



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

MULTIDISZIPLINÄRE AGENTENDEFINITIONEN FÜR OPTIMIERUNGSMODELLE

Anke Möhring, Albert Zimmermann, Gabriele Mack, Stefan Mann,
Ali Ferjani, Maria-Pia Gennaio

Forschungsgruppe Sozioökonomie der Forschungsanstalt
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen.

Anke.Moehring@art.admin.ch



*Vortrag anlässlich der 49. Jahrestagung der GEWISOLA
«Agrar- und Ernährungsmärkte nach dem Boom»
Kiel, 30.09. – 02.10.2009*

Copyright 2009 by authors. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.

MULTIDISZIPLINÄRE AGENTENDEFINITIONEN FÜR OPTIMIERUNGSMODELLE

Zusammenfassung

Mit der Entwicklung von Multiagentenmodellen für die Landwirtschaft konnten betriebliche Entscheidungsverhalten und Interaktionen in die Simulation von kleineren Agrarregionen einbezogen werden. Wichtige methodische Impulse dazu kamen insbesondere von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Deutschland. Das sich im Aufbau befindende Modell SWISSland erhebt den Anspruch, die 50 000 Familienbetriebe der gesamten Schweizer Landwirtschaft in ihrer Heterogenität bezüglich Betriebs- und Kostenstrukturen sowie Verhaltensweisen möglichst realitätsnah abzubilden, mit dem Ziel, die Simulation und Prognose des Strukturwandels zu verbessern. Dieser Beitrag beschreibt methodische Aspekte bei der Bildung der Agentenpopulation unter Verwendung verschiedener Datenquellen wie Buchhaltungsdaten, räumliche Daten und Ergebnisse von Umfragen. Als Basis nutzt SWISSland die 3300 FADN-Betriebe des Schweizer Buchhaltungsnetzes, deren Repräsentativität mittels eines Korrekturverfahrens wesentlich verbessert wird. Einzelbetriebliche Optimierungsmodelle simulieren das heterogene Verhalten der Agenten, für die innerhalb von Regionsgruppen ein potenzieller Flächenhandel möglich ist. Es ist zu erwarten, dass sich mit der Verknüpfung verschiedener Methoden und Datenmaterialien die Qualität der Politikfolgenabschätzung deutlich erhöhen wird.

Keywords

Strukturwandel, Schweizer Landwirtschaft, Multi-Agentenmodell, Agentendefinition, Lineare Optimierung.

1. Einführung

In der landwirtschaftlichen Sektormodellierung scheint ein gewisser Paradigmenwechsel stattzufinden. Nur noch wenige der führenden Forschungseinrichtungen arbeiten derzeit noch an der Entwicklung von Sektormodellen, in denen Regionshöfe optimiert werden, wie dies etwa bei CAPRI, RAUMIS und SILAS der Fall ist (BRITZ et al., 1999). Und immer mehr Einrichtungen arbeiten an Modellen, in denen mehrere Agenten individuell (OFFERMANN et al., 2005) und immer häufiger auch in Interaktion miteinander (HAPPE et al., 2008) optimiert werden.

MATTHEWS et al. (2007, S. 1447) fassen die Vorteile agentenbasierter Modelle wie folgt zusammen: «Specific advantages of agent-based models include their ability to model individual decision-making entities and their interactions, to incorporate social processes and non-monetary influences on decision-making, and to dynamically link social and environmental processes.» Hier kommt zum Ausdruck, dass man potenzielle Vorteile dieses Instruments verschenkt, wenn man streng in der ökonomischen Wissenschaft verharrt, ohne Anleihen anderer Disziplinen zu nehmen.

Der vorliegende Beitrag soll Anregungen zu möglichen Datenquellen, Definitionsmethoden und Optimierungsverfahren für Agentenpopulationen bereitstellen und dadurch mithelfen, die Potenziale von agentenbasierten Modellen für den Agrarsektor auszuloten. Dies erfolgt in erster Linie am Beispiel des sich im Aufbau befindlichen Modells SWISSland (Strukturwandel-Informationssystem der Schweizer Landwirtschaft). Das Ziel von SWISSland ist die Abschätzung der Auswirkungen agrarpolitischer Entscheide auf die Wirtschaftlichkeit und Struktur der schweizerischen Landwirtschaft insgesamt, gleichzeitig aber auch differenziert für kleinere regionale Räume. Denn oft sind die spezifischen regionalen und lokalen Gegebenhei-

ten entscheidend für die Implikationen politischer Maßnahmen auf die landwirtschaftliche Flächennutzung.

In Abschnitt 2 werden zunächst einige bisherige Vorgehensweisen beim Aufbau von agentenbasierten Agrarstrukturmodellen beschrieben. Abschnitt 3 erläutert die Definition der Agentenpopulation im Modell SWISSland. Schließlich beleuchtet Abschnitt 4 Folgerungen für zukünftige Modellentwicklungen.

2. Literaturübersicht zur Ableitung von Agentenpopulationen

Agentenbasierte Modelle bestehen aus Entscheidungsträgern (Agenten), einer Umgebung, durch welche die Agenten miteinander interagieren und Regeln, die einerseits die Beziehungen zwischen den Agenten und andererseits die Beziehungen zwischen Agenten und ihrer Umgebung definieren sowie Regeln, welche die Reihenfolge der ablaufenden Aktionen im Modell festlegen (PARKER et al., 2002). In Agentenmodellen der Agrarökonomie wird häufig der Landwirtschaftsbetrieb als entscheidungsbildende Einheit modelliert. Dadurch sind Vorteile bei der Datenbeschaffung, der Abbildung von Pfadabhängigkeiten, Verhaltensheterogenitäten und Agentenbeziehungen oder auch bei der Kommunikation der Modellresultate mit politischen Entscheidungsträgern oder landwirtschaftlichen Beratungsorganisationen nutzbar. Bisherige Modelle verwendeten verschiedene Methoden zur Definition der Agenten und Erzeugung der Agentenpopulation (Tab.1). Diese werden im folgenden diskutiert, um anschließend den für SWISSland geeigneten Ansatz zu entwickeln.

