



**Rauschen und
Master-Slave-Strategien
im Gefangenendilemma**

Simon Steeg

Algorithm Engineering Report

TR06-2-011

Dezember 2006

ISSN 1864-4503



Diplomarbeit

**Rauschen und Master-Slave-Strategien im
Gefangenendilemma**

**Simon Steeg
13. Mai 2007**

INTERNE BERICHTE
INTERNAL REPORTS

Diplomarbeit am
Fachbereich Informatik
der Universität Dortmund

Betreuer:
Prof. Dr. Günter Rudolph
Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein

Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem iterierten Gefangenendilemma (IPD), einem der wichtigsten Probleme der Spieltheorie. Das IPD dient zur Untersuchung der Frage, wann Kooperation unter Individuen ohne zentrale Autorität entstehen kann. Das Modell lässt sich auf zahlreiche Bereiche anwenden. Die erste Aufgabe der Diplomarbeit ist die Untersuchung der so genannten *Master-Slave-Strategien*, welche die neueren IPD-Computerturniere gewinnen konnten und eine neue Ebene in das IPD einführen: das Bilden von Koalitionen. Diese Koalition der *Master-Slave-Strategien* wird formal eingeführt und es wird gezeigt, dass der Vorteil, der sich ergibt, die Turnierergebnisse massiv beeinflusst und nicht zu eliminieren ist. Die zweite Aufgabe besteht darin, Auswirkungen von Rauschen im IPD zu untersuchen. Hierbei sollen die Schwachstellen von Strategien unter dem Einfluss von Rauschen demonstriert werden. Ferner sollen angepasste Strategien für das verrauschte IPD entwickelt werden.

Abstract

This thesis deals with the iterated prisoner's dilemma, one of the most important problems of game theory. The IPD is used for answering the question under what conditions cooperation will emerge in a world of egoists without a central authority. The model can be applied to a lot of real world examples. The first task is the analysis of so called *Master-Slave-Strategies*, which could win the recent IPD computer tournaments. These strategies form coalitions between different strategies. This coalition is formal described and it is shown that the advantage of *Master-Slave-Strategies* can not be eliminated in IPD tournaments. The second task is to examine the effects of noise in the IPD. The weak points of strategies under the effect of noise are shown. Furthermore some very good strategies adapted to noise are presented.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
2	Einführung in die Spieltheorie	17
2.1	Grundlagen der Spieltheorie	17
2.1.1.	Historische Entwicklung der Spieltheorie	17
2.1.2.	Spiel und Spielform	18
2.1.3.	Spiel- und Darstellungsformen	19
2.1.4.	Nullsummen-Spiele und Nicht-Nullsummen-Spiele.	20
2.1.5.	Vollständige und unvollständige Information	21
2.2	Lösungskonzepte	22
2.2.1.	Das Lösungskonzept der dominanten Strategie.	22
2.2.2.	Nash-Gleichgewicht	23
2.3	Beispiele	23
2.3.1.	Kampf der Geschlechter	23
2.3.2.	Spiel mit dem Untergang	24
3	Gefangenendilemma	27
3.1	Formalisierung des Gefangenendilemmas	27
3.1.1.	Grundsituation	27
3.1.2.	Lösungskonzept für das Gefangenendilemma	29
3.1.3.	Das iterierte Gefangenendilemma	30
3.2	Computerturniere	31
3.2.1.	Die Turniere von Axelrod	31
3.2.2.	„The experiment with Pour La Science“ - Ein französisches Turnier.	32
3.2.3.	Die Jubiläumsturniere 2004/2005	33
3.2.4.	Das Turnier der Projektgruppe 474 der Universität Dortmund	33
3.2.5.	Ökologische Umgebung.	33
3.3	Strategien für das iterierte Gefangenendilemma	35
3.3.1.	Standardstrategien.	35
3.3.2.	Axelrods Eigenschaften erfolgreicher Strategien	37
3.3.3.	Die Bedeutung des Umfeldes	39
3.4	Anwendungen des Gefangenendilemmas	41
3.4.1.	Bereitstellung öffentlicher Güter	42
3.4.2.	Rüstungsabkommen	42
3.5	Erweiterungen des Gefangenendilemmas	43

3.5.1. Die Sozialstruktur der Kooperation	43
4 Master-Slave-Strategien	47
4.1 Koalition in der Spieltheorie	47
4.1.1. Koalitionsbildungen - Kooperative Spieltheorie	48
4.2 Das Arbeitsprinzip von Master-Slave-Strategien	50
4.2.1. Beschreibung des Ansatzes	50
4.2.2. Formale Definition von <i>Master-Slave-Strategien</i>	51
4.2.3. Klassifikation von <i>Master-Slave-Strategien</i>	51
4.2.4. Southampton und <i>Master-Slave-Strategien</i>	53
4.2.5. Erkennung von <i>Master-Slave-Strategien</i>	56
4.3 Wie kann der Vorteil von <i>Master-Slave-Strategien</i> eliminiert werden?	57
4.3.1. Unmöglichkeit, das Problem exakt zu lösen	57
4.3.2. Monotone Turnierumgebungen	57
4.3.3. Neue Umgebungen für das IPD	58
4.3.4. <i>Master-Slave-Strategien</i> in der ökologischen Umgebung	59
4.3.5. Die <i>Jerusalem</i> -Umgebungen	60
4.4 Experimentelle Untersuchungen	63
4.4.1. Fragestellungen und Hypothesen	63
4.4.2. Experimentelles Setup:	64
4.4.3. Zusammenarbeit ohne Kommunikation: Geklonte Strategien	65
4.4.4. Koalitionen im IPD: Betrüger-Strategien	66
4.4.5. Master-Slave-Strategien im <i>Round-Robin-Turnier</i>	67
4.4.6. Master-Slave-Strategien in der ökologischen Umgebung	69
4.5 Zusammenfassung und Kritik	70
5 Rauschen	73
5.1 Was ist Rauschen?	74
5.1.1. Rauschen in der Informatik	74
5.2 Rauschen im IPD	75
5.3 Bekannte Ansätze im Umgang mit Rauschen im IPD	76
5.3.1. Die Schwachstelle von <i>TFT</i>	76
5.3.2. Generous: Großzügiger im Tolerieren von Defektion (<i>GTFT</i>)	77
5.3.3. Contrition: Eigene Fehler ausmerzen (<i>CTFT</i>)	78
5.3.4. Win-Stay and Lose-Shift: Erfolgreiches Verhalten beibehalten (<i>Pavlov</i>)	78
5.3.5. Symbolic Noise Detection: Absicht oder Fehler erkennen (<i>DBS</i>)	79
5.4 Axelrods Originalexperiment unter Rauschen	81
5.4.1. Die ökologische Umgebung	81
5.5 Experimentelle Untersuchung	84
5.5.1. Fragestellungen und Hypothesen	84
5.5.2. Experimentelles Setup:	84
5.5.3. Verhalten von erfolgreichen Strategien im Noisy IPD	84
5.5.4. Rauschen im <i>Round-Robin-Turnier</i>	87

5.5.5. Rauschen im ökologischen Turnier.	94
5.5.6. An das Rauschen angepasste Strategien.	98
5.5.7. An das Rauschen angepasste Strategien - ökologische Umgebung . . .	103
5.5.8. Analyse der Ergebnisse.	108
5.6 Rauschen und <i>Master-Slave-Strategien</i>	110
5.6.1. Wie können <i>Master-Slave-Strategien</i> an das Rauschen angepasst werden?	113
5.6.2. Zusammenfassung der Ergebnisse	115
5.7 Zusammenfassung	115
6 Anwendungsbeispiele	117
6.1 Leben und leben lassen	117
6.2 Doping im Sport	120
7 Zusammenfassung	123
8 Literaturverzeichnis	127

Abbildungsverzeichnis

3.1	Das Gefangenendilemma als Spielbaum	29
3.2	Strategien in der ökologischen Umgebung	34
3.3	<i>TfTT</i> dargestellt durch einen endlichen Automaten	37
3.4	Strategien in einer territoriale Umgebung	44
4.1	Das PG474-Turnier in der ökologischen Umgebung	60
4.2	Platzierungsverluste von Master-Strategien in der ökologischen Umgebung	61
4.3	Strategien in der <i>Jerusalem</i> -Umgebung	63
4.4	Platzierungsverluste von Master-Strategien in zwei Varianten der <i>Jerusalem</i> -Umgebung	64
4.5	Turnier in der ökologischen Umgebung mit den vier Strategien	70
4.6	Turnier in der ökologischen Umgebung mit den fünf Strategien	71
4.7	Turnier in der ökologischen Umgebung mit den 14 Strategien	72
5.1	Die Punktzahl von vier an das Rauschen angepassten Strategien	82
5.2	Wiederholung von Axelrods zweitem Originalexperiment unter Rauschen	83
5.3	<i>TFT</i> -Strategien im Noisy IPD	86
5.4	Zwei <i>Gradual</i> -Strategien im Noisy IPD	87
5.5	<i>TFT</i> und <i>Gradual</i> bei verschiedenen Rauschraten. <i>Gradual</i> -Strategien sind empfindlich bei hohen Rauschraten, <i>TFT</i> -Strategien bei niedrigen.	88
5.6	Die durchschnittliche Punktzahl einer Strategie im Noisy IPD	91
5.7	Der Punkteverlauf von fünf ausgewählten Strategien im Noisy IPD	104
5.8	Der Platzierungsverlauf einiger Strategien im Noisy IPD	107
5.9	Ökologisches Turnier mit 20 <i>Master-Slave-Strategien</i> unter 1% Rauschen	112
5.10	Ökologisches Turnier mit 20 <i>Master-Slave-Strategien</i> unter 10% Rauschen	113

Tabellenverzeichnis

2.1	Ein klassisches Nullsummenspiel in Matrixform: Stein, Schere, Papier. . .	20
2.2	Kampf der Geschlechter	24
2.3	Spiel mit dem Untergang	24
3.1	Bestrafungsmatrix für das Gefangenendilemma	28
3.2	Die Auszahlungsmatrix für das Gefangenendilemma	28
3.3	Auszahlungsmatrix „Bereitstellung öffentlicher Güter“	42
3.4	Auszahlungsmatrix Rüstungspolitik	43
4.1	Eine einfache Erkennungssequenz von <i>Master-Slave-Strategien</i>	54
4.2	Die Auswirkungen von Klon-Strategien im IPD	66
4.3	Koalition im IPD	67
4.4	<i>Master-Slave-Strategien</i> im <i>Round-Robin-Turnier</i>	68
5.1	Zwei <i>TFT</i> -Strategien im IPD ohne Rauschen	76
5.2	Zwei <i>TFT</i> -Strategien im Noisy IPD	77
5.3	Die durchschnittliche Punktzahl einer <i>TFT</i> -Strategie bei unterschiedli- chen Rauschraten.	85
5.4	<i>Gradual</i> -Strategien im Noisy IPD	85
5.5	Die Standardstrategien für die Turniere	89
5.6	Ergebnistabelle der <i>Round-Robin-Turniere</i> mit 40 Strategien	90
5.7	Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im <i>Round-Robin-Turnier</i>	94
5.8	Ergebnistabelle der Turniere in der ökologischen Umgebung mit 40 Stra- tegien	95
5.9	Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie in den ökologischen Tur- nieren.	98
5.10	Ergebnistabelle der <i>Round-Robin-Turniere</i> mit 46 Strategien	100
5.11	Die Ergebnisse der an das Rauschen angepassten Strategien	101
5.13	Ergebnistabelle der Turniere in der ökologischen Umgebung mit 46 Stra- tegien	104
5.12	An das Rauschen angepasste Strategien in der ökologischen Umgebung	108
5.14	<i>Master-Slave-Strategien</i> im Noisy IPD mit 23 Strategien	111
5.15	<i>Master-Slave-Strategien</i> im Noisy IPD mit 1% Rauschen mit 93 Strategien	114
5.16	Eine <i>Master-Slave-Strategie</i> an das Rauschen angepasst	115
6.1	Auszahlungsmatrix für das Dopingspiel	120

Symbolverzeichnis

Γ	Spiel
ω	discount-Faktor
A	Auszahlungsraum
C	Kooperation
D	Defektion
K	Koalition
N	Renunciation
P	Punishment
R	Reward
S	Sucker's Payoff
T	Temptation
u	Nutzenfunktion

1 Einleitung

„Bei jedem Einzelnen ist die Angst vor Verrat größer als die Gier nach Belohnung oder die Sorge um die eigene Straffreiheit. Er verrät mit Eifer und beizeiten, bloß damit er selber nicht verraten werde.“ (Edgar Allan Poe)

Das Gefangenendilemma (*Prisoner's Dilemma*, PD) ist ein berühmtes Spiel aus der Spieltheorie, welches sich auf viele Situationen in Politik, Wirtschaft, Kriegsführung, Informatik und andere Bereiche anwenden lässt. Interaktionen aus der realen Welt lassen sich oft als Gefangenendilemma auffassen. Aus spieltheoretischer Sicht handelt es sich um ein nicht-kooperatives Nicht-Nullsummenspiel. Die spieltheoretischen Grundlagen werden in Kapitel 2 erarbeitet.

In Kapitel 3 werden diese Grundlagen zur weiteren Untersuchung des Gefangenendilemmas angewandt. Die Grundidee des Gefangenendilemmas ist es, eine Situation zu beschreiben, in der sich zwei Individuen unabhängig voneinander für eine von zwei möglichen Handlungsalternativen entscheiden müssen. Diese machen sich bei dem jeweils anderen Spieler als Kooperation bzw. Nichtkooperation bemerkbar.

Das Gefangenendilemma beruht auf der Geschichte zweier Verdächtiger, die eines Verbrechens beschuldigt werden. Es handelt sich um ein Spiel für zwei Spieler, wobei jeder zwei Entscheidungsmöglichkeiten hat: kooperieren oder nicht kooperieren (defektieren). Die beiden Spieler müssen ihre Entscheidung treffen, ohne die Wahl des anderen Spielers zu kennen. Das Dilemma besteht darin, dass defektieren für einen Spieler, unabhängig von der Wahl des anderen, günstiger ist als kooperieren. Beidseitige Defektion ist jedoch ungünstiger als wechselseitige Kooperation.

Die individuell vernünftigste Entscheidung der Gefangenen (defektieren) und die kollektiv vernünftigste Entscheidung (kooperieren) unterscheiden sich deutlich. Spieltheoretisch gesehen wird von einer dominanten Strategie gesprochen, welche „defektieren“ für beide Spieler darstellt.

Das iterierte Gefangenendilemma (*Iterated Prisoner's Dilemma*, IPD) entsteht durch wiederholtes Durchführen der Grundsituation. Hierbei ist den Spielern nicht bekannt, wann die letzte Runde stattfindet, d. h. wann das Spiel endet. Befinden sich die Spieler in dieser Situation, kann eine Defektion in späteren Runden des Spiels bestraft werden. Defektieren zahlt sich über einen längeren Zeitraum nicht zwangsläufig aus und somit kann es zu kooperativem Verhalten kommen.

Die Frage, wann kooperatives Verhalten unter Individuen entstehen kann, hat Axelrod (2005) mit zwei Computerturnieren zum IPD in den 80er Jahren untersucht. Die Teilnehmer konnten Strategien einsenden, die in einem „Jeder-gegen-Jeden“-Turnier gegeneinander antraten. Der Gewinner beider Turniere war die Strategie „Tit-for-Tat“ (*TFT*) von Anatol Rapoport (Axelrod, 2005). Diese Strategie war eine sehr einfache Strategie.

gie, welche im ersten Zug kooperiert und in den Folgerunden den Zug des Gegners aus der Vorrunde kopiert. Erstaunlicherweise kann diese Strategie keinen direkten Vergleich gegen eine andere Strategie gewinnen, sie erzielt aber im Durchschnitt die größte Punktzahl.

Ein weiteres Turnier wurde von den französischen IPD-Forschern Jean-Paul Delahaye, Philippe Mathieu und Bruno Beaufils durchgeführt (Delahaye u. Mathieu, 1995). Dieses Turnier demonstrierte den Erfolg einer anderen Strategie für das IPD. Diese Strategie trägt den Namen „*Gradual*“ und war *TFT* in vielen Untersuchungen überlegen.

In den Jahren 2004 und 2005 wurden zwei Turniere im Rahmen der Konferenzen „The Congress on Evolutionary Computation Conference“ (CEC’04) und der „Computational Intelligence and Games“ (CIG’05) durchgeführt, um das 20jährige Jubiläum von Axelrods Turnieren zu würdigen (Kendall u. a., 2005). Die Ergebnisse der Turniere zeigten die Überlegenheit einer neuen Strategieform. Solche so genannten *Master-Slave-Strategien* einer Forschungsgruppe aus Southampton werden in Kapitel 4 ausführlich analysiert und bilden den ersten Hauptteil dieser Diplomarbeit. Die *Master-Slave-Strategien* belegten die ersten Plätze in beiden Turnieren und konnten sowohl *TFT* als auch *Gradual* besiegen. Sie bilden eine Koalition und führen eine geheime Absprache durch, um Punkte beliebig untereinander zu verteilen. Die Absprache geschieht in der Regel über Erkennungssequenzen zu Beginn eines Spiels. So lässt sich die Slave-Strategie von der Master-Strategie ausbeuten. Die Master-Strategie erhält Punkte der Slave-Strategie und kann einen der vorderen Plätze belegen. Die Slave-Strategien erlangen wenige Punkte und sind oftmals auf den hinteren Plätzen zu finden. Folglich wird in einem IPD-Turnier die Strategie gewinnen, welche von den meisten Slave-Strategien unterstützt wird.

Die Projektgruppe 474 der Universität Dortmund (PG474) führte im Jahre 2005 ein Turnier zum IPD durch (Baranski u. a., 2006). Es wurde die Restriktion eingeführt, dass maximal zwei Strategien pro Teilnehmer zulässig sind. In dem Turnier zeigte sich, dass unerlaubte Kooperationen von *Master-Slave-Strategien* kaum zu verhindern sind. Der Vorteil von nur einer Slave-Strategie beeinflusst die Turnierergebnisse maßgeblich. Bei der Durchführung von IPD-Turnieren besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, mit *Master-Slave-Strategien* konfrontiert zu werden. Aufgrund dessen wird diese Art der unerlaubten Zusammenarbeit eingehend untersucht. Es wird eine formale Definition und Klassifikation von *Master-Slave-Strategien* erarbeitet. Ferner wird in eigenen experimentellen Untersuchungen überprüft, wie sich der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* in unterschiedlichen Turnierumgebungen auswirkt. Sollen Turnierergebnisse nicht von *Master-Slave-Strategien* beeinflusst werden, bleibt lediglich die Möglichkeit, diese zu verbieten. Jedoch lassen sich diese wegen der variablen Erkennungssequenzen und des nichtdeterministischen Verhaltens kaum von anderen Strategien unterscheiden. Es existieren exponentiell viele potentielle Erkennungssequenzen und ein unabhängiger „Schiedsrichter“ hat keine Möglichkeit mehr, eine Kooperation an einer speziellen Erkennungssequenz zu erkennen.

Für IPD-Turniere gibt es verschiedene Turnierumgebungen. Diese sind üblicherweise *Round-Robin-Turniere* oder Turniere in einer Art ökologischen Umgebung. Es wird für die Klasse der „monotonen Turnierumgebungen“ (prinzipiell alle Umgebungen, bei denen die Berechnung der Punkte additiv erfolgt) gezeigt, dass es nicht möglich ist, den Vorteil von *Master-Slave-Strategien* vollständig zu eliminieren. Mit dem Wissen über dieses

negative Ergebnis kann jedoch anhand von experimentellen Untersuchungen dargestellt werden, dass manche Turnierumgebungen den Vorteil von *Master-Slave-Strategien* deutlich reduzieren können.

Kapitel 5 ist der zweite Hauptteil der Arbeit und widmet sich dem Rauschen im IPD. Diese IPD-Variante wird als Noisy IPD (*Noisy Iterated Prisoner's Dilemma*) bezeichnet (Au u. Nau, 2006a). Für ein einfaches Rauschen wird lediglich die Spezifikation eines Parameters benötigt. Dieser bestimmt, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Kooperation übermittelt wird, während eine Defektion stattfindet, bzw. eine Defektionen übermittelt wird, während eine Kooperation stattfindet. Rauschen ist ein Grundproblem der Informatik und hat auch große Auswirkungen auf die Ergebnisse im IPD. Die Auswirkungen von Rauschen werden anhand der beiden erfolgreichen Strategien *TFT* und *Gradual* überprüft. Sie zeigen große Empfindlichkeit bzgl. des Rauschens. Mit ansteigendem Rauschlevel sinkt die Punktzahl, die sie im direkten Vergleich erhalten. Rauschen ist die „Achillesferse“ dieser robusten Strategien. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese Schwachstelle zu beseitigen. Diese Möglichkeiten werden eingehend erläutert. In den experimentellen Untersuchungen werden Turniere mit einer Vielzahl von Strategien in den beiden klassischen Turnierumgebungen durchgeführt. Hier wird die Schwäche der *Gradual*-Strategien deutlich. Es erweist sich, dass Großzügigkeit (in dem Sinne, dass Defektionen teilweise toleriert werden) die Eigenschaft ist, welche Strategien im Noisy IPD erfolgreich abschneiden lässt. Neben der großzügigen *TFT*-Strategie *Generous TFT* (*GTFT*) wird die Stärke einer während dieser Arbeit neu entwickelten *Gradual*-Strategie präsentiert. Diese *Noise Improved Gradual*-Strategie kann den Erfolg der *Gradual*-Strategie vom rauschfreien IPD ins Noisy IPD übertragen.

Als die mit Abstand beste Strategie für das IPD unter Rauschen stellt sich die neue Strategie „*DBS*“, welche das Prinzip der „symbolic noise detection“ nutzt, heraus (Au u. Nau, 2006b). Die Strategie ist unter fast allen Rauschleveln dominant und selbst im rauschfreien IPD eine erfolgreiche Strategie.

Im letzten Teil der Untersuchungen wird gezeigt, welche Auswirkungen Rauschen auf *Master-Slave-Strategien* hat und wie die Erkennungsmuster vom Rauschen beeinflusst werden.

