

**DIESE MODELLE SIND ZU KOMPLEX! – ODER DOCH NICHT?:  
EXPERIMENTELLES DESIGN UND METAMODELLIERUNG ALS  
MÖGLICHER WEG, DAS KOMMUNIKATIONSPROBLEM  
AGENTENBASIERTER MODELLE IN DER  
POLITIKANALYSE ZU LÖSEN**

**Kathrin Happe<sup>1</sup> and Konrad Kellermann<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe (IAMO),  
Halle (Saale), Germany



*Paper prepared for presentation at the 47<sup>th</sup> annual conference of the GEWISOLA  
(German Association of Agricultural Economists) and the 17<sup>th</sup> annual conference of the  
ÖGA (Austrian Association of Agricultural Economists),  
'Changing Agricultural and Food Sector',  
Freising/Weihenstephan, Germany, September 26-28, 2007*

*Copyright 2007 by Kathrin Happe and Konrad Kellermann. 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.*

**DIESE MODELLE SIND ZU KOMPLEX! – ODER DOCH NICHT?:  
EXPERIMENTELLES DESIGN UND METAMODELLIERUNG ALS MÖGLICHER WEG,  
DAS KOMMUNIKATIONSPROBLEM AGENTENBASIERTER MODELLE IN DER  
POLITIKANALYSE ZU LÖSEN**

*Kathrin Happe und Konrad Kellermann\**

## **Zusammenfassung**

Agentenbasierte Ansätze erfreuen sich einer immer größeren Beliebtheit. Allerdings besteht ein grundlegendes Problem dieses Ansatzes darin, dass die Komplexität der angewendeten Modelle und der darin getroffenen Annahmen häufig schwer zu vermitteln ist. Dies führt dazu, dass die „Kritikfähigkeit“ entsprechender Modell nur eingeschränkt gegeben ist. Dieser Beitrag greift dieses Problem auf und zeigt Möglichkeiten auf, die Transparenz und Akzeptanz komplexer Modellierungsansätze zu erhöhen. Hierzu greifen wir ein spezielles Verfahren der Sensitivitätsanalyse auf und zeigen, wie mit Hilfe von Metamodellen die Zusammenhänge von Modellparametern und unterschiedlichen Politikoptionen analysiert werden können. Als Anwendungsbeispiel dient das Modell AgriPoliS, das für eine fiktive Agrarstruktur kalibriert wurde.

## **Keywords**

Agentenbasierte Modellierung, Design of Experiments, Sensitivitätsanalyse, Politikanalyse

## **1 Einleitung**

Agentenbasierte Modelle (ABM) haben in der agrarökonomischen Forschung, und insbesondere in der Politikanalyse, in den letzten Jahren einen wahren Boom erlebt (vgl. z.B. BALMANN, 1997; BERGER, 2001; HAPPE, 2004; LAUBER, 2006; bzw. die Übersichten in PARKER *et al.* 2003; sowie BOUSQUET und LE PAGE, 2004). Die Vorzüge agentenbasierter Modelle (ABM) liegen darin, dass komplexe Handlungen und Interaktionen einer Vielzahl von unterschiedlichen Akteuren untereinander und mit ihrer Umgebung simuliert werden können. Beobachtbare Phänomene, aus dem Bereich der Agrarökonomie, die einer solchen Sichtweise und Konzeptionalisierung besonders zuträglich sind, umfassen Strukturwandel, das Funkzionieren von Bodenmärkten (BALMANN *et al.*, 2006; HAPPE, 2004; HAPPE *et al.*, 2006a; KELLERMANN und BALMANN, 2006) oder die Interaktionen zwischen Ökonomie und Ökologie (z.B., Janssen 2002; PARKER *et al.*; 2003)

Vielen neuen Möglichkeiten, die sich auch durch die Verfügbarkeit schneller Computer ergeben, stehen neue und anfangs unterschätzte Herausforderungen entgegen. Das vermeintlich große Potenzial agentenbasierter Modelle in den genannten Bereichen hat mitunter einen Preis, den es abzuwägen gilt. Die Struktur von ABM ist in der Regel komplexer als die analytischer Modelle (GRIMM *et al.*, 2006). Diese Eigenschaft haben ABM allein schon wegen der Vielzahl unterschiedlicher Individuen bzw. vieler nicht-linearer Verbindungen zwischen Modellvariablen. Deshalb sind ABM häufig sehr aufwändig zu implementieren und eine Modellreplikation ist nur eingeschränkt möglich (EDMONDS und HALE, 2003). Weiterhin stellt gerade bei ABM die Modellparametrisierung und –kalibrierung eine zunehmende Herausforderung

---

\* Dr. Kathrin Happe und Dipl.-Ing. agr. Konrad Kellermann sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa (IAMO), Theodor-Lieser-Str. 2, 06120 Halle (Saale). E-Mail: [happe@iamo.de](mailto:happe@iamo.de)

dar, da diese Modelle oft den Anspruch einer expliziten und detaillierten empirischen Fundierung haben. Allerdings bedingt eine Vielzahl von Inputparametern, dass die Analyse von ABM sehr aufwändig und ein Verständnis der Modellergebnisse ist nicht immer unmittelbar gegeben ist. Da ferner die Ergebnisse eines Modells häufig nicht a priori abgeschätzt werden können ist neben der Modellvalidierung bereits die Modellverifikation (d.h. das fehlerfreie Funktionieren des Modells) von besonderer Bedeutung. Wenn die Simulationsergebnisse einen Einfluss auf die Entscheidungsfindung, z.B. bei der Abschätzung von Politikwirkungen, haben sollen, dann muss das konzeptionelle Modell einer Agrarstruktur die reale Struktur möglichst gut abbilden. Das heißt, das Modell muss dem Verhalten realer Systeme nahe kommen. SANCHEZ *et al.* (2006) stellen in diesem Zusammenhang fest, dass gerade diese Herausforderungen dazu führen, dass Simulationsansätze oft als Übungen in Computerprogrammierung wahrgenommen werden und nicht als ernsthafte Modellierungs- und Analyseaktivität.

Angesichts solcher Probleme agentenbasierter Ansätze, ist ihr Einsatz in der angewandten Politikanalyse zunächst als problematisch anzusehen. Zum einen reduzieren die genannten Eigenschaften die Nachvollziehbarkeit und Plausibilität von Ergebnissen. Sie erschweren möglicherweise ein Verständnis der modellierten Zusammenhänge (bzw. der Gründe für die Auswahl der modellierten Prozesse). Damit ABM in der Politikanalyse und –beratung verstärkt Eingang finden können, ist es notwendig, ein Grundverständnis eines komplexen Simulationsmodells und der darin getroffenen Annahmen zu vermitteln. In der Regel wird dazu den Adressaten eine Reihe von Material zur Verfügung gestellt, wie z. B. eine detaillierte Modelldokumentationen oder Modellcode. Allerdings ist dies oft keine befriedigende Lösung. Die die Einarbeitung in entsprechende Materialien ist mitunter sehr zeitintensiv und erfordert von den Adressaten ein hohes Maß an Zeit und Hintergrundwissen, was aber gerade bei Entscheidungsträgern nicht immer gegeben ist. Dieses Kommunikationsproblem besteht jedoch nicht nur für nicht-wissenschaftliche Adressaten, wie z.B. Entscheidungsträger, sondern trifft ebenfalls (wenngleich weniger) auf Fachkollegen zu, die entweder nicht mit spezifischen ABM oder den untersuchten Fragestellungen vertraut sind. GRIMM (2002) spricht im Bereich der Ökologie sogar davon, dass das Kommunikationsproblem mitunter die wissenschaftliche Glaubwürdigkeit von ABM deutlich verringern kann.

Dementsprechend versucht dieser Beitrags aufzuzeigen, wie dem Problem der Kommunikation komplexer Modell begegnet werden kann und so die Akzeptanz ABM insbesondere im Bereich der politischen Entscheidungsfindung erhöht werden kann. Aus einer Reihe von Lösungsansätzen (s. Abschnitt 2) wählen wir einen Ansatz aus, der sich strukturierter Simulationsexperimente und Metamodellierung bedient und wenden diesen an auf das agentenbasierte Simulationsmodell AgriPoliS (HAPPE *et al.*, 2006a).