Tabelle 1: Aufbau der Agentenpopulation in bestehenden agentenbasierten Modellen

Beispielmodelle	ALBISSER (2008); LAUBER (2006)	BALMANN (2000); HAPPE (2004)	BERGER (2001); SCHREINEMACHERS (2006)	VALBUENA et al. (2008)
Datenbasis	Grundgesamtheit Strukturierte Interviews mit allen Betrieben: Erhebung von strukturellen, ökonomischen und räumlichen Merkmalen sowie von Verhaltensweisen (z. B. geplante Betriebsentwicklung)	Stichprobe FADN-Daten, Planungsdaten, Expertenwissen zur Ableitung der typischen Produktionstechnologie	Stichprobe Daten aus einer Haushaltsbefragung, Planungsdaten, qualitative Informationen aus Feldbeobachtungen	Stichprobe FADN-Daten, Planungsdaten, Befragungs- und räumliche Daten
Agentenpopulation	Grundgesamtheit Agenten = reale Betriebe	Grundgesamtheit Klonen typischer Betriebe	Grundgesamtheit Vervielfältigen der Referenzbetriebe mittels Monte Carlo Simulation	Stichprobe Agenten = Stichprobe (Auswahl typischer Agenten)

Jene Modelle, die alle in einer Region vorkommenden realen Betriebe als Agentenpopulation modellieren, basieren meistens auf aufwändigen Befragungen, um die sozio-ökonomischen Merkmale und Verhaltensparameter der Modellagenten zu definieren. Die Agenten besitzen in der Regel einen expliziten Raumbezug, wobei die räumliche Lage jeder Fläche mittels Koordinaten erfasst ist. Real existierende Betriebe werden so in ihrer ganzen Vielfalt als Agenten modelliert. Wegen des hohen Erhebungsaufwandes können jedoch meist nur kleine Regionen mit wenigen Agenten erfasst werden. LAUBER (2006) und ALBISSER (2008) haben beispiels-

weise Schweizer Gemeinden mit 72 bzw. 30 realen Betrieben abgebildet. Die Ergebnisse solcher Fallstudien können jedoch nur in eingeschränkter Masse verallgemeinert werden.

Das Konzept der Definition typischer Betriebe (BALMANN, 2000; HAPPE, 2004) verwendet im Allgemeinen eine kleine, ausgewählte Stichprobe von FADN-Betrieben als Datenbasis für die Agenten. Diese Auswahl orientiert sich an den regionalen Charakteristika (zum Beispiel häufige Produktionsrichtungen). Durch identisches Vervielfältigen («Klonen») der Betriebe – in Abhängigkeit des Vorkommens in der Grundgesamtheit – wird eine Agentenpopulation generiert, die der realen Größe der Region entspricht. Den Agenten wird ein ökonomisch rationales Verhalten auf Basis der Gewinnmaximierung unterstellt. Heterogene Einstellungen und Verhaltensabsichten sind in den ersten Modellversionen nicht berücksichtigt, die auf Planungsdaten basierenden Kostenfunktionen werden lediglich mittels zufällig zugewiesenen Korrekturfaktoren für unterschiedliche Managementfähigkeiten variiert. Um den Raumbezug herzustellen, haben die Autoren den zu modellierenden Raum in Rasterzellen aufgeteilt. Diese stellen Nutzungseinheiten dar und sind den Agenten ohne Bezug zur Situation in der konkreten Region zugewiesen. Dieses Vorgehen vereinfacht die Bearbeitung, berücksichtigt aber nicht die vielfältigen Formen, Größen und Eigentumsverhältnisse der Flächeneinheiten. Die von BALMANN (2000) und HAPPE (2004) gewählte Methode der Herstellung einer Agentenpopulation mittels Klonen verringert gegenüber der interviewbasierten Agentendefinition den Daten- und Zeitaufwand und ermöglicht die Modellierung von Agentenpopulationen für relativ große Regionen mit bis zu 3000 Betrieben. Dieser Ansatz kann jedoch die in der Realität auftretende Heterogenität der Einzelbetriebe nur ansatzweise erfassen, weshalb in den letzten Jahren verfeinerte Methoden zur Agentendefinition und Generierung der Agentenpopulation entwickelt wurden.

Der von BERGER (2001) und SCHREINEMACHERS (2006) realisierte Ansatz nutzt zur Definition der Agenten sogenannte Referenzbetriebe, die eine repräsentative Stichprobe aller Betriebe einer untersuchten Region darstellen. Damit kann die Spannbreite der zu berücksichtigenden betrieblichen Ausprägungen wesentlich verbreitert werden. Auf der Basis der Referenzbetriebe produziert eine Monte Carlo Simulation weitere Modellagenten entsprechend der Anzahl Betriebe in der Grundgesamtheit. Das Ziel dieses Ansatzes ist es aber, «Klone» in der Population zu vermeiden. Die Datengrundlage basiert in erster Linie auf einer umfassenden Haushaltsbefragung (BERGER und SCHREINEMACHERS, 2006). Diese ist Ausgangspunkt für ökonomische Schätzungen von Produktions- und Verbrauchsfunktionen sowie zur Ableitung von Verhaltensunterschieden im Zusammenhang mit Fruchtfolgebedingungen, geschlechtsspezifischer Arbeitsaufteilung oder Input- und Outputpreisen. Mit diesem Ansatz können ebenfalls Regionen mit bis zu 3000 real existierenden Betrieben modelliert werden. Die ökonomischen Kennziffern der Agenten stammen zum größten Teil direkt von den Referenzbetrieben und weisen eine hohe einzelbetriebliche Heterogenität auf.

Einen alternativen Weg schlagen VALBUENA et al. (2008) ein. Die Autoren modellieren nicht die Gesamtzahl der Betriebe in einer Region, sondern arbeiten mit einer Auswahl von typischen Agenten. Ihr Ziel ist es, das Dilemma zwischen der großen Ausprägungsvielfalt der Agenten und den oftmals nicht vollständig vorhandenen Datensätzen zu lösen. Im Vergleich zu den Arbeiten von BALMANN und HAPPE werden hier mehr Informationen über Merkmale wie Absichten, Sichtweisen, Einstellungen und das Entscheidungsverhalten der Akteure genutzt. Verschiedene Datenquellen unterschiedlichster Skalierungen werden miteinander kombiniert, wie zum Beispiel Erhebungen von Buchhaltungsdaten, Betriebszählungsdaten, Interviews, Beobachtungen und GIS-Daten. Besonderes Gewicht wird auf die möglichst realistische Abbildung der räumlichen Verteilung der Agententypen gelegt.

