental efficiency across farms varies greatly. A relatively low EE mean value (0.47) indicates that nitrogen pollution from Swiss dairy farms has the potential to be considerably reduced. Improving farms' environmental performance with regard to nitrogen pollution may be achieved by decreasing farm intensity (stocking rate) and encouraging full-time farming.

Modeling the technological relationship between nitrogen pollution and conventional farm outputs enables the retrieval of farms' nitrogen pollution shadow prices (opportunity costs). The results show the mean value of opportunity costs to be 20 Swiss francs per kg of nitrogen surplus on mountainous Swiss dairy farms. Slightly higher opportunity costs on organic farms compared to conventional farms might reflect more restrictive regulations in organic farming; however, a significant difference is not found. High variability in the obtained costs for reducing nitrogen pollution across Swiss dairy farms suggests using of market-based instruments, such as taxes or tradable permit system. However, the results also show that implementing effective taxes would be very difficult in face of high values of pollution reduction costs on Swiss dairy farms.

The environmental efficiency measurement used in this thesis is the first of this kind for Swiss agriculture and can only provide initial insight into the environmental performance of farms. The analyses should be extended to include other farm types as well as other environmentally detrimental variables. Overall, the results show that the incorporation of nitrogen surpluses into the representation of the production technology has a minor effect on the rankings of farms according to their TE scores. Nevertheless, modeling nitrogen surplus in production efficiency analysis allows for additional investigations, such as measuring farms' EE, examining EE variation determinants across farms, and calculating farms' nitrogen pollution opportunity costs.

## **Zusammenfassung**

Die wachsende Besorgnis der Öffentlichkeit über die ökologischen Probleme der Landwirtschaft bewirkte die Einbeziehung von Agrarumweltmassnahmen in die politische Agenda der meisten entwickelten Länder. Die Schweiz hat landwirtschaftliche Umweltauflagen in den frühen 1990er Jahren eingeführt. Obwohl sich die Situation in den letzten zwei Jahrzehnten verbessert hatte, waren die bestehenden Regelungen nicht ausreichend, um der Umweltziele der Schweizer Landwirtschaft gerecht zu werden. Die Stickstoffbelastung, welche zu Umweltproblemen wie Versauerung, Eutrophierung und zum globalen Klimawandel beiträgt, ist immer noch eine wichtige Herausforderung der Schweizer Landwirtschaft. Durch mögliche Marktliberalisierungen ist die Schweizer Landwirtschaft herausgefordert, ihre wirtschaftliche Leistung weiter zu steigern, ohne dabei die Umweltqualität zu beeinträchtigen. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, müssen Schweizer Bauern ihre Ressourcen so effizient wie möglich nutzen.

Diese Arbeit hat es sich zum Ziel gesetzt, die ökonomische und ökologische Leistung der Schweizer Milchbetriebe aus Sicht der Produktionseffizienz zu analysieren. Die ökonomische Leistung wird mit der technischen Effizienz (TE) bewertet. Grundsätzlich widerspiegelt TE die Fähigkeit eines Betriebes den maximalen Output mit gegebenen Inputs zu produzieren. Bezüglich ökologischer Leistung fokussiert diese Arbeit auf die Umweltbelastung durch Stickstoffverluste aus der landwirtschaftlichen Produktion. Zur Darstellung der mit den landwirtschaftlichen Stickstoffverlusten verbundenen Umweltschäden wird der Stickstoffüberschuss der Betriebe verwendet. Die ökologische Leistung wird mit der Umwelteffizienz („environmental efficiency“, EE) bewertet. EE misst die Fähigkeit eines Betriebes den minimalen Stickstoffüberschuss unter den gegebenen Inputs und Outputs zu erreichen. Die Produktionstechnologie der Betriebe wird mit Distanzfunktionen (Input-, Output- und hyperbolische Distanzfunktion) dargestellt. Zur Analyse wird die stochastische Frontier-Analyse (SFA) verwendet. Dies ist ein parametrischer Ansatz, welcher die stochastische Natur der Daten berücksichtigt.