Unser besonderes Interesse gilt zwei Fragen. Zum einen untersuchen wir die Beziehungen zwischen einer Reihe von Inputparametern und ihre Wirkungen auf Simulationsergebnisse. Diese Frage zielt auf das Verständnis des Simulationsmodells ab. Aus der großen Anzahl von möglichen Parametern haben wir solche ausgewählt, von denen wir ausgehen, dass sie zentrale Determinanten des Strukturwandels darstellen. Die zweite Frage betrifft die Wirkung einer Politik. Unter welchen Rahmenbedingungen hat eine Politik eine geringere oder größere Wirkung auf die Ergebnisse? Das Ziel unserer Analyse ist somit, die Politikanalyse mit einer strukturierten Modellanalyse zu kombinieren und so möglichst aussagekräftige Rückschlüsse auf die Politikwirkungen in realen Systemen zu ziehen. Um diesen Fragen zu begegnen und den Einfluss einer Politikänderung zu untersuchen, wenden wir eine strukturierte Sensitivitätsanalyse, die auch als *Design of Experiments* (DOE) bezeichnet wird, an. Diese Vorgehensweise erlaubt es, herauszufinden, wie und welche Inputparameter innerhalb eines Satzes von Inputvariablen ein Simulationsergebnis besonders stark beeinflussen und Interaktionen zwischen Variablen aufzudecken.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut. In Abschnitt zwei stellen wir mögliche Ansätze zur Überwindung des oben dargestellten Kommunikationsproblems vor. Wir gehen dabei verstärkt auf das Design und die Analyse von Simulationsexperimenten ein. Danach stellen wir ein Anwendungsbeispiel für ein experimentelles Design vor. Wir benutzen dazu das Simulationsmodell AgriPoliS, das für eine hypothetische Agrarstruktur initialisiert wurde. Da dieser Ansatz bereits mehrfach präsentiert und diskutiert wurde, wird an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur dazu verwiesen. Das gewählte Design wird vorgestellt und diskutiert. Der Diskussion der Ergebnisse folgt eine Diskussion mit Bezug auf den Nutzen des vorgestellten Ansatzes in der angewandten Politikanalyse.

## **2 Mögliche Lösungsansätze für das Kommunikationsproblem von ABM**

Das Kommunikationsproblem von agentenbasierten Modellen ist für Modellierer nichts Neues. Vor allem in der Ökologie sowie im Bereich der sozialen Simulation wurde es thematisiert (vgl. z.B. GRIMM, 1999; GRIMM, 2002; GRIMM *et al.*, 2006; EDMONDS und HALES, 2003). GRIMM (2002) schlägt in diesem Zusammenhang eine Reihe von Lösungen für das Kommunikationsproblem vor, die in die Bereiche Modellentwicklung, Dokumentation und Veröffentlichung und Modellanalyse gruppiert werden können.

### **2.1 Modellentwicklung**

Die Benutzung von Programmiersprachen (z.B. C, C++, Java) erlaubt es, ein Modell eindeutig zu formulieren. Dieses setzt jedoch die Kenntnis einer solchen Sprache voraus. Kenntnis der Sprache allein ist jedoch keine Garantie für das Verständnis eines Modells. Ferner gibt es eine Vielzahl von möglichen Sprachen, die jede für sich sehr unterschiedlich ist. Spezifische Softwarebibliotheken, die eine Reihe von Kerneigenschaften und Funktionalitäten bündeln, werden für wichtige Programmiersprachen (z.B. Java, C++) angeboten. Beispiele hierfür sind ABM-Plattformen, wie Repast (NORTH *et al.* 2006) oder MASON (LUKE *et al.* 2005). Beide bieten Java-Bibliotheken an, die z.B. die Funktionalität für eine räumliche Anordnung und Bewegung von Agenten im Raum zur Verfügung stellen. Allerdings befreit auch ein solcher Ansatz einen Modellierer wie auch einen Modelladressaten nicht von einer bestimmten Grundkenntnis einer Programmiersprache. GRIMM (2002) weist ferner darauf hin, dass auch bei diesem Ansatz der Nutzerkreis noch sehr überschaubar ist und in erster Linie aus Entwicklern besteht. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, generische Modellierungsprogramme einzusetzen. Dazu zählen z.B. kommerzielle Programme wie Vensim oder STELLA, die nicht nur bei Modellierern weit verbreitet sind. Das erleichtert die Kommunikation, genauso wie die intuitive grafische Benutzerführung. Allerdings legen generische Modellierungsprogramme den Schwerpunkt auf mathematische und Systemdynamikmodelle. Die Funktionalität für agentenbasierte Modelle ist – wenn überhaupt – sehr beschränkt.

### **2.2 Dokumentation**

Ein weiterer Lösungsweg setzt bei der Dokumentation komplexer Modelle an. GRIMM *et al.* (2006) schlagen dazu ein standardisiertes Protokoll (ODD = Overview, Design concepts, Details) vor, das die Stufen der Beschreibung eines Modells vereinfacht. Der Gedanke hinter dieser Vorgehensweise ist, dass der Leser einer Modellbeschreibung sukzessive mit den Details des Modells vertraut gemacht wird, jedoch schon recht früh einen Eindruck der Hauptmodellbestandteile bekommt. Das Internet als Kommunikations- und Dokumentationsplattform kann weiterhin von Nutzen sein. So kann z.B. der Modellcode öffentlich zugänglich gemacht werden. Allerdings fördert dieses den Zugang zu Information, jedoch weniger ein Modellverständnis. Möglichkeiten, den Code, bzw. den Modellaufbau mittels bestimmter Kommentierungstools zu kommentieren und zu strukturieren fördern dabei die Darstellung des Codes.

## 2.3 Modellanalyse

Ein dritter Weg setzt bei der Analyse des Simulationsmodells an. Dazu werden gezielt visuelle wie auch mathematisch-statistische Methoden eingesetzt, um komplexe Zusammenhänge eines agentenbasierten Modells sichtbar zu machen. So wird der "black-box"-Charakter eines ABM verringert. Zentral ist hierbei die Durchführung kontrollierter und systematischer Simulationsexperimente. Eine pragmatische Lösung ist z.B. das sogenannte "visual debugging" (GRIMM 2002). Die Absicht hinter dem "visual debugging" ist es das Modell zu testen, zu analysieren und seine Funktionsweise zu verstehen. In diesem Ansatz wird das Simulationsmodell mit einer grafischen Benutzeroberfläche gekoppelt, die Parametereinstellungen wie auch eine Reihe von parallelen grafischen Auswertungen erlaubt. Bei dieser Methode nehmen sowohl der Modellierer als auch der Anwender die Haltung eines "debuggers" ein. Ein Debugger ist ein Hilfsmittel in der traditionellen Programmierung, um Fehler im Programm aufzuspüren. Grafische Analysen sind dabei von besonderer Bedeutung, da sie in der Regel leichter kommunizierbar sind und der Funktionsweise des menschlichen Gehirns näher kommen. Ein weiterer Ansatz, der im weiteren Verlauf des Beitrags angewendet werden soll ist das systematische Design und die Analyse von Simulationsexperimenten mit grafischen Methoden und Regressionsanalysen.