3. Definition der Agenten in SWISSland

Wie in den meisten agentenbasierten Modellen des Agrarsektors wird auch in SWISSland der einzelne reale Betrieb als Vorlage für einen Agenten gewählt. Dessen strategische Verhaltensweisen hinsichtlich Betriebswachstum, Aufnahme einer Nebenerwerbstätigkeit oder Produktionsaufgabe sollen mit den in Schweizer Betrieben beobachteten Verhaltensweisen übereinstimmen. Da SWISSland die gesamte Schweizer Landwirtschaft repräsentieren soll, muss die Agentenpopulation die heterogenen strukturellen und sozio-ökonomischen Charakteristika und Verhaltensweisen so realitätsgetreu wie möglich wiedergeben. Dies trifft insbesondere auf die folgenden Merkmale zu:

- Produktionsausstattung (Fläche, Gebäude, Arbeit)
- Art und Umfang der Betriebszweige
- Kostenfunktionen
- Parzellenstruktur (Anordnung im Raum, Hangneigung, Fahrdistanzen)
- Investitionsverhalten
- Entscheidungsverhalten bezüglich Betriebsaufgabe und -übergabe
- Entscheidungsverhalten bezüglich Umstellung auf biologische Wirtschaftsweise

Neben der geforderten Realitätstreue soll die Agentenpopulation im Modell ausreichend groß und repräsentativ sein, so dass mittels Hochrechnung agrarpolitische Aussagen für den gesamten Agrarsektor getroffen werden können.

3.1 Geeignete Datenquellen

Die Zahl der Agenten in SWISSland orientiert sich an den ungefähr 3300 Referenzbetrieben des Datenpools der Zentralen Auswertung von Buchhaltungsergebnissen der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (FADN-Betriebe). Diese bilden eine nicht repräsentative Stichprobe der rund 50 000 Familienbetriebe¹ der Schweiz. Zur Definition der Faktorausstattungen, ökonomischen Kennziffern und Verhaltensweisen der Agenten steht eine breite Auswahl an weiteren Datenquellen zu Verfügung (Tab. 2).

Die regionale Lage, Betriebsform, Ressourcenausstattung und Kostenstruktur eines Agenten basieren auf den Kennwerten je eines real existierenden FADN-Betriebs. Um die Kostenfunktionen der einzelnen Betriebszweige zu ermitteln, reichen jedoch die verfügbaren betriebszweigspezifischen Datensätze (Naturalerträge, Direktkosten, Preise) nicht aus. Dazu sind weitere Daten zum Arbeitszeit-, Maschinen- und Futtereinsatz notwendig, die aber nur für den FADN-Betrieb als Ganzes vorliegen. Eine Zuordnung der Daten auf der Grundlage definierter Zuordnungskriterien, wie sie in MACK und MANN (2008) beschrieben sind, ermöglicht es dennoch, für alle 3300 Agenten betriebszweigspezifische lineare Kostenfunktionen auf der Basis der Buchhaltungsdaten zu berechnen.

Nur monetäre Daten sind im FADN zur Ausstattung an Ökonomiegebäuden vorhanden. Weitere Angaben zum Gebäudebestand können anhand von Umfragen zumindest für Milchviehbetriebe abgeschätzt werden (GAZZARIN et al., 2008). Diese ergaben, dass viele Milchviehbetriebe in den letzten Jahren in neue Gebäudeeinheiten investiert haben, die aber aufgrund von Flächenmangel oder fehlenden Milchquoten nicht vollständig ausgelastet sind.

¹ Nicht abgebildet werden rund 10 000 Kleinstbetriebe und Betriebe mit speziellen Eigentumsstrukturen (zum Beispiel Betriebsgemeinschaften, Staatsbetriebe). Diese bewirtschaften rund 5 % der schweizerischen landwirtschaftlichen Nutzfläche (MEIER, 2005) und beeinflussen die strukturelle Entwicklung der Familienbetriebe nur geringfügig.

Tabelle 2: Definition der Modellagenten und Datenquellen

Merkmale des Agenten	Datenquelle
Region, Betriebsform, Ressourcenausstattung, Kostenfunktionen der Betriebszweige	Einzelbetriebliche Buchhaltungsdaten (schweizerisches FADN)
Gebäude: Art, Größe, Alter, Ausstattung	Repräsentative Befragung von 407 ostschweizerischen Milchviehbetrieben (GAZZARIN et al., 2008)
Räumliche Betriebsstruktur	Räumliche Daten von Betrieben aus ca. 10 Stichprobengemeinden
Verhaltenweisen eines aussteigenden Agenten (Betriebsaufgabe oder Betriebsübergabe)	Repräsentative Befragung von 776 aussteigenden Bewirtschaftenden (ROSSIER und WYSS, 2006)
Verhaltenweisen eines einsteigenden Agenten (wachstumswillig, -neutral, -avers)	Repräsentative Befragung von 1023 jungen einsteigenden Bewirtschaftenden (ROSSIER, 2008)
Einstellung gegenüber verschiedenen Bewirtschaftungsformen wie dem biologischen Landbau	Repräsentative Befragung von ca. 500 biologisch und ca. 500 nicht biologisch geführten Betrieben (REISSIG et al., 2009)

Da der Bodenmarkt ein wichtiger Teil der Interaktionen zwischen den Agenten im SWISSland-Modell ist, müssen für alle Agenten raumbezogene Merkmale festgelegt werden. Diese gehen über die in vielen Modellen vereinfachte Annahme der Rasterbildung hinaus. Vielmehr soll SWISSland die räumliche Topologie der Betriebszentren und Parzellen, die für die Simulation des Bodenmarktes benötigt werden, modellieren. Jedoch existieren für die 3300 Agenten keine räumlichen Koordinaten und keine Angaben über ihre Raumstruktur (Anzahl Parzellen, Distanzen zwischen Betrieben und Parzellen, Anzahl Nachbarn). Es ist also nicht bekannt, wo die einzelnen Flächen liegen und welche Landwirtinnen und Landwirte sie mit welcher Intensität bewirtschaften. Zur Abschätzung und Zuweisung dieser Merkmale werden repräsentativ für Regionstypen mit ähnlichen strukturellen und topographischen Charakteristika einzelne Referenzgemeinden mit je 70 bis 100 Betrieben ausgewählt. In diesen Referenzgemeinden werden die räumlichen Daten anhand von GIS-Datenbanken und detaillierten Erhebungen über die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen erfasst, um sie anschließend auf die Modellagenten zu übertragen.

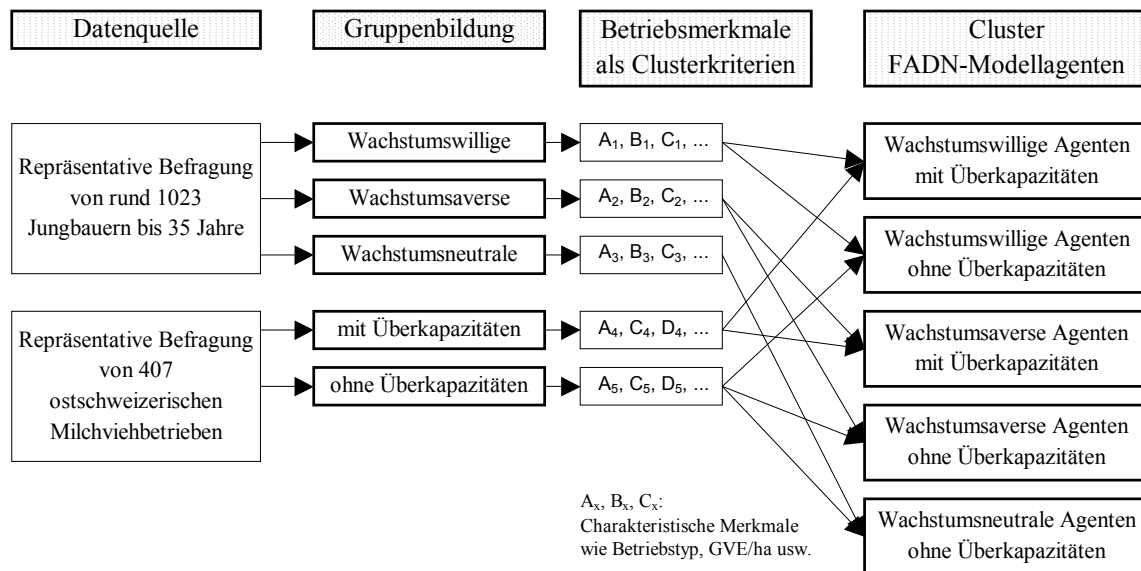
Um die heterogenen Verhaltensweisen bezüglich der betrieblichen Entwicklung abzubilden, können verschiedene Umfragen genutzt werden (ROSSIER und WYSS 2006, ROSSIER 2008, REISSIG et al. 2009). Anhand dieser Daten wird das Investitions- und Desinvestitionsverhalten von einsteigenden, aussteigenden und an der Bewirtschaftung festhaltenden Agenten spezifiziert.

3.2 Geeignete Aggregation verschiedener Datenquellen zum Agenten

Die Merkmale aus den verschiedenen Datenquellen und Umfrageergebnissen sowie die räumlichen Strukturdaten müssen den 3300 Agenten so zugeordnet werden, dass die entstehende Agentenpopulation Verhaltensweisen aufweist, die in der Realität zu beobachten sind. Abbildung 1 zeigt schematisch die Vorgehensweise, wie Daten aus verschiedenen, sich nicht überschneidenden Stichproben einem Agenten zugeordnet werden können.

Um beispielsweise die Umfrageergebnisse auf die FADN-Betriebe zu übertragen, erfolgt zunächst eine Gruppierung der an der Umfrage beteiligten Betriebe nach den relevanten Unterscheidungskriterien wie dem Investitionsverhalten. Für diese Gruppen werden charakteristische Merkmale ermittelt wie beispielsweise Betriebstyp, Betriebsform, landwirtschaftliche Nutzfläche, offene Ackerfläche, Tierbestand, Anzahl Milchkühe oder Anteil Pachtfläche. Mittels Clusteranalyse werden anschließend die FADN-Betriebsagenten ermittelt, welche gleiche Merkmalskombination aufweisen. Mit derselben Methode werden den Modellagenten die weiteren Zusatzdaten wie insbesondere die räumlich expliziten Merkmale zugewiesen.

Abbildung 1: Aggregation verschiedener Datenquellen zum Agenten



3.3 Geeignete Verfahren zur Verbesserung der Repräsentativität der Agentenpopulation

Weil die rund 3300 FADN-Betriebe eine nicht ausreichend repräsentative Stichprobe der schweizerischen Betriebe darstellen, ist damit zu rechnen, dass die Hochrechnung der Betriebsdaten zu bedeutenden Abweichungen von den gesamtschweizerischen Merkmalen führt. Mit Hochrechnungsmethoden, welche den einzelnen Betrieben unterschiedliche Gewichte zuweisen, könnte die Anpassungsgüte verbessert werden. Dies würde jedoch zu Inkonsistenzen bezüglich der abgebildeten Beziehungen zwischen den Betrieben führen: Ein Landhandel zwischen Betrieben, denen unterschiedliche Hochrechnungsfaktoren zugeordnet sind, ergäbe eine Veränderung der insgesamt abgebildeten Fläche. Es empfiehlt sich deshalb, die Repräsentativität bereits vor den Modellanwendungen durch eine Anpassung der Stichprobe zu verbessern.

Ähnlich der Regionsinitialisierung in HAPPE (2004) erfolgt dazu eine Gewichtung der FADN-Betriebe. In einer Optimierungsrechnung erhält jeder Betrieb ein Gewicht von entweder Null, Eins oder größer Eins. Diese Ermittlung von zu streichenden oder zu multiplizierenden Betrieben verfolgt das Ziel, bestimmte Merkmale in der Hochrechnung noch besser an die gesamtschweizerischen Werte anzupassen. Die Optimierungsrechnung minimiert die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen den hochgerechneten Merkmalen der Betriebe und dem Umfang des jeweiligen Merkmals in der Grundgesamtheit.

Minimierung:

$$\sum_m \left(\sum_b \frac{w_b * M_{mb} * HF}{MCH_m} - 1 \right)^2 * MF_m \rightarrow \min \quad \text{Summe der quadrierten Abweichungen}$$

wobei:

w_b : Gesuchtes Gewicht des FADN-Betriebs b (Integer-Variable, Standardwert: 1)

M_{mb} : Umfang des Merkmals m auf dem FADN-Betrieb b

HF: Hochrechnungsfaktor zwischen der SWISSland-Agentenpopulation und der gesamtschweizerischen Landwirtschaftsbetriebe

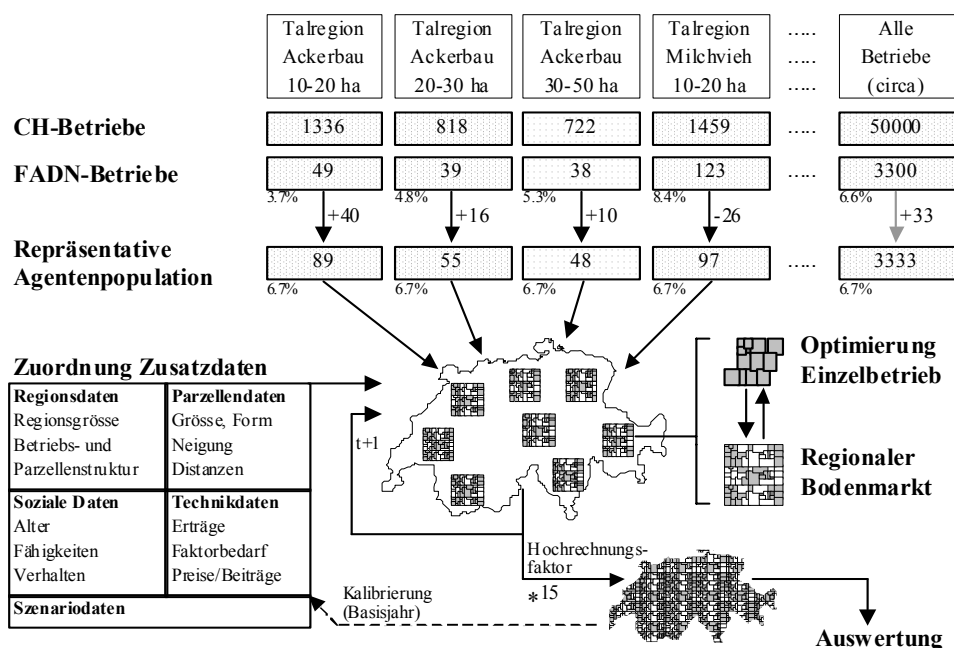
MCH_m : Im Optimum abzubildender Umfang des Merkmals m in der Schweizer Landwirtschaft

MF_m : Merkmal-Gewichtungsfaktor des Merkmals m
(Relative Gewichtung der betrachteten Merkmale)

Die Liste der Merkmale, auf die diese Anpassung der Agentenpopulation ausgerichtet wird, beinhaltet zum Beispiel die Umfänge bestimmter Flächen- und Tierkategorien oder die Anzahl Betriebe mit einer bestimmten Betriebsform (Nebenerwerb, Pacht, Biolandbau, regionale Lage). Dabei muss natürlich die Definition eines Merkmals auf der betrieblichen Ebene mit jener auf der Sektorebene übereinstimmen. Die Merkmale können untereinander gewichtet werden (Faktor MF_m). Eine Nebenbedingung stellt sicher, dass die gesuchten Gewichtungsfaktoren der Betriebe (w_b) nicht negativ werden. Mit zusätzlichen Nebenbedingungen kann gefordert werden, dass die Merkmale innerhalb eines bestimmten Schwankungsbereiches um den real beobachteten Umfang zu liegen kommen. Damit die ursprüngliche Stichprobe der FADN-Betriebe möglichst wenig geändert wird, kann überdies die maximale Anzahl der zu löschenden Betriebe (Gewicht $w_b = 0 \rightarrow 0$; wenn $w_b > 0 \rightarrow 1$). Im Modell SWISSland erfolgen Interaktionen zwischen den Betrieben vorerst nur innerhalb von definierten Pachtregionen. Es wäre deshalb möglich, für diese Pachtregionen unterschiedliche Hochrechnungsfaktoren festzulegen oder sogar verschiedene Hochrechnungsfaktoren je Region anzubieten, aus denen gleichzeitig mit der Ermittlung der betrieblichen Gewichtungsfaktoren der jeweils passendste ausgewählt wird. Dazu müssten die Variablen w_b zusätzlich nach möglichen Pachtregions-Zugehörigkeiten differenziert werden. Auf diese Weise würde mit der Optimierungsrechnung gleichzeitig die Zuteilung der Betriebe zu den Pachtregionen ermittelt.

Eine weitere mögliche Variante bei der Ermittlung von betrieblichen Gewichtungsfaktoren zur Verbesserung der Repräsentativität der Agentenpopulation ist in Abbildung 2 skizziert.