Überblick Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 befasst sich mit den Grundlagen der Spieltheorie, die zum Verständnis der folgenden Kapitel nötig sind.
- Kapitel 3 erläutert das Gefangenendilemma. Neben der Formulierung der Grundsituation werden Computerturniere, Strategien und Anwendungen des Gefangenendilemmas beschrieben.
- Kapitel 4 widmet sich den *Master-Slave-Strategien*. Diese Strategien dominierten die letzten Computerturniere und führen Teamplay als neuen Faktor ins IPD ein.
- Kapitel 5 führt Rauschen in das Gefangenendilemma ein. Die Schwachstellen der klassischen Strategien werden gezeigt und Lösungsmöglichkeiten erläutert, wie Strategien an das Rauschen angepasst werden können.

- In Kapitel 6 werden zwei ausführliche Anwendungsbeispiele beschrieben, welche die bisherigen Erkenntnisse der Arbeit berücksichtigen.
- Im letzten Kapitel folgt eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse dieser Diplomarbeit.

2 Einführung in die Spieltheorie

„Die Spieltheorie ist eine mathematische Theorie von Konflikt und Kooperation.“ (Reinhard Selten, 1994)

Dieses Kapitel gibt eine kurze Einführung in die für diese Arbeit relevanten Konzepte der Spieltheorie. Sie dient als Grundlage für die folgenden Kapitel. Dabei können nicht alle Bereiche der Spieltheorie vollständig erfasst werden. Es werden Spiel, Spielform sowie Darstellungsformen beschrieben. Die Unterschiede zwischen Nullsummen-Spielen und Nicht-Nullsummen-Spielen sowie jene zwischen Spielen mit vollständiger und unvollständiger Information werden erläutert. Ferner werden Lösungskonzepte dargestellt. Am Ende folgen Beispiele, welche die eingeführten Konzepte aufarbeiten und verdeutlichen sollen. In diesem einleitenden Kapitel werden die Aspekte des Gefangenendilemmas explizit ausgelassen.

2.1 Grundlagen der Spieltheorie

Die Definitionen und Konzepte in diesem Kapitel basieren größtenteils auf Holler u. Illing (2002). Bei Verwendung anderer Quellen werden diese separat angegeben.

2.1.1 Historische Entwicklung der Spieltheorie

Walker (2005) gibt einen ausführlichen Überblick über die Geschichte der Spieltheorie. Diese Entwicklung wird hier zusammengefasst dargestellt.

John von Neumann widmete sich der Analyse von Gesellschaftsspielen. Er entwickelte den Beweis des Maximin-Theorems im Jahre 1928. Mit dem Buch „Theory of Games and Economic Behavior“ von von Neumann u. Morgenstern (1944) beginnt die Geschichte der Spieltheorie als eigenständige Wissenschaft.

Bereits vor und parallel zu John von Neumann gab es spieltheoretische Analysen, insbesondere durch Bernoulli, Bertrand, Cournot, Edgeworth, Zeuthen und von Stackelberg. Diese spieltheoretischen Analysen waren jedoch vielmehr Antworten auf spezifische Fragestellungen. Eine allgemeine Theorie zur Analyse strategischer Interaktionen wurde nicht entwickelt.

In den 50er und 60er Jahren wurden spieltheoretische Modelle in der Wirtschaftstheorie sowie in psychologischen Untersuchungen über das Verhalten in experimentellen Spielsituationen verwendet. Melvin Dresher und Merrill Flood haben als Erste das Modell des Gefangenendilemmas experimentell verwendet. Inspiriert von von Neumann und Morgenstern entwickelte John Nash in seinen Arbeiten über Gleichgewichtszustände in 2-Personen-Spielen das berühmte „Nash-Gleichgewicht“. Gerade im militärischen Bereich

fanden die spieltheoretischen Lösungskonzepte große Beachtung, da hier nach Strategien und Patentrezepten gesucht wurde, um die Kriegsszenarien auf theoretischer Basis zu lösen oder wenigstens strikte Handlungsmaximen vorzugeben.

Der Wirtschaftswissenschaftler Reinhard Selten hat 1965 das Buch „Spieltheoretischen Behandlung eines Oligomodells mit Nachfragerträgeit“ veröffentlicht, welches der Anwendung der Spieltheorie in den Wirtschaftswissenschaften einen neuen Auftrieb verschaffte. John Maynard Smith führte im Jahre 1974 das Konzept der „Evolutionary Stable Strategy“ ein und brachte die evolutionäre Spieltheorie einen weiteren Schritt nach vorne (Maynard Smith, 1982).

In den 80er Jahren begann der Siegeszug der nicht-kooperativen Spieltheorie unter anderem mit der Entstehung der Vertragstheorie, welche erfolgreich bei Verhandlungen bspw. um die UMTS-Lizenzen eingesetzt wurde. Ein weiterer Meilenstein war das Buch von Robert Axelrod mit dem Titel „Die Evolution der Kooperation“, welches das Modell des Gefangenendilemmas zur Untersuchung der Entstehung von Kooperation zugrunde legte (Axelrod, 2005).

Insgesamt wurden fünf Wirtschaftsnobelpreise für spieltheoretische Arbeiten vergeben: 1994 an John Forbes Nash Jr., John Harsanyi und Reinhard Selten, 1996 an William Vickrey und 2005 an Robert Aumann und Thomas Schelling. Außerdem stehen die Nobelpreise für die Erforschung begrenzter Rationalität an Herbert Simon 1978 und Daniel Kahneman 2002 in engem Zusammenhang mit spieltheoretischen Fragestellungen.

2.1.2 Spiel und Spielform

Zuerst stellt sich die allgemeine Frage, womit sich die Spieltheorie überhaupt beschäftigt. In Holler u. Illing (2002) wird die Spieltheorie als die Analyse von strategischen Entscheidungssituationen beschrieben, d. h. von Situationen, in denen

1. das Ergebnis von den Entscheidungen mehrerer Entscheidungsträger abhängt, so dass ein Einzelner das Ergebnis nicht unabhängig von der Wahl der anderen bestimmen kann;
2. jeder Entscheidungsträger sich dieser Interdependenz bewusst ist;
3. jeder Entscheidungsträger davon ausgeht, dass alle anderen sich der Interdependenz ebenfalls bewusst sind;
4. jeder bei seinen Entscheidungen (1), (2) und (3) berücksichtigt.

Durch diese vier Eigenschaften ergeben sich Interessenkonflikte und/oder Koordinationsprobleme.

Zur Beschreibung und Analyse solcher Entscheidungssituationen liefert die Spieltheorie die entsprechende Sprache. Die Situationen lassen sich als Spielsituationen beschreiben. Bei diesen Problemen gibt es Spieler bzw. Parteien, die nach gewissen Regeln strategische Entscheidungen treffen.

Es stellt sich zunächst einmal die Aufgabe, eine formale Beschreibung dieser Entscheidungssituationen zu liefern, die als Ausgangspunkt für eine weitere Analyse dienen soll. Eine solche Beschreibung wird als „Spiel“ bezeichnet.

Als Nächstes wird eine Definition und Begründung von Lösungskonzepten benötigt, die zur Beschreibung und Vorhersage des Verhaltens innerhalb eines Spieles dienen sollen. Dabei steht oft das Bemühen im Vordergrund, Lösungskonzepte zu entwickeln, die das Verhalten von rationalen Spielern beschreiben sollen.

Definition 2.1 (Spiel). *Ein Spiel $\Gamma = (N, S, u)$ ist vollständig beschrieben durch:*

1. *die Menge der Spieler $N = 1, \dots, n$ wobei $n \in \mathbb{N}$,*
2. *den Strategieraum S , der die Menge aller möglichen Strategiekombinationen $s = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n)$ aus den Strategien der einzelnen Spieler angibt, d. h. $s \in S$;*
3. *die Nutzenfunktion bzw. die Auszahlungsfunktion $u = (u_1, \dots, u_n)$. Hierbei gibt $u_i(s)$ den Nutzen für Spieler i wieder, wenn die Strategiekombination s gespielt wird.*
4. *die Spielregeln (soweit sie durch die Strategiemengen S_i festgelegt sind).*

Wenn in einem Spiel $\Gamma = (N, S, u)$ eine bestimmte Strategiekombination s gespielt wird, ergibt sich daraus die Nutzenkombination $u(s)$. Als Auszahlungsraum wird die Menge aller zulässigen Nutzenkombinationen bezeichnet.

Definition 2.2 (Auszahlungsraum).

$$A = \{u(s) | s \in S\} = \{(u_1(s), \dots, u_n(s)) \forall s \in S\}$$

2.1.3 Spiel- und Darstellungsformen

Bei den Spielformen wird unterschieden zwischen

- Normalform und
- Extensivform.

Spiele in Normalform sind diejenigen Spiele, bei denen alle Spieler ihre Strategien zeitgleich und ohne Kenntnis der Wahl der anderen Spieler festlegen. Die Spiele lassen sich als Matrizen beschreiben. Diese Form wird auch Matrixform bzw. strategische Form genannt. In einer zweidimensionalen Auszahlungsmatrix entsprechen die Zeilen den Aktionen oder Strategien des ersten Spielers (Zeilenspielers) und die Spalten den Aktionen oder Strategien des zweiten Spielers (Spaltenspielers). Die Felder der Matrix enthalten Informationen darüber, welche Auszahlungen die beiden Spieler erhalten, wenn die entsprechende Zeile und Spalte gespielt werden. Die strategische Form kommt bei den meisten einstufigen Spielen wie Gefangenendilemma, Spiel mit dem Untergang oder dem Spiel „Stein-Schere-Papier“ zum Einsatz. Für das letztere liefert die Tabelle 2.1 die Beschreibung des Spiels in Matrixform.

In der Extensivform eines Spiels wird die Reihenfolge, in der die Spieler am Zug sind, explizit formuliert. Der Ablauf des Spiels wird in einzelne Stufen zerlegt. Auf jeder Stufe sind ein oder mehrere Spieler am Zuge. Dabei kann ein Spieler auf jeder Stufe unterschiedlich über die Züge der Gegenspieler auf den vorherigen Stufen informiert sein.

Dies kann in der Extensivform explizit modelliert werden. Das Spiel lässt sich formal auch als „Spielbaum“ darstellen. Dabei wird jeder Zug des Spielers als Knoten dargestellt, an dem der Spieler zwischen verschiedenen Ästen wählen kann. Diese Darstellungsweise wird als sequentiell oder als extensive Form bezeichnet. Der Spielbaum gibt genau an, wann wer zum Zug kommt und über welche Informationen er jeweils dabei verfügt. Hat ein Spieler keine Information darüber, welche Spielzüge sein Gegenspieler ausgeführt hat, so kann er nicht unterscheiden, an welchem Knoten im Spielbaum er sich befindet. Diese Unsicherheit wird dadurch erfasst, dass angenommen wird, dass die Natur als Spieler 0 zu Beginn des Spiels eine Strategie wählt, die von den einzelnen Spielern nur unvollständig beobachtet werden kann. Es ist möglich, ein Spiel in Normalform mit Auszahlungsmatrix A in die extensive Form umzuwandeln.

2.1.4 Nullsummen-Spiele und Nicht-Nullsummen-Spiele

In Nullsummenspielen stellt der Gewinn einer Partei den Verlust einer anderen Partei dar. Riechmann (2002) gibt folgende Definition:

Definition 2.3 (Nullsummenpiel). *Nullsummenspiele sind Spiele, bei denen sich die Auszahlungen jedes Strategieprofils über die Spieler hinweg zu Null addieren. Es gilt somit $u_i(s) = -u_j(s)$.*

Aus Sicht der Spieltheorie handelt es sich um alle Spiele, bei denen gegeneinander um den Sieg gespielt wird. Einfache und allgemein bekannte Beispiele sind Schach, Poker (hier erhält der Sieger den kompletten Pott, in den vorher alle Mitspieler einzahlen mussten, d. h. der Sieger gewinnt genau so viel, wie die anderen Spieler verlieren) oder die meisten Gesellschaftsspiele. Aus ökonomischer Sicht ist ein Nullsummenspiel eine Konkurrenzsituation, bei welcher der wirtschaftliche Erfolg einer Person dem Misserfolg einer anderen Person gegenübersteht. Nullsummenspiele mit vollständiger Information und zwei Gegnern lassen sich am einfachsten erfassen. Für diese Spiele existiert immer eine berechenbare Gewinnstrategie, wenngleich sie bisweilen so komplex ist, dass sie noch nicht gefunden wurde, wie bei Schach oder Go.

Als Beispiel für ein Nullsummenspiel ist in Tabelle 2.1 das Spiel „Stein, Schere, Papier“ angegeben. Zwei Spieler wählen unabhängig voneinander einen der Begriffe Schere, Stein oder Papier. Dabei besiegt die Schere das Papier (durch Zerschneiden), das Papier den Stein (durch Einwickeln) und der Stein die Schere (durch Abstumpfen). Das Spiel geht unentschieden aus, wenn beide denselben Begriff gewählt haben.

Tabelle 2.1: Ein klassisches Nullsummenspiel in Matrixform: Stein, Schere, Papier.

	Stein	Schere	Papier
Stein	(0,0)	(1,-1)	(-1,1)
Schere	(-1,1)	(0,0)	(1,-1)
Papier	(1,-1)	(-1,1)	(0,0)

John Nash ließ die Grenze der Nullsummenspiele hinter sich und untersuchte auch Situationen, in denen die Beteiligten gemeinsam etwas gewinnen können. Realistischer und

wirklichkeitsnäher sind also Nichtnullsummenspiele, in denen sich die Auszahlungen der beiden Spieler nicht in jeder Situation aufheben. Daraus ergeben sich neue Aktionsmöglichkeiten. Nichtnullsummenspiele sind jedoch mathematisch schwieriger zu analysieren. Beispiele sind Roulette (wenn die Bank nicht als Spieler betrachtet wird), die Abstimmung der Nutzung gemeinsamer Ressourcen oder das Gefangenendilemma. In Letzterem kann im Falle von Kooperation der Gewinn höher sein als der Verlust.

2.1.5 Vollständige und unvollständige Information

Um ein Spiel analysieren zu können, ist es wichtig zu definieren, welche Informationen allen Spielern gleichermaßen bekannt sind. Gemeinsames Wissen beschreibt Wissen, das jedem Spieler zur Verfügung steht. Ferner weiß jeder Spieler, dass dieses Wissen ebenfalls allen anderen Spielern bekannt ist. Unter einem Spiel mit vollständiger Information wird ein Spiel verstanden, in welchem die Spieler über alle relevanten Charakteristika ihrer Mitspieler vollständig informiert sind. Unter dieser Bedingung ist im Prinzip jeder Spieler in der Lage, die optimalen Strategien seiner Mitspieler zu berechnen, auch wenn er deren Spielzüge nicht beobachten kann. Die Spielregel ist Teil des gemeinsamen Wissens. Es wird außerdem davon ausgegangen, dass alle Spieler sich rational verhalten und jeder Spieler sich dessen auch bewusst ist.

Definition 2.4 (vollständige Information). *Wenn zudem jedem Spieler die Strategiemenge S_i und die Auszahlungsfunktion $u_i(s)$ aller Spieler bekannt ist, wird von einem Spiel mit vollständiger Information gesprochen. $\Gamma = (N, S, u)$ ist dann gemeinsames Wissen.*

Spiele mit vollständiger Informationen sind vergleichsweise einfach zu analysieren. Beispiele für Spiele mit vollständiger Information sind: Schach, Go oder Stein-Schere-Papier.

Wenn gewisse Eigenschaften eines Spieler i den Mitspielern nicht bekannt sind, werden die Spiele „Spiele mit unvollständiger Information“ genannt. Da davon ausgegangen wird, dass $\Gamma = (N, S, u)$ gemeinsames Wissen aller Spieler ist, kann das Lösungskonzept für vollständige Information nicht angewandt werden. Durch einen Kunstgriff nach Harsanyi wird es ermöglicht, Spiele mit unvollständiger Information wie Spiele mit vollständiger, aber imperfekter Information zu behandeln (Holler u. Illing, 2002).

Die Beschreibung eines Spiels mit unvollständiger Information erfordert eine exakte Angabe aller denkbaren Kombinationen von Typen der Spieler und auch die Spezifizierung der subjektiven Wahrscheinlichkeitseinschätzungen aller Spieler. Ein solches Spiel wird „Bayes‘ches Spiel“ genannt.

2.1.5.1 Einmalige vs. wiederholte Spiele

Spiele können entweder als ein einmaliges Ereignis (als „one-shot game“) betrachtet werden oder es wird davon ausgegangen, dass ein Spiel oft oder unendlich oft gespielt werden kann. Dies ist unabhängig davon, ob die Spieler ihre Züge simultan oder in beliebiger Reihenfolge durchführen. Die Lösungen für ein einmaliges Spiel und für ein wiederholtes

Spiel können sich voneinander unterscheiden. So können die verschiedenen Parteien aus der Vergangenheit lernen und ihre Spielzüge an das Verhalten des Gegners anpassen. In wiederholten Spielen ist es möglich, dass es zum Aufbau von Reputation kommt, was in einmaligen Spielen nicht möglich wäre.

Ein geeignetes Beispiel dafür, dass analoge Situationen „wiederholt“ oder auch „one-shot“ sein können, ist die Entscheidung über das Geben von Trinkgeld bei einem Restaurantbesuch. Die Tatsache, ob eine Person irgendwo regelmäßig hingehet und einen guten Service erhalten möchte oder ob die Person auf der Durchreise ist und das Restaurant voraussichtlich nie wieder betritt, hat durchaus Einfluss auf das Verhalten.

2.2 Lösungskonzepte

Nachdem der Begriff des Spiels definiert wurde, soll ermittelt werden, welche Strategien für alle Spieler optimal sind. Außerdem soll festgestellt werden, welches Ergebnis eintritt, falls diese Strategien zur Anwendung kommen. Um bestimmte Fragestellungen spieltheoretisch zu analysieren, werden Lösungskonzepte verwendet. Der Begriff des Lösungskonzepts wird in Sieg (2005) folgendermaßen definiert:

Definition 2.5 (Lösungskonzept). *Ein Lösungskonzept ist eine Korrespondenz zwischen der Menge aller Spiele und der Menge aller Strategiekombinationen. Ein Lösungskonzept ordnet also jedem Spiel eine oder mehrere Strategiekombinationen als Lösung zu.*

In einem kooperativen Spiel (Verhandlungsspiel) können die Spieler bindende Abmachungen treffen. Die Abmachungen müssen nicht nur möglich sein, sondern müssen auch zwingend durchgesetzt werden (z. B. durch eine dritte Partei als Kontrollinstanz). Dies setzt voraus, dass nicht nur Kommunikation möglich ist, sondern dass die Abmachung auf jeden Fall durchgesetzt wird. Fehlt eine solche Möglichkeit, ist das Spiel nicht-kooperativ. Die nicht-kooperative Spieltheorie verdrängt seit einigen Jahrzehnten die kooperative Spieltheorie in zunehmendem Maße.

Definition 2.6 (Lösungskonzept für ein nicht-kooperatives Spiel). *Für ein nicht-kooperatives Spiel $\Gamma = (N, S, u)$ wählt ein Lösungskonzept f aus dem Strategieraum S eine Teilmenge von Strategiekombinationen: $f(\Gamma) \subset S$. Wenn die Menge $f(\Gamma)$ stets nur ein Element enthält, dann ist f ein eindeutiges Lösungskonzept. Das bedeutet, dass ein Strategievektor als Spielergesult bestimmt wird.*

2.2.1 Das Lösungskonzept der dominanten Strategie

Definition 2.7 (dominante Strategie). *Ein einzelner Spieler berechnet getrennt jede der Strategiekombinationen, die auftreten können (eine Strategie ist in diesem Fall das einmalige Kooperieren oder Nicht-Kooperieren) und wählt jeweils aus seinen eigenen Strategien (= Zugmöglichkeiten) diejenige, die für ihn den größten Gewinn bringt. Wenn für jede der möglichen Kombinationen die gleiche Strategie gewählt wird, wird diese Strategie für diesen Spieler in diesem Spiel eine „dominante Strategie“ genannt.*

Unter den in der Spieltheorie üblichen Annahmen folgt, dass rationale, nur an ihrem eigenen Wohl interessierte Spieler eine dominante Lösung spielen werden.

2.2.2 Nash-Gleichgewicht

In nicht-kooperativen Spielen muss jede Lösung so gestaltet sein, dass jeder einzelne Spieler ein Eigeninteresse daran hat, nicht davon abzuweichen. Lösungen mit dieser Eigenschaft werden als Gleichgewicht bezeichnet. Es ist zu beachten, dass die Lösung, also das Gleichgewicht eines nicht-kooperativen Spieles nicht effizient bzw. optimal sein muss. Das Nash-Gleichgewicht ist nach John Nash benannt, der dieses Kriterium etabliert hat. Die Bedeutung der Arbeiten von Nash wurden 1994 mit einem Nobelpreis gewürdigt. Ein Nash-Gleichgewicht ist eine Kombination von Strategien. Bei der gegebenen Wahl der Strategien der anderen Spieler möchte kein Spieler einseitig seine eigene Strategie ändern. In der Regel werden dabei auch gemischte Strategien berücksichtigt, bei denen mehrere reine Strategien mit einer positiven Wahrscheinlichkeit gespielt werden. Das Nash-Gleichgewicht ist in Riechmann (2002) folgendermaßen definiert:

Definition 2.8 (Nash-Gleichgewicht). *Ein Strategieprofil s^* ist ein Nash-Gleichgewicht, wenn die darin enthaltene Strategie jedes einzelnen Spielers jeweils eine optimale Strategie s_i^* gegenüber den enthaltenen Strategien der restlichen Spieler ist, d. h. wenn gilt, dass*

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*)$$

für alle i , für alle $s_i \in S_i$

Ausgehend von einem Nash-Gleichgewicht besteht für keinen Spieler ein Anreiz, von seiner Gleichgewichtsstrategie abzuweichen. Zu beachten ist, dass ein Gleichgewicht, das aus einer dominanten Strategie folgt, immer auch ein Nash-Gleichgewicht ist.

Für eine Klasse von Spielen, unter anderem für alle Spiele mit endlicher Zahl von Spielern und Strategien, kann gezeigt werden, dass mindestens ein Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien existiert. Es kann jedoch vorkommen, dass das Konzept nur in Ausnahmefällen eine eindeutige Lösung liefert. Oft lässt dieses Lösungskonzept mehrere Strategiekombinationen als Lösung zu, manchmal sogar alle Strategiekombinationen.

2.3 Beispiele

Abschließend folgen zwei Beispiele für 2-Personen-Nicht-Nullsummen- Spiele in Normalform, anhand welcher die bisherigen Konzepte überprüft werden sollen. Es handelt sich um die klassischen Beispiele: die Battle of the Sexes (Kampf der Geschlechter) und das Chicken Game (Spiel mit dem Untergang).

2.3.1 Kampf der Geschlechter

Die Spieler, ein Mann und eine Frau, wollen gemeinsam den Abend verbringen. Sie vergessen, sich über den Ort zu einigen. Es ist möglich, ein Fußballspiel oder ein Konzert

zu besuchen. Beide Spieler müssen sich unabhängig voneinander entscheiden. Das Fußballspiel wird von dem Mann, das Konzert von der Frau bevorzugt. Tabelle 2.2 gibt die Auszahlungen für die beiden Spieler an. Die Auszahlung des Mannes steht an erster Stelle, die der Frau an zweiter. Geht die Frau also ins Fußballstadion, wäre es die beste Wahl des Mannes auch dorthin zu gehen. Umgekehrt gilt das gleiche, daher ist die linke obere Zelle ein Nash-Gleichgewicht. Analog verhält es sich mit der Konzerthalle.

Tabelle 2.2: Kampf der Geschlechter. Die Nash-Gleichgewichte sind farblich markiert.

Spieler 1	Spieler 2	
	s_{21} Fußball	s_{22} Konzert
s_{11} Fußball	(3,1)	(0,0)
s_{12} Konzert	(0,0)	(1,3)

Es ergibt sich folgendes Problem: Es existieren zwei Nash-Gleichgewichte. Beide Spieler können zwei Strategiekombinationen wählen, die dem Nash-Gleichgewichts-Prinzip entsprechen: (s_{11}, s_{21}) oder (s_{12}, s_{22}) . Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, welches dieser beiden Nash-Gleichgewichte gespielt werden wird. Es ist außerdem nicht ersichtlich, wie der eine Spieler das Verhalten eines anderen Spielers vorhersagen wird.

Wenn es ein Vorwissen z. B. über die Gesellschaftsform gibt, das heißt, wenn in einer Gesellschaft das männliche Geschlecht dominierend ist, dann würden beide ins Stadion gehen. Dies bedeutet, dass es einen Fokus-Punkt gibt. Wenn solch ein Fokus-Punkt nicht existiert, müssen beide eine Strategie zufällig wählen. Bei solchen „gemischten Strategien“ können sich beide Spieler mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit beim Konzert oder im Stadion treffen, jedoch mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit sich auch verfehlen.

2.3.2 Spiel mit dem Untergang

Zwei Männer streiten um die Position des Anführers einer Gruppe. Sie wollen sich einer Mutprobe unterziehen, bei der beide mit einem Fahrzeug aufeinander zufahren. Derjenige, der zuerst ausweicht (also kooperiert), steht als Verlierer da. Derjenige, der nicht ausweicht, ist der Sieger. Weicht keiner aus, sterben beide. Weichen beide aus, müssen sie sich die Macht teilen. Die Tabelle 2.3 ist die Auszahlungsmatrix bei beliebiger Wahl der Ruhmpunkte für die duellierenden Männer.

Tabelle 2.3: Spiel mit dem Untergang. Die Nash-Gleichgewichte sind farblich markiert.

Spieler 1	Spieler 2	
	s_{21} Kooperieren	s_{22} Nicht Kooperieren
s_{11} Kooperieren	(5,5)	(2,8)
s_{12} Nicht Kooperieren	(8,2)	(0,0)

Es handelt sich hier um ein kooperatives Spiel, bei dem die beste Strategie folgendermaßen lautet: Kooperiert der andere, lohnt es sich, nicht zu kooperieren. Kooperiert der andere nicht, lohnt es sich, zu kooperieren. Es gibt daher keine Gleichgewichtstrategie des Nichtkooperierens. Die Präferenzordnung lautet $8 > 5 > 2 > 0$. Es entstehen zwei Nash-Gleichgewichte $(2, 8)$ und $(8, 2)$. Wenn Spieler A weiß, dass Spieler B auf keinen Fall kooperieren wird, dann ist es für ihn immer noch besser zu kooperieren, da er eine Auszahlung von 2 erhält, im Gegensatz zu einer Auszahlung von 0 bei unkooperativem Verhalten. Welcher von den beiden Spielern seine unkooperative Strategie durchsetzen kann und den anderen davon überzeugt zu kooperieren, wird in diesem Modell allerdings nicht erklärt. Dies ist von zusätzlichen Informationen wie z. B. der Nervenstärke der einzelnen Spieler abhängig.

3 Gefangenendilemma

„Under what conditions will cooperation emerge in a world of egoists without a central authority?“ (Robert Axelrod, 1984)

In diesem Kapitel wird das Gefangenendilemma formal eingeführt. Dabei wird der Übergang vom einfachen Gefangenendilemma (PD) zum iterierten Gefangenendilemma (IPD) vollzogen. Nach der Formalisierung werden vier IPD-Computerturniere beschrieben. Es folgt die Beschreibung von einer Reihe Strategien für das IPD und die Darstellung der Eigenschaften, welche erfolgreiche Strategien ausmachen. Das Kapitel wird von zwei Beispielen abgeschlossen.

3.1 Formalisierung des Gefangenendilemmas

3.1.1 Grundsituation

Das Gefangenendilemma ist wahrscheinlich das bekannteste Spiel in der Spieltheorie. Der Erfinder des Gefangenendilemmas – oder zumindest der Geschichte der Auszahlungsmatrix – ist laut Straffin (1980) Albert W. Tucker. Die Entscheidungssituation im Gefangenendilemma wurde erstmals von Luce u. Raiffa (1957) folgendermaßen beschrieben:

„Zwei Verdächtige werden in Einzelhaft genommen. Der Staatsanwalt ist sich sicher, dass sie beide eines schweren Verbrechens schuldig sind, doch verfügt er über keine ausreichenden Beweise, um sie vor Gericht zu überführen. Er weist jeden Verdächtigen darauf hin, dass er zwei Möglichkeiten hat: das Verbrechen zu gestehen oder aber nicht zu gestehen. Wenn beide nicht gestehen, dann, so erklärt der Staatsanwalt, wird er sie wegen ein paar milderer Delikte wie illegalen Waffenhandels anklagen und sie werden eine geringe Strafe bekommen. Wenn beide gestehen, werden sie zusammen angeklagt, aber er wird nicht die Höchststrafe beantragen. Macht einer ein Geständnis, der andere jedoch nicht, so wird der Geständige nach kurzer Zeit freigelassen, während der andere die Höchststrafe erhält.“

Die beiden Gefangenen stehen vor einem strategischen Entscheidungsproblem. Die Lage, in der sich die Beiden befinden, kann als Spielsituation dargestellt werden.

In der Matrix 3.1 beträgt die Höchststrafe für das Verbrechen fünf Jahre. Beiden Gefangenen sind die Folgen bekannt, die sich durch ihre Aussagen ergeben können. Sollte

Tabelle 3.1: Bestrafungsmatrix für das Gefangenendilemma

	Kooperation	Defektion
Kooperation	(2,2)	(5,0)
Defektion	(0,5)	(4,4)

ein Verdächtiger gestehen und seinen Partner belasten, käme er ohne Strafe davon, während der andere die vollen fünf Jahre absitzen müsste. Wenn beide schweigen sollten, blieben nur einige Indizienbeweise, um sie zu einer zweijährigen Haftstrafe verurteilen zu können. Würden beide die Tat gestehen, derer sie beschuldigt werden, hätten sie eine Haftstrafe von vier Jahren zu erwarten. Die beiden Gefangenen werden unabhängig voneinander befragt. Sie stehen in keinem Kontakt zueinander und haben keine Möglichkeit zur Absprache. Es handelt sich hier um eine nicht-kooperative Spielsituation.

Axelrod (2005) liefert eine abstraktere Formulierung der Grundsituation und beschreibt Bedingungen, die eingehalten werden müssen, damit es sich um ein Gefangenendilemma handelt: Das Gefangenendilemma wird als Spiel für zwei Spieler beschrieben, wobei jeder zwei Entscheidungsmöglichkeiten hat: kooperieren oder nicht kooperieren (defektieren). Die beiden Spieler treffen ihre Entscheidung, ohne die Wahl des anderen zu kennen. Das Dilemma besteht darin, dass eine Nichtkooperation für einen Spieler, unabhängig von der Wahl des anderen, günstiger ist als kooperieren. Eine beidseitige Defektion ist jedoch ungünstiger als eine wechselseitige Kooperation.

In der Matrix 3.2 werden die Auszahlungen anhand von Punkten dargestellt, welche die Spieler erhalten. Diese Überführung dient zu einer einfacheren Analyse des Gefangenendilemmas. Im Falle der beidseitigen Kooperation erhalten beide Spieler eine Belohnung R (Reward). Sie beträgt 3 Punkte. Kooperiert ein Spieler und defektiert der andere, erhält der kooperierende Spieler die Auszahlung S (= Sucker's Payoff, 0 Punkte) und der andere T (= Temptation, 5 Punkte). Defektieren beide Spieler, erhalten sie eine Bestrafung P (= Punishment, 1 Punkt).

Tabelle 3.2: Die Auszahlungsmatrix nach der Transformation

	Kooperation	Defektion
Kooperation	$R=3, R=3$	$S=0, T=5$
Defektion	$T=5, S=0$	$P=1, P=1$

Die Werte für R , S , T und P können beliebig gewählt werden. Jedoch müssen die beiden folgenden Bedingungen eingehalten werden:

1. $T > R > P > S$. Das heißt, die Versuchung zu defektieren muss größer sein als die Versuchung zu kooperieren. Die beiderseitige Kooperation muss vorteilhafter sein als das beiderseitige Defektieren. Außerdem bekommt ein Spieler die wenigsten Punkte, wenn er kooperiert und der Gegenspieler defektiert.

2. $R > \frac{(T+S)}{2}$. Die Punkteanzahl für gegenseitiges Kooperieren muss größer sein als der Mittelwert der Punkte von Temptation und Sucker's Payoff.

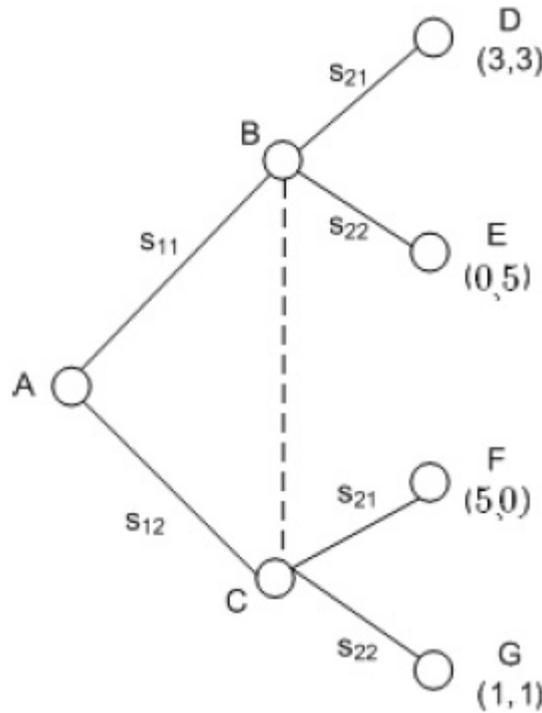


Abbildung 3.1: Das Gefangenendilemma lässt sich auch als Spielbaum darstellen. Spieler 1 beginnt in Ursprungsknoten A und kann zwischen den Ästen s_{11} und s_{12} wählen. Er landet je nach Wahl in Knoten B oder C. Spieler 2 wählt seinen Zug, ohne zu wissen, welchen Ast 1 Spieler 1 gewählt hat. Er kann nicht zwischen B und C unterscheiden (Holler u. Illing, 2002).

3.1.2 Lösungskonzept für das Gefangenendilemma

In der oben beschriebenen Situation ist die einzig individuell rationale Lösung jedes einzelnen Spielers zu defektieren. Auf den ersten Blick hat diese Lösung eine überraschende Eigenschaft. Ein beidseitiges Kooperieren ist für die beiden Gefangenen vorteilhafter als ein beidseitiges Defektieren. Unter den bekannten Bedingungen wäre Kooperieren kein individuell rationales Verhalten, weil die Spieler keinen bindenden Vertrag abschließen können. Wie in allen nicht-kooperativen Spielen muss die Lösung so gestaltet sein, dass kein Spieler ein Interesse hat, von ihr abzuweichen. Defektion ist für beide Spieler eine dominante Strategie, denn für jeden Spieler S_i ist Defektion besser, unabhängig davon, was Spieler S_j spielt. Das Lösungskonzept für das Gefangenendilemma ist somit einfach zu bestimmen: Jedem Spieler wird die Wahl der dominanten Strategie empfohlen. Die beidseitige Defektion stellt ebenfalls ein Gleichgewicht in dominanten Strategien dar.

Auch wenn beide Spieler vorher in Kontakt treten und eine Vereinbarung treffen könnten, wird sich die obige Lösung durchsetzen. Es gibt nämlich keine Garantie, dass sich beide Spieler an ihre Absprachen halten werden. Als Ergebnis lässt sich feststellen: *Defektieren ist die einzige rationale Strategie beim Gefangenendilemma.*

3.1.3 Das iterierte Gefangenendilemma

Zur Betrachtung des iterierten Gefangenendilemmas ist eine alternative Formulierung der Grundsituation hilfreich (Thelen, 1997):

„In schwierigen Zeiten sollst Du auf dem Schwarzmarkt Waren tauschen. Dazu sollen Du und Dein Tauschpartner zu einem bestimmten Zeitpunkt an verschiedenen Stellen die Ware hinterlegen. Natürlich ist Dein Gewinn am größten, wenn Du nichts hinterlegst und dafür die gewünschte Ware bekommst. (Das gleiche gilt aber leider auch für Deinen Partner). Du hast keine Möglichkeit herauszubekommen, ob Dein Partner die Ware hinterlegen wird oder nicht. Dieselbe Prozedur wiederholt sich Woche für Woche, wobei Du natürlich das bisherige Verhalten Deines Partners mit in Betracht ziehen solltest.“

Im iterierten Gefangenendilemma (kurz IPD) spielen zwei Spieler gegeneinander, aber nicht nur einmal, sondern mehrmals hintereinander.

Wenn das Spiel über eine bekannte Anzahl von Durchgängen gespielt wird, gibt es für die Spieler immer noch keinen Grund zu kooperieren. Jetzt kann eine Defektion im nächsten Zug oder im späteren Spielverlauf mit einer eigenen Defektion als Antwort vergolten werden. Einzig in der letzten Runde wäre eine Defektion möglich, ohne in der Zukunft bestraft zu werden. Im vorletzten Zug wird kein Spieler den Anreiz zur Kooperation sehen, weil beide die Defektion im letzten Zug antizipieren können. N sei die Anzahl der Runden. In der letzten Runde (Runde n) reduziert sich das iterierte Gefangenendilemma spieltheoretisch gesehen auf das nicht-iterierte Gefangenendilemma. Da die Handlungen in der Runde n feststehen, zahlt sich auch Kooperation in der Runde $n - 1$ nicht mehr aus. Per vollständiger Induktion ergibt sich, dass jedes in der Länge begrenzte Spiel zu beidseitiger Defektion ab dem ersten Zug führen wird. Defektieren ist die einzige rationale Strategie bei einem Spiel über eine bekannte Anzahl von Runden.

Besteht jedoch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass sich das Spiel fortsetzt, ist es denkbar, dass für beide ein Anreiz zur Kooperation besteht. Diese Wahrscheinlichkeit wird in Axelrod (2005) durch den „discount-Faktor“ ω beschrieben:

Definition 3.1 (discount-Faktor ω). *Der discount-Faktor ω ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Spiel eine nächste Runde hat. Alternativ modelliert der discount-Faktor den Wert, den die Spieler der Zukunft beimessen.*

Nach jeder Runde wird durch ein Zufallsexperiment der Wert von ω berechnet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von ω geht das Spiel weiter. Mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \omega$ ist das Spiel zu Ende.

Für die Summe E der Punkte eines Spiels über n Züge ergibt sich bei E_i Punkten im i -ten Zug:

$$E = \sum_{i=0}^n w^i \cdot E_{i+1}$$

Falls beide Spieler stets kooperieren und das Spiel unendlich fortgesetzt wird, so erhält jeder Spieler konstant R (= 3 Punkte) und es ergibt sich:

$$E = \sum_{i=0}^n w^i \cdot E_{i+1} = R \cdot \frac{1}{1 - \omega}$$

3.2 Computerturniere

3.2.1 Die Turniere von Axelrod

Robert Axelrod hat 1981 die beiden bekanntesten Computerturniere zum Gefangenendilemma durchgeführt, welche als Grundlage für sein Buch Axelrod (2005) dienen. Im ersten Turnier forderte er professionelle Spieltheoretiker auf, ihre Strategien zu implementieren und einzusenden. Das Ziel war es, eine gute, wenn nicht die beste Strategie für das iterierte Gefangenendilemma zu finden.

Als Modus wurde ein „Jeder-gegen-Jeden“-Turnier (*Round-Robin-Turnier*) veranstaltet. Zusätzlich musste jede Strategie gegen sich selbst antreten. Eine weitere Strategie „*Random*“, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit entweder Defektion oder Kooperation spielt, wurde eingeführt. Die Spieldauer war auf 200 Züge beschränkt, ohne dass dies den Teilnehmern vorher bekannt war. Das Turnier wurde fünfmal wiederholt, um eventuelle Einflüsse von Zufallsentscheidungen zu minimieren. Insgesamt wurden 14 verschiedene Strategien eingesandt. Der eindeutige Sieger war die einfache Strategie *TFT* („Wie du mir, so ich dir“), die von dem Psychologen Anatol Rapoport entwickelt wurde. Diese Strategie kooperiert im ersten Zug, in jedem weiteren Zug spielt sie den Zug, den der Gegner in seinem letzten Zug benutzt hat. Diese Strategie kann zwar nicht im paarweisen Vergleich gewinnen (d. h. sie spielt entweder unentschieden oder sie verliert), aber sie hat insgesamt die meisten Punkte erreicht.

Definition 3.2 (Tit-for-Tat-Strategie). *Im IPD, in welchem jede Runde ein Spiel des klassischen PD gegen den selben Gegner ist, hat eine TFT-Strategie folgendes Verhalten:*

- In Runde 1: spielt Kooperation.
- In Runde n mit $n \geq 2$: spielt die Wahl des Gegners aus Runde $n - 1$.

Aufgrund der großen Resonanz bzgl. der Ergebnisse wiederholte Axelrod das Turnier in einem größeren Rahmen. Es stand jeder Person frei, an dem zweiten Turnier teilzunehmen und eine beliebige Strategie einzusenden, insbesondere auch solche, die beim ersten Turnier teilgenommen hatten. Allen Teilnehmern wurden die Ergebnisse des ersten Turniers zugänglich gemacht. Diesmal gab es 62 Teilnehmer. Überraschenderweise war der Sieger erneut die Strategie *TFT*.

3.2.2 „The experiment with Pour La Science“ - Ein französisches Turnier

Jean-Paul Delahaye, Philippe Mathieu und Bruno Beaufils haben sich in den letzten Jahren intensiv mit dem IPD beschäftigt und eine Vielzahl von Ergebnissen präsentiert. In Beaufils u. a. (1996) beschreiben sie Computerexperimente, aus denen eine erfolgreiche Strategie für das IPD, welche *TFT* unter vielen Bedingungen überlegen ist, hervorgeht. Diese Strategie trägt den Namen *Gradual* und ist in 3.3.1 näher beschrieben.

Um ihre Ergebnisse in einem größeren Umfang zu überprüfen, haben sie Ende 1992 ein ähnliches Turnier wie Axelrod ausgeschrieben (Delahaye u. Mathieu, 1995). Allerdings gab es Regeln, welche die Rahmenbedingungen noch etwas realitätsnäher gestalten sollten: Es gab die Möglichkeit zur „Renunciation“, eine Ausstiegsmöglichkeit während des Spiels. Der Ausstieg ist unwiderruflich und ab diesem Zeitpunkt erhält jeder Spieler die Auszahlung $N = 2$. Der Wert wurde so gewählt, dass er größer als $P = 1$ und $S = 0$, jedoch kleiner als $R = 3$ und $T = 5$ ist, denn die Belohnung für beidseitige Kooperation oder für eine Ausbeutung sollte höher sein, als wenn die Ausstiegsmöglichkeit genutzt wird. Die exakten Werte für S, P, N, R und T sind nicht entscheidend, solange die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- $R > \frac{(T+S)}{2}$
- $T > R > N > P > S$

Es wurde ein *Round-Robin-Turnier* durchgeführt, an dem insgesamt 95 Strategien teilnahmen. Die allen Teilnehmern unbekannt Rundenzahl betrug 1000 Runden. Jede Strategie für die ursprüngliche Variante des Spiels konnte auch als Strategie für dieses Spiel benutzt werden. Es stellte sich jedoch heraus, dass Strategien, die diese Kündigungsmöglichkeit nicht nutzten, schlecht abschnitten (die beste Strategie auf Platz 16). Gegen einen Partner, der stets defektiert, war Kündigen zweifellos nützlich. Der Gewinner war eine Strategie, die in Delahaye u. Mathieu (1998) folgendermaßen beschrieben wird:

„Ich kooperiere im ersten Zug und solange der andere kooperiert. Alle 20 Züge bestimme ich meine Gesamtpunktzahl und kündige, wenn mein Durchschnittsgewinn pro Zug unter 1,5 liegt. Wenn mein Gegner defektiert, eröffne ich eine Vergeltungsserie; wenn ich mich schon in einer solchen befinde, eröffne ich keine neue. Die erste Vergeltungsserie besteht aus einmal defektieren plus zweimal kooperieren, unabhängig davon, was der andere tut. Jede folgende Vergeltungsserie ist länger als die vorige; die n-te besteht aus $n \cdot \frac{(n+1)}{2}$ mal betrügen und zweimal kooperieren.“

Es handelt sich um eine *Gradual*-Variante, welche die Ausstiegsmöglichkeit nutzt. Allgemein kann das gute Abschneiden von *Gradual*-Varianten in dem Turnier als Hauptergebnis gesehen werden. Ebenso wurden viele Varianten von *TFT*-Strategien eingesandt, von denen eine den dritten Platz belegen konnte.