## 3 *Design of Experiments* und Metamodellierung

Methoden der strukturierten Sensitivitätsanalyse, die auch unter dem Begriff *Design of Experiments* (DOE) genannt werden, erlauben es, wichtige Bestandteile von Simulationsmodellen systematisch aufzudecken und die Ergebnisse statistisch zu analysieren (LAW und KELTON, 1991; VONK NOORDEGRAAF *et al.*, 2002; BOX *et al.*, 1978). Sensitivitätsanalysen sind an sich nichts Neues. Sie tragen unter anderem zur Modellvalidierung bei (KLEIJNEN, 1999). Allerdings werden sie oft wenig systematisch durchgeführt. Meist wird lediglich ein Parameter variiert, was jedoch Interaktionen zwischen Inputparametern nicht berücksichtigt (KLEIJNEN *et al.*, 2005; MANSON, 2002; SANCHEZ, 2005a). KLEIJNEN *et al.* (2005), sowie auch zahlreiche Beiträge der jährlichen *Winter Simulation Conference* wenden DOE auf agentenbasierte Modelle an. Ziel einer solchen Anwendung kann es sein entweder (a) das Verhalten eines Simulationsmodells oder Systems besser zu verstehen, oder (b) robuste Entscheidungen oder Politiken zu identifizieren, bzw. (c) unterschiedliche Entscheidungen oder Politiken zu vergleichen (KLEIJNEN *et al.* 2005, SANCHEZ 2005a).

In der DOE-Terminologie bezeichnet ein *experimentelles Design* die Art und Weise, bestimmte *Faktoren* (auch Inputparameter oder Variablen) zu variieren, um herauszufinden, ob und wie sich ein Simulationsergebnis (oder auch eine *Reaktionsvariable*) verändert. Faktoren können sowohl quantitativ als auch qualitativ sein. Die Wahl der Faktoren hängt maßgeblich vom Ziel des Simulationsexperimentes ab. In der mathematischen Formulierung bezeichnet  $k$  die Anzahl der Faktoren in einem Simulationsexperiment,  $X_1, \dots, X_k$  bezeichnen die Faktoren; die Reaktionsvariable wird mit  $Y$  bezeichnet. Mathematisch lässt sich die Reaktionsoberfläche mit Bezug auf eine Reaktionsvariable also beschreiben als  $Y = F(X)$ . Diese Reaktionsoberfläche lässt sich in einigen Fällen grafisch darstellen und analysieren. Alternativ, oder dort, wo eine grafische Analyse nicht möglich ist, kann ein sogenanntes Metamodell der Reaktionsoberfläche geschätzt werden. Ein Beispiel für ein solches Metamodell, das sowohl die einfache Wirkung von Faktoren wie auch Interaktionen von jeweils zwei Faktoren sowie quadratische Effekte berücksichtigt, ist das folgende Modell:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{i,i} (X_i - \bar{X}_i)^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{i,j} (X_i - \bar{X}_i)(X_j - \bar{X}_j) + \varepsilon, \quad (1)$$

wobei die quadratischen und Interaktionseffekte zunächst zentriert wurden. Angesichts der komplexen Eigenschaften agentenbasierter Modelle (siehe Abschnitt 1) ermöglicht ein solches Metamodell höchstens eine Annäherung an mögliche Effekte. Konkreter besteht ein *experimentelles Design* eine Matrix, aus verschiedenen Faktoren (Spalten) und ihren Ausprägungen (Faktoreinstellungen) sowie bestimmten Kombinationen von Faktorausprägungen (Reihen). Letztere werden als Designpunkte bezeichnet. Faktorausprägungen können dabei sowohl als absolute Werte als auch als kodierte Werte dargestellt werden. Tabelle 1 stellt ein einfaches experimentelles Design für zwei Faktoren und sechs Designpunkte dar.

**Tabelle 1: Beispiel für ein experimentelles Design mit k=2 Faktoren und 6 Designpunkten, absolute und kodierte Faktorausprägungen**

Designpunkt	Absolute Faktorausprägungen		Kodierte Faktorausprägungen	
	Faktor X <sub>1</sub>	Faktor X <sub>2</sub>	Faktor X <sub>1</sub>	Faktor X <sub>2</sub>
1	100	10	-1	-1
2	50	10	+1	-1
3	100	20	-1	0
4	50	20	+1	0
5	100	30	-1	+1
6	50	30	+1	+1

Quelle: Eigene Darstellung

Ziel bei der Erstellung eines experimentellen Designs sollte es immer sein, die Faktoren so zu variieren, dass die Eigenschaften der Reaktionsoberfläche möglichst gut erfasst werden können. Die Auswahl des Designs sollte vom Ziel der Untersuchung geleitet sein. Es liegt deshalb nahe, alle möglichen Faktorkombinationen zu simulieren. Diese Vorgehensweise ist allerdings hochgradig ineffizient. Allein bei zwei Faktorausprägungen und nur zehn Faktoren müssen somit  $2^{10}=1\,024$  Simulationen durchgeführt werden mit den jeweiligen Wiederholungen. Aus diesem Grund gibt es in der Literatur eine Vielzahl von Beispielen für experimentelle Designs, die den Trade-off zwischen der Anzahl der Faktoren und Faktorausprägungen mit Bezug auf die Rechenzeit effizient zu lösen versuchen (siehe z.B. KLEIJNEN *et al.* 2005).

## 4 Anwendungsbeispiel: Politikanalyse mit dem Modell AgriPoliS

### 4.1 Simulationsmodell AgriPoliS und Initialisierung

AgriPoliS (HAPPE *et al.* 2006a) ist ein räumliches und dynamisches agentenbasiertes Simulationsmodell.<sup>1</sup> Der Grundgedanke des Modells ist, eine Agrarstruktur als ein System interagierender und heterogener Agenten zu interpretieren. Das Modell stellt im Kern eine virtuelle Agrarstruktur dar, die, bestehend aus einer Vielzahl von unterschiedlichen im Raum verteilten Betrieben, sich endogen im Zeitablauf entwickelt. Die Betriebsagenten können auf vielfältige Weise an die Bedingungen in realen regionalen Agrarstrukturen angepasst werden (z. B. auf der Grundlage von einzelbetrieblichen Daten oder rein hypothetisch). Ähnlich wie bei der Initialisierung der Betriebsagenten, besteht auch mit Bezug auf die räumliche Abbildung einer

<sup>1</sup> Da das Modell schon mehrfach an anderer Stelle im Detail präsentiert wurde, gehen wir an dieser Stelle lediglich auf die Grundbestandteile des Modells ein und auf solche Teile, die im Rahmen dieses Beitrags relevant sind. Weitere Entwicklungen und Anwendungen von AgriPoliS finden sich z.B. in KELLERMANN *et al.* (2006), HAPPE *et al.* (2006b), bzw. HAPPE *et al.* (2007)

Agrarstruktur die Möglichkeit diese entweder abstrakt oder auf der Basis von GIS oder Bodenkarten zu definieren. Landwirtschaftliche Betriebe sind die Hauptakteure in AgriPoliS (Betriebsagenten). Betriebsagenten unterscheiden sich hinsichtlich einer Reihe von Faktoren, wie z.B. ihrer Faktorausstattung (Boden, Kapital, Arbeit), dem Alter oder dem Betriebsstandort. Ausgehend von einem bestimmten Verhaltensmuster (z.B. Einkommensmaximierung) und der jeweiligen Eigenschaften des Betriebes entwickeln sich die Betriebsagenten über die Zeit und reagieren auf Veränderungen ihrer Umwelt. Die (Produktions-)Umwelt eines Betriebes besteht in AgriPoliS im Wesentlichen aus drei Bestandteilen: (a) andere Betriebe in der Region; (b) der räumliche Kontext (Landschaft), der die Produktion der Betriebsagenten durch den Produktionsfaktor Boden bzw. die Standortqualität beeinflusst; und (c) die Produkt- und Faktormärkte. Bezüglich der Faktormärkte kommt dem Bodenmarkt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Die so definierte regionale Agrarstruktur ist ihrerseits eingebettet in allgemeine politische, technische und ökonomische Rahmenbedingungen, über die das zu untersuchende Szenario definiert wird. Für diesen Beitrag initialisieren wir das Simulationsmodell mit einer fiktiven Agrarstruktur, die geprägt ist von Familienbetrieben und einer großen Anzahl kleinerer Nebenerwerbsbetriebe. Im Basisszenario unterstellen wir politische Rahmenbedingungen, die der Situation vor der GAP-Reform 2003 entsprechen, so dass wir explizit die Wirkung einer Politikänderung (hin zu einer entkoppelten Flächenprämie) in unser experimentelles Design aufnehmen können.

## 4.2 Experimentelles Design und Metamodell

### *Auswahl der Faktoren*

Für das hier vorgestellte experimentelle Design variieren wir fünf Parameter oder, in der DOE-Sprache, Faktoren. Die Auswahl fiel dabei auf solche Faktoren, die in der Literatur als wichtige Triebkräfte des Strukturwandels identifiziert wurden (vgl. z.B. GLAUBEN *et al.* 2006, WEISS 1999). Verglichen mit der Vielzahl an Parametern in AgriPoliS stellen die gewählten Faktoren lediglich einen kleinen Ausschnitt dar.<sup>2</sup> Wir beanspruchen deshalb nicht, eine Abschätzung des gesamten Reaktionsraumes vorzunehmen, sondern den Einfluss der folgenden ausgewählten Faktoren näher zu beleuchten. Zur besseren Verdeutlichung der gewählten Faktoreinstellungen, geben wir jeweils die in HAPPE (2004) vorgenommenen Faktorwerte an. Diese bezeichnen wir als Standardwerte (s. Tabelle 2).

1. Als Proxy für die Wirkung von technischem Fortschritt auf Betrieben nehmen wir an, dass mit jeder Neuinvestition innerhalb einer Produktionsrichtung, die Produktionskosten innerhalb dieser um einen bestimmten Prozentsatz sinken. Der Faktor wird als *TC* (technological change) bezeichnet. Der Umfang des Produktionskostenrückgangs ist abhängig von der Größe der jeweiligen Investition. Als Standard wurden Werte von 1.5% für große, bzw. 1.25% für mittlere und 1% für kleinere Investitionen unterstellt.
2. Betriebsagenten verfügen über unterschiedliche Managementfähigkeiten, die sich in unterschiedlich hohen variablen Produktionskosten äußern. Betrieben mit besseren (schlechteren) Managementfähigkeiten wird unterstellt, dass sie zu geringeren (höheren) Kosten produzieren im Vergleich zu angenommenen Standardproduktionskosten. Dieser Faktor wird als *MA* bezeichnet (managerial ability). Der Standardwert für die Kosteneinsparung, bzw. -erhöhung ist gleichverteilt  $\pm 5\%$  um die Standardproduktionskosten.
3. Der Faktor für den Zinssatz für lang- und kurzfristiges Fremdkapital wird als *IBC* (interest borrowed capital) bezeichnet. Zinsen beeinflussen in erster Linie Investitions-

---

<sup>2</sup> Einen Überblick über mögliche Parameter für verschiedene empirische Anwendungen geben SAHRBACHER *et al.* (2005), bzw. HAPPE (2004).

und kurzfristige Finanzierungsentscheidungen. Die Standardwerte liegen bei 8% für kurzfristiges Fremdkapital, bzw. 5.5% für langfristiges Fremdkapital.

4. Die politischen Rahmenbedingungen gehen als Faktor POL mit in das experimentelle Design ein. Wie oben angedeutet, wurde AgriPoliS auf einen Zeitpunkt vor Eintreten der GAP-Reform 2003 kalibriert. Demnach ist die Referenzpolitik Agenda 2000, von der wir annehmen, dass sie über die gesamte Simulationsdauer Gültigkeit hat.
5. Der Faktor IEC (interest on equity capital) bezeichnet die Eigenkapitalverzinsung. Dieser Faktor wird bedeutsam insbesondere bei der Berechnung der Opportunitätskosten für Kapital.

Der Faktor POL ist ein Entscheidungsfaktor, während die Faktoren IBC, IEC und TC eher die allgemeinen ökonomischen Rahmenbedingungen der Betriebe repräsentieren. Der Faktor MA ist agentenspezifisch. Im Faktor TC werden die Werte für kleine, mittlere und größere Investitionen zusammengefasst. Ebenso werden der kurz- und langfristige Fremdkapitalzinssatz in einem Faktor zusammengefasst.

**Tabelle 2: Faktorausprägungen für fünf Faktoren**

Factor	TC			MA		IBC		POL	IEC
	rel. Kosteneinsparung durch technisch verbesserte Investitionen			Kosteneinsparung bzw. -erhöhung durch Managementfähigkeiten		Fremdkapitalzinssatz		Politik	Eigenkapitalverzinsung
	Investitionsgröße			bessere	schlechtere	lang-	kurz-		
	groß	mittel	klein	Managementfähigkeiten	Managementfähigkeiten	fristig	fristig		
<b>Untergrenze</b>	0%	0%	0%	1	1	3.5%	6.0%	Agenda 2000	2.0%
<b>Obergrenze</b>	2.0%	1.5%	1.0%	0.9	1.1	7.5%	10.0%	REGPREM	6.0%

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend von den genannten Standardwerten definieren wir für jeden Faktor eine Spannweite, innerhalb derer die Faktorausprägungen variieren (Tabelle 2). Dazu wird für jeden Faktor eine Unter- und Obergrenze um den Standardwert herum gesetzt. Sie beschreiben den sogenannten Faktorraum. Die Größenordnung der Faktorausprägungen basieren auf Expertenschätzungen, statistischen Daten und Plausibilitätsüberlegungen. Für alle anderen Faktoren in AgriPoliS, die nicht explizit variiert werden nehmen wir an, dass diese den Standardwert während der gesamten Simulation annehmen (vgl. dazu HAPPE 2004). Den Faktorraum für die Faktoren TC, MA, IBC, und IEC unterteilen wir in jeweils 17 Abstufungen. Beispielsweise nimmt Faktor TC auf der Stufe 0 zunächst den Wert Null an, d.h. wir nehmen an, dass es entweder keine technischen Verbesserungen gibt, bzw. diese sich nicht kostensenkend auswirken. Für die Managementheterogenität wird auf Stufe 0 angenommen, dass alle Betriebe über dieselben Managementfähigkeiten verfügen, während auf Stufe 16 der Unterschied zwischen den Betrieben am größten ist. Faktor POL ist binär. Das heißt wir unterscheiden lediglich zwei Ausprägungen. In der Referenzsituation unterstellt wird, dass Agenda 2000 durchgehend gilt. In der Alternativeinstellung tritt nach vier Simulationsperioden ein Politikwechsel hin zu einer entkoppelten regionalen Einheitsprämie ein. Diese wird abgeleitet aus der historischen Höhe der Zahlungen vor dem Politikwechsel.

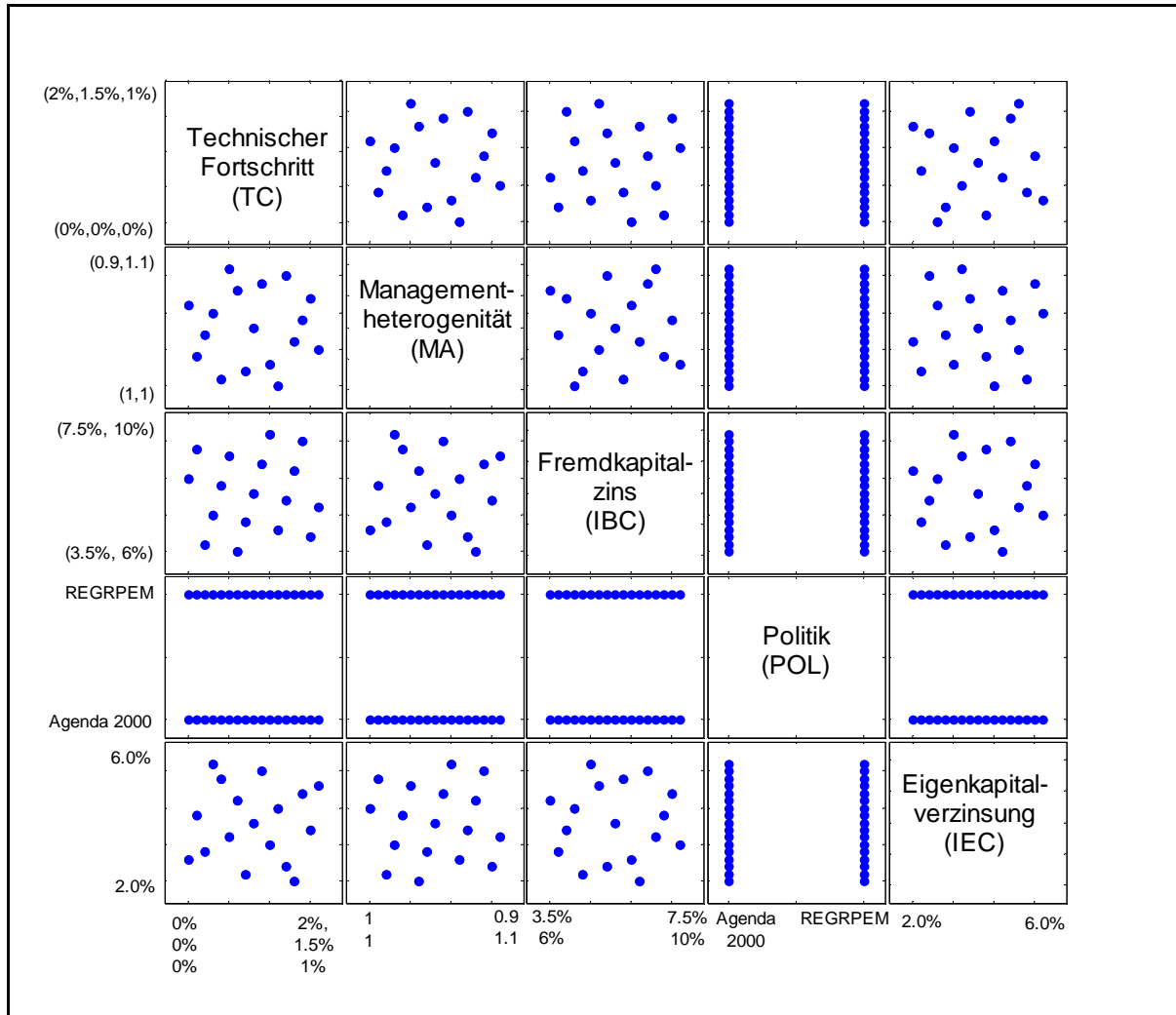
### *Bestimmung des experimentellen Designs*

Als nächster Schritt wird ein experimentelles Design festgelegt. In diesem Beitrag wählen wir ein *Random Latin Hypercube Sampling* (LHS) design (IMAN UND CONOVER, 1980). Ein solches Design erlaubt es, den Faktorraum innerhalb der gewählten Ober- und Untergrenzen bei begrenztem Rechenaufwand zu untersuchen (SANCHEZ 2005a). LHS bedürfen nur sehr weniger Annahmen hinsichtlich der Eigenschaften des Reaktionsraums, was sie geeignet zur Analyse insbesondere von komplexen Modellen wie agentenbasierten Modellen macht. Hier be-



steht der Latin Hypercube aus 17 Läufen, wobei als Werte für die 4 Faktoren (TC, MA, IBC, IEC) jeweils zufällig ein Wert aus den Stufen 0 bis 16 ausgewählt wird (Abbildung 1).<sup>3</sup> Die 17 Werte entsprechen den jeweiligen Faktorabstufungen. Zur Erstellung des Designs benutzen wir das Excel-Programm von SANCHEZ (2005b). Da der Faktor POL nur zwei Ausprägungen annehmen kann, haben wir zunächst alle Faktorkombinationen für POL=Agenda 2000 und im Anschluss daran für POL=REGPREM ermittelt. Insgesamt wurden jeweils 20 Wiederholungen mit einer unterschiedlichen Zufallsinitialisierung für 20 Perioden simuliert.<sup>4</sup>

**Abbildung 1: Faktorkombinationen im Latin Hypercube Sampling Design**



Quelle: Eigene Darstellung

<sup>3</sup> In einer ähnlichen Anwendung haben HAPPE *et al.* (2006a) ein sogenanntes *Full Factorial Design* für fünf Faktoren, aber lediglich zwei Ausprägungen gerechnet. Ein solches Design erlaubt es, ein einfaches Metamodell der Simulation zu schätzen, so dass eine Richtung der Wirkungen einer Faktorvariation abgeschätzt werden kann. Dieselbe Vorgehensweise würde im vorliegenden Fall kaum rechenbar sein, denn es müssten insgesamt  $(17^4 \times 2) = 167\,042$  Simulationen gerechnet werden (Wiederholungen nicht eingerechnet). Bei einer durchschnittlichen Simulationsdauer von ca. 1.5 Stunden für 25 Perioden scheint dieses keine realistische Option. SANCHEZ (2005) merkt an, dass lediglich zwei Faktorausprägungen keine Schlussfolgerungen darüber zulässt, wie Faktorwerte innerhalb des Faktorraums sich auf die Ergebnisse auswirken. Gerade mit Blick auf die Analyse komplexer Modelle stellt das eine mitunter grobe Vereinfachung dar.

<sup>4</sup> Bei jeweils 20 Wiederholungen pro Lauf bestand somit das gesamte Experiment aus  $17 \times 2 \times 20 = 680$  Läufen. Hätten wir bei denselben Parameterabstufungen alle möglichen Kombinationen simuliert und diese jeweils 20mal wiederholt, hätten wir ca. 3.34 Mio. Läufe starten müssen!

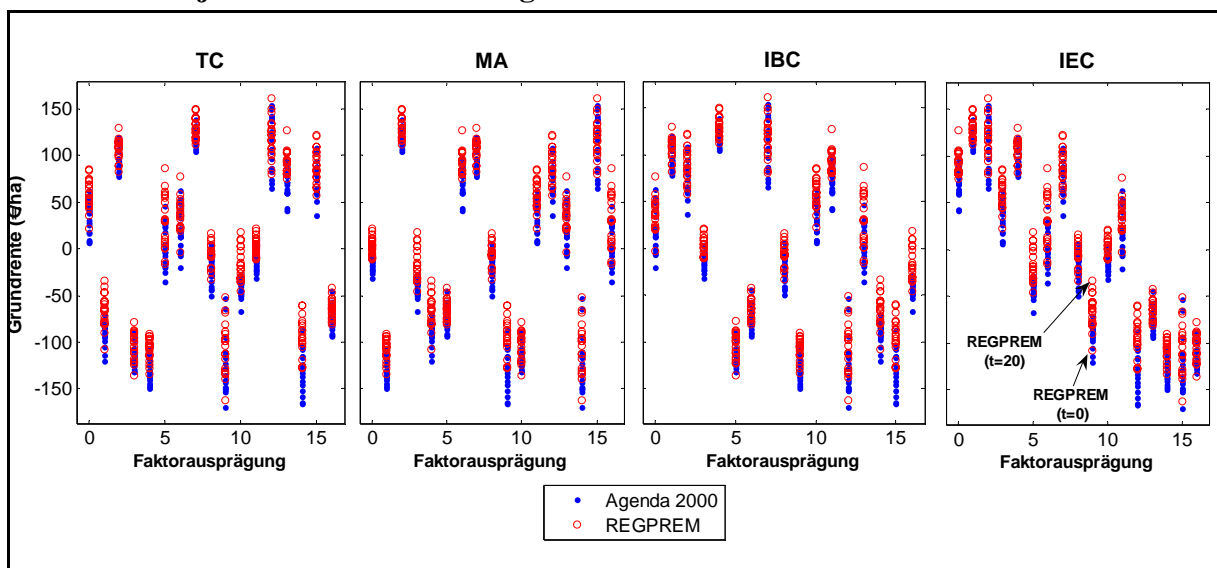
## Ergebnisanalyse und Schätzung eines Metamodells

Als Reaktionsvariable in diesem Simulationsexperiment analysieren wir zunächst die in der Region erzielte Grundrente je ha. Da wir keine Annahmen bzgl. der Beschaffenheit der Reaktionsoberfläche getroffen haben, schätzen wir ein nichtparametrisches Regressionsbaummodell für die Simulationsergebnisse. Ein Regressionsbaum erlaubt es, Strukturen und Muster in den Daten sichtbar zu machen. Mit seiner Hilfe kann ermittelt werden, welche der Faktoren das Simulationsergebnis maßgeblich beeinflussen. Ferner können Faktorinteraktionen und Schwellenwerte bestimmt werden. Im Prinzip besteht ein Regressionsbaum aus einer Reihe von Fragen, die sukzessive mit Ja oder Nein beantwortet werden können. Abhängig von der Antwort werden die Daten klassifiziert (MATLAB USER MANUAL 2005). Zur Schätzung des Regressionsmodells wurde Matlab v7.1 sowie die Statistics Toolbox 5.02 eingesetzt. Um abzuschätzen, ob das Metamodell in der betrachteten Simulationsperiode auch adäquate Ergebnisse für andere Datenpunkte liefert, wurde eine Cross-Validierung durchgeführt. Ergänzt wird die Schätzung durch verschiedene grafische Analysen. Für diese betrachteten wir ferner die Betriebsgröße, den Gewinn je ha und den Indikator Pachtpreis je ha.

### 4.3 Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen Grundrente für die jeweiligen Faktorausprägungen (s. Tabelle 2) untergliedert nach Faktoren. Zwei Aspekte sind hier von Bedeutung: Faktor IEC, also die Höhe der Eigenkapitalverzinsung, weist eine deutliche Beziehung zum Niveau der Grundrente auf. Eine höhere Eigenkapitalverzinsung führt zu einer geringeren durchschnittlichen Grundrente. Demnach steigen mit dem Eigenkapitalzins die Opportunitätskosten für Kapital, was sich negativ auf die Grundrente auswirkt. Zwar in geringerem Ausmaß, doch auch Faktor IBC zeigt eine Beziehung zur Höhe der Grundrente auf. Die Faktorausprägungen der Faktoren MA und TC zeigen keine systematische Beeinflussung der durchschnittlichen Grundrente auf; zumindest ist dieses in einer grafischen Analyse nicht zu erkennen. Ein Politikwechsel führt tendenziell zu höheren Grundrenten.

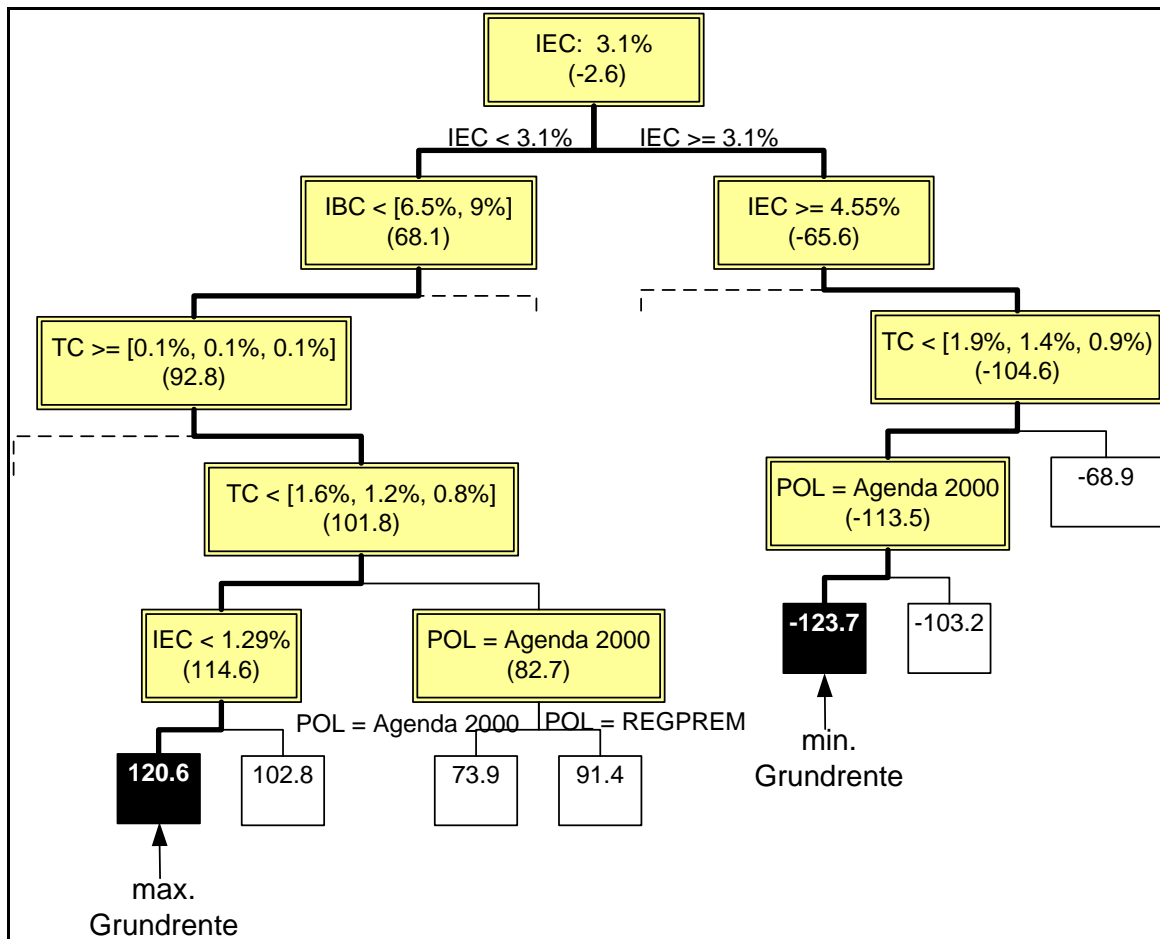
**Abbildung 2: Durchschnittliche Grundrente je Periode für Politiken Agenda 2000 und REGPREM sowie sämtliche Faktorausprägungen der fünf Faktoren und jeweils 20 Wiederholungen mit unterschiedlichen Zufallszahlen.**



Quelle: Eigene Darstellung

Eine Regressionsbaumanalyse gibt mehr Aufschluss über den tatsächlichen Einfluss der Faktoren und ihre Interaktionen. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus einem Regressionsbaum für die Reaktionsvariable durchschnittliche Grundrente für die Simulationsperiode  $t=5$ . Das heißt, er zeigt eine Situation direkt nach dem Politikwechsel auf. Die fett gekennzeichneten Linien zeigen an, welche Parametereinstellung jeweils zur höchsten (niedrigsten) Grundrente in der Periode führen. An den jeweiligen Knotenpunkten sind die Parameterschwellenwerte angegeben sowie die an dem jeweiligen Knotenpunkt erzielte durchschnittliche Grundrente.

**Abbildung 3: Ausschnitt aus einem Regressionsbaummodell mit der Reaktionsvariablen Grundrente und Werte in Periode  $t=5$ .**



Quelle: Eigene Darstellung

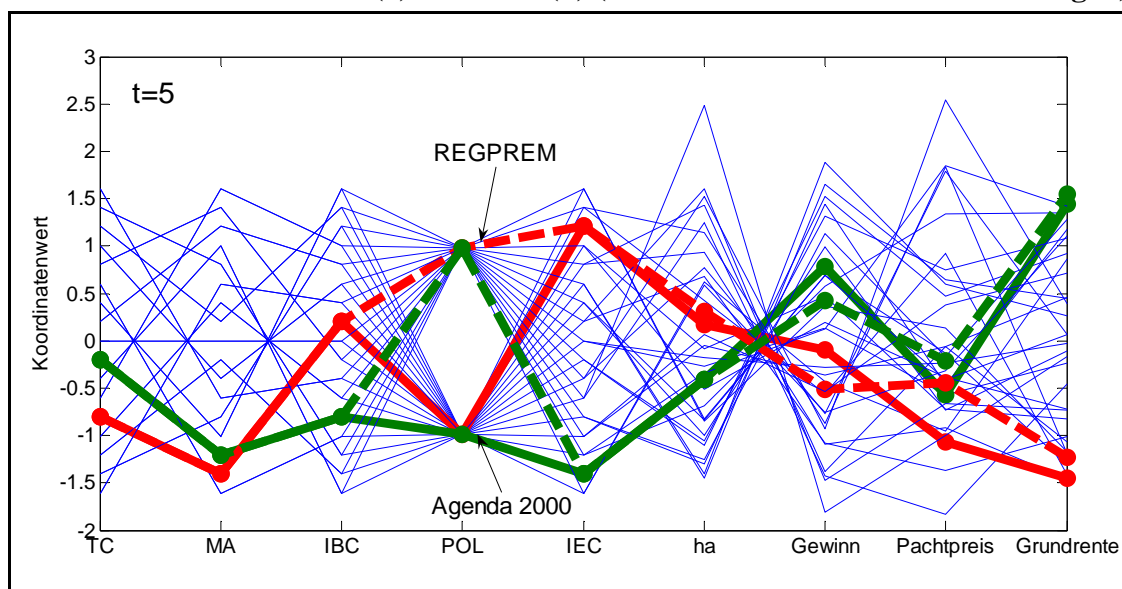
Anmerkungen: Werte in Klammern beschreiben die jeweils durchschnittlich erzielte Grundrente am Knotenpunkt.

Es zeigt sich, dass der Eigenkapitalzins die Richtung des Ergebnisses maßgeblich beeinflusst und die Wirkung aller anderen Faktoren untergeordnet ist. So kann man z.B. die folgenden Argumentationsketten aufstellen: Wenn der Eigenkapitalzins größer als 4.55% ist, führt eine Einstellung von technischem Fortschritt für große, mittlere und kleinere Investitionen von unter [1.9%, 1.4%, 0.9%] zu einer durchschnittlichen Grundrente von -123.70 €/ha im Fall der Politik Agenda 2000. Das alternative PolitikszENARIO REGPREM führt hier zu einer etwas besseren Situation mit einer Grundrente in Höhe von -103.3 €/ha. Höhere Werte für den technischen Fortschritt, d.h. über dem Schwellwert von [1.9%, 1.4%, 0.9%] würden das Ergebnis ebenfalls deutlich verbessern (-68.9 €/ha). Allerdings wäre in allen Fällen noch eine negative Grundrente zu verzeichnen. Auf der anderen Seite bewirkt ein sehr geringer Eigenkapitalzinsatz parallel mit hohen Fremdkapitalzinsen und hohen Werten für den technischen Fortschritt, eine hohe durchschnittliche Grundrente von 120.6 €/ha. Obwohl dies bereits in Abbildung 3

deutlich wird, kann dort keine Aussage über die Wichtigkeit eines Faktors getroffen werden. Weiterhin fällt auf, dass die Politikeinstellung bei der Erzielung der höchsten Grundrente in Periode  $t=5$  keine Rolle spielt. Das heißt, unter den Bedingungen wird die Wirkung des Politikwechsels durch die Wirkung anderer Faktoren überlagert. Allerdings scheint die Wirkung der Politik größer für mittlere Werte der Reaktionsvariablen zu sein, die wiederum durch höhere Werte für den Eigenkapitalzins bedingt sind.

In Bezug auf die Bedeutung einzelner Faktoren zeigt der Regressionsbaum die Bedeutung des Eigenkapitalzinses für die Simulationsergebnisse, sowie die Bedeutung der Interaktionen zwischen den Faktoren. Nimmt man weitere Reaktionsvariablen in die Betrachtung mit hinein, so zeigt sich, dass die Faktoreinstellungen, die zwar zu der höchsten (niedrigsten) Grundrente führen eine unterschiedliche Wirkung auf die durchschnittliche Betriebsgröße in Hektar, bzw. den Gewinn je Hektar und die gezahlte Pacht je Hektar haben. Die Parallelkoordinatengrafik in Abbildung 4 stellt dazu die jeweiligen Faktoreinstellungen in Bezug zu dem Satz von Reaktionsvariablen. Die jeweiligen Werte sind standardisiert, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

**Abbildung 4: Parallelkoordinatengrafik mit fünf Faktoren und vier Reaktionsvariablen in Perioden  $t=5$  (a) und  $t=13$  (b) (Durchschnitt von 20 Wiederholungen).**



Quelle: Eigene Darstellung

Anmerkungen: Die dunkleren (helleren) fetten Linien zeigen die Szenarien, die zur höchsten (niedrigsten) Grundrente führen bei Politiken Agenda 2000 (durchgezogene Linie) und REGPREM (gestrichelte Linie). Koordinatenwerte sind standardisierte

## 5 Zusammenfassung

Das Thema dieses Beitrags ist die Anwendung von *Design of Experiments* und Metamodellierung als eine Möglichkeit, die Kommunikation agentenbasierter Modelle zu verbessern. Mit Blick auf die eingangs geschilderten Schwierigkeiten können strukturierte Simulationsexperimente nicht nur die Transparenz der Ergebnisse und des Modells für einen externen Betrachter erhöhen. Die Anwendung einer Vielzahl unterschiedlicher Auswertungsverfahren erlaubt es ferner, Ergebnisse aus unterschiedlichen Sichtweisen zu betrachten.

Anhand eines Beispiels aus der Politikanalyse mit dem agentenbasierten Modell AgriPoliS führen wir in die Grundzüge des *Design of Experiments* ein. Wir führen ein Simulationsexperiment durch, um zum einen ein besseres Verständnis für das Verhalten des Modells zu erhalten; zum anderen untersuchen wir die Wirkung eines Politikwechsels unter verschiedenen Rahmenbedingungen. Die gewählten Verfahren erhöhen im Gegensatz zur Variation lediglich

eines Faktors, was bei Sensitivitätsanalysen häufig der Fall ist, die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse. Die Höhe der Reaktionsvariablen durchschnittliche Grundrente je Hektar wird maßgeblich durch die gewählten Zinssätze für Eigen- und Fremdkapital beeinflusst. Sind diese gering, so ist mehr Kapital im Sektor gebunden. Das Gegenteil ist der Fall bei hohen Zinssätzen, wo Grundrente sowie Investitionsaktivitäten gering sind. Je heterogener die Betriebe bezüglich ihrer Managementfähigkeiten spezifiziert sind und je größer der Einfluss von technischem Fortschritt bei Neuinvestitionen ist, desto stärker wirkt sich dieses auf die Grundrente aus. Die Ergebnisse zeigen ferner, dass unter bestimmten Bedingungen die Wirkung des Politikwechsels deutlich von den Einflüssen anderer Faktoren überlagert wird.

Allerdings sind diese Ergebnisse nicht zu verallgemeinern. Zum einen wurde diese Analyse bisher für eine initialisierte Agrarstruktur durchgeführt. Auch wenn die Annahmen bzgl. Managementfähigkeiten und technischem Fortschritt eine gewisse Variabilität und Heterogenität einführen, so ist die zu Grunde gelegte Agrarstruktur dieselbe. Man müsste eine ähnliche Vorgehensweise für unterschiedliche Regionen wählen, um Aussagen allgemeiner treffen zu können. Ferner ist auch die gewählte Vorgehensweise nicht ganz unproblematisch. So macht das Design of Experiments z. B. keinerlei Vorgaben zur Höhe und Spannweite der gewählten Faktorwerte. Das führt dazu, dass die relative Bedeutung der Faktoren mitunter von ihrer Spezifizierung herrührt. Wenn für wenige relative wichtige Faktor lediglich eine geringe Spannweite definiert wurde, allerdings für viele relativ unwichtigere Faktoren eine weite Spannweite, so kann im Ergebnis die Bedeutung der relativ unwichtigen Faktoren überschätzt werden (vgl. VONK NOORDEGRAAF *et al.* 2002). Hinzu kommt, dass die Auswahl der Faktoren eher subjektiv ist und das Ergebnis bzw. das Metamodell beeinflusst. Hierbei gälte es zunächst spezifische Selektionsverfahren anzuwenden (z.B. KLEIJNEN *et al.* 2005 und die dort zitierte Literatur). Demnach muss eine gewisse Vorsicht angebracht sein beim Schluss auf das Verhalten realer Systeme.

## Literatur

- BALMANN, A. (1997): Farm-based Modelling of Regional Structural Change: A Cellular Automata Approach, *European Review of Agricultural Economics*, 24(1), 85-108.
- BALMANN, A., DAUTZENBERG, K., HAPPE, K., KELLERMANN, K. (2006): On the dynamics of structural change in agriculture: Internal frictions, policy threats, and vertical integration, *Outlook on Agriculture*, 35(2), 115–121.
- 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, 245-260.
- BOUSQUET, F., LE PAGE, C. (2004): Multi-agent simulations and ecosystem management: a review, *Ecological Modelling*, 176(3-4), 313-332.
- BOX, G.E.P., HUNTER, W.G., HUNTER, J.S. (1978): *Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building*, Wiley, New York, USA.
- EDMONDS, B., HALES, D. (2003): Replication, replication, replication: some hard lessons from model alignment, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(4), In: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/4/11.html>.
- GLAUBEN, T., TIETJE, H., WEISS, C. (2006): Agriculture on the Move: Exploring Regional Differences in Farm Exit Rates, *Review of Regional Research*, 26, 103-118.
- GRIMM, V. (1999): Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned, and what could we learn in the future, *Ecological Modelling*, 115, 129-148.
- GRIMM, V. (2002): Visual debugging: a way of analyzing, understanding and communicating bottom-up simulation models in ecology, *Natural Resource Modelling*, 15(1), 23-38.
- GRIMM, V., BERGER, U., BASTIANSEN, F., ELIASSEN, S., GINOT, V., GISKE, J., GOSS-CUSTARD, J., GRAND, T., HEINZ, S.K., HUSE, G., HUTH, A., JEPSEN, J.A., JØRGENSEN, C., MOOIJ, W.M., MÜLLER, B., PE'ER, G., PIOUS, C., RAILSBACK, S.F., ROBBINS, A. M., ROBBINS, M.M., ROSSMANN, E., RÜGER, N., STRAND, E., SOUSSI, S., STILLMAN, R.A., VABØ, R., VISSER, U., DEAN-

- GELIS, D.N. (2006): A standard protocol for describing individual-based and agent-based models, *Ecological Modelling*, 198, 115-126.
- HAPPE, K. (2004) Agricultural policies and farm structures – agent-based modelling and application to EU-policy reform. IAMO Studies on the Agricultural and Food Sector in Central and Eastern Europe 30, IAMO, Halle (Saale). [online] URL: [http://www.iamo.de/dok/sr\\_vol30.pdf](http://www.iamo.de/dok/sr_vol30.pdf)
- HAPPE, K., KELLERMANN, K., BALMANN, A. (2006a): Agent-based Analysis of Agricultural Policies: An Illustration of the Agricultural Policy Simulator AgriPoliS, its Adaptation and Behaviour, *Ecology and Society*, 11(1), Art. 49  
In: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/>.
- HAPPE, K., DAMGAARD, M., OSUCH, A., SATTLER, C., ZANDER, P., UTHES, S. SCHULER, J., PIORR, A. (2006b): CAP-reform and the provision of non-commodity outputs in Brandenburg. *Agrarwirtschaft* 55(5): 268-279.
- HAPPE, K., BALMANN, A., KELLERMANN, K., SAHRBACHER, C. (2007): Does structure matter? The impact of switching the agricultural policy regime on farm structures. *Journal of Economic Behavior and Organization* (angenommen zur Veröffentlichung).
- IMAN, R. L., CONOVER, W. J., (1980): Small Sample Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models, with an Application to Risk Assessment, *Communications in Statistics: Theory and Methods*, vol. A9, 1749-1842.
- JANSSEN, M. A. (Hrsg.). (2002): *Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-Agent Systems*. Edward Elgar, Cheltenham.
- KELLERMANN, K., BALMANN, A. (2006): How smart should farms be modelled? Behavioral foundation of bidding strategies in agent-based land market models. Contributed Paper to the 26th Conference of the International Association of Agricultural Economists (IAAE), 12-18 August 2006, Brisbane.
- KLEIJNEN, J.P.C. (2005): An overview of the design and analysis of simulation experiments for sensitivity analysis, *European Journal of Operational Research*, 164(2), 287-300.
- KLEIJNEN, J.P.C., SANCHEZ, S.M., LUCAS, T.W., und CIOPPA, T.M. (2005): A user's guide to the brave new world of simulation experiments, *INFORMS Journal on Computing*, 17(3), 263–289.
- KLEIJNEN, J.P.C., VAN GROENENDAAL, W. (1992): *Simulation – a statistical perspective*, John Wiley & Sons, New York, Chichester.
- KLEIJNEN, J.P.C. (1999): Statistical validation of simulation, including case studies. In: van Dijkum, C., de Tombe, D., van Kuijk, E. (Hrsg.): *Validation of simulation models*. SISWO, Amsterdam.
- LAUBER, S. (2006): Agrarstrukturwandel im Berggebiet – Ein agentenbasiertes, räumlich explizites Agrarstruktur- und Landnutzungsmodell für zwei Regionen Mittelbündens. ART-Schriftenreihe 2, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- LAW, A. M., KELTON, W.D. (1991): *Simulation modelling and analysis*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, St. Louis.
- LUKE, S., CIOFFI-REVILLA, C., PANAIT, L., SULLIVAN, K., BALAN, G. (2005) : MASON: A multiagent simulation environment, *Simulation*, 81, 517-527.
- MATLAB (2005): *User manual Statistics Toolbox, The Mathworks*.
- MANSON, S. M. (2002) : Validation and verification of multi-agent systems. In: Janssen, M.A. (Hrsg): *Complexity and ecosystem management—the theory and practice of multi-agent systems*. Edward Elgar, Cheltenham, UK: 63-74.
- NORTH, M.J., COLLIER, N.T., VOS, J.R. (2006): Experiences Creating Three Implementations of the Repast Agent Modelling Toolkit, *ACM Transactions on Modelling and Computer Simulation*, 16(1), 1-25.
- PARKER, D.C., MANSON, S.M., JANSSEN, M.A., HOFFMAN, M.J., DEADMAN, P. (2003): Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 314-337.
- SAHRBACHER, C., SCHNICKE, H., HAPPE, K., KELLERMANN, K., GRAUBNER, M. (2005). Adaptation of the agent-based model AgriPoliS to 11 study regions in the enlarged European Union. Working

paper prepared under the Project "The Impact of Decoupling and Modulation in the Enlarged Union: a Sectoral and Farm Level Assessment" financed by the EU Commission (SSPE-CT-2003 502171 STREP).

- SANCHEZ, S.M., MOEENI, F., SANCHEZ, P.J. (2006): So many factors, so little time. Simulation experiments in the frequency domain, *International Journal of Production Economics*, 103(1), 149-165.
- SANCHEZ, S.M. (2005a): Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments. In: Kuhl, M.E., Steiger, N.M., Armstrong, F.B., Joines, J.A. (Hrsg.): *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*.
- SANCHEZ, S.M. (2005b): NOLH designs spreadsheet, In: <http://diana.cs.nps.navy.mil/SeedLab/>. Sanchez, S.M., Lucas, T.W. (2002): Exploring the world of agent-based simulations: Simple models, complex analyses. In: Yücesan, E., Chen, C.H., Snowdon, J.L., Charnes, J. (Hrsg.): *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ: 116–126.
- VONK NOORDEGRAAF, A., NIELEN, M., KLEIJNEN, J.P.C. (2002): Sensitivity analysis by experimental design and metamodeling: case study on simulation in national animal disease control, *European Journal of Operational Research*, 146(3), 433-443.
- WEISS, C. (1999): Farm Growth and Survival: Econometric Evidence for Individual Farms in Upper Austria, *American Journal of Agricultural Economics*, 81, 13-116