Abbildung 2: Anpassung der Agentenpopulation (Anzahl Betriebe) und Modellablauf



In den Publikationen des schweizerischen FADN hat sich die Gruppierung der Betriebe nach den Merkmalen Region, Betriebstyp und Flächenklasse als geeignet erwiesen, um die Ergebnisse entsprechend der Vertretung dieser Gruppen zu gewichten (Meier 2005). Anhand der analogen Gruppierung der gesamtschweizerischen Betriebe (AGIS-Datenbank: BLW 2008) und unter Anwendung eines vorgegebenen Hochrechnungsfaktors kann die erforderliche Anzahl Agenten je Gruppe berechnet werden und damit auch die Anzahl FADN-Betriebe, die in jeder Gruppe fehlen oder überzählig sind. Bei der anschließenden Optimierungsrechnung zur Ermittlung der betrieblichen Gewichtungsfaktoren w_b wird mit zusätzlichen Nebenbedingungen sichergestellt, dass pro Gruppe immer nur entweder Betriebe weggelassen oder multipliziert werden, so dass die ursprüngliche Stichprobe der FADN-Betriebe möglichst wenig geändert wird. Die auf diese Weise korrigierte Agentenpopulation entspricht einem gemäss dem Hochrechnungsfaktor festgelegten Anteil der realen Schweizer Landwirtschaftsbetriebe. Die Zuteilung zu den Pachtregionen könnte durch die Gruppierung von in der Realität nahe beieinander liegenden Betrieben zu den charakteristischen Gruppengrößen erfolgen. Nach der Zuordnung von zusätzlichen, nicht im FADN erfassten Daten wie zum Beispiel den unterschiedlichen Verhaltensweisen ist die Agentenpopulation definiert und für Modellrechnungen bereit. Die Ergebnisse solcher Modellsimulationen können jeweils einfach mit dem Hochrechnungsfaktor auf die Gesamtschweiz oder auf bestimmte Teilregionen hochgerechnet werden.

3.4 Geeignete Optimierung der Agenten

Die Agenten des Modells SWISSland werden in Form eines Mathematischen Optimierungsmodells formuliert und mit Hilfe des Ansatzes der positiven mathematischen Programmierung (PMP) kalibriert. Das Modell sieht eine Reihe von betrieblichen Handlungsoptionen (Entscheidungsvariablen oder Aktivitäten) sowie -begrenzungen (Restriktionen) vor. Da die Investitionsentscheidungen nur ganzzahlige Werte annehmen können, handelt es sich zusätzlich um ein gemischt-ganzzahliges Modell. Es wird – in einem ersten Schritt – für das Modell SWISSland unterstellt, dass die einzelbetrieblichen Aktivitäten einer Periode aus der Maximierung des erwarteten Haushaltseinkommens abgeleitet werden können unter Berücksichtigung von technischen und finanziellen Restriktionen wie verfügbarer Fläche, Arbeitsausstattung, Finanzierungsmöglichkeiten oder Bedingungen zum Erhalt von Direktzahlungen. Die Modellierung der heterogenen Verhaltenseinstellungen wie zum Beispiel der Absicht eines betrieblichen Wachstums erfolgt über Anpassungen der Koeffizienten und Kapazitätenparameter oder über Flexibility-Constraints. Das von den Agenten verwendete Tableau ist in Abbildung 3 beispielhaft dargestellt, die wichtigsten Variablen sind in Tabelle 3 beschrieben.

Abbildung 3: Übersicht über das Optimierungsmodell

		Investition	Finanzierung	Pflanzenbau	Tierhaltung	Dauerkulturen	Grünland	Nutzung	Nebenerwerb	RHS
		i	c	c	c	c	c	c	c	
	Haushaltseinkommen	Zielfunktionskoeffizienten								Max
Faktorkapazitäten	Liquidität (CHF)	Technische Koeffizienten								Kapazitäten
	Minimale Eigenkapitalreserve (CHF)									
	Landnutzung (ha)									
	Raufutterfläche (ha)									
	Tierhaltung (Plätze)									
	Arbeit (AKh)									
Ökologische Restriktionen	Düngung (kg N/ha)									
	Suisse-Bilanz (kg N, P, K)									
	Fruchtfolge (% der LN)									
	Ökologische Ausgleichsfläche (% der LN)									
An-dere	Flexibility Constraints (% des Vorjahres)									

Anmerkung: c = kontinuierliche Aktivitäten, i = ganzzahlige Aktivitäten

Tabelle 3: Wichtige Variablen in SWISSland

Variable	Einheit	Typ	Beschreibung
Investition	verschiedene	Integer	Investitionsalternativen für die Neuinvestition in Gebäude und Anlagen für wachstumswillige Agenten
Finanzierung	CHF	≥ 0	Investitionshilfen, Beiträge und anderes Fremdkapital
Pflanzenbau	ha	≥ 0	Verfahren des Pflanzenbaus
Tierhaltung	verschiedene	≥ 0	Verfahren der Tierhaltung
Dauerkulturen	ha	≥ 0	Verfahren des Dauerkulturanbaus
Grünland	ha	≥ 0	Wiesen- und Weidenutzung
Nutzung	verschiedene	≥ 0	Faktor- und Ressourcennutzung
Nebenerwerb	AKh	≥ 0	Arbeitszeit für außerlandwirtschaftliche Beschäftigung
Haushaltseinkommen	CHF	Frei	Landwirtschaftliches Einkommen plus außerlandwirtschaftliches Einkommen

Das Haushaltseinkommen ergibt sich aus der Summe von landwirtschaftlichem und außerlandwirtschaftlichem Einkommen. Es muss die von den Betriebsleitenden eingesetzte Arbeit und das investierte Eigenkapital entschädigen. Die quadratische Zielfunktion umfasst folgende Komponenten:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z_t = & \sum_i p_{it} y_{it} + \sum_j dz_{jt} x_{jt} + \sum_g al_{gt} fak_{gt} - \sum_g l_{gt} ak_{gt} - \sum_k v_{kt} u_{kt} - \sum_k v_{kt-1} u_{kt-1} - \sum_r s_{rt} h_{rt} \\
 & - \sum_j \alpha_{jt} x_{jt} - 0.5 \sum_j \beta_{jt} x_{jt}^2 \\
 \text{s.t. } & m_n(x_{t=1, j=1, \dots, T, j=J}) \leq 0
 \end{aligned}$$

wobei:

Z = Zielfunktionswert (Haushaltseinkommen)
 p = Vektor der erwarteten Produktpreise
 y = Vektor der Verkaufs- und Zukaufsaktivitäten
 dz = Vektor der Direktzahlungen
 x = Vektor der pflanzlichen und tierischen Produktionsaktivitäten
 v = Vektor der erwarteten Preise für Investitionen
 u = Vektor der Investitionsaktivitäten (Stallgebäude)
 al = Vektor der außerlandwirtschaftlich erzielbaren Löhne
 fak = Vektor der familieneigene Arbeitskräfte
 l = Vektor der Löhne (für familieneigene und familienfremde Arbeitskräfte)
 ak = Vektor der Arbeitskräfte (familieneigene und familienfremde Arbeitskräfte)
 s = Vektor der erwarteten Preise für sonstige Inputs
 h = Vektor der Zukaufsaktivitäten von sonstigen Inputs
 m_n = Restriktionen aller Entscheidungsvariablen mit n verschiedenen Gleichungen
 α = Vektor mit Parametern des Linearen Terms (PMP)
 β = Matrix mit Parametern des quadratischen Terms (PMP)
 j = $\{1, \dots, J\}$ (Set der Produktionsaktivitäten)
 i = $\{1, \dots, I\}$ (Set der Zukaufs- und Verkaufsaktivitäten)
 k = $\{1, \dots, K\}$ (Set der Investitionsaktivitäten)
 r = $\{1, \dots, R\}$ (Set der Ressourcennutzungen, z.B. Energie, Wasser, Nährstoffe, Futter, etc.)
 g = $\{1, \dots, G\}$ (Set der Arbeitsaktivitäten)
 t = $\{1, \dots, T\}$ (Set der Zeitperioden - Jahre)
 $t-1$ = Vorjahr

Die zeitliche Auflösung eines Simulationsdurchgangs beträgt ein Jahr. Der rekursive Modellansatz ermöglicht die Analyse von Entwicklungen im Zeitablauf, indem mehrere Simulationsdurchgänge hintereinander durchgeführt werden. Das Ergebnis eines Jahres ist die Basis für das darauffolgende Jahr. Infolge Illiquidität oder einer fehlenden Deckung der Opportunitätskosten können Betriebe aus der Produktion ausscheiden.

Der Ansatz der positiven mathematischen Programmierung (PMP) ermöglicht es, das Modell auf einen statistisch ausgewiesenen Ausgangszustand (Basisjahr) zu kalibrieren. Die Prognoserechnungen werden dadurch realitätsnäher und plausibler und neigen weniger zu Überspezialisierung im Vergleich zu reinen LP-Lösungen. Nachteilig ist allerdings, dass die quadratische Kostenfunktion lediglich eine empirisch schwer überprüfbare Annahme darstellt.

Die große Anzahl heterogener Agenten erfordert eine Mindestanzahl an verschiedenen Aktivitäten in der Pflanzen- und Tierproduktion. Im Modell dürfen Fremdarbeitskräfte angestellt werden. Familienarbeitskräfte können bei frei werdender Kapazität, zum Beispiel durch eine Investition, auch außerlandwirtschaftliche Beschäftigungsmöglichkeiten aufnehmen, sofern davon ausgegangen werden kann, dass diese verfügbar sind und ein Mindestpensum an Arbeitszeit auf dem landwirtschaftlichen Betrieb geleistet wird.

Die Abbildung von Investitionsalternativen für die Neuinvestition in Gebäude und Anlagen erfolgt ähnlich der von HAPPE (2004, S. 45 ff.) bzw. KELLERMANN et al. (2007, S. 23 ff.) vorgeschlagenen Form. Dabei werden für die verschiedenen Aktivitäten mögliche Investitionsalternativen zur Auswahl gestellt, wobei verschiedene Größen eines Investitionstyps zur Abbildung von Skaleneffekten berücksichtigt sind. Außerdem gilt die Annahme myoptischen (kurzsichtigen) Entscheidungsverhaltens. Es ist keine Modellierung von Umbaulösungen vorgesehen.

Das für die Produktion und für Investitionen erforderliche Kapital steht in drei Formen zur Verfügung: kurzfristiges Fremdkapital, mittel- und langfristiges Fremdkapital und flüssiges Eigenkapital. Hypotheken und Investitionshilfen (nicht rückzahlbare Beiträge) sowie Investitionskredite gehören zum mittel- und langfristigen Fremdkapital, das neben den Eigenmitteln für Investitionen zur Verfügung steht. Investitionshilfen und -kredite können nur dann eingesetzt werden, wenn frühere Investitionskredite vollständig zurückbezahlt sind. Zum Erhalt von Investitionshilfen und -krediten sind gesetzliche Rahmenbedingungen einzuhalten, die im

Modell entsprechend umgesetzt werden müssen. Außerdem gibt es eine Beschränkung bezüglich einsetzbarem Eigenkapital für Investitionen, um nicht die Substanz des Betriebes zu gefährden. Integriert sind des weiteren Flexibility-Constraints, die sicherstellen, dass alle aus den Vorjahren verfügbaren Kapazitäten voll ausgelastet werden. Dies bedeutet, dass alle pflanzlichen (und auch tierischen) Produktionsaktivitäten maximal im Rahmen der reziproken Abschreibungssätze von Gebäuden zurückgehen können.

4. Schlussfolgerungen

Je größer die abzubildende Agentenpopulation in einem Agentenmodell ist, desto weniger detailliert sind in der Regel die einzelbetrieblichen Optimierungsmodelle bzw. Agenten gestaltet. SWISSland will sowohl eine große Agentenpopulation als auch den einzelnen Agenten so realitätsnah wie nötig abbilden, wofür komplexe einzelbetriebliche Optimierungsmodelle jedoch notwendig sind. Dies bringt einige Schwierigkeiten mit sich. Neben technischen Kapazitätsproblemen birgt ein hoher Detailliertheitsgrad das Risiko von Problemen bei der Modellvalidierung und der Interpretation der Modellergebnisse. Die Kommunikation mit politischen Entscheidungsträgern wird schwerer, wenn die modellierten Zusammenhänge nicht genügend nachvollziehbar sind (vgl. Happe und Kellermann, 2007). Ein Erfolgskriterium bei der Modellierung von SWISSland wird es deshalb sein, ein angemessenes Gleichgewicht zwischen Komplexität und Vereinfachung zu finden.

Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass nicht nur eine überschaubare Region, sondern ein ganzer Staat abgebildet werden soll. Auch wenn die Schweiz bekanntlich zu den kleineren Staaten gehört, erfordert das Ziel eines nationalen Modellmaßstabes die Verarbeitung potenziell extrem großer Datenmengen. Dies verstärkt den Druck, an bestimmten Stellen zu abstrahieren, ohne den Reichtum an einzelbetrieblicher Individualität in unnötiger Weise zu beschränken.

Insgesamt zeigt sich, dass Multiagentenmodelle in der Tat deutlich bessere Voraussetzungen haben, die komplexe Realität abzubilden, als es für aggregierte Sektormodelle alten Stils behauptet werden kann. Durch eine mit Bedacht gewählte Nutzung geeigneter Dokumente unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Disziplinen kann sich die Modellierung den Mechanismen und vor allem auch der Heterogenität menschlichen Verhaltens ein ganzes Stück annähern. Dem Ziel einer realistischen Politikfolgenabschätzung wird so nachhaltig Rechnung getragen.

Literatur

- ALBISSER, G. (2008): Dissertation in Arbeit. Dissertation, ETH Zürich, Zürich.
- BALMANN, A. (2000): Modeling Land Use with Multi-Agent Systems. Perspectives for the Analysis of Agricultural Policies. Proceedings of the IIFET 2000: Microbehavior and Macroresults.
- BERGER, T. (2001): Agent-based Spatial Models Applied to Agriculture: A Simulation Tool for Technology Diffusion, Resource Use Changes and Policy Analysis. *Agricultural Economics*, 25, 2, 1-16.
- BERGER, T. und P. SCHREINEMACHERS (2006): Creating agents and landscapes for multiagent systems from random samples. *Ecology and Society*, 11, 2, Art. 19.
- BLW (2008): Agrarinformationssystem AGIS 2007. Einzelbetriebliche Datenbank des Bundesamtes für Landwirtschaft, unveröffentlicht.
- BRITZ, W., T. HECKELEI und R. SANDER (1999): Konzept eines regionalisierten, agrarsektoralen Politikinformationssystems für den Agrarsektor der EU: das CAPRI-Modell. In E. Berg, W. Henrichsmeyer, G. Schiefer: *Agrarwirtschaft in der Informationsgesellschaft*. Münster: Landwirtschaftsverlag
- GAZZARIN, C., L. BLOCH, O. SCHNEITTER und M. LIPS (2008): Wie reagieren Verkehrsmilchbetriebe auf die aktuellen Herausforderungen? Eine repräsentative Umfrage in der Ostschweiz vor Auf-

- hebung der Milchkontingentierung. ART-Berichte Nr. 698, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 2008.
- HAPPE, K. (2004): Agricultural policies and farm structures. Agent-based modelling and application to EU-policy reform. Dissertation, Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe (IAMO), Halle, 298 S.
- HAPPE, K. und K. KELLERMANN (2007): Diese Modelle sind zu komplex! Oder doch nicht? Experimentelles Design und Metamodellierung als möglicher Weg, das Kommunikationsproblem agentenbasierter Modelle in der Politikanalyse zu lösen. 47th annual conference of the GEWISOLA and the 17th annual conference of the ÖGA 26. bis 28. September 2007, Paperpresentation, Freising/Weihenstephan, Germany.
- HAPPE, K., A. BALMANN, K. KELLERMANN und C. SAHRBACHER (2008): Does structure matter? The impact of switching the agricultural policy regime on farm structures. *Journal of Economic Behaviour and Organization* 67 (2) 431-444.
- HOWITT R.E., 1995. Positive Mathematical Programming. In: *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 77, p. 229-342.
- KELLERMANN, K., K. HAPPE, C. SAHRBACHER und M. BRADY (2007): AgriPoliS 2.0 - Documentation of the extended model. Working paper series of the European research project: The Impact of Decoupling and Modulation in the Enlarged Union: A sectoral and farm level assessment (IDEMA), 20.
- LAUBER, S. (2006): Agrarstrukturwandel im Berggebiet. Ein agentenbasiertes, räumlich explizites Agrarstruktur- und Landnutzungsmodell für zwei Regionen Mittelbündens. ART-Schriftenreihe, 2, Eidgenössische Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, 216 S.
- MACK, G. und S. MANN (2008): Defining Elasticities for PMP Models by Estimating Marginal Cost Functions Based on FADN Data: the Case of Swiss Dairy Production. 107th EAAE Seminar "Modelling of Agricultural and Rural Development Policies" January 29th -February 1st 2008, Paperpresentation, Sevilla, Spain.
- MATTHEWS, R. B., N. G. GILBERT, A. ROACH, J. G. POLHILL und N. M. GOTTS (2007): Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology* 22 (10) 1447-1459.
- MEIER, B. (2005): Analyse der Repräsentativität im schweizerischen landwirtschaftlichen Buchhaltungsnetz. Diss. ETH Zürich Nr. 15868.
- OFFERMANN, F., W. KLEINHANSS, S. HUETTEL und B. KUEPKER (2005): Assessing the CAP reform impacts on German Agriculture using the farm group model FARMIS. 89th EAAE Seminar on "Modelling Agricultural Policies: State of the Art and New Challenges" 3-5 February 2005, Parma, Italy.
- PARKER, D. C., T. BERGER und S. M. MANSON (2002): Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change. *Proceedings of an International Workshop*, October 4-7, 2001, Irvine, California, USA, 145 S.
- REISSIG, L., A. FERJANI und A. ZIMMERMANN (2009): Ausstieg aus dem Biolandbau - steigende Tendenz in der Schweiz. *Agrarforschung* 16 (3): 52-57.
- ROSSIER, R. (2008): Einstellung der Junglandwirte bezüglich Hofübernahme. In: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) [Hrsg.]: *Agrarbericht 2008*. Bern.
- ROSSIER, R. und B. WYSS (2006): Determinanten der Hofnachfolge. *Agrarforschung*, 13(4).
- SCHREINEMACHERS, P. (2006): The (Ir)relevance of the Crop Yield Gap Concept to Food Security in Developing Countries with an Application of Multi Agent Modeling to Farming Systems in Uganda. Dissertation, Uni Bonn, Bonn, 222 S.
- VALBUENA, D., P. H. VERBURG und A. K. BREGT (2008): A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128, 1-2, 27-36.