Die Ergebnisse dieser Turniere führen zu der vorläufigen Annahme:
TFT und Gradual scheinen unter einer Vielzahl von verschiedenen Bedingungen erfolgreiche Strategien für das IPD zu sein.

3.2.3 Die Jubiläumsturniere 2004/2005

In den Jahren 2004 und 2005 wurden zwei Turniere im Rahmen der Konferenzen CEC'04 und der CIG'05 durchgeführt, um das 20jährige Jubiläum von Axelrods Turnieren zu würdigen (Kendall u. a., 2005). Neben der Wiederholung des Original-Experiments von Axelrod wurden noch andere Varianten durchgeführt. Einmal wurden zusätzliche Fehler in die Kommunikation eingebracht (Rauschen) und in einer anderen Variante gab es verschiedene Auszahlungen, mehrere Wahlmöglichkeiten und mehrere Spieler.

Ein Team der Universität Southampton demonstrierte die Überlegenheit einer neuen Strategieform. Die Ergebnisse des Turniers wurden von sogenannten *Master-Slave-Strategien* beeinflusst. Diese Strategiemengen, welche eine Art Koalition bilden, um untereinander beliebig Punkte verteilen zu können, werden in Kapitel 4 eingehend beschrieben. Klassische Strategien wie *TFT* oder *Gradual* konnten sich jedenfalls nicht gegen die *Master-Slave-Strategien* durchsetzen.

3.2.4 Das Turnier der Projektgruppe 474 der Universität Dortmund

Die PG474 führte im Jahre 2005 ein Turnier zum IPD durch (Baranski u. a., 2006). Insgesamt konnten 32 Teilnehmer für das Turnier gefunden werden. Es wurde ein *Round-Robin-Turnier* durchgeführt unter der Restriktion, dass jeder Teilnehmer maximal zwei Strategien einsenden darf. Wenn ein Teilnehmer nur eine Strategie einschickte, wurde diese Strategie zweimal in das Turnier aufgenommen. Hier lag die Idee zugrunde, Effekte wie in den Jubiläumsturnieren (bedingt durch *Master-Slave-Strategien*) einzugrenzen. Außerdem hatten die Turnierveranstalter die Möglichkeit, eigene Strategien im Turnier zu erproben. So ergab sich eine Gesamtzahl von 65 Strategien. Die ersten drei Plätze wurden auch in diesem Turnier von *Master-Slave-Strategien* belegt. Die weiteren vorderen Plätze wurden von *TFT*-Varianten und von *Gradual*-Varianten belegt.

3.2.5 Ökologische Umgebung

Axelrod (2005) führte eine weitere Turnierform ein. Diese Turnierform beschreibt eine Weiterentwicklung der *Round-Robin-Turniere*. Die ökologische Umgebung ist durch die Idee des „Überlebens des Stärkeren“ gekennzeichnet. Es findet ein Spiel über mehrere Runden und mehrere Generationen statt. Sind alle Strategien in mehreren Runden gegeneinander und gegen sich selbst angetreten, werden die erzielten Resultate für jede Strategie zusammengezählt. Für einen nächsten Durchgang ersetzen die erfolgreichen Strategien die weniger erfolgreichen. Die erfolgreichste Strategie ist in der nächsten Generation am häufigsten vertreten. Zu Anfang sind die Strategien über die Individuen gleich verteilt. Jede Generation besteht aus einem *Round-Robin-Turnier*. Nach jeder Generation werden die Strategien auf die Individuen neu verteilt, so dass der Anteil einer Strategie in der Population dem Anteil der Punkte der Strategie an den Gesamtpunkten der letzten Generation entspricht. Die Idee ist, dass sich in einer Population von interagierenden Individuen erfolgreiche Strategien ausbreiten, d. h. die erfolgreichen Strategien von anderen Individuen übernommen werden. Die Abbildung 3.2 zeigt die Populationsänderungen von einigen Strategien in der ökologischen Umgebung. In diesem

Beispiel gewinnt die Strategie *Gradual* vor einer *TFT*-Strategie.

Die Ergebnisse aus einem *Round-Robin-Turnier* können sich in einem ökologischen Turnier ändern. Strategien, die zur Defektion tendieren, erzielen hier zu Beginn relativ gute Resultate solange sie auf andere Strategien stoßen, die tendenziell eher kooperieren, d. h. sich ausnutzen lassen. Sind aber defektierende Strategien erfolgreich, so werden kooperative Strategien von Generation zu Generation seltener. Die defektierenden Strategien entziehen sich selbst ihrer Erfolgsgrundlage. Treffen hingegen zwei defektierende Strategien zusammen, so erzielen sie schlechtere Resultate als zwei kooperierende Strategien. Die Anzahl der defektierenden Strategien in der Population kann sich nur durch Ausbeutung von Mitspielern vermehren. Kooperierende Strategien wachsen dagegen am besten, wenn sie aufeinander stoßen. Eine Minderheit von miteinander kooperierenden Strategien wie z. B. *TFT* kann sich somit in einer Mehrheit von verräterischen Strategien behaupten und sogar zur Mehrheit anwachsen. Die Neuverteilung der Spielerpopulation

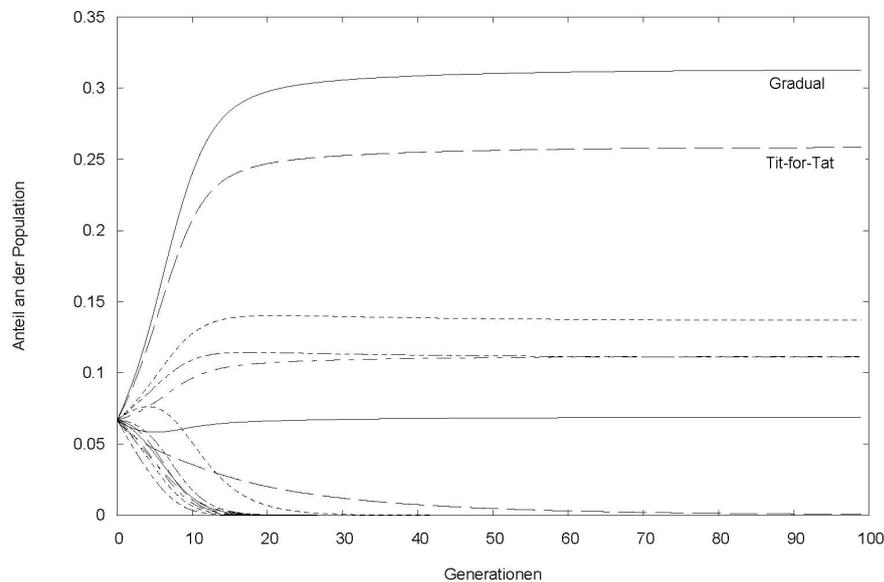


Abbildung 3.2: Strategien in der ökologischen Umgebung. Am Anfang hat jede Strategie den gleichen Anteil an der Population. Erfolgreiche Strategien vergrößern ihren Populationsanteil, schlechte Strategien sterben aus. In diesem Beispiel gewinnt die Strategie *Gradual* vor einer *TFT*-Strategie.

wird in Axelrod (2005) nicht hinreichend erläutert. Deshalb werden zwei Implementierungsmöglichkeiten dargestellt.

Arnold (2002) beschreibt die folgende Implementierungsmöglichkeit: Zunächst wird der Mittelwert der Resultate aller Strategien berechnet. Dann wird für jede Strategie der Quotient aus ihrer Punktzahl und dem Mittelwert der Punktzahlen aller Strategien gebildet. Der ermittelte Wert dient als Faktor für die Größenänderung der Population der Strategie. In einem letzten Schritt werden die Populationen aller Strategien soweit skaliert, dass ihre Summe wieder einer vorgegebenen Gesamtpopulation von 10.000 In-

individuen entspricht, wobei kleine Abweichungen zugelassen werden, um Rundungsfehler möglichst zu vermeiden. Die Strategien, von denen nur noch weniger als zwei Individuen übrig bleiben, werden aus dem Turnier gezogen. Dieses Verfahren zur Ermittlung der Neuverteilung der Individuen ist mehr oder weniger willkürlich gewählt, genügt aber der Bedingung, dass eine Strategie sich umso erfolgreicher vermehrt, je größer ihre Punktzahl ist. Natürlich ist es möglich, auch jede andere streng monoton steigende Abbildung für die Änderungen der Populationsanteile zu wählen. In den meisten Fällen dürfte dies nur zu einer Beschleunigung oder Verlangsamung der zu beobachtenden Phänomene führen.

In Baranski u. a. (2006) kann ein Individuum jeweils nur eine Strategie spielen. Somit kann der Populationsanteil in der nächsten Generation wegen Rundung nicht genau proportional zur Summe der erzielten Punkte sein. In diesem Modell wird der Grenzfall der unendlich großen Population betrachtet und es wird nur mit fraktionalen Werten gerechnet. Das Turnier ist beendet, wenn es keine bemerkenswerten Änderungen an den Anteilen der Population gibt. „Bemerkenswerte Änderungen“ sind Werte, die gegen einen konstanten Wert nahe Null streben.

3.3 Strategien für das iterierte Gefangenendilemma

3.3.1 Standardstrategien

Allgemein beschreibt eine Strategie, was in jeder möglichen Situation des Spiels zu tun ist. Dies kann auch als Entscheidungsregel für die jeweilige Spielsituation beschrieben werden. Die Situation hängt jeweils von den vorherigen Zügen im Spiel ab. Manche Strategien können aufgrund von bestimmten Mustern in der Vergangenheit kooperieren oder defektieren. Strategien können auch Wahrscheinlichkeiten verwenden, um z. B. in jedem Zug mit gleicher Wahrscheinlichkeit zu kooperieren/zu defektieren. Strategien lassen sich oft auch als endliche Automaten darstellen (Ashlock u. Kim, 2005). Der Automat in 3.3 repräsentiert bspw. die Strategie *TfTT*.

Der Großteil der folgenden Strategien wird in Axelrod (2005, Kapitel. 2) beschrieben. Andere Quellen werden separat angegeben.

Zufällige Strategien

1. *Random* (Zufall): Die Strategie defektiert oder kooperiert aufgrund einer 50:50-Chance.

Periodische Strategien

1. *Always Cooperate* (Kooperiere immer, *ALLC*): Die Strategie kooperiert immer, unabhängig davon, was der Spielpartner tut. [c]*
2. *Always Defect* (Defektiere immer, *ALLD*): Die Strategie defektiert immer, unabhängig davon, was der Spielpartner tut. [d]*
3. *PerKind* (periodisch und freundlich): *PerKind* spielt periodisch die Folge von kooperieren, kooperieren, defektieren. [c,c,d]*

4. *PerNasty* (periodisch und unfreundlich): *PerNasty* spielt periodisch die Folge defektieren, defektieren, kooperieren. [d,d,c]*
5. *Per ccd*: Die Strategie spielt periodisch die Folge kooperieren, kooperieren, kooperieren, defektieren. [c,c,c,d]*

Reaktive Strategien

1. *TFT* („Wie du mir, so ich dir“): *TFT* kooperiert in der ersten Runde und kopiert in den nächsten Runden den vorherigen Spielzug des Spielpartners. Die Strategie ist kooperationswillig, übt aber bei Defektion Vergeltung. Bei erneuter Kooperation des Mitspielers ist sie nicht nachtragend, sondern reagiert ihrerseits mit Kooperation. Erfinder war der Psychologe Anatol Rapoport.
2. *Joss*: *Joss* spielt wie *TFT*, nur defektiert sie in 10 Prozent der Fälle einer Kooperation des anderen.
3. *Mistrust* (Misstrauen): Die Strategie spielt wie *TFT*, aber defektiert in der ersten Runde.
4. *Tit-for-Two-Tats* (*TfTT*): Die Strategie spielt wie *TFT*, defektiert jedoch nur, wenn der Gegner zweimal in Folge defektiert hat.
5. *Go by Majority* (Entscheide gemäß Mehrheit): Diese Strategie kooperiert in der ersten Runde und spielt dann den meist benutzten Zug des Mitspielers. Bei einem Unentschieden kooperiert die Strategie.
6. *Spite* (Groll): *Spite* kooperiert solange, bis der Mitspieler zum ersten Mal defektiert und defektiert danach immer. D. h. sie kooperiert bis zum ersten Vertrauensmissbrauch. Diese Strategie ist sehr nachtragend.
7. *Gradual* (allmählich): *Gradual* kooperiert solange, bis der Mitspieler zum ersten Mal defektiert hat. Sie defektiert daraufhin einmal und kooperiert zweimal. Defektiert der Mitspieler danach nochmals, defektiert *Gradual* zweimal und kooperiert zweimal. Schließlich wird das $n - te$ Defektieren des Gegners mit n Defektionen und zwei Kooperationen beantwortet. *Gradual* kooperiert grundsätzlich, bestraft aber jeden Ausbeutungsversuch zunehmend unversöhnlicher (Beaufils u. a., 1996).
8. *Prober* (Sondierer): Die Strategie spielt die ersten drei Züge kooperieren, defektieren, defektieren. Sie defektiert fortan, wenn der Gegner im zweiten und dritten Zug kooperiert hat, sonst spielt sie *TFT*. *Prober* testet, ob sich der Mitspieler ohne Vergeltung ausnehmen lässt. Sie nimmt nicht vergeltende Mitspieler aus und passt sich bei Vergeltung an.
9. *Tester*: *Tester* defektiert im ersten Zug, um die Reaktion des Mitspielers zu prüfen. Sie entschuldigt sich, wenn der andere defektiert, mit Kooperation und spielt für den Rest des Spiels *TFT*. Andernfalls kooperiert *Tester* beim zweiten und dritten Zug, defektiert danach aber bei jedem zweiten Zug.

10. *Pavlov*: Diese Strategie kooperiert in der ersten Runde und defektiert, falls der vorherige Zug des Mitspielers anders war als der eigene. Sie kooperiert, wenn in der Vorrunde beide Spieler kooperierten oder beide defektierten. Dies führt zu einem Wechsel des Verhaltens, wenn der Gewinn der Vorrunde klein war, aber zum Beibehalten des Verhaltens, wenn der Gewinn groß war (Nowak u. Sigmund, 1993).
11. *Hard Majority*: Die Strategie kooperiert in der ersten Runde und spielt dann den meistbenutzten Zug des Mitspielers. Bei einem Unentschieden wird jedoch im Gegensatz zu *Go by Majority* defektiert.
12. *Hard TFT*: *Hard TFT* kooperiert immer, es sei denn, der Gegner hat in den letzten beiden Runden mindestens einmal defektiert (Beaufils u. a., 1998).
13. *Slow TFT*: Die Strategie kooperiert am Anfang zweimal. Wenn der Gegner dann zweimal in Folge den selben Zug gespielt hat, wird dieser Zug wiederholt (Beaufils u. a., 1998).
14. *Doubler*: Die Strategie *Doubler* kooperiert, solange die Anzahl der gegnerischen Defektionen nicht doppelt so groß ist wie die Anzahl der gegnerischen Kooperationen (O’Riordan, 2000).
15. *Soft Joss*: Diese Strategie spielt wie *TFT*, defektiert jedoch nur in 90 Prozent der Fälle einer gegnerischen Defektion.

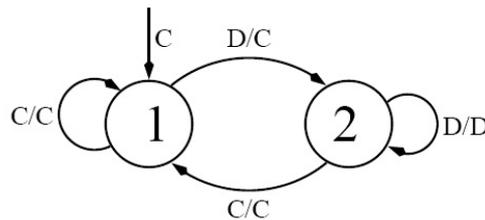


Abbildung 3.3: Viele Strategien lassen sich auch durch endliche Automaten darstellen. Hier ein Beispiel für einen Automaten, welcher die Strategie *TftT* repräsentiert. Diese Strategie defektiert nur, wenn der Gegner zweimal in Folge defektiert hat, und kooperiert sonst (Ashlock u. Kim, 2005).

3.3.2 Axelrods Eigenschaften erfolgreicher Strategien

Axelrod (2005) hat aufgrund des Abschneidens der Strategien in seinem Turnier vier Eigenschaften für erfolgreiche Strategien zusammengefasst:

- *Freundlich sein*, d. h. nie als erster defektieren. Beim ersten von Axelrod durchgeführten Computerturnier waren die ersten acht Strategien alle freundlich. Untereinander erhalten freundliche Strategien im Durchschnitt die Punktzahl von $R=3$,

weil es zu keiner Defektion untereinander kommt. Unfreundliche Strategien kommen in die Gefahr, nur jeweils $P=1$ Punkt pro Runde zu bekommen, wenn sie auf Gegner treffen, welche sich nicht ausnehmen lassen. Unfreundliche Strategien müssen also relativ häufig die maximale Punktzahl von $T=5$ für eine Ausbeutung bekommen, dies ist aber eher selten möglich. Freundliche Strategien haben die Eigenschaft, nie als erste zu defektieren, höchstens als Reaktion auf eine Defektion des Gegners zu antworten.

- *Zurückschlagen*, d. h. eine Defektion des Gegners nicht unbeantwortet lassen. Eine weitere Fähigkeit, die erfolgreiche Strategien laut Axelrod ausmacht, ist das Zurückschlagen. Inwieweit eine Strategie zurückschlägt, kann unterschiedlich sein. Eine Strategie wie *TFT* antwortet unmittelbar auf eine Defektion des Gegners im nächsten Zug. Die Strategie *TfTT* antwortet erst nach zwei unmittelbar aufeinander folgenden Defektionen des Gegners mit eigener Defektion. Die Strategie *Gradual* bestraft Defektionen zunehmend mit der Anzahl der Defektionen des Gegners.
- *Nachgiebig sein*, d. h. nach dem Zurückschlagen Kooperation wieder zulassen. Erfolgreiche Strategien sollen nachgiebig sein. Sie lassen nach dem Zurückschlagen Kooperation wieder zu, wenn der Gegner sich kooperationswillig zeigt. Die am wenigsten nachgiebige Regel (äquivalent zu *Spite*) schnitt unter den freundlichen Strategien am schlechtesten ab. Die am meisten nachsichtigen, darunter *TFT*, am besten. Die Reihenfolge unter den freundlichen Strategien wird dadurch bestimmt, wie gut sie gegen unfreundliche Strategien abschneiden. Hier spielen Nachgiebigkeit und Zurückschlagen eine große Rolle. Eine noch nachsichtigere Regel als *TFT*, nämlich *TfTT*, hätte übrigens das erste Turnier gewonnen.
- *Einfach sein*, d. h. das eigene Verhalten für den Gegner durchschaubar machen. Erfolgreiche Regeln sollen einfach sein, ihr Verhalten soll für den Gegner durchschaubar sein. Ein klar erkennbares Verhaltensmuster der eigenen Strategie kann ein kooperatives Verhalten bei der Gegenstrategie auslösen. Für die Gegenstrategie wird es leichter, die Folgen ihres Handelns abzuschätzen. Dadurch kann sie schneller zu der Einsicht gelangen, dass Kooperation langfristig vorteilhafter ist. Die Verständlichkeit einer Strategie soll bewirken, dass die Phase des gegenseitigen Abtastens schnell durch wechselseitige Kooperation ersetzt wird.

Bei den unfreundlichen Strategien wird zwischen aggressiven und unfreundlichen kooperativen Strategien unterschieden. Baranski u. a. (2006) liefern folgende Definition für aggressive Strategien.

Definition 3.3 (Aggressive Strategien). *Eine Strategie ist aggressiv, wenn sie trotz gegnerischer Bestrafung nach eigener Defektion immer wieder (zumindest zwischendurch) Defektion spielt.*

Bei aggressiven Strategien hilft es eigentlich nur, selber zu defektieren (um wenigstens $P=1$ Punkt zu bekommen), weil sonst die Gefahr besteht, ausgebeutet zu werden und

zu oft $S=0$ Punkte zu bekommen. Dies kann jedoch nur den Strategien gelingen, die zurückschlagen. Gegen unfreundliche, jedoch kooperative Strategien ist es schwieriger, eine Verhaltensempfehlung zu geben. Es kann möglich sein, nach einiger Zeit mit der Strategie zu kooperieren, um so $R=3$ Punkte zu bekommen. Es besteht jedoch auch die Gefahr, $S=0$ Punkte zu bekommen. Es wäre möglich, dass unfreundlich kooperative Strategien mit eigener Kooperation antworten, wenn sie feststellen, dass ihr Verhalten mit Defektion bestraft wird.

3.3.2.1 Überprüfung der vier Eigenschaften

Die vier Eigenschaften für erfolgreiche Strategien wurden von Axelrod auf Grundlage seiner Computerturniere entworfen. Es bleibt die Aufgabe, diese Aussagen anhand neuerer Erkenntnisse auf ihre Gültigkeit zu überprüfen. Beaufils u. a. (1996) versuchten eine Strategie zu entwickeln, die besser als *TFT* ist. Dabei entstand die Strategie *Gradual*, eine in hohem Maße erfolgreiche Strategie für das IPD, wie auch verschiedene andere Turniere bewiesen haben. Diese Strategie widerspricht Axelrods Aussage, dass komplexe Strategien nicht erfolgreich sind. Jedoch weist *Gradual* die drei weiteren Eigenschaften auf, die Axelrod empfiehlt. *Gradual* ist freundlich, zurückschlagend und nachgiebig. Der große Unterschied zwischen einer *Gradual*-Strategie und einer *TFT*-Strategie ist der Rückblick auf die vorherigen Spielzüge. Während *TFT* mit dem Wissen des letzten Zuges auskommt, nutzt *Gradual* die maximal ihr zur Verfügung stehende Historie. Beaufils u. a. (1996) beschreiben, dass *Gradual* einem natürlichen Verhalten entspricht. *Gradual* ist sehr offensiv, indem es den Gegner zur Kooperation zwingt. Nichtkooperation zahlt sich für ihn immer weniger aus, denn sie wird mit einer immer größeren Anzahl von Defektionen beantwortet. Gleichzeitig ist die Strategie sehr defensiv und möchte nicht ausgebeutet werden, deshalb wählt sie nach Ausbeutungsversuchen immer seltener die risikoreiche Kooperation, sondern beschränkt sich häufiger auf die rationale Wahl des einfachen Gefangenendilemmas, nicht zu kooperieren. Auch durch ihr Turnier zeigten Delahaye u. Mathieu (1995), dass komplexe Strategien erfolgreicher sein können als einfache Strategien. Werden die Einflüsse von *Master-Slave-Strategien* außer Acht gelassen, bestätigt die Analyse des PG474-Turniers die gewonnenen Erkenntnisse. Auch hier treffen die drei Eigenschaften für erfolgreiche Strategien zu: nachgiebig sein, freundlich sein und zurückschlagen.

3.3.3 Die Bedeutung des Umfeldes

Es gibt keine Strategie, die grundsätzlich die beste Strategie ist (Axelrod, 2005). Was das Beste ist, hängt teilweise davon ab, was der andere Spieler voraussichtlich tun wird. Ferner mag das, was der andere voraussichtlich tun wird, sehr wohl von seinen Erwartungen über das Verhalten des Partners abhängen. Es hängt immer von der Strategie des anderen ab, welche Strategie die Beste ist. Wenn ein Spieler zum Beispiel die Strategie *ALLD* spielt, ist für den Gegenspieler am besten, immer zu defektieren. Spielt der Gegenspieler jedoch *Spite*, ist es am besten niemals zu defektieren. Beispielsweise könnte *TFT* in einem Turnier, an dem sich nur aggressive Strategien beteiligen, nie gewinnen.

Wenn aber viele kooperative Strategien beim Turnier mitspielen, erreicht *TFT* eine hohe Punktzahl.

3.3.3.1 Kollektiv stabile Strategien

Inspiziert durch die Ergebnisse der Turniere stellte Axelrod weitergehende Überlegungen an. *TFT* war sowohl im *Round-Robin-Turnier* als auch in der ökologischen Umgebung sehr erfolgreich. Dies kann dazu führen, dass am Ende jeder die gleiche Strategie verwendet. Es stellt sich die Frage, ob es unter gewissen Umständen lohnend sein kann eine andere Strategie zu verwenden. Oder anders: Kann es einer anderen Strategie gelingen, in eine Population von *TFT*-Instanzen einzudringen? Dazu müsste sie gegen eine Instanz der vorhandenen Strategie mehr Punkte bekommen als diese untereinander.

Hilfreich ist hierbei der Ansatz des Evolutionsbiologen Maynard Smith (1982), der den Begriff der evolutionären Stabilität eingeführt hat. Der Ansatz beruht auf der Vorstellung der Existenz einer ganzen Population von Individuen, welche eine bestimmte Strategie verwenden (z. B. *TFT*). Ein einzelnes Individuum tritt mit einer neuen Strategie in diese Population ein. Axelrod führte hierzu den Begriff der kollektiven Stabilität ein.

Für die folgenden Theoreme, Sätze und Beweise vgl. Axelrod (2005, Kapitel. 3).

Satz 3.4 (Kollektive Stabilität). *Eine Strategie ist kollektiv stabil, wenn eine Population, bei der jedes Individuum diese Strategie benutzt, nicht von einem einzelnen Individuum, das eine andere Strategie benutzt, unterwandert werden kann.*

Mit Unterwandern ist gemeint, dass die bereits vorhandene Strategie nicht von der neuen verdrängt wird, was genau dann der Fall wäre, wenn die neue Strategie im Erwartungswert mehr Punkte erzielt als die alte.

Theorem 3.5. *Wenn ω hinreichend groß ist, existiert keine beste Strategie unabhängig von der Strategie des anderen.*

Beweis 3.6. *Gegen ALLD ist ALLD offensichtlich die beste Strategie. Gegen TFT ist ALLD aber schlecht.* □

Theorem 3.7. *TFT ist kollektiv stabil, genau dann, wenn ω groß genug wird.*

Beweis 3.8. *In einer Population von TFT-Strategien erhalten zwei TFT-Strategien bei einem Vergleich immer die Auszahlung R (=Reward) für dauerhafte Kooperation, weil keine TFT-Strategie von sich aus defektiert. Damit eine eindringende Strategie mehr Punkte erhalten kann, muss sie irgendwann defektieren, um die maximale Punktzahl T (=Temptation) in einer Runde zu bekommen. Dies würde jedoch eine TFT-Strategie im nächsten Zug mit eigener Defektion bestrafen.*

TFT ist nur dann kollektiv stabil, wenn das Spiel voraussichtlich lange genug dauert, um die Vergeltung wirksam werden zu lassen. Der discount-Faktor ω beschreibt die Wichtigkeit der Zukunft im Verhältnis zur Gegenwart: Je weniger bedeutend die Zukunft ist, desto lohnender kann es sein, in der Gegenwart einen Gewinn zu erzielen. Wenn ω groß genug ist, kann keine Strategie in eine TFT-Population eindringen. □

Theorem 3.9. *ALLD ist immer kollektiv stabil.*

Beweis 3.10. *Offensichtlich, da jede Kooperation gegen ALLD zu Punktverlust führt.* \square

In den folgenden Untersuchungen werden mehrere neue Individuen betrachtet, die in eine homogene Population gelangen.

Theorem 3.11. *Mehrere Individuen mit TFT können eine ALLD-Population unterwandern.*

Beweis 3.12. *Wenn die TFT-Strategien gegeneinander spielen, erreichen sie offensichtlich eine höhere Punktzahl als die ALLD-Strategien untereinander. Der Gesamterfolg lässt sich wie folgt berechnen: $E(\text{Punkte}_{TFT}) = P(\text{TFT vs. TFT}) \cdot E(\text{Punkte gegen TFT}) + P(\text{TFT vs. ALLD}) \cdot E(\text{Punkte gegen ALLD})$*

Sind der Anteil von TFT an der Bevölkerung und ω hinreichend groß, kann TFT erfolgreicher sein als die ALLD-Strategien. ω beeinflusst hier die Erwartungswerte $E(\dots)$ der Punkte. Der Bevölkerungsanteil entspricht den Punkten $P(\dots)$ bzw. den Wahrscheinlichkeiten, aufeinanderzutreffen. \square

Es wird untersucht, ob auch der umgekehrte Fall eintreten kann (also Unterwanderung von TFT durch ALLD).

Theorem 3.13. *Wenn TFT nicht von einem Individuum mit anderer Strategie unterwandert werden kann, dann auch nicht von mehreren.*

Beweis 3.14. *Es werden die erwarteten Punkte betrachtet:*

$$E(\text{Punkte}_{NEU}) = P(\text{NEU vs. TFT}) \cdot E(\text{Punkte gegen TFT}) + P(\text{NEU vs. NEU}) \cdot E(\text{Punkte gegen NEU})$$

Beide Komponenten sind kleiner als bei TFT: Die linke, da eine einzelne Strategie eben nicht mehr Punkte erzielt, und die rechte, weil TFT untereinander schon die Maximalpunktzahl erzielt hat (immer Kooperation). \square

Theorem 3.15. *TFT kann nicht unterwandert werden, wenn ω groß genug ist.*

Beweis 3.16. *Theorem 3.7 (TFT ist kollektiv stabil) + Theorem 3.13.*

Bei entsprechend hohem ω kann eine ALLD-Population umgedreht werden, eine TFT-Population jedoch nicht.

Fällt das subjektiv wahrgenommene ω aber klein aus, kann es sein, dass wieder eine andere Strategie besser ist. \square

3.4 Anwendungen des Gefangenendilemmas

Es gibt zahlreiche Beispiele für die Anwendung des Gefangenendilemmas. Sollen zwei Nachbarländer Zölle auf die Produkte des jeweils anderen erheben? Sollen zwei Firmen, die dasselbe Produkt herstellen, den Markt durch Absprachen untereinander aufteilen oder einander bis zum eigenen Ruin unterbieten? Sollen zwei Tierarten auf demselben

Territorium friedlich nebeneinander leben oder sich die knappen Ressourcen streitig machen?

Ein aktuelles Beispiel ist die UMTS-Versteigerung, bei der sich die gleiche Lizenz-Vergabe-Situation – mehrfach bei unterschiedlich hohen Preisen dafür – einstellte.

Ein weiteres Beispiel wäre die Regulierung der Öl-Preise durch die Förderung in den OPEC-Staaten. Zwei Staaten haben die Möglichkeit, geringe Mengen oder hohe Mengen zu fördern. Hohe Förderung führt zu einem Preisverfall, niedrige Förderung birgt aber das Risiko, bei hoher Förderung des anderen vom Markt verdrängt zu werden.

3.4.1 Bereitstellung öffentlicher Güter

Ein ganz typisches ökonomisches Problem ist die Bereitstellung öffentlicher Güter. Aufgrund der Eigenschaft der Nichtrivalität im Konsum ist es für den Einzelnen als Trittbrettfahrer lohnender, sich vor einer Beteiligung an der Finanzierung zu drücken.

Ein Dorf besteht aus nur zwei Häusern. Die Haushalte A und B überlegen beide, ihre Zufahrtsstraße zu beleuchten. Die Kosten dafür würden 100 € betragen. Die Zahlungsbereitschaft (wie viel wären A bzw. B bereit, für eine helle Zufahrt zu zahlen?) beider Hausherrn sei gleich und betrage 80 € (d. h. keiner wäre bereit, die Straßenlaterne alleine zu zahlen). Die Auszahlungen sind in Tabelle 3.3 dargestellt.

1. Wird die Beleuchtung von beiden gleichermaßen finanziert, so ist die Auszahlung für A und B jeweils 30 €
2. Zahlt nur A und B nicht, so ist der Nettonutzen von A (-20 €), der von B dagegen 80 €.
3. Zahlt keiner etwas, so ist der Nettonutzen gleich Null: A und B haben nichts gezahlt, aber auch nichts bekommen.

Tabelle 3.3: Auszahlungsmatrix für das Problem der „Bereitstellung öffentlicher Güter“

	Zahlung	Zahlung verweigern
Zahlung	30,30	80,-20
Zahlung verweigern	-20,80	0,0

Das Problem bei öffentlichen Gütern liegt darin, dass niemanden verboten werden kann, sie zu nutzen: gleich, ob sie sich an den Kosten beteiligt haben oder nicht. Dadurch entsteht grundsätzlich die Versuchung, nicht zu zahlen (das sog. Trittbrettfahrer-Problem).

3.4.2 Rüstungsabkommen

Das Wettrüsten im Kalten Krieg zwischen West- und Ostmächten stellt ein Gefangenendilemma dar. Jede Partei hat wieder zwei Möglichkeiten: abrüsten (kooperieren) oder aufrüsten (defektieren). Die Auszahlungen sind in der Tabelle 3.4 dargestellt. Eine Abrüstung ist für jede Seite von Vorteil, da die gesparten Ressourcen anderweitig genutzt

Tabelle 3.4: Auszahlungsmatrix Rüstungspolitik

	Abrüsten	Aufrüsten
Abrüsten	4,4	0,5
Aufrüsten	5,0	2,2

werden können (z. B. der Wohlfahrt zugute kommen können), ganz abgesehen von der Beseitigung der Bedrohung durch einen verheerenden Krieg. Jedoch besteht für beide Parteien die Gefahr, militärisch ins Hintertreffen zu geraten, wenn die andere Partei aufrüstet und selber abgerüstet wird. Wenn beide Parteien aufrüsten, haben sie keinen Vorteil gegenüber der anderen Partei und den Nachteil der entstehenden Kosten.

3.5 Erweiterungen des Gefangenendilemmas

3.5.1 Die Sozialstruktur der Kooperation

In vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels lagen die globalen Rahmenbedingungen des Spiels fest. Vor allem standen keine Vorabinformationen über andere Mitspieler zur Verfügung. Das Verhalten innerhalb der Interaktionen war die einzige Informationsquelle. Weiterhin wurde ein *Round-Robin-Turnier* ausgetragen. Dieser Abschnitt beruht auf Axelrod (2005, Kapitel. 5) und behandelt die Frage, inwiefern sich der Charakter des Spiels ändert, falls diese Einschränkungen aufgehoben werden.

Etikettierung Unveränderliche Merkmale wie Hautfarbe, Geschlecht oder Körpergröße werden mit Etikettierung bezeichnet. Da es vor der Interaktion wahrnehmbar ist, wird der Spieler in die Lage versetzt, Erwartungen an den künftigen Interaktionsverlauf zu stellen. Er kann ebenfalls seine Strategie aufgrund der Vorabinformation überdenken und sein Interaktionsmuster an den aktuellen Gegenspieler anpassen. Es ist klar, dass solche Zusatzinformationen den Aufbau von Vorurteilen und Stereotypen begünstigen. Sie können manchmal verheerende Folgen für beide Seiten haben. Als Gedankenspiel sei eine Welt konstruiert, in der Mitglieder derselben Gruppierung miteinander kooperieren, ansonsten jedoch „unfreundlich“ sind. Zusätzlich sei angenommen, dass innerhalb der Gesamtpopulation mehreren Gruppierungen existieren und eine ausgewählte Gruppierung die restlichen zahlenmäßig dominiert. Im übrigen ist mittels Etikettierung und der Verfeinerung ihrer Attribute sowie mit dem Zulassen einer Interaktion durch Dritte ein weiteres Konstrukt denkbar. Genannt wird es „Reputation“

Reputation Die Reputation eines Spielers äußert sich in den Vermutungen anderer über die Strategie, die der Spieler benutzt. Da sie überwiegend aus Beobachtungen der eigenen Interaktion durch Dritte entsteht, wirkt sie wie ein Schatten der Vergangenheit auf künftige Zusammentreffen. Ähnlich wie bei der Etikettierung erlaubt sie Gegnern, noch vor Beginn der Interaktionen ihre eigenen Strategien zu überdenken und den ersten Zug zu planen. Weiterhin kann Reputation als ein Mittel der Abschreckung genutzt

werden. Durch glaubwürdige Drohungen in Kombination mit einer guten Reputation kann der Gegenspieler von „unvernünftigen“ und unüberlegten Handlungen abgebracht werden. Das verfolgte Ziel ist, kooperatives Verhalten durch Androhung kostenintensiver Konflikte zu erzwingen. Von diesen Überlegungen war das Auftreten der Vereinigten Staaten gegenüber der Sowjetunion während des Kalten Krieges geleitet. Als weitere Beispiele¹ hierfür seien die Einsätze der amerikanischen Streitkräfte im Koreakrieg oder in Vietnam genannt.

Territorialität Als letzte Modifikation des Spiels regte Axelrod eine territoriale Umgebung an. Er schlug vor, die Spieler nicht mehr in einem *Round-Robin-Turnier* antreten zu lassen. Vielmehr sollten die Interaktionen auf wenige Individuen beschränkt werden. Als Vorbild schwebten ihm die Interaktion von Staaten, Vögeln oder Stämmen vor, die häufig mit ihren direkten Nachbarn interagieren. Bei Territorien kann es sich um geographisch, aber auch abstrakt definierte Räume handeln, z. B. die Einstellung eines Politikers auf der „konservativ/liberal“-Skala. Dementsprechend muss der Nachbarschaftsbegriff definiert werden. Als Verbreitungsmechanismus einer Strategie schlägt er Kolonisation bzw. Imitation vor. Das Ergebnis beider Mechanismen ist gleich: Erfolgreiche Strategien breiten sich auf Gebiete der Nachbarn aus. Es ändert sich lediglich die Deutung für den Menschen. Kolonisation kann in räumlichen Gebieten angewandt werden, wo die Stärkeren das Gebiet der Unterlegenen übernehmen während Imitation beispielsweise in der Geschäftswelt anzutreffen ist. Hierbei kann ein durchschnittliches Unternehmen die Geschäftspolitik seines erfolgreichen Nachbarn imitieren.

Axelrod selbst übertrug diese Modifikationen auf die von ihm veranstalteten Turniere. Er verteilte die Strategien zufällig auf ein großes Gitterfeld und ließ jede Strategie jeweils gegen vier direkte Nachbarn spielen. Nachdem die durchschnittliche Punktzahl aus den Interaktionen berechnet worden war, übernahm ein Gitterpunkt die Strategie des erfolgreichsten Nachbarn. Die Grafik 3.4 zeigt die Darstellung von Strategien auf einem Gitternetz.

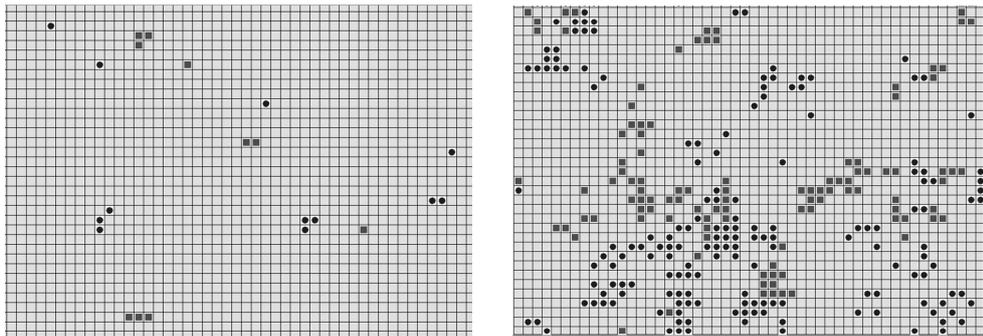


Abbildung 3.4: In einer territoriale Umgebung agieren Strategien auf einem Gitternetz (Baranski u. a., 2006).

¹todo:Ein oder mehrere??

Die Analysen brachten interessante Eigenschaften der territorialen Strukturen hervor. Die wichtigste Erkenntnis, in Anlehnung an das Theorem 3.5, ist die territoriale Stabilität von Strategien. Das abgeleitete Theorem 3.17 besagt, falls eine Strategie kollektiv stabil ist, ist sie ebenfalls territorial stabil. Mit anderen Worten ist der Schutz in territorialen Umgebungen genauso leicht wie bei zufälliger Durchmischung.

Theorem 3.17. *Wenn eine Regel kollektiv stabil ist, dann ist sie territorial stabil.*

Die Forderung nach hinreichend großem discount-Factor bleibt von dieser Modifikation jedoch unberührt. Weitere Beobachtungen haben ergeben, dass erfolgreiche Strategien des *Round-Robin-Turniers* sich in territorialen Umgebungen ebenfalls durchsetzen werden.

4 Master-Slave-Strategien

„We divided our players into a single master player and several slaves. The slaves continually defect against other players but allow the master to defect against them; in essence, the slaves sacrifice their own chances of winning but increase the masters chances of winning.“ (Nick Jennings, Universität Southampton, 2005)

In diesem Kapitel werden die *Master-Slave-Strategien* beschrieben. Diese Strategien führen eine neue Ebene der Kooperation in das IPD ein. Die Kooperation findet nicht in einem IPD-Spiel selbst, sondern auf höherer Ebene statt. Die Strategien schließen sich zu Teams zusammen und verteilen ihre Punkte beliebig untereinander. In den Jahren 2004 und 2005 wurden zwei Turniere im Rahmen der Konferenzen CEC'04 und CIG'05 durchgeführt, um das 20-jährige Jubiläum von Axelrods Turnieren zu würdigen (Kendall u. a., 2005). Die Ergebnisse des Turniers zeigten die Überlegenheit dieser neuen Strategieform. Die *Master-Slave-Strategien* der Forschungsgruppe aus Southampton belegten die ersten Plätze in beiden Turnieren und konnten sowohl *TFT* als auch *Gradual* besiegen.

Zuerst werden Koalition und Collusion (unerlaubte Zusammenarbeit) aus allgemeiner spieltheoretischer Sicht beschrieben, um dann die Ergebnisse auf das Gefangenendilemma anzuwenden. Hierbei wird der Sprung von der nicht-kooperativen zur kooperativen Spieltheorie vollzogen. Es folgen Definition und Klassifikation von *Master-Slave-Strategien*. Dabei wird ausführlich auf die Zusammenarbeit der *Master-Slave-Strategien* über die Erkennungssequenzen eingegangen. Für die sogenannten „monotonen Umgebungen“ wird bewiesen, dass *Master-Slave-Strategien* immer einen Vorteil gegenüber anderen Strategien haben. Jedoch wird gezeigt, dass der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* in der ökologischen Umgebung und einer alternativen Umgebung „Jerusalem“ für eine kleine Anzahl an Slave-Strategien deutlich reduziert werden kann.

Den Hauptteil des Kapitels bildet die experimentelle Analyse. Hier wird zuerst die Zusammenarbeit ohne Kommunikation mittels Klon-Strategien untersucht. Ein weiteres Experiment analysiert Koalitionen im IPD und bildet einen Übergang zu den *Master-Slave-Strategien*. Diese werden ausführlich in *Round-Robin-Turnieren* und der ökologischen Umgebung erforscht.

Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und die Auswirkungen von *Master-Slave-Strategien* kritisch hinterfragt.

4.1 Koalition in der Spieltheorie

Master-Slave-Strategien sind eine neue Erscheinung im IPD. Zwar sorgten die Ergebnisse der Turniere für viel Aufsehen, jedoch wird ihnen auch oft wissenschaftlicher Geist

abgesprochen. Die französischen IPD-Forscher Beaufils, Delahaye und Mathieu liefern zahlreiche Argumente, welche diese Form der Zusammenarbeit kritisieren (Beaufils u. a., 1998). Trotzdem macht der vermehrte Gebrauch von *Master-Slave-Strategien* in den letzten Turnieren eine eingehende Untersuchung erforderlich.

Deswegen ist es nötig, *Master-Slave-Strategien* in einen größeren Kontext einzuordnen. Diese schließen sich in IPD-Turnieren zu Teams zusammen. Es wird versucht, diesen Ansatz als Koalitionsbildung zu beschreiben. Da die Zusammenarbeit nicht Sinn des Gefangenendilemmas ist („Die Gefangenen werden unabhängig voneinander befragt und haben keine Möglichkeit sich abzusprechen“), wird der Begriff der „Collusion“ eingeführt, welcher unerlaubte geheime Absprachen beschreibt. Diese Arten der Zusammenarbeit sollen sich später auf das Gefangenendilemma und auf das Konzept der *Master-Slave-Strategien* übertragen lassen.

4.1.1 Koalitionsbildungen - Kooperative Spieltheorie

Die bisherigen Untersuchungen in dieser Arbeit beschäftigten sich mit der nicht-kooperativen Spieltheorie. Die nicht-kooperative Spieltheorie ist dadurch gekennzeichnet, dass keine verbindlichen Abmachungen getroffen werden können. Es gab Situationen von zwei oder mehreren Akteuren, in denen den Spielern ein rationales Verhalten und ein Eigeninteresse unterstellt wurde. Die Strategiewahl der Gegenpartei war häufig von den Auszahlungen, die sie erhalten hatten, bestimmt. Die Ergebnisse aus den vorherigen Kapiteln zeigen, dass auch in nicht-kooperativen Spielsituationen (wie dem Gefangenendilemma) Kooperation entstehen kann.

Jerger (2006); Holler u. Illing (2002) geben einen umfassenden Überblick über die kooperative Spieltheorie. In Koalitionen können bindende Absprachen getroffen werden. Eine Koalition beschreibt den Zusammenschluss von wenigstens zwei Entscheidungsträgern. Sie können ihre Aktionen untereinander absprechen und koordinieren. In der Koalition können Verhaltensweisen untereinander festgelegt werden, die möglicherweise für die gesamte Koalitionen optimal sind, individuell aber nicht die rationale vernünftige Strategiewahl sind. Das Verhalten eines Mitglieds der Koalition kann verlässlich festgelegt werden. In Anlehnung an Jerger (2006) entsteht die folgende Definition:

Definition 4.1 (Koalition). *Eine Koalition K aus einer Spielermenge N ist die Zusammenarbeit zwischen einer bestimmten Anzahl von Spielern.*

Im Gefangenendilemma können Koalitionen über Erkennungssequenzen geschlossen werden. Diese Sequenzen dienen quasi als bindende Abmachung, an die sich beide Parteien halten müssen.

Satz 4.2. *Erkennungssequenzen ermöglichen die Koalitionsbildung im IPD.*

Bilden Spieler im IPD Koalitionen, so können die Mitglieder innerhalb dieser die Punkte beliebig verteilen. Eine Möglichkeit ist, dass alle Spieler in dieser Koalition kooperieren und folglich die Auszahlung R (Reward, 3 Punkte) bekommen. Gegen alle anderen Mitglieder außerhalb der Koalition wird dann defektiert, so dass Spieler, die nicht zur Koalitionen gehören, maximal die Auszahlung P (Punishment, 1 Punkt) für beidseitige

Defektion bekommen. Diese Art der Koalitionen wird in den experimentellen Analysen in 4.4.4 dieses Kapitels untersucht.

Eine andere Möglichkeit der Punkteverteilung in einer Koalition ist es, einem Mitglied alle Punkte zu überlassen. So kooperieren alle Mitglieder der Koalitionen mit einer Strategie, die nur defektiert. Diese Strategie erhält die Auszahlung T (Temptation, 5 Punkte) und die anderen Strategien die Auszahlung S (= Sucker's Payoff, 0 Punkte). Der obige Ansatz spiegelt die Idee hinter den *Master-Slave-Strategien* wieder.

Absprachen zwischen zwei Spielern im IPD sind, wie in 3.1.1 beschrieben, nicht möglich, da die Gefangenen unabhängig voneinander verhört werden. Wie vorher beschrieben, machen Erkennungssequenzen eine Zusammenarbeit nun doch möglich. Grossmann (2004) symbolisiert diese Zusammenarbeit mit dem „Klopfen eines Codes an die Gefängniswand“, um Absprachen zu treffen. Die geheimen Absprachen können als „Collusion“ bezeichnet und in Anlehnung an Bowles (1999) folgendermaßen definiert werden:

Definition 4.3 (Collusion). *„Collusion is two or more players acting with a secret, common strategy.“*

Collusion ist eine Form des Betrügens, der oft eine geheime Absprache zugrunde liegt. Die Spieler arbeiten in einem Team zusammen, um so einen Vorteil gegenüber den anderen Spielern zu bekommen.

4.1.1.1 Beispiele für Koalitionen, Collusionen und Anwendungen des Master-Strategien-Prinzips

Die folgenden Beispiele sollen die Art der Zusammenarbeit weiter motivieren.

Poker Das Kartenspiel Poker ist ein geeignetes Beispiel für Collusion zwischen Spielern. Geheime Absprachen waren lange Zeit eine Taktik in der Poker-Gemeinschaft. Collusion in Poker-Turnieren kann auf die Art geschehen, dass Spieler ihre Spielchips (ihr Geld) einem anderen Spieler zuspülen. Es kann in einem Poker-Turnier immer geschehen, dass ein Spieler einen schlechten und ein anderer Spieler einen glücklichen Tag hat. So kommt es vor, dass manchmal Spieler schnell ausscheiden und ein anderer Spieler seine gesamten Chips bekommt. Dadurch verliert zwar ein Spieler seine gesamten Chips, der andere Spieler erhöht seine Siegchancen durch die zusätzlichen Chips jedoch erheblich. So ist es möglich, dass die beiden Spieler am Ende zusammen einen viel größeren Gewinn erringen können. Im Online-Poker kann Collusion bspw. über Telefon oder Instant Messenger geschehen. Die Spieler können sich über ihre Karten austauschen, ohne dass andere dies mitbekommen. Es wäre ebenfalls möglich, dass ein Spieler mehrere Computer benutzt und unter verschiedenen Namen agiert.

Fussball In Fussballspielen gibt es geheime Absprachen, damit genau das Ergebnis erzielt wird, das für beide Parteien von Vorteil ist. Auch eine Niederlage einer Mannschaft kann für diese oft von Vorteil sein, wenn die Niederlage nicht zu hoch ausfällt. Hier kann auf den Vorfall „Der Nichtangriffspakt von Gijon“ verwiesen werden, d. h. auf das

Skandalspiel am 25. Juni 1982 zwischen den Fußball-Nationalmannschaften aus der Bundesrepublik Deutschland und Österreich im abschließenden Gruppenspiel der Vorrunde der Fußball-Weltmeisterschaft 1982 in Spanien. Beide Mannschaften wussten bereits vor Beginn des Spiels, dass ihnen ein knapper Sieg des deutschen Teams zum Einzug in die Zwischenrunde reichte. Entsprechend endete das Spiel 1:0 für Deutschland.

Beispiele für Anwendung des Master-Strategien-Prinzips

- Ein Beispiel wären die sogenannten „Wasserträger“ im Fahrradrennen. Der Kapitän eines Teams wird von den anderen Fahrern des Teams unterstützt. Sie fahren vor ihm und gewähren ihm durch den Windschatten die Möglichkeit, Kraft zu sparen, um diesen Vorteil zum Ende zu nutzen und die Siegchancen zu erhöhen.
- Auch in der Natur gibt es Beispiele für Aufopferung von vielen für eine übergeordnete Partei, z. B. bei Bienen- oder Ameisenvölkern.

4.2 Das Arbeitsprinzip von Master-Slave-Strategien

4.2.1 Beschreibung des Ansatzes

In den Jahren 2004 und 2005 wurden zwei Turniere im Rahmen der Konferenzen CEC'04 und der CIG'05 durchgeführt (Kendall u. a., 2005). Diese Turniere fanden im Rahmen des 20-jährigen Jubiläums der Original-Turniere von Axelrod statt.

Die Ergebnisse der Turniere sorgten jedoch für mehr Aufsehen als erwartet. Es konnten nicht die klassischen erfolgreichen Strategien für das IPD wie *TFT* oder *Gradual* die ersten Ränge belegen, sondern eine anscheinend neue Art von Strategien. Dies waren die *Master-Slave-Strategien*. Nick Jennings, Gopal Ramchun und ihr Team von der Universität Southampton entwickelten ein System, um andere Strategien zu schlagen. Sie nutzen die Möglichkeit, mit mehreren Strategien an dem Turnier teilzunehmen. Diese Strategien konnten sich untereinander erkennen. Dabei teilten sie ihre Strategien in zwei Gruppen auf. Die Master-Strategien defektieren gegen die Slave-Strategien, um so die maximale Anzahl von Punkten zu bekommen. Jede Slave-Strategie kooperiert mit der zugehörigen Master-Strategie und erhält keine Punkte. So konnten die Slave-Strategien den Master-Strategien Punkte „schenken“, um diese auf die vorderen Plätze zu befördern. In dem ersten Turnier im Jahre 2004 (CEC) sendeten sie 60 Strategien ein (von insgesamt 223). Dadurch konnte das Team aus Southampton die ersten drei Plätze belegen (und außerdem sehr viele der unteren Plätze).

Master-Strategie und Slave-Strategie spielen eine Erkennungssequenz, um die Zusammenarbeit zu koordinieren. Würden die Slave-Strategien einfach immer nur kooperieren, so könnten auch die anderen Strategien, die nicht zu der Gruppe gehören, diese ausnutzen. Eine einfache Art der Erkennung wäre z. B., wenn beide Strategien am Anfang ein Muster aus Kooperation, Defektion, Defektion und Kooperation spielen würden (CDDC). Als Erkennung kann jedoch nur die Folge von Kooperationen und Defektionen

im aktuellen Spiel dienen. Auf Informationen aus früheren Spielen haben die Strategien keinen Zugriff. Die Erkennung kann entweder einseitig oder auch beidseitig sein: Im letzteren Fall würden sich Master- und Slave-Strategien gegenseitig erkennen.

4.2.2 Formale Definition von *Master-Slave-Strategien*

Eine formale Definition von *Master-Slave-Strategien* ist bisher noch nicht beschrieben worden. Baranski u. a. (2006) geben erstmals eine informelle Beschreibung der Arbeitsweise. Diese soll hier präzisiert werden.

Es gibt verschiedene Implementierungsmöglichkeiten für *Master-Slave-Strategien*. Vor allem das Verhalten gegenüber Strategien, die nicht zur eigenen Gruppe gehören, kann wie 4.2.3 zeigt, sehr verschieden sein. Die grundlegenden Eigenschaften von *Master-Slave-Strategien* können jedoch auf drei verschiedene Faktoren reduziert werden, was zur folgenden Definition führt.

Definition 4.4 (*Master-Slave-Strategien*). *Master-Slave-Strategien sind vollständig beschrieben durch:*

1. die gespielte Erkennungssequenz EKS und die Auszahlung $E_{Erkennung}$ für die Dauer e der Erkennungssequenz.
2. das Defektieren der Master-Strategie gegen die Slave-Strategie, wobei die Master-Strategie für ein Spiel über n Runden folgende Auszahlung E_{Master} erhält:

$$E_{Master} = E_{Erkennung} + T \cdot (n - e)$$

3. das Kooperieren der Slave-Strategie mit der Master-Strategie, wobei die Slave-Strategie für ein Spiel über n Runden folgende Auszahlung E_{Slave} erhält:

$$E_{Slave} = E_{Erkennung} + S \cdot (n - e)$$

4.2.3 Klassifikation von *Master-Slave-Strategien*

Innerhalb der eigenen Gruppe ist das Verhalten von *Master-Slave-Strategien* klar definiert. Die Slave-Strategien kooperieren mit den Master-Strategien und die Master-Strategien defektieren gegen die Slave-Strategien. Jedoch können sich Master-Strategien und Slave-Strategien in ihrem Verhalten gegenüber den Mitgliedern einer anderen Gruppe erheblich unterscheiden. Es stellt sich die Frage, welches Verhalten gegenüber den anderen Strategien sinnvoll ist. Die offiziellen Berichte über die Turnierergebnisse von der CEC'04 gehen von einem klar destruktiven Verhalten von den Master-Strategien und den Slave-Strategien gegen Mitglieder der anderen Gruppen aus: Es wird gegen alle anderen Strategien, die nicht zur eigenen Gruppe gehören, defektiert (Grossmann, 2004). Dies soll dazu führen, dass die Strategien aus anderen Gruppe möglichst wenig Punkte bekommen. Im Umkehrschluss führt dies jedoch auch dazu, dass eine Master-Strategie weniger Punkte bekommt als möglich wären. Daraus ergibt sich die erste Einteilung der Master-Strategien in die Gruppe der defektierenden Master-Strategien:

Definition 4.5 (Defektierende Master-Strategien). *Die Master-Strategie defektiert gegen alle anderen Strategien, die nicht zu ihrer Gruppe gehören.*

Das Ziel der Master-Strategien soll sein, die höchste Punktzahl zu erreichen, um den ersten Platz zu belegen. Jedoch verliert die Master-Strategie bei ständiger Defektion gegen Strategien einer anderen Gruppe mehr Punkte als sie erzielen könnte. Die Strategie *ALLD* ist in IPD-Turnieren eine eher schlechte Strategie. Spielen solche Master-Strategien gegen eine *TFT*-Strategie bekommen sie lediglich

$$E = T + \sum_{i=1}^{\infty} w^i P = T + wP \sum_{i=0}^{\infty} w^i = T + wP \cdot \frac{1}{1 - \omega}$$

Punkte. Mit ständiger Kooperation wäre aber gegen eine *TFT*-Strategie eine viel höhere Punktzahl möglich, nämlich

$$E = \sum_{i=0}^n w^i \cdot E_{i+1} = R \cdot \frac{1}{1 - \omega}$$

für ständige Kooperation.

Es ist sinnvoll für eine Master-Strategie, eine andere, alternative Strategie als *ALLD* gegen die Mitglieder einer anderen Gruppe zu spielen. Möglich ist es bspw., eine Alternativstrategie wie *TFT* oder *Gradual* zu spielen. Dies hat zur Folge, dass eine Master-Strategie mit *TFT*-Alternativstrategie genauso gut abschneidet wie eine herkömmliche *TFT*-Strategie, nur dass sie noch zusätzlich den Bonus der Slave-Strategien bekommt.

Definition 4.6 (Kooperative Master-Strategien). *Die Master-Strategie spielt eine alternative kooperative Strategie (z. B. *TFT* oder *Gradual*), um so die Punktzahl zu erhöhen.*

Slave-Strategien defektieren üblicherweise gegen alle anderen Strategien, außer der zugehörigen Master-Strategie. Sie verfolgen nicht das Ziel einen der vorderen Ränge zu belegen. So können sie neben der Unterstützung der Master-Strategie den anderen Strategien schaden, weil diese von den Slave-Strategien nur P ($=1$ Punkt) pro Runde bekommen können.

Definition 4.7 (Defektierender Slave). *Die Slave-Strategie lässt sich von der Master-Strategie ausbeuten und defektiert gegen alle anderen Strategien.*

Es stellt sich die Frage, ob es sinnvoll sein kann, nicht gegen die andere Strategie zu defektieren. Dies kann in Turnierumgebungen wie der ökologischen Umgebung von Vorteil sein. Die kooperativen Slave-Strategien können länger als die defektierenden Slave-Strategien überleben. Die Unterstützung für die Master-Strategie ist jedoch auch geringer, weil sie die anderen Strategien weniger schädigen. Trotzdem kann dies in manchen Fällen für eine Master-Strategie von Vorteil sein. Kooperative Slaves sind schwieriger zu erkennen, da sie nicht automatisch auf den letzten Plätzen zu finden sind.

Definition 4.8 (Kooperative Slave-Strategien). *Die Slave-Strategie lässt sich von der Master-Strategie ausbeuten und spielt eine alternative kooperative Strategie (z. B. *TFT* oder *Gradual*) gegen die anderen Strategien.*

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass *Master-Slave-Strategien* mit einer kooperativen Master-Strategie und einer defektierenden Slave-Strategie spielen. Die Analyse des IPD-Turniers der PG474 der Universität Dortmund zeigte, dass neun von zehn Strategien auf genau diese Art implementiert wurden (Baranski u. a., 2006). Nur eine der *Master-Slave-Strategien* hatte eine kooperative Slave-Strategie. *Master-Slave-Strategien* mit defektierender Master-Strategie wurden nicht implementiert.

Abschließend soll bewiesen werden, dass defektierende *Master-Slave-Strategien* in der ökologischen Umgebung nicht erfolgreich sein können.

Satz 4.9 (Aussterben von *Master-Slave-Strategien*). *In einer Population aus*

- *Master-Slave-Strategien mit defektierender Master- und Slave-Strategie und*
- *TFT-Strategien*

sterben die Master-Slave-Strategien in der ökologischen Umgebung aus, sobald die Population der TFT-Strategien die gleiche Größe hat.

Beweis 4.10 (Aussterben von *Master-Slave-Strategien*). *Sei $t \in [0, 1]$ der Bevölkerungsanteil der TFT-Strategien und $m = 1 - t$ der Anteil der Master-Slave-Strategien. Die Punkte einer TFT-Strategie E_{TFT} betragen:*

$$E(P_{TFT}) = t \cdot E(P_{TFTvsTFT}) + m \cdot E(P_{TFTvsMSS})$$

Die Punkte einer Master-Slave-Strategie betragen:

$$E(P_{MSS}) = q \cdot (E(P_{MSSvsTFT}) + m \cdot E(P_{MSSvsMSS}))$$

Durch Einsetzen der Werte für die erwarteten Auszahlungen ergibt sich:

$$E(P_{TFT}) = t \cdot R + m \cdot P \text{ (bzw. } S \text{ in Runde 1)}$$

und

$$E(P_{MSS}) = q \cdot P \text{ (bzw. } T \text{ in Runde 1)} + m \cdot \frac{(T + S)}{2}$$

Falls der discount-Faktor ω hinreichend groß ist, fallen die Terme aus Runde 1 heraus.

Bei $m = t$ erreichen die TFT-Strategien mehr Punkte als die Master-Slave-Strategien und sind somit in der nächsten Generation häufiger vertreten. \square

4.2.4 Southampton und *Master-Slave-Strategien*

Es gibt bislang wenig Informationen darüber, wie die *Master-Slave-Strategien* im IPD-Turnier 2004 (CEC'04) tatsächlich zusammengearbeitet haben. In den Berichten wird von defektierenden Slave-Strategien und defektierenden Master-Strategien ausgegangen (Grossmann, 2004). Wie bereits beschrieben, ist dieses Verhalten aber wenig sinnvoll. Rogers (2006) berichtet in persönlichem Kontakt über die Arbeitsweise der Southampton *Master-Slave-Strategien*:¹

¹Alex Rogers ist Mitarbeiter der Universität Southampton unter Nick Jennings. Er berichtete per E-Mail über die Arbeitsweise der *Master-Slave-Strategien* und die Implementierung der Universität Southampton.

Question: „Did the masters defect all other players except their own group?“

Answer Alex Rogers: „No, the masters had a default strategy (we used *TFT*) that they played against opponents who they did not recognise as members of their group.“

Question: „Did the slaves defect all other players except their own group? Did they cooperate with the other slaves?“

Answer Alex Rogers: „Yes, the slaves defected against all other players but cooperated against other slaves and the master.“

Wie vermutet spielten die *Master-Slave-Strategien* des Southampton Teams mit kooperativen Master-Strategien und defektierenden Slave-Strategien.

4.2.4.1 Erkennungssequenzen

Ein Hauptbestandteil von *Master-Slave-Strategien* sind die Erkennungssequenzen, durch welche eine Zusammenarbeit erst ermöglicht wird. Die Art der Erkennungssequenzen kann äußerst unterschiedlich sein. Die einfachste Art der Erkennungssequenz wäre, wenn beide Parteien zu Beginn des Spiels eine identische Zugreihenfolge spielen (z. B. CDDD-CDDC), die möglichst unwahrscheinlich ist (d. h. vor allem von keiner der Standardstrategien gespielt wird). Stimmen die Muster überein, haben sich die Strategien erkannt und die Slave-Strategie lässt sich von der Master-Strategie ausbeuten. Tabelle 4.1 zeigt diese einfache Art der Erkennung.

Tabelle 4.1: Eine einfache Erkennungssequenz. Master-Strategie und Slave-Strategie spielen zu Beginn ein identisches Muster. Nach der Erkennung lässt sich die Slave-Strategie (ständige Kooperation ab Runde 8) von der Master-Strategie (ständige Defektion ab Runde 8) ausbeuten.

Runde	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...
Zug (Master)	C	D	D	D	C	D	D	C	D	D	D	D	D	D	...
Zug (Slave)	C	D	D	D	C	D	D	C	C	C	C	C	C	C	...

Master-Strategie und Slave-Strategie können auch zwei unterschiedliche Erkennungssequenzen spielen. Spielt die Master-Strategie jedoch von Beginn an eine Erkennungssequenz, hat dies zur Folge, dass die Master-Strategie wenigstens einmal defektieren muss. Eine einmalige Defektion kann jedoch gegen Strategien wie z. B. *Spite* schon zu Beginn des Spiels zu beidseitiger Defektion führen. Die Master-Strategie verliert in diesem Vergleich unnötig Punkte.

Um eine Slave-Strategie zu erkennen, muss jedoch nicht zwangsläufig die Master-Strategie Defektionen in der Erkennungssequenz spielen. Es muss nur die Slave-Strategie eine Erkennungssequenz spielen, damit die Master-Strategie diese erkennt. Erst wenn die Master-Strategie die Slave-Strategie erkannt hat, spielt auch die Master-Strategie eine eigene Erkennungssequenz. Haben sich Master und Slave erkannt, wechselt der Master

zur ständigen Defektion. Ausnahme ist, wenn die Slave-Strategie einen nicht vorgesehenen Zug spielt, sich also zu einem späteren Zeitpunkt des Spielverlaufs gar nicht als die passende Slave-Strategie herausstellt. Analog dazu wechselt eine Slave-Strategie in einen Modus der ständigen Kooperation, zumindest bis die vermeintliche Master-Strategie einen Zug macht, der nicht vorausgesehen wurde.

Es wird nicht ausgeschlossen, dass der Master zur Erkennung bspw. einfach *TFT* spielt und dann in einer bestimmten Runde anfängt zu defektieren, falls der Gegenspieler sich nicht durch unpassende Züge verrät. Die Strategie, welche das IPD-Turnier der PG474 gewinnen konnte, nutzte diese Art der Erkennungssequenz (Baranski u. a., 2006). Die Speicherung der Erkennungssequenz dieser Strategie ist exemplarisch im Listing 4.1 aufgezeigt. Der Code der Zugberechnung ist im Listing 4.2 dargestellt.

Listing 4.1: Beispiel einer Erkennungssequenz anhand der Gewinnerstrategie des IPD-Turniers der PG474 im Jahre 2005.

```
public void reset() {
    Sklave = true;
    Sklavencode = new int [20];
    Meistercode = new int [6];
    Meistercode [0] = 0;
    Meistercode [1] = 1;
    Meistercode [2] = 0;
    Meistercode [3] = 0;
    Meistercode [4] = 1;
    Meistercode [5] = 0;
    Sklavencode [0] = 1;
    Sklavencode [1] = 1;
    Sklavencode [2] = 0;
    Sklavencode [3] = 1;
    Sklavencode [4] = 0;
    Sklavencode [5] = 1;
    Sklavencode [6] = 1;
    Sklavencode [7] = 1;
    .....
}
```

Listing 4.2: Zugberechnung der Gewinnerstrategie des IPD-Turniers der PG474 im Jahre 2005.

```
public int getMove(int lastOpponentMove) {
    Runde++;
    if (Runde < 21) {
        if (lastOpponentMove != Sklavencode [Runde - 1]) Sklave = false;
        if (Runde > 6) {
            if (Sklave) {
                if (Runde < 13) return (Meistercode [Runde - 7]);
                else return (DEFECT); }
            else return lastOpponentMove; }
        else return lastOpponentMove;
    }
}
```

4.2.5 Erkennung von *Master-Slave-Strategien*

Soll ein IPD-Turnier veranstaltet werden, kommt die Frage auf, ob Kooperation zwischen Master und Slave erlaubt werden soll oder nicht. IPD-Turniere teilen sich somit in zwei Bereiche, einmal mit Koalition unter Strategien, einmal ohne diese. Sollen *Master-Slave-Strategien* zugelassen sein, ist eine Beschränkung auf eine bestimmte Anzahl von Strategien pro Teilnehmer anzuraten, um das Turnier nicht allein durch die Anzahl der Slave-Strategien dominieren zu lassen.

Sind Koalitionen unter Strategien nicht zugelassen, tritt das Problem auf, dass der Gebrauch von *Master-Slave-Strategien* wegen fehlender Kontrollmöglichkeiten in einem öffentlichen IPD-Turnier nicht organisatorisch unterbunden werden können.

Als Reaktion auf die Ergebnisse des ersten Turniers im Rahmen des der CEC' in 2004 änderten die Veranstalter die Regeln so weit ab, dass ein Maximum von 20 Strategien pro Spieler im neuen Turnier auf der CIG' 2005 erlaubt war. Die Art und Weise, wie dies geschehen sollte, wurde jedoch nicht aufgezeigt. Der Regeltext sieht folgendermaßen aus (Kendall u. a., 2005):

„We define a player as a strategy that knowingly colludes with another strategy. Therefore, person X enters a strategy and so does person Y, but the strategies collude, then we consider this as one player - even if the entries are submitted under different strategy names, using different EMAIL addresses, from opposite sides of the world. We realise that proving this might be difficult, but you know the rules and, if we find out you are cheating then we will eliminate you from the competition. The scoring will remain the same (i.e. a summation of all your scores), but we will also carry out another calculation whereby we average the score across all your strategies (e.g. you submit 10 strategies, we sum all their scores and divide by 10). However, the original method will determine the winner for competition 1.“

Das von der PG474 veranstaltete Turnier zeigte, dass es auf organisatorischem Weg kaum möglich ist, ein Zusammenwirken von Strategien in einer Master-Slave-Beziehung zu verhindern. Der Regelzusatz, nur zwei Strategien pro Teilnehmer zuzulassen, wurde von einigen Teilnehmern versucht zu hintergehen. Das Herausfiltern von „Betrügnern“ hat sich schon bei der geringen Anzahl von Einsendungen als äußerst schwierig dargestellt.

Es bleibt die Möglichkeit, im Turnierverlauf selbst zu erkennen, welche Strategien *Master-Slave-Strategien* sind. Wegen variabler Erkennungssequenzen und nichtdeterministischen Verhaltens können diese jedoch kaum von anderen Strategien unterschieden werden. So können z. B. Erkennungssequenzen nicht zusammenhängend (bspw. Erkennungszeichen auf Position 7, 12, 55, 176, ...) oder auch zufallsabhängig sein. Master und Slave erkennen sich vielleicht nicht immer, die Wahrscheinlichkeit aber ist so groß, dass trotzdem eine Kooperation stattfindet. Denkbar wären hier auch gänzlich verschiedene Erkennungssequenzen, von denen eine per Zufall gewählt wird. Der zugehörige Master bzw. Slave kennt aber jede mögliche gespielte Erkennungssequenz und erkennt diese auch. Umgekehrt erkennt der Slave nach demselben Prinzip auch den Master. Bei solch einer Vorgehensweise gibt es zu der Spielrundenanzahl exponentiell viele, potentielle Erken-

nungssequenzen und ein unabhängiger „Schiedsrichter“ hat hier keine Möglichkeit mehr, eine Zusammenarbeit an einer speziellen Erkennungssequenz zu erkennen.

4.3 Wie kann der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* eliminiert werden?

4.3.1 Unmöglichkeit, das Problem exakt zu lösen

Wenn *Master-Slave-Strategien* nicht erlaubt werden sollen, ist anfangs unbekannt, welche Strategien nach dem Master-Slave-Prinzip spielen und welche nicht. Idealerweise sollten alle Strategien die gleichen Chancen haben, unabhängig davon, ob sie von einem Slave unterstützt werden oder nicht.

Das Problem ist, eine Bewertung aller Strategien durchzuführen, so dass jede Master-Strategie so bewertet wird wie dieselbe Strategie ohne zugehörige Slaves. Es ist jedoch in einer großen Klasse von Turnierumgebungen nicht möglich, den Vorsprung der Master beweisbar auf 0 zu senken.

4.3.2 Monotone Turnierumgebungen

Sämtliche erreichten Punkte einer Turnierrunde sind üblicherweise positiv. Die Punkteberechnung erfolgt im Verlauf einzelner Turnierrunden additiv. Zur Hilfe für die weitere Analyse wird die Klasse der „monotonen Turnierumgebungen“ definiert (Baranski u. a., 2006).

Definition 4.11 (monotone Turnierumgebung). *Eine Turnierumgebung für das IPD wird als monoton bezeichnet, wenn die folgenden Bedingungen gelten:*

1. *Alle Punkte aus Spielen, die in die Gesamtwertung eingehen, sind positiv und werden nach der Standard-Auszahlungsmatrix berechnet.*
2. *Die berechneten Punkte werden mit einer streng monotonen Funktion f gewichtet und gehen dann so in die Gesamtpunktzahl ein, dass diese auch streng monoton wächst.*

Bei monotonen Turnierumgebungen entwickeln sich die Punkte über die Turnierrunden damit streng monoton wachsend. Insbesondere enthält diese Klasse alle Turnierumgebungen, die wie die Axelrodumgebung bei positiver Punktevergabe additiv sind.

4.3.2.1 Ein negatives Resultat für alle monotonen Umgebungen

In monotonen Umgebungen ist es nicht möglich, einen Master immer so abschneiden zu lassen wie dieselbe Master-Strategie ohne Slaves. Der Master wird hier zumindest anfangs einen Vorsprung durch seine Slaves erhalten und diesen dann wegen der monoton wachsenden Punkteberechnung auch behalten. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass eine Turnierumgebung, die den Vorsprung von *Master-Slave-Strategien* restlos tilgen möchte, nicht monoton sein darf. Das erscheint jedoch unnatürlich, da schon erreichte

Punkte einer Strategie im weiteren Verlauf wieder zurückgenommen werden müssten. In monotonen Umgebungen ist es notwendig, das Problem etwas umzuformulieren: In jeder monotonen Turnierumgebung steigt die Gesamtpunktzahl streng monoton an. Es wird eine Turnierumgebung gesucht, die den Vorsprung einer Master-Strategie durch seine Slaves so weit wie möglich minimiert, denn eliminierbar ist dieser Vorsprung nicht. In Bezug auf kooperative Slaves wird das Problem schwieriger, da die Slave-Strategien sich nur noch marginal von normalen Strategien unterscheiden. Es lässt sich aber vermuten, dass eine gute Turnierumgebung auch für kooperative Slave-Strategien gut geeignet ist.

Satz 4.12 (monotone Turnierumgebung). *Eine Turnierumgebung, die monoton ist, kann Master-Strategien nicht auf schlechtere Ränge verweisen als nicht-Master-Strategien.*

Beweis 4.13 (monotone Turnierumgebung). *Gegeben ist eine Menge von Strategien. In der gewählten Turnierumgebung gibt es unter diesen mindestens einen Gewinner. Zu dieser Strategiemenge wird eine Slave-Strategie hinzugefügt, welche eine feste Erkennungssequenz spielt. Sie kooperiert, wenn sie eine zugehörige Master-Strategie erkennt. Ansonsten defektiert sie. Die bisher beste Strategie wird zu einer Master-Strategie erweitert. Die Master-Strategie defektiert nach der Erkennung gegen die Slave-Strategie und spielt sonst wie im vorherigen Turnier. Hieraus resultiert, dass eine Strategie existiert, welche gegen alle anderen Gegner genau so gut wie die sonst beste Strategie ist, aber mit der Slave-Strategie mehr Punkte erzielt. Daher ist diese neue Master-Strategie auf dem ersten Platz. Sollte die Slave-Strategie in einer beliebigen monotonen Turnierumgebung irgendwann ausscheiden, hat die Master-Strategie wenigstens den Vorteil aus einem Vergleich mit der Slave-Strategie. Dieser Vorteil entscheidet über den Sieg in allen denkbaren monotonen Turnierumgebungen.* □

4.3.3 Neue Umgebungen für das IPD

Um festzustellen, wie erfolgreich Strategien im IPD sind, wurde sich in den meisten Fällen auf einen paarweisen Vergleich der Strategien beschränkt. In diesen *Round-Robin-Turnieren* wurden am Ende einfach die Punkte aus allen Spielen aufaddiert, wodurch sich eine Reihenfolge unter den Strategien ergab. Erfolgreiche Strategien für eine Variante dieses *Round-Robin-Turniers* zeigen jedoch oft schon Schwächen gegen nur kleine Modifikationen dieser Umgebungsart. Dies hängt insbesondere von den anderen beteiligten Strategien ab. Die Turniere im Rahmen der Konferenzen CEC'04 und der CIG'05 wurden ebenfalls als *Round-Robin-Turniere* durchgeführt mit dem bekannten Problem als Ergebnis. Sinnvoll scheint es deshalb, sich mit anderen Formen der Turnierumgebung zu beschäftigen. Obwohl bewiesen wurde, dass sich der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* in monotonen Umgebungen nicht eliminieren lässt, ist es vielleicht möglich, ihn signifikant zu reduzieren. Axelrod (2005) führte mit der ökologischen Umgebung eine interessante Alternative zu den *Round-Robin-Turnieren* ein. Außerdem sind andere Turnierumgebungen denkbar wie Systeme in diversen Sportarten, z. B. das K.o.-System.

Die Turnierform beschreibt den Aufbau eines Turniers, dessen Ziel es ist, den besten Spieler, Sportler, das beste Team etc. zu ermitteln.

Bei vielen Sportarten ist ein Vergleich der Leistungen sehr einfach, z. B. Marathonlauf: Alle Teilnehmer gehen zugleich an den Start, durch die Reihenfolge des Eintreffens im Ziel ist die Rangfolge gegeben. Die Zeitmessung ist prinzipiell nicht einmal notwendig. Durch diesen objektiven Maßstab lassen sich sogar Leistungen, die zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Orten erbracht wurden, miteinander vergleichen.

Die Möglichkeit, alle Teilnehmer zugleich gegeneinander antreten zu lassen, ist jedoch vielfach nicht gegeben: Auch kann die Leistung oft nicht objektiv gemessen werden, sondern nur relativ zu den Gegnern (Fußball, Tennis, Schach, Bridge, ...); und so kann der beste Spieler (die beste Mannschaft) nur durch ein Turnier, bestehend aus mehreren Vergleichskämpfen, ermittelt werden.

Hirshleifer u. Coll (1988) präsentieren eine Umgebung, in der Strategien aus dem Turnier ausscheiden können. Wird diese Art des klassischen K.o.-Systems aber mit der *Round-Robin*-Variante verglichen, zeigt sich, dass sich hier keine Kooperation etablieren kann. Eine immer defektierende Strategie (*ALLD*) ist dominant und kann keinen Paarvergleich verlieren, wodurch sie immer siegreich ist. Deswegen macht diese Umgebung für IPD-Turniere keinen Sinn.

Eine andere mögliche Turnierumgebung ist die ökologische Umgebung von Axelrod. Die Idee dahinter ist an eine natürliche Auslese angelehnt. Erfolgreiche Strategien vermehren ihren Populationsanteil und schlechte Strategien sterben mit der Zeit aus. Dies würde für *Master-Slave-Strategien* bedeuten, dass mit der Zeit die *Slave-Strategien* ihren Anteil an der Population verlieren, weil sie durch ihre ständige Defektion wenig Punkte bekommen. Sie können theoretisch ihren Master nicht lange unterstützen.

4.3.4 *Master-Slave-Strategien* in der ökologischen Umgebung

Die Ergebnisse des Turniers der PG474 wurden in der ökologischen Umgebung überprüft. Es wurde untersucht, inwieweit sich der Vorsprung von *Master-Slave-Strategien* im Vergleich zum *Round-Robin-Turnier* verringert. Dazu wurde das Abschneiden der zehn Master-Strategien in dem Turnier untersucht. Sie wurden von jeweils einer *Slave-Strategie* unterstützt. In der Abbildung 4.1 ist das Abschneiden aller 62 Strategien in der ökologischen Umgebung dargestellt. Es gewinnen wie im *Round-Robin-Turnier* ebenfalls *Master-Slave-Strategien*. Jedoch stellt sich nach einer gewissen Anzahl von Generationen ein Gleichgewicht ein und alle Strategien kooperieren nur noch untereinander. Die Master-Strategien können ihren Vorsprung nicht mehr ausbauen. D. h. alle Strategien bleiben in ihren Bevölkerungsanteilen asymptotisch konstant. Durch den Anfangsvorsprung wurden die Master-Strategien immer als Sieger gekürt. Die ökologische Umgebung kann jedoch den Vorsprung der *Master-Slave-Strategien* deutlich reduzieren im Vergleich zum *Round-Robin-Turnier*.

Abbildung 4.2 zeigt die Platzierungsdifferenzen in der ökologischen Umgebung zum *Round-Robin-Turnier*. Acht Master-Strategien verschlechterten sich. Eine gute Strategie bleibt auch ohne die Unterstützung einer *Slave-Strategie* erfolgreich.

Fazit: Die ökologische Umgebung ist eine zu empfehlende Turnierform. Es kann der Vorteil von Master-Slave-Strategien reduziert werden. Jedoch kann, wie in allen monotonen Umgebungen, der Vorteil nicht komplett eliminiert werden. Werden Master-

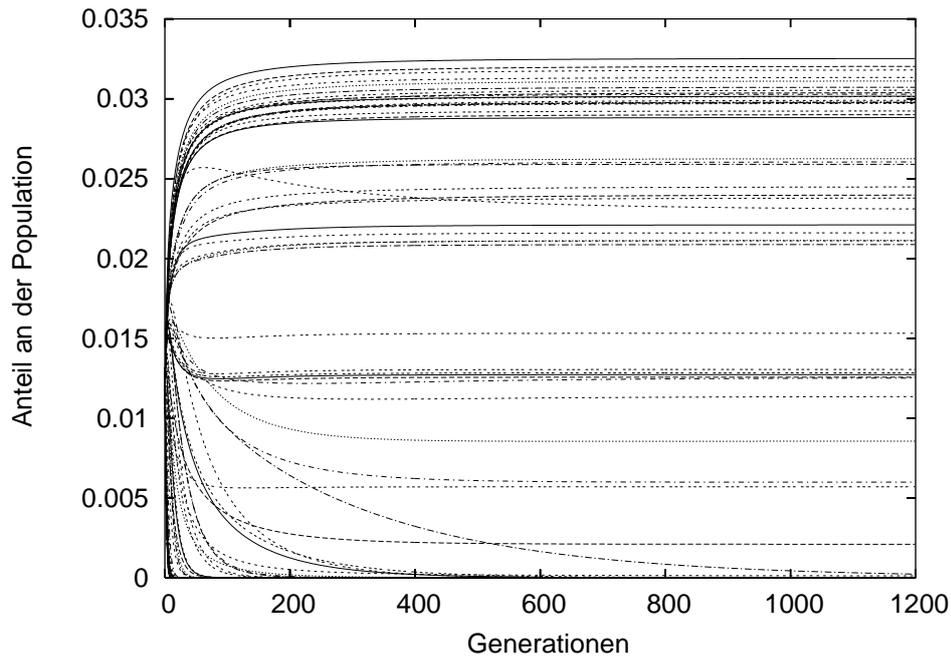


Abbildung 4.1: Die Wiederholung des PG474-Turniers in der ökologischen Umgebung. Nach 1200 Generationen stellt sich ein Gleichgewicht ein und es gibt keine Änderungen mehr in der Population. Die ersten Plätze werden von Master-Strategien belegt, diese können jedoch nur von ihrem Anfangsvorsprung durch ihre Slave-Strategien profitieren. Der Vorteil von den Master-Strategien ist wegen der vielen teilnehmenden Strategien nicht so deutlich.

Strategien von vielen Slave-Strategien unterstützt, kann der Vorteil nicht mehr deutlich reduziert werden.

4.3.5 Die Jerusalem-Umgebungen

Die PG474 entwickelte die Idee einer neuen IPD-Turnierform „Jerusalem“ (Baranski u. a., 2006). Diese Turnierform ähnelt der ökologischen Umgebung und ist eine Art Eliminationsturnier. Es wird ein *Round-Robin-Turnier* mit n Strategien durchgeführt. Die Idee ist es, die jeweils schlechteste Strategie aus dem Turnier zu entfernen. Danach wird das Turnier mit den übrigen Strategien $n - 1$ wiederholt. Dieser Vorgang wird fortgesetzt, bis nach *Anzahl der Strategien* $- 1$ Runden nur noch eine Strategie im Turnier übrig bleibt. Slave-Strategien sind üblicherweise auf den unteren Plätzen eines IPD-Turniers zu finden. Dies hat zur Folge, dass diese Strategien in den ersten Runde aus dem Turnier ausscheiden und die Master-Strategie nicht mehr unterstützen können. Bei dieser Art der Implementierung tritt jedoch das Problem auf, dass, nachdem einige Strategien ausgeschieden sind, nur noch dauerhafte Kooperation unter den übrigen Strategien herrscht.

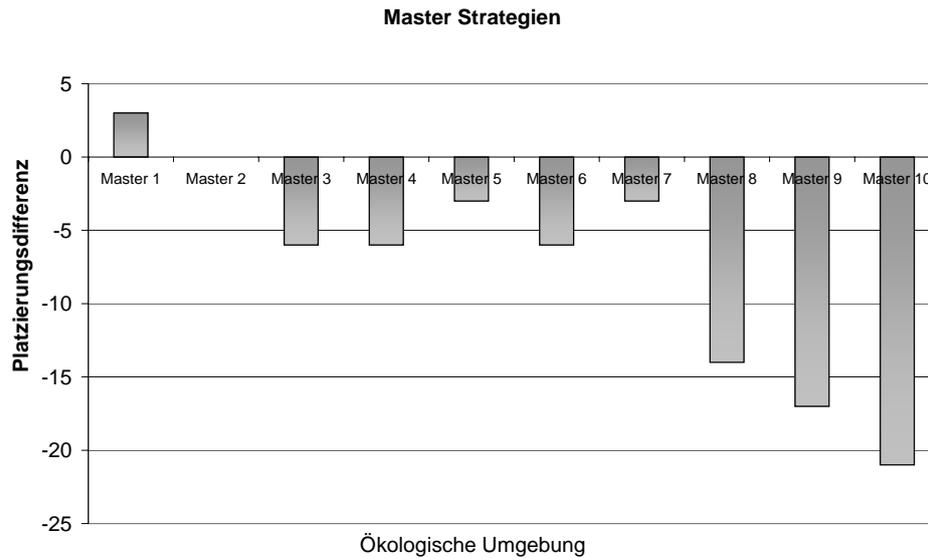


Abbildung 4.2: Platzierungsverluste von Master-Strategien in der ökologischen Umgebung im Vergleich zum *Round-Robin-Turnier*. Der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* wird deutlich reduziert. Acht von zehn *Master-Slave-Strategien* verschlechtern sich.

Die Slave-Strategien können zwar aus dem Turnier entfernt werden, doch es kann kein eindeutiger Sieger gekürt werden, weil keine Strategie mehr ausscheidet (alle Strategien erhalten die gleichen Punkte). Als Resultat dieser Umgebungsvariante kann festgehalten werden: Slave-Strategien werden aus dem Turnier eliminiert, Master-Strategien können nicht den ersten Platz belegen, sondern ordnen sich in einer Gruppe von Gewinnern mit gleicher Punktzahl ein. Dies ist allerdings eine Schwachstelle, die diese Art der Umgebung zu keiner Alternative zu den klassischen Umgebungen macht. Es sind zwei Möglichkeiten der Erweiterung dieser Umgebung möglich:

- Die *Jerusalem-Umgebung* wird als Vorturnier genutzt, um die Slave-Strategien aus dem Turnier zu entfernen. Nach diesem Vorturnier wird ein ausgewähltes Set zu den übrigen Strategien hinzugefügt und unter diesen ein *Round-Robin-Turnier* durchgeführt, wobei ein eindeutiger Sieger ermittelt wird.
- Die Punkte, die eine Strategie während der einzelnen *Round-Robin-Turniere* erzielt, werden über die Runden mitgezählt. Es gibt zwei Möglichkeiten zur Punkte-zählung:
 1. Die Strategien bekommen die Punkte, die sie in einer Runde erzielt haben, direkt auf dem Punktekonto gutgeschrieben. Diese Variante sorgt für eine eindeutige Rangordnung unter den Strategien. Slave-Strategien scheiden in den ersten Runden aus. Die Master-Strategien erhalten nur einen geringen Bonus aus den ersten Runden, der ihnen jedoch gegenüber anderen Strategien

ohne Slaves einen Vorteil bringt. Der vermeintliche Nachteil dieser Variante ist, dass sich die Master-Strategien in den ersten Runden ein Polster aufbauen können und in den späteren Runden nicht aus dem Turnier ausscheiden, auch wenn sie in einer Runde sehr schlecht abschneiden.

2. Um zu vermeiden, dass die Strategien ein Punktepolster aufbauen, wird das Ausscheiden nur über die aktuell letzte Runde berechnet. Die Punktezahl erfolgt am Ende des gesamten Turniers, wo jede Strategie die Punkte aus ihren jeweiligen Runden bekommt. So ergibt sich eine eindeutige Rangordnung unter den Strategien. Schlechte Master-Strategien scheiden jetzt aufgrund einer schlechten Runde aus dem Turnier aus und können nicht mehr von ihrem Slave profitieren. Jedoch erhalten Master-Strategien in der abschließenden Punktezahl einen Bonus aus den ersten Runden und sind somit wieder besser als identische Strategien ohne Slaves.

4.3.5.1 Resultate der *Jerusalem-Umgebung*

In der Abbildung 4.3 sind die Ergebnisse von fünf Strategien in der *Jerusalem-Umgebung* exemplarisch dargestellt. Dabei handelt es sich um die Strategien *ALLC*, *ALLD*, *TFT*, die Master-Strategie *Master(Meister)* und die Slave-Strategie *Slave(Meister)*. Nur in der ersten Runde kann die Slave-Strategie die Master-Strategie unterstützen, dann scheidet sie wegen der niedrigsten Punktzahl aus. Jetzt erhält die Master-Strategie nur noch die Punktzahl der ansonsten identischen *TFT*-Strategie und kann ihren Vorsprung nicht weiter ausbauen. Die Slave-Strategie konnte wie gewollt sofort aus dem Spiel eliminiert werden, jedoch entscheidet schon der Vorteil von einer Runde über den Sieg.

Außerdem wurden die Ergebnisse des Turniers der PG474 in der *Jerusalem-Umgebung* überprüft. An diesem Turnier haben insgesamt 62 Strategien teilgenommen (vgl. 3.2.4). Davon haben jeweils zehn Master-Strategien und zehn zugehörige Slave-Strategien partizipiert. Jede Master-Strategie bekam die Unterstützung von nur einer Slave-Strategie. Es wurde untersucht, welche Auswirkungen die Umgebung auf die *Master-Slave-Strategien* hat. Die Slave-Strategien wurden als erstes aus dem Turnier eliminiert. Daher konnten sie die Master-Strategien nicht das ganze Turnier unterstützen. Dies führt zu dem Verlust von Punkten für die Master-Strategie. Die Abbildung 4.4 zeigt die Verluste der Master-Strategien in zwei Varianten der *Jerusalem-Umgebung* im Vergleich zum *Round-Robin-Turnier*. Acht von zehn Master-Strategien verschlechtern sich. Eine Master-Strategie konnte sich verbessern. Diese wurde von einer kooperativen Slave-Strategie unterstützt, welche erst später aus dem Turnier ausgeschieden ist. Die *Jerusalem-Umgebung* kann den Vorteil von *Master-Slave-Strategien* deutlich reduzieren. Werden jedoch Master-Strategien nicht nur von einer Slave-Strategie wie in diesem Turnier, sondern von vielen Slave-Strategien unterstützt, ist der Vorsprung der Master-Strategien nicht wesentlich zu reduzieren. Es wird außerdem deutlich, dass kooperative Slave-Strategien kaum von anderen Strategien zu unterscheiden sind. Diese sind schwieriger aus dem Turnier zu eliminieren.

Fazit: Die Jerusalem-Umgebung kann den Vorteil von Master-Slave-Strategien deutlich reduzieren. Slave-Strategien werden zuerst aus dem Turnier eliminiert. Jedoch ist

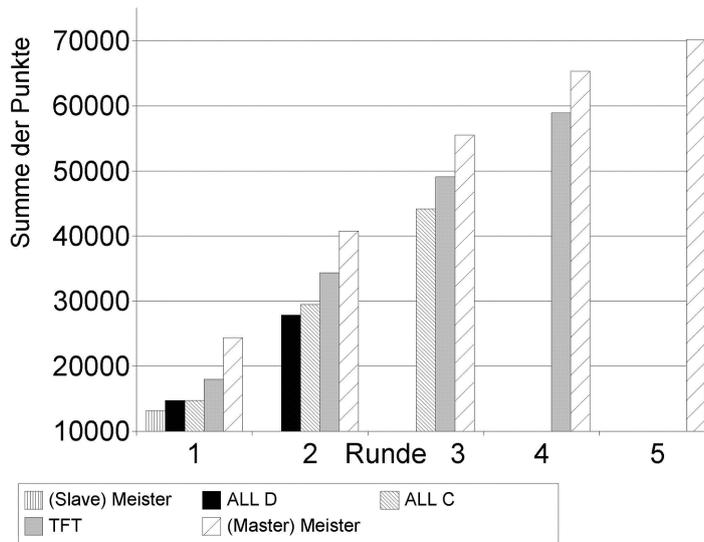


Abbildung 4.3: Fünf Strategien in der *Jerusalem*-Umgebung. Die Master-Strategie „Master (Meister)“ bekommt einen deutlichen Punktevorsprung in der ersten Runde durch die Slave-Strategie „Slave(Meister)“. Diese Slave-Strategie scheidet jedoch wegen des schlechten Abschneides in der ersten Runde aus und kann die Master-Strategie nicht weiter unterstützen. Die Master-Strategie kann ihren Vorsprung in den nächsten Runden nicht ausbauen (sie erhält von nun an die Punkte der ansonsten identischen *TFT*-Strategie). Die Master-Strategie gewinnt nur wegen des Anfangsvorsprungs aus Runde 1.

es wie in allen monotonen Umgebungen nicht möglich, den Vorteil von Master-Slave-Strategien komplett zu eliminieren. Außerdem steigt der Vorteil von Master-Strategien mit der Anzahl seiner zur Unterstützung stehenden Slave-Strategien. Ferner werden nur defektierende Slave-Strategien schnell aus dem Turnier eliminiert. Kooperierende Slave-Strategien sind kaum von herkömmlichen Strategien zu unterscheiden.

4.4 Experimentelle Untersuchungen

4.4.1 Fragestellungen und Hypothesen

Die folgenden Fragen und Hypothesen werden in diesem Abschnitt experimentell untersucht.

1. Wie werden Turnierergebnisse von geklonten Strategien beeinflusst?
2. Wie wirken sich Koalitionen im IPD auf Turnierergebnisse aus?
3. Welchen Einfluss haben *Master-Slave-Strategien* auf die Ergebnisse eines *Round-Robin-Turniers*? Wie hoch ist der Vorteil durch einen Slave, wie hoch durch meh-

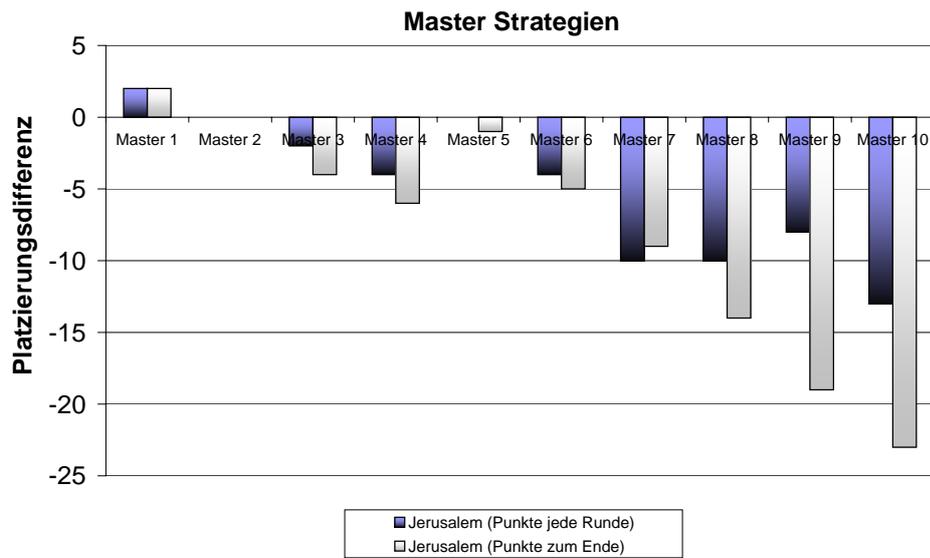


Abbildung 4.4: Platzierungsverluste von Master-Strategien in zwei Varianten der *Jerusalem*-Umgebung im Vergleich zum *Round-Robin-Turnier*. Der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* wird deutlich reduziert. Acht Master-Strategien verschlechtern sich.

rere Slaves?

4. *Hypothese*: Alle Formen der Zusammenarbeit beeinflussen die Turnierergebnisse. Koalitionsbildungen sind leichter zu erkennen, als der Einsatz von *Master-Slave-Strategien*.
5. Welchen Vorteil haben *Master-Slave-Strategien* in der ökologischen Umgebung? Wie hoch ist der Vorteil durch einen Slave, wie hoch durch mehrere Slaves?
6. *Hypothese*: Werden wenige Slave-Strategien eingesetzt, kann die ökologische Umgebung den Vorteil von *Master-Slave-Strategien* deutlich reduzieren.

4.4.2 Experimentelles Setup:

Für die folgenden Untersuchungen wird, wenn nicht anders erwähnt, folgendes experimentelle Setup verwendet. Dabei wurde sich an den Turnieren von Axelrod (2005) und von Baranski u. a. (2006) orientiert.

Turnierform *Round-Robin-Turnier* Jede Strategie spielt gegen alle anderen Strategien (auch gegen sich selbst) in drei verschiedenen Durchgängen. Die Auszahlungen bzw. Punkte für eine einzelne Runde sind durch die Auszahlungsmatrix 3.2 festgelegt. Die Gesamtpunktzahl einer Strategie für ein *Round-Robin-Turnier* ist die Summe aller erzielten Punkte in allen Durchgängen. Um Zufallseinflüsse gering zu halten, wird das

gesamte Turnier zehn Mal durchgeführt und ein Mittelwert der Gesamtpunktzahlen einer Strategie gebildet. Der Mittelwert ist das Maß für die Reihenfolge der Strategien in der Rangliste. Die Strategie mit den meisten Punkten erreicht den obersten Platz in der Rangliste.

Tunierform ökologische Umgebung Die ökologische Umgebung basiert auf der obigen *Round-Robin*-Umgebung. Die genaue Berechnung der Populationsänderung erfolgt nach dem Verfahren von Baranski u. a. (2006). Vergleiche hierzu 3.2.5.

4.4.3 Zusammenarbeit ohne Kommunikation: Geklonte Strategien

Fragestellung Wie werden Turnierergebnisse von geklonten Strategien beeinflusst? Geklonte Strategien ermöglichen es, Strategien im IPD einen Vorteil zu verschaffen. Als geklonte Strategien werden Strategien bezeichnet, die dasselbe Verhalten aufweisen, aber eventuell verschiedene Namen tragen. In manchen Fällen ist es möglich, dass zwei Strategien dasselbe Verhalten aufweisen gegenüber bestimmten Strategien. *TFT* und *Spite* haben bspw. das gleiche Verhalten gegenüber *ALLC*. Jedoch sind sie von ihrem Konzept her grundverschieden. Wenn n -mal dieselbe Strategie „*StratA*“ (mit dem selben Code, aber unterschiedlichem Namen) in einem Set von Strategien benutzt wird, die alle unterschiedlich sind (im Sinne von unterschiedlichem Code), dann ist es möglich, dass sich *StratA* als beste Strategie herausstellt. Wenn dieselbe Strategie nur einmal genutzt wird, dann könnte eine andere Strategie besser als *StratA* sein. Insgesamt kann der Einsatz von geklonten Strategien auf zwei verschiedene Arten geschehen:

- zwei Strategien haben eine ähnliche Implementation, aber verschiedene Namen. Für einen Teilnehmer ist es einfach, seine Strategie in einem Wettkampf zu stärken, indem er eine große Menge von geklonten Strategien mit anderen Namen einschickt. Vergleichbar ist dieses Problem mit Online Auktionen, bei denen unter verschiedenen Namen eine Person für das eigene Produkt bietet, um den Preis hochzutreiben.
- zwei Strategien haben einen verschiedenen Code und auch einen verschiedenen Namen, aber verhalten sich während der Ausführung in der Simulation gleich. Es ist bekannt, dass sich die Ausführung eines Programms auf unendlich viele verschiedene Arten beschreiben lässt.

Die Feststellung, ob zwei Strategien identisch sind (das gleiche Verhalten aufweisen) ist unmöglich. Hierbei handelt es sich um kein rekursiv aufzählbares Problem.

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*
- Rundenanzahl: 1000 Runden
- Strategien (Turnier 1): *TFT*, *ALLC*, *ALLD* und *PerKind*

Tabelle 4.2: Die Auswirkungen von Klon-Strategien im IPD
 (a) Turnier ohne Klon-Strategien. (b) Turnier mit einer Klon-Strategie.
ALLD gewinnt. *TFT* gewinnt jetzt.

Rank	Name	Punkte	Rank	Name	Punkte
1	<i>ALLD</i>	10672	1	<i>TFT</i>	12666
2	<i>TFT</i>	9666	2	<i>TFT</i> (Klon)	12666
3	<i>PerKind</i>	9000	3	<i>ALLD</i>	11676
4	<i>ALLC</i>	8001	4	<i>PerKind</i>	11667
			5	<i>ALLC</i>	11001

- Strategien (Turnier 2): *TFT*, *ALLC*, *ALLD*, *PerKind* und die Klon-Strategie *TFT* (Klon)
- Wiederholungen: eine (keine Zufallseinflüsse)

Ergebnisse Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.2 zu sehen. Im ersten Turnier gewinnt die Strategie *ALLD*. Im zweiten Turnier wird eine Klon-Strategie *TFT* (Klon) zum Strategieset hinzugefügt. In diesem Turnier gewinnen jetzt die beiden identischen *TFT*-Strategien.

Fazit Der Einsatz von geklonten Strategien beeinflusst IPD-Turniere erheblich. Durch den Einsatz einer Vielzahl von Klon-Strategien können auch die Ergebnisse von Turnieren mit mehreren Strategien beeinflusst werden. Es ist schwierig zu erkennen, wann geklonte Strategien gezielt zusammenarbeiten. Es ist es, dass viele teilweise identische *TFT*-Strategien an einem Turnier teilnehmen, ohne dass hier eine gezielte Zusammenarbeit stattfindet. Jedoch findet noch keine direkte Punkteverteilung unter den Strategien statt. Werden z. B. viele *ALLC*-Strategien (unter verschiedenen Namen) eingeführt, so profitieren viele aggressive Strategien davon, weil diese die *ALLC*-Strategien ausnehmen können.

4.4.4 Koalitionen im IPD: Betrüger-Strategien

Fragestellung Wie wirken sich Koalitionen im IPD auf Turnierergebnisse aus?

Es werden Strategien betrachtet, welche eine bestimmte Erkennungssequenz spielen und mit den Partnern, welche dieselbe Erkennungssequenz spielen, kooperieren und gegen alle anderen Strategien defektieren. Wenn eine große Anzahl in der Population dieselbe Strategie benutzt, dann hat ein Mitglied der Subpopulation eine große Chance, der Gewinner zu sein. Wenn jedoch die Koalition nur aus einem Spieler besteht, dann ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass diese Strategie schlecht im Turnier abschneidet, weil sie keinen Partner zur Kooperation gefunden hat.

Zur Veranschaulichung wird eine „Betrüger-Strategie“ untersucht, welche eine einfache Erkennungssequenz von (CDDC) in den ersten vier Runden spielt. Wenn ein Gegner

dieselbe Erkennungssequenz spielt, dann kooperiert die Betrüger-Strategie immer, im anderen Fall defektiert sie.

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*
- Rundenanzahl: 1000 Runden
- Strategien (Turnier 1): *TFT*, *ALLC*, *ALLD*, *Spite* und „Betrüger“
- Strategien (Turnier 2): *TFT*, *ALLC*, *ALLD*, *Spite* und drei Betrüger-Strategien
- Wiederholungen: eine (keine Zufallseinflüsse)

Tabelle 4.3: Koalition im IPD

(a) Turnier mit nur einer Betrüger-Strategie. <i>Spite</i> gewinnt.			(b) Turnier mit zwei zusätzlichen Betrüger-Strategien. Diese belegen punktgleich die ersten drei Plätze.		
Rank	Name	Punkte	Rank	Name	Punkte
1	<i>Spite</i>	11040	1	Betrüger	16900
2	<i>TFT</i>	11030	1	Betrüger	16900
3	Betrüger	11020	1	Betrüger	16900
4	<i>ALLD</i>	9160	2	<i>Spite</i>	13140
5	<i>ALLC</i>	9060	3	<i>TFT</i>	13110
			4	<i>ALLD</i>	11320
			5	<i>ALLC</i>	9180

Ergebnisse Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.3 zu sehen. In dem ersten Turnier belegt die Betrüger-Strategie den 3. Platz. Nehmen zwei zusätzliche Betrüger-Strategien teil und bilden eine Koalition, gewinnen diese Strategien das Turnier. Alle drei Betrüger-Strategien sind punktgleich auf dem ersten Platz.

Wenn zwei Spieler die Betrüger-Strategie benutzen und sich selbst erkennen, gewinnen sie drei Punkte in jeder Runde, wobei die anderen Strategien von ihnen nur einen Punkt erhalten. Dieses Verhalten lässt sich im Turnier sehr leicht erkennen, weil alle Strategien in einer Gruppe dieselbe Punktzahl erhalten und auf dem selben Platz abschließen.

Fazit Koalitionen können Ergebnisse eines IPD Turniers maßgeblich beeinflussen. Hier kommt es nicht mehr darauf an, welche Strategie die beste Strategie ist, sondern welches Team am größten ist und am besten zusammenarbeitet.

4.4.5 Master-Slave-Strategien im *Round-Robin-Turnier*

Fragestellung Wie beeinflussen *Master-Slave-Strategien* die Ergebnisse eines *Round-Robin-Turniers*?

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*
- Rundenanzahl: jedes Turnier besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Strategien (Turnier 1): *TFT*, *ALLD*, *ALLC* und Master-Strategie „Master (Meister)“, die *TFT* als Alternativstrategie spielt und gegen Slave-Strategie nach der Erkennung ständige Defektion spielt
- Strategien (Turnier 2): zusätzlich mit der Slave-Strategie „Slave (Meister)“. Diese kooperiert mit der Master-Strategie und defektiert gegen alle anderen Strategien.
- Strategien (Turnier 3): zusätzlich mit zehn identischen Slave-Strategien vom Typ „Slave (Meister)“
- Wiederholungen: eine (keine Zufallseinflüsse)

Ergebnisse Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 4.4. Es zeigt sich, dass schon eine

Tabelle 4.4: *Master-Slave-Strategien im Round-Robin-Turnier*

(a) Turnier mit vier Strategien. Die Master-Strategie bekommt noch keine Unterstützung von einer Slave-Strategie. Hier sind Master und *TFT* identisch

Rank	Name	Punkte
1	Master (Meister)	15997
1	<i>TFT</i>	15997
2	<i>ALLC</i>	14400
3	<i>ALLD</i>	12824

(b) Turnier mit fünf Strategien. Die Slave-Strategie unterstützt die Master-Strategie, so dass diese deutlich gewinnen kann

Rank	Name	Punkte
1	Master (Meister)	23877
2	<i>TFT</i>	17612
3	<i>ALLD</i>	14448
4	<i>ALLC</i>	14427
5	Slave (Meister)	12923

einzigste Slave-Strategie das Ergebnis zu Gunsten der Master-Strategie verändert. Die Master-Strategie belegt mit Hilfe der Slave-Strategie den ersten Platz, ohne diese Hilfe erreicht die sie genau die gleiche Punktzahl wie die *TFT*-Strategie. Bekommt die Master-Strategie Unterstützung von neun weiteren Slave-Strategien, so erhöht sich der Punktevorsprung erheblich (59599 Punkte vor *TFT* mit 20049 Punkten).

Fazit Durch die Unterstützung von Slave-Strategien erreichen Master-Strategien deutlich mehr Punkte als ohne diese. So kann eine *Strategie A*, die ansonsten identisch mit *Strategie B* ist, eine viel höhere Punktzahl erhalten. Die Turnierergebnisse werden nur durch die Anzahl der zugehörigen Slave-Strategien beeinflusst. Unter diesen Umständen verlieren *Round-Robin-Turniere* ihre eigentliche Bedeutung und die Ergebnisse eines IPD-Turniers verlieren an Relevanz.

4.4.6 Master-Slave-Strategien in der ökologischen Umgebung

Fragestellung Welchen Vorteil haben *Master-Slave-Strategien* in der ökologischen Umgebung?

In der ökologischen Umgebung vermehren sich erfolgreiche Strategien und schlechte Strategien bekommen mit der Zeit immer weniger Anteile an der Gesamtpopulation. So wird sich der Anteil der Slave-Strategien wahrscheinlich verringern und sie können in späteren Generationen die Master-Strategien nicht mehr unterstützen. Zur Untersuchung wird ein Turnier in einer ökologischen Umgebung durchgeführt.

Experimentelles Setup

- Turnierform: ökologische Umgebung
- Rundenanzahl: jedes *Round-Robin-Turnier* besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Strategien (Turnier 1): *TFT*, *ALLD*, *ALLC* und Master-Strategie „Master (Meister)“, die *TFT* als Alternativstrategie spielt und gegen Slave-Strategie nach der Erkennung ständige Defektion spielt
- Strategien (Turnier 2): zusätzlich mit der Slave-Strategie „Slave (Meister)“. Diese kooperiert mit der Master-Strategie und defektiert gegen alle anderen Strategien.
- Strategien (Turnier 3): zusätzlich mit zehn identischen Slave-Strategien vom Typ „Slave (Meister)“
- Generationen: 25
- Wiederholungen: eine (keine Zufallseinflüsse)

Ergebnisse Der Populationsverlauf des ersten Turniers wird in der Abbildung 4.5 gezeigt. Da Master (Meister) und *TFT* im Verhalten identisch sind (bis auf, dass Master (Meister) gegen eine Slave-Strategie defektieren würde), erhalten sie den selben Populationsanteil. *ALLD* stirbt schon nach einigen Generationen aus, so dass nur noch drei kooperative Strategien teilnehmen und sich durch ständige Kooperation keine Populationsänderung mehr ergibt.

In dem nächsten Turnier wird eine Slave-Strategie hinzugefügt. Die Änderungen der Turnierergebnisse zeigt die Abbildung 4.6. Die Slave-Strategie lässt sich von der Master-Strategie ausbeuten und defektiert gegen alle anderen Strategien. Die Master-Strategie erhält zusätzliche Punkte und kann sich schneller vermehren. Nach einigen Generationen stirbt die Slave-Strategie zwar aus, jedoch hