

Studien zur Agrar- und Umweltpolitik

Herausgegeben von
Prof. Dr. W. Henrichsmeyer

Johannes Umstätter

Calibrating Regional Production Models Using Positive Mathematical Programming

An Agro-environmental Policy Analysis in Southwest Germany

D 100 (Diss. Universität Hohenheim)

Shaker Verlag
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Umstätter, Johannes:

Calibrating Regional Production Models Using Positive
Mathematical Programming: An Agro-environmental Policy Analysis
in Southwest Germany/Johannes Umstätter.

- Als Ms. gedr. - Aachen: Shaker, 1999

(Studien zur Agrar- und Umweltpolitik)

Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-6674-2

Copyright Shaker Verlag 1999

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6674-2

ISSN 0945-4675

Shaker Verlag GmbH • P.O. Box 1290 • D-52013 Aachen
Telefon: 0049/2407/9596 - 0 • Telefax: 0049/2407/9596 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Summary

Positive mathematical programming is a new calibration method for mathematical programming models. It was developed in the early 1980's and has been applied in several agricultural production models. The concept of PMP turned out to be well-suited for agro-environmental policy analyses since it can reveal hidden production costs. When the spatial resolution of agro-environmental programming models is high, the aggregation bias can potentially be reduced. As a result, statistical information on production costs might not be available on the chosen level, but the ability to identify hidden costs with PMP can help create a spatially differentiated cost matrix.

Despite the importance PMP has achieved as a calibration method, it has not been described in sufficient detail. Given its expected potential in agro-environmental models, the goal of this paper is to describe PMP comprehensively, including the theoretical concept and an application to a regional agro-environmental policy analysis in Southwest Germany. The presentation of the theory and application of PMP is tailored around the question of whether or not PMP is a suitable approach for regional agro-environmental modeling.

At the beginning of the presentation, an overview of the historical roots of the PMP calibration concept is given by outlining the various steps in the development, from the calibration constraints used in linear models and calibration in traditional nonlinear programming to the PMP calibration approach.

This is followed by a comprehensive documentation of the methodology of PMP. The explanations cover the basic quadratic PMP version developed by Howitt (Howitt 1995) as well as three extensions of the basic version. The algebraic and graphical presentations conclude with a practical guide of how to implement the different PMP versions in a computable programming code using an illustrative model. The calculation of two simple scenarios is also used to compare the different quadratic PMP versions.

The description of PMP is completed with an overview of the areas in which PMP models have been used and the respective PMP versions used in each model. The overview also includes the most recent developments of PMP, such as maximum entropy.

The agro-environmental policy analysis in Southwest Germany is carried out in the Kraichgau region with the help of the regional optimization model ROMEO. This model was designed as

the economic part of an interdisciplinary research project. In this paper, it is used as independent economic-ecological model since it incorporates not only a profit maximizing device, but also formulae for calculating soil erosion and nitrate concentration. By dividing the region under investigation into municipalities, the spatial resolution of ROMEO is higher compared to most previous disciplinary economic-ecological models.

Technically, ROMEO can be characterized as a municipality-differentiated, comparative-static regional optimization model. Within each of the 29 municipalities of the model 10 cropping activities, fallow land, 3 forage activities, and 11 livestock activities are defined. These activities account for more than 90 % of the agricultural production in the Kraichgau region. In addition, ROMEO is amended by various ecological elements. Regarding soil erosion, cropping and forage production activities are further distinguished into three tillage variants, including conventional drilling, mulch drilling and catch crop growing. The level of soil erosion is calculated using the Universal Soil Loss Equation. Regarding nitrate leaching, the model is endowed with quadratic yield functions. The level of nitrate leaching is derived by calculating the nitrogen fertilizer balance and implementing the balance value into the nitrate equation in order to obtain a value for nitrate concentration in the infiltration water.

ROMEO is used to calculate the effects of three agro-environmental policy scenarios. The scenarios include a nitrogen tax, a mandatory mulch drilling policy and a mandatory land retirement policy.

In the nitrogen tax scenario, the effects of an increase in the price of mineral nitrogen from 1.10 DM/kg to 4.00 DM/kg are studied. The results revealed that crops with relatively high nitrogen demands, such as wheat and corn, lose the comparative advantages they had in the base run and that the production of other crops is expanded. As expected, total gross margins decline significantly. These reductions are the combined result of increased input costs and decreased revenues due to lower crop yields. The outcomes agree with previous studies that conclude even a reimbursement of tax money would not be sufficient to compensate for the losses induced by the nitrogen tax policy. Crop yields and nitrogen fertilization decline as well. Consequently, nitrate concentration levels can be significantly reduced.