Die Analysen basieren auf einzelbetrieblichen Daten der Zentralen Auswertung der Buchhaltungsdaten in der Schweiz. Um die technische Effizienz zu messen, werden Paneldaten

für Schweizer Milchbetriebe der Tal-, Hügel- und Bergregion von 2003 bis 2009 eingesetzt. Zur Messung der Umwelteffizienz werden Querschnittsdaten für Schweizer Milchbetriebe in der Bergregion für das Jahr 2010 verwendet.

Die Tests der Output-Separierbarkeit legen eine Einzelbetrachtung der drei folgenden Outputs nahe: landwirtschaftlicher und para-landwirtschaftlicher Output und Direktzahlungen. Ein Vergleich der Schätzungen unter Verwendung einer Technologie mit einem Output (aggregierter Output) mit den Schätzungen unter Verwendung einer Technologie mit mehreren Outputs zeigt beträchtliche Unterschiede; die Schätzungen der technologischen Parameter sowie der technischen Effizienzwerte werden stark von der Wahl der Aggregationsebene der Outputs beeinflusst.

Die Resultate zu den ökonomischen Leistungen zeigen, dass die Schweizer Milchbetriebe im Durchschnitt eine hohe technische Effizienz aufweisen. Je nach Region liegt der Durchschnittswert der TE zwischen 0.93 und 0.95. Obwohl die Effizienzwerte stark schwanken (0.48-1.00) und für manche Betriebe Verbesserungspotentiale aufgezeigt werden können, scheinen die Milchbetriebe im Allgemeinen gut an die natürlichen und politischen Rahmenbedingungen angepasst zu sein. Im Gegensatz dazu unterliegt die Umwelteffizienz der Betriebe einer grossen Variation. Ein relativ niedriger Durchschnittswert der EE (0.47) zeigt ein grosses Potential zur Reduzierung der Stickstoffverluste auf Milchbetrieben der Bergregion. Eine Verbesserung der Umweltleistung der Betriebe in Bezug auf Stickstoffüberschüsse könnte unter anderem mit Verminderung der Tierbesätze und Begünstigung des Vollerwerbes erreicht werden.

Durch die Modellierung des technischen Zusammenhangs zwischen der Stickstoffverschmutzung und des herkömmlichen Betriebsoutputs können die Schattenpreise (Opportunitätskosten) der Stickstoffverschmutzung aufgezeigt werden. Die Ergebnisse zeigen mittleren Opportunitätskosten von 20 Franken pro kg Stickstoffüberschuss auf Schweizer Milchbetriebe in der Bergregion. Die etwas höhere Schattenpreise für Biobetriebe im Vergleich zu konventionellen Betrieben könnten restriktivere Vorschriften im ökologischen Landbau widerspiegeln, jedoch ist der Unterschied nicht signifikant. Wegen der hohen Variabilität in den Opportunitätskosten der Stickstoffverschmutzung zwischen einzelnen Betrieben sollte die Verwendung von marktbasierter politischen Instrumenten, wie beispielsweise Steuern oder das

System der handelbaren Zertifikate für Stickstoffverschmutzung, empfohlen werden. Angesichts der hohen Reduktionskosten für Stickstoffüberschüsse auf Schweizer Milchbetriebe wird aber die Umsetzung solcher Massnahmen als schwierig bewertet.

Der in dieser Arbeit verwendeter Ansatz zur Messung der Umwelteffizienz wurde zum ersten Mal auf die Schweizer Landwirtschaft angewendet und kann nur erste Einblicke in die Umweltleistung der Betriebe liefern. In weiteren Untersuchungen könnte der hier entwickelte Ansatz für andere Betriebstypen sowie auf zusätzliche Umweltprobleme erweitert werden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der Einbau von Stickstoffüberschüsse in der Darstellung der Produktionstechnologie nur einen geringen Einfluss auf die Bewertung der TE der Betriebe hat. Dennoch ermöglicht die Modellierung der Stickstoffüberschüsse in der Effizienzanalyse weitere Untersuchungen, wie zum Beispiel die Messung der EE der Betriebe, die Analyse von Einflussfaktoren auf die Unterschiede in EE zwischen den Betrieben oder die Berechnung der Reduktionskosten für Stickstoffüberschüsse der Betriebe.