

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Wirtschaftswissenschaften  
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der  
Universität Osnabrück

Evolution versus Lerntheorie:  
ein hybrider Ansatz mit Anwendungen in der  
Spieltheorie

vorgelegt von  
Claudia Lawrenz

Dekan: Prof. Dr. Michael Wosnitza  
Referent: Prof. Dr. Wulf Gaertner  
Korreferent: Prof. Dr. Bernd Meyer  
Tag der mündlichen Prüfung: 19.7.04

Berichte aus der Volkswirtschaft

**Claudia Lawrenz**

**Evolutorik versus Lerntheorie:  
ein hybrider Ansatz mit Anwendungen  
in der Spieltheorie**

Shaker Verlag  
Aachen 2004

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Osnabrück, Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3493-4

ISSN 0945-1048

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Danksagung

Eine Arbeit im Umfang der vorliegenden Dissertation erfordert die Unterstützung des Umfeldes eines Autors in vielfacher Hinsicht. Mein Dank gilt zuerst dem Bereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück, insbesondere meinen Gutachtern Prof. Dr. Gaertner und Prof. Dr. Meyer für die Mühe der Korrektur, dem Dekan Prof. Dr. Wosnitza für die Begleitung und Organisation des Prüfungsprozesses.

Die Arbeit entstand während meiner Assistenzzeit an der Universität und dem Beginn meiner Arbeit in der WestLB. Den geneigten Zuhörern und Diskutanten unter den Kolleginnen und Kollegen danke ich für Ideen, Ermutigungen und Geduld. Petra und Ingo haben sich Formel für Formel, Seite für Seite durch dieses Werk gelesen und korrigiert. Mein Bruder Markus hat sich unermüdlich um meine zahlreichen kleinen und großen Computerprobleme gekümmert und damit das Anfertigen dieser Arbeit wesentlich erleichtert. Dieter, meinem Freund, danke ich für seine allumfassende Unterstützung in den letzten Jahren, seinen Zuspruch und seine Ausdauer.

Als letztes und wichtigstes gilt mein Dank meinen Eltern, die von Kindheit an meinen Wissensdrang gefördert und mir die Ausbildung ermöglicht haben, an derenem (vorläufigen) Ende nun diese Arbeit steht.



Meinen Eltern





## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Spieltheoretische Grundlagen</b>	<b>10</b>
2.1	Grundlegende Definitionen und Konzepte . . . . .	10
2.2	Ein Gleichgewichtskonzept der Evolutionären Spieltheorie . . .	16
<b>3</b>	<b>Lerndynamiken</b>	<b>21</b>
3.1	Einführung . . . . .	21
3.2	Replikator-Dynamiken . . . . .	23
3.2.1	Eigenschaften von Replikator-Dynamiken für eine homo- gene Population . . . . .	23
3.2.2	Exkurs I: Stabilität von Fixpunkten in dynamischen Sys- temen . . . . .	28
3.2.3	Replikator-Dynamiken in 2x2-Spielen mit unterschiedlichem Populationenkontext . . . . .	30
3.2.4	Verstärkungslernen und Replikator-Dynamiken . . . . .	45
3.2.5	Replikator-Dynamiken als Lernmodell . . . . .	47
3.3	Fiktives Spiel . . . . .	49
3.3.1	Deterministisches und glattes Fiktives Spiel . . . . .	49
3.3.2	Logistisches Fiktives Spiel . . . . .	54
3.3.3	Exkurs II: Stochastische Approximation . . . . .	64
3.3.4	Dynamiken im Logistischen Fiktiven Spiel . . . . .	66
3.3.5	Fiktives Spiel als Lernmodell . . . . .	79
3.4	Replikator-Dynamiken versus Fiktives Spiel . . . . .	80
3.4.1	Unterschiede und Gemeinsamkeiten . . . . .	80
3.4.2	Hybride Varianten . . . . .	82
<b>4</b>	<b>Lerneigenschaften</b>	<b>85</b>
4.1	Einleitung . . . . .	85
4.2	Fehler, Experimentieren und Mutation . . . . .	85
4.3	Erwartungsbildung, Diskontieren und Gedächtnis . . . . .	89

4.4	Anspruchslevel versus Maximallevel . . . . .	91
4.5	Soziales versus individuelles Lernen . . . . .	94
<b>5</b>	<b>Ein hybrides evolutionäres Koordinations-Modell</b>	<b>97</b>
5.1	Einleitung . . . . .	97
5.1.1	Modellidee . . . . .	97
5.1.2	Genetische Algorithmen als Modellrahmen . . . . .	99
5.2	Modellkomponenten . . . . .	101
5.2.1	Erwartungsbildung und Entscheidungskodierung . . . . .	101
5.2.2	Lernschemata . . . . .	104
5.2.3	Fitnessfunktion und Verstärkung . . . . .	109
5.2.4	Der Lern- und Entscheidungsprozess im Überblick . . . . .	111
<b>6</b>	<b>Experimente zu evolutionären Spielen</b>	<b>113</b>
6.1	Anmerkungen zur experimentellen Spieltheorie . . . . .	113
6.2	Schätzgleichungen für Replikator-Dynamiken . . . . .	115
6.3	Eine Schätzgleichung für Logistisches Fiktives Spiel . . . . .	118
6.4	Experimente zum asymmetrischen Koordinationsspiel . . . . .	122
6.4.1	Einführung . . . . .	122
6.4.2	Experiment-Design . . . . .	123
6.4.3	Experimentelle Ergebnisse und statistische Tests . . . . .	125
6.4.4	Logistisches Fiktives Spiel und Replikator-Dynamiken als Response-Modelle . . . . .	148
6.4.5	Sind experimentelle Lernprozesse erklärbar (I)? Evidenz aus dem Logistischen Fiktiven Spiel . . . . .	160
6.4.6	Simulations-Design und -ergebnisse des Hybrid-Modells .	169
6.4.7	Sind experimentelle Lernprozesse erklärbar (II)? Evidenz aus Simulationen mit dem Hybrid-Modell . . . . .	181
6.5	Weitere experimentelle Resultate . . . . .	185
6.6	Anwendungsfelder . . . . .	191
<b>7</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>195</b>

## Abbildungsverzeichnis

3.1	Deterministische und glatte beste Reaktion im asymmetrischen Koordinationsspiel . . . . .	59
3.2	Variation von $\kappa$ im Logistischen Fiktiven Spiel . . . . .	59
3.3	Logistisches Fiktives Spiel simultan für zwei Spieler im asymmetrischen Koordinationsspiel . . . . .	62
3.4	Dynamik $\overline{LFP}(y)$ -y für ein Spiel mit dominanter Strategie . . .	78
3.5	Dynamik $\overline{LFP}(y)$ -y für ein Koordinationsspiel . . . . .	79
3.6	Dynamik $LFP(y)$ -y für das Falke-Taube-Spiel . . . . .	80
5.1	Beispiel einer Verhaltensregel im Hybrid-Modell . . . . .	102
6.1	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, ohne Koordination bei einer Population, 1. Lauf . . . . .	126
6.2	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, ohne Koordination bei einer Population, 2. Lauf . . . . .	126
6.3	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, ohne Koordination bei einer Population, 3. Lauf . . . . .	127
6.4	Verteilung der Binärvariable $a$ und Test auf Wahrscheinlichkeit $p=0,5$ für das 1-Population-ohne-Rollen-Protokoll . . . . .	128
6.5	Fishers exakter Test für das 1-Population-ohne-Rollen-Protokoll	130
6.6	Permutationstest für das 1-Population-ohne-Rollen-Protokoll . .	132
6.7	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, vollständige Koordination bei einer Population und Positionsangabe, 1. Lauf	136
6.8	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, teilweise Koordination bei einer Population und Positionsangabe, 2. Lauf	136
6.9	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, keine Koordination bei einer Population und Positionsangabe, 3. Lauf .	137
6.10	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, frühe Koordination bei zwei Populationen, 2. Lauf . . . . .	140
6.11	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, keine Koordination bei zwei Populationen, 2. Lauf . . . . .	141

6.12	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, teilweise Koordination bei zwei Populationen, 3. Lauf . . . . .	141
6.13	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, Koordination unter ständigen Abweichungen eines Spielers bei zwei Populationen und Rollenvergabe, 1. Lauf . . . . .	144
6.14	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, teilweise Koordination bei zwei Populationen und Rollenvergabe, 2. Lauf	144
6.15	Experiment zum asymmetrischen Koordinationsspiel, späte vollständige Koordination bei zwei Populationen und Rollenvergabe, 3. Lauf	145
6.16	LFP-Simulation versus experimentelle Ergebnisse ohne Möglichkeit zur Koordination . . . . .	162
6.17	LFP-Simulation versus experimentelle Ergebnisse bei gradueller Koordination . . . . .	164
6.18	LFP-Simulation versus experimentelle Ergebnisse bei gradueller Koordination, die ersten Spielrunden . . . . .	165
6.19	Volatiles Verhalten in der LFP-Simulation versus koordinierendes experimentelles Verhalten, Spaltenspieler . . . . .	166
6.20	Volatiles Verhalten in der LFP-Simulation versus koordinierendes experimentelles Verhalten, die ersten Spielrunden . . . . .	167
6.21	Leicht volatiles Verhalten in der LFP-Simulation versus koordinierendes experimentelles Verhalten . . . . .	168
6.22	Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse ohne Möglichkeit zur Koordination . . . . .	173
6.23	Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei hohem Koordinationsgrad . . . . .	174
6.24	Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei teilweiser Koordination und hoher Volatilität beim Hybrid-Modell . . . .	175
6.25	Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei später vollständiger Koordination . . . . .	176
6.26	Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei später vollständiger Koordination und falscher Orientierung im Hybrid-Modell . . . .	176

6.27 Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei früher vollständiger Koordination . . . . . 177

6.28 Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei früher vollständiger Koordination, die ersten Spielrunden . . . . . 177

6.29 Hybrid-Modell versus experimentelle Ergebnisse bei teilweiser Koordination mit einem permanent abweichenden Spielern . . . 178

6.30 Falke-Taube-Spiel mit paarweiser, zufälliger Zuordnung, Experiment versus Hybrid-Modell . . . . . 189

6.31 Falke-Taube-Spiel bei Mittelwert-Zuordnung, Experiment versus Hybrid-Modell . . . . . 190

6.32 Käufer–Verkäufer-Spiel, Population 1, Experiment versus Hybrid-Modell . . . . . 191

6.33 Käufer–Verkäufer-Spiel, Population 2, Experiment versus Hybrid-Modell . . . . . 192