The mandatory mulch drilling scenario is included in the regional policy analysis because soil erosion is the most important environmental issue in the Kraichgau region due to the hilly landscape and the vulnerable Loess soils. The results illustrate that a mandatory mulch

drilling policy would help to reduce soil erosion significantly. Total costs of mandatory mulch drilling measured as reduction of gross margin in the Kraichgau region are considerably high.

The mandatory land retirement scenario is included in the analysis because in some parts of the Kraichgau region, especially where land consolidation was carried out, natural ecosystems are rare or completely missing. In addition, the composition of species in the remaining ecosystems has been influenced by nutrient intakes from intensive agricultural production and has, therefore, lost much of its diversity. If the land retirement scenario was realized, the proportion of land taken away from agricultural use could be transformed into nature conservation areas in order to increase the number and area of natural ecosystems in the Kraichgau region. As expected, the predominant results of the mandatory land retirement scenario are a significant increase in the availability of land to be used for nature conservation and a considerable reduction of agricultural income as this land is taken away from agricultural production. However, while biodiversity and the protection and reconstruction of ecosystems can potentially be improved, the effects of the scenario on nitrate concentration and soil erosion are negligible.

From the extensive theoretical descriptions, it is concluded that model calibration with PMP represents an innovation in the area of mathematical programming as it combines the advantages of LP and traditional NLP while excluding their major disadvantages. Nevertheless, it becomes clear that the specific assumptions of PMP and their implications for the model behavior need to be taken carefully into consideration in the application of PMP.

Among the difficulties associated with PMP is the necessity to select one of several different PMP versions to be used. Since the results can differ significantly depending on the selected PMP version, the modeler has a great responsibility for choosing the appropriate version in order to provide reliable results to law makers.

If PMP is applied in programming models, it needs to be taken into account that activities which have a zero activity level in the base period cannot become part of the optimal solution in scenarios. Similar difficulties arise if certain activities are in the stage of becoming more and more popular during the base period of the model. This might be true for innovative management practices such as mulch drilling as well as for traditional crops, which are again becoming important because of certain policy changes.

It is shown that the upward sloping form of the PMP marginal cost function can cause a drastic increase in total costs of production if the levels of certain activities or management practices considerably surpass their base period levels. Consequently, the model behavior in scenario runs is severely affected.

The fact that in the version according to Paris marginal and average costs of an activity are zero at a zero activity level and that the total gross margin in the PMP model run can rise sharply compared with the LP base run needs to be carefully accounted for by the modeler.

The distinction between marginal and non-marginal crops proves to be a difficulty associated with the versions according to Howitt. This distinction complicates the modeling process since the non-marginal crops need to be adjusted after the specification of the marginal crop PMP function. It also makes the entire model dependent on the specification of the marginal crop and the quality of the data on supply elasticity or yield variations which are needed to specify the marginal crop.

Despite these peculiarities, it becomes obvious that PMP offers many advantages that make it a valuable innovation in the area of mathematical programming. One of the biggest advantages, compared to LP models, is the use of upward sloped marginal cost functions. Since the cost functions are no longer constant, sharp reactions of the model to changing parameters, which are typical of LP models, can be avoided. Consequently, the adaptation processes in PMP models are smoother, more flexible and more immediate since even small changes in exogenous parameters cause model reactions.

The use of nonlinear gross margin functions also leads to a differentiation between marginal and average gross margins, as opposed to LP models in which they are identical. The equality of marginal and average gross margins in LP models implies that marginal reactions of farmers to policy changes are estimated based on average data observations. This methodological inconsistency can be overcome by using PMP where marginal reactions are estimated based on marginal gross margin functions.

The fact that hidden costs of production are revealed to the modeler makes PMP especially attractive in regional or sector models because it is always more difficult to receive statistical information on aggregate levels than it is on the farm level where individual surveys can provide for otherwise missing data.

The results from the scenarios analyzed in ROME0 demonstrate that the modeling approach in ROME0 is capable of adequately reproducing the agricultural production on a regional scale. The application of PMP makes it possible to realize a high spatial resolution which is advantageous with respect to the accuracy of the calculation of soil erosion and nitrate concentration. The combination of PMP with environmental modules in the form of quadratic yield functions, soil erosion and nitrate concentration equations and the spatial resolution on the municipality level proves to be an innovative modeling approach in the area of regional agro-environmental programming models.

The division into municipalities shows that even within a relatively homogeneous region, the effects of an environmental policy measure can differ significantly on a small scale. This needs to be taken into account when uniform policies are launched to solve problems in regions with considerable differences with respect to natural conditions. The results of ROME0 reveal that it may be appropriate to differentiate environmental policies according to these differing natural conditions more than currently done in many existing environmental programs.

Zusammenfassung

Bei der positiven mathematischen Programmierung handelt es sich um eine neue Kalibrierungsmethode für mathematische Programmierungsmodelle. Sie wurde Anfang der achtziger Jahre entwickelt und seitdem in verschiedenen Regional- und Sektormodellen der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzt. Das Konzept der positiven mathematischen Programmierung erschien insbesondere für die Anwendung in agrarumweltpolitischen Analysen gut geeignet, da es versteckte Produktionskosten berücksichtigt. Wenn die räumliche Auflösung in ökonomisch-ökologischen Programmierungsmodellen zur Verringerung des Aggregationsfehlers so hoch ist, dass keine statistischen Informationen über Produktionskosten erhältlich sind, trägt diese Eigenschaft der positiven mathematischen Programmierung, eine räumlich differenzierte Kostenmatrix zu identifizieren, dazu bei, daß die Informationslücke geschlossen wird.

Trotz der Bedeutung von PMP wurde diese Kalibrierungsmethodik bisher noch nicht ausführlich beschrieben. Es existiert lediglich ein kurzer Artikel in einer amerikanischen wissenschaftlichen Zeitschrift. Angesichts des zu erwartenden Potentials in ökonomisch-ökologischen Modellen besteht das Ziel dieser Arbeit darin, das theoretische Konzept und eine Anwendung von PMP im Rahmen einer agrarumweltpolitischen Analyse in Südwestdeutschland im Detail darzustellen. Die Ausführungen erfolgen vor dem Hintergrund der Frage, ob PMP ein geeigneter Ansatz für ökonomisch-ökologische Modelle ist.

Zunächst wird die historische Entwicklung des PMP-Konzeptes ausgehend von den in der linearen Programmierung verwendeten Kalibrierungsrestriktionen und der Kalibrierung in traditionellen nichtlinearen Modellen erläutert. Die anschließende umfangreiche Dokumentation der Methodik von PMP umfasst die quadratische Originalversion sowie drei auf ihr aufbauende Varianten. Die algebraischen und grafischen Darstellungen schließen mit einer praktischen Anleitung zur Implementierung der verschiedenen PMP-Versionen in einem Modell-Kode. Dazu werden anhand eines Beispielsmodells zwei einfache Szenarien berechnet. Abschließend wird ein Überblick über bisherige Anwendungen von PMP gegeben. Darin sind auch die neuesten Entwicklungen von PMP, wie etwa der Maximum-Entropy-Ansatz, enthalten.

Die agrarumweltpolitische Analyse in Südwestdeutschland erfolgt im Kraichgau mit Hilfe des Regionalmodells ROMEO. Dieses Modell wurde ursprünglich als Teil eines interdisziplinären

Forschungsprojektes konzipiert. In dieser Arbeit wird es zu einem selbständigen ökonomisch-ökologischen Modell weiterentwickelt, indem Module zur Berechnung von Bodenerosion und Nitratkonzentration integriert werden. Durch die Unterteilung des Untersuchungsgebietes in Nahbereiche ist die räumliche Auflösung in ROEMO höher als in vergleichbaren disziplinären ökonomisch-ökologischen Modellen.

ROMEIO kann in technischer Hinsicht als nahbereichs-differenziertes, komparativ-statistisches regionales Optimierungsmodell bezeichnet werden. In jedem der 29 abgebildeten Nahbereiche sind 10 Pflanzenbau-, drei Futterbau- und 11 Tierhaltungsverfahren definiert. Damit werden mehr als 90 % der landwirtschaftlichen Produktion im Kraichgau erfasst. Im Hinblick auf die Berechnung der Bodenerosion wird bei den Pflanzenbau- und Futterbauaktivitäten zwischen konventioneller Bodenbearbeitung, Mulchsaat und Zwischenfruchtanbau unterschieden. Das Ausmaß der Bodenerosion wird mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung berechnet. Im Hinblick auf die Berechnung der Nitratkonzentration werden für die Marktfuchtaktivitäten quadratische Ertragsfunktionen geschätzt. Das mit ihnen ermittelte optimale Stickstoffdüngungsniveau geht in die Berechnung der Stickstoffbilanz ein. Das Nitratmodul enthält eine Nitratgleichung, bei der mit Hilfe der Stickstoffbilanz die Nitratkonzentration im Sickerwasser berechnet wird.

Im Rahmen der agrarumweltpolitischen Analyse im Kraichgau werden mit ROMEIO die Auswirkungen von drei Szenarien berechnet. Sie umfassen ein Stickstoffsteuer-, ein Mulchsaat- und ein Flächenentzugsszenario.

Im Stickstoffsteuerszenario werden die Auswirkungen einer Erhöhung des Stickstoffpreises von 1,10 DM/kg auf 4 DM/kg untersucht. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass pflanzliche Verfahren mit relativ hohem Stickstoffbedarf wie Winterweizen und Körnermais ihre ursprüngliche Vorzüglichkeit verlieren und dass die Produktion anderer Kulturen ausgedehnt wird. Wie erwartet sinken die Gesamtdeckungsbeiträge in den Nahbereichen deutlich. Die Rückgänge ergeben sich aus erhöhten Stickstoffkosten und geringeren Erlösen als Folge der Ertragsrückgänge. Die Ergebnisse stimmen mit früheren Arbeiten überein, die überwiegend ebenfalls zu dem Ergebnis gelangen, dass selbst eine intensitätsneutrale Rückerstattung der Stickstoffsteuereinnahmen an die Landwirte die Einkommensrückgänge nicht voll ausgleichen könnte. Die Höhe der Stickstoffdüngung geht ebenfalls zurück. Folglich verringert sich auch die Nitratkonzentration im Sickerwasser.

Das Mulchsaatszenario wird in die Untersuchung einbezogen, weil Bodenerosion aus ökologischer Sicht aufgrund der hügeligen Landschaft und des hohen Anteils an Lössböden im Kraichgau das wichtigste mit der Landnutzung einhergehende Problem darstellt. Die Berechnungen zeigen, dass ein obligatorischer Mindestumfang an Mulchsaat in speziell ausgewählten Gebieten die Bodenerosion deutlich reduzieren kann. Die Kosten dieser Maßnahme, gemessen am Rückgang des Gesamtdeckungsbeitrages, wären jedoch beträchtlich.

Das Flächenentzugsszenario wird in die Analyse einbezogen, weil der Bestand an Biotopflächen in einigen Teilen des Kraichgau, insbesondere in flurbereinigten Gebieten, gering ist. Hinzu kommt, dass die Artenzusammensetzung auf den verbleibenden Biotopflächen in starkem Maß von Nährstoffeinträgen aus angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen beeinflusst ist und an Vielfalt eingebüßt hat. Beim obligatorischen Entzug von bestimmten Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung könnte das für naturschutzgebundene Zwecke verfügbare Areal deutlich vergrößert werden. Das landwirtschaftliche Einkommen würde jedoch stark sinken. Demgegenüber sind keine positiven Nebeneffekte auf das Ausmaß von Bodenerosion und Nitratkonzentration erkennbar.

Aus den ausführlichen theoretischen Beschreibungen wird deutlich, dass die positive mathematische Programmierung eine Innovation auf dem Gebiet der mathematischen Programmierung darstellt, indem es die Vorteile von linearer und traditioneller nichtlinearer Programmierung verbindet und dabei wesentliche Schwächen dieser Methoden überwindet. Nichtsdestotrotz werden einige Besonderheiten von PMP offenkundig, die sich aus den zugrundeliegenden Annahmen ergeben und bei der Modellerstellung sorgfältig beachtet werden müssen.

Eine der Schwierigkeiten bei der Anwendung von PMP ist die Notwendigkeit, aus den verschiedenen Varianten die Version auszuwählen, die dem jeweiligen Zweck der Anwendung am besten gerecht wird. Da die Ergebnisse zwischen den Versionen erheblich differieren können, liegt ein großes Maß an Verantwortung beim Anwender.

Weiterhin muss beachtet werden, dass Modellaktivitäten, die in der Basisperiode nicht beobachtet werden, im PMP-Modell nicht in die Optimallösung genommen werden können. Ein ähnliches Problem ergibt sich für Verfahren, die in der Basisperiode nur einen geringen Umfang aufweisen, deren Verbreitung jedoch im Betrachtungszeitraum stark zunimmt. Dies trifft etwa für innovative Anbaumethoden oder auch für traditionelle Verfahren zu, die aufgrund eines Politikwechsels wieder zunehmend durchgeführt werden.

Es wird gezeigt, dass bei der Verwendung von steigenden Grenzkostenkurven die Gefahr besteht, dass die Gesamtkosten überproportional stark ansteigen, wenn Modellaktivitäten aufgrund von vorgegebenen Mindestumfängen ihren Basisumfang deutlich übersteigen. Dies kann die Modellergebnisse bei bestimmten Szenarioformen negativ beeinflussen.

Bei der PMP-Variante nach Paris muss beachtet werden, dass der Gesamtdeckungsbeitrag im PMP-Modell verglichen mit dem vorgeschalteten linearen Modell stark ansteigen kann, da in dieser Variante Grenz- und Durchschnittskosten laut Definition null betragen, wenn der Verfahrensumfang einer Aktivität ebenfalls null ist.

Die unterschiedliche Behandlung von marginalen und nichtmarginalen Aktivitäten in den Versionen nach Howitt stellt sich als Schwierigkeit heraus. Die Unterscheidung erschwert die Modellerstellung, da die nichtmarginalen Verfahren nach der Berechnung der PMP-Koeffizienten der marginalen Aktivität nochmals angepasst werden müssen. Außerdem wird das gesamte Modell von der Bestimmung der PMP-Koeffizienten der marginalen Aktivität und der Qualität der ihr zugrundeliegenden Daten zu Angebotselastizität und Ertragsvariation abhängig.

Trotz dieser Besonderheiten wird deutlich, dass PMP viele Vorteile hat, die es zu einer wertvollen Innovation auf dem Gebiet der Kalibrierung von Programmierungsmodellen machen. Eine der größten Stärken gegenüber linearer Programmierung ist die Verwendung von nichtlinearen Deckungsbeitragsfunktionen. Da die Grenzdeckungsbeiträge nicht konstant sind, können sprunghafte Anpassungsreaktionen des Modells bei sich ändernden Rahmenbedingungen vermieden werden. Schon kleine Änderungen der Rahmenbedingungen führen zu Modellreaktionen.

Durch die Verwendung von nichtlinearen Deckungsbeitragsfunktionen können Grenz- und Durchschnittsdeckungsbeitrag differenziert werden. Demgegenüber sind beide Werte in linearen Modellen identisch. Dies führt dazu, dass in linearen Modellen das Grenzverhalten von Landwirten auf der Basis von Durchschnittswerten prognostiziert werden muss. In PMP-Modellen kann das Grenzverhalten auf der Grundlage einer Grenzwertbetrachtung erfolgen.

Die Tatsache, dass versteckte Produktionskosten offengelegt werden, macht die Verwendung von PMP besonders in Regional- oder Sektormodellen attraktiv, da es schwieriger ist, verlässliche statistische Informationen auf aggregiertem Skalenniveau zu erhalten als auf der

Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes, wo fehlende Daten durch individuelle Befragungen erhoben werden können.

Bei der Berechnung der Szenarien zeigt sich, dass der in ROMEO gewählte Modellansatz die landwirtschaftliche Produktion auf regionaler Ebene verlässlich abbilden kann. Durch die Anwendung von PMP kann das Untersuchungsgebiet bis auf Nahbereichsebene disaggregiert werden, was insbesondere für die Genauigkeit der Berechnung der Umweltindikatoren Bodenerosion und Nitratkonzentration von Vorteil ist. Der hohe Grad an räumlicher Auflösung sowie die Kombination von PMP mit ökologischen Modulen in Form der Ertragsfunktionen, der Bodenerosions- und der Nitratgleichung erweisen sich als innovativer Modellansatz für ökonomisch-ökologische Regionalmodelle.

Die Unterteilung in Nahbereiche macht deutlich, dass sich selbst in relativ homogenen Regionen die Auswirkungen einer umweltpolitischen Maßnahme auf kleinstem Raum deutlich unterscheiden können. Dies muss bei der Ausgestaltung dieser Maßnahmen beachtet werden. Die Ergebnisse in ROMEO zeigen, dass es angebracht ist, umweltpolitische Maßnahmen differenziert auszugestalten und besser an unterschiedliche natürliche Bedingungen anzupassen, als dies in vielen bestehenden Umweltprogrammen der Fall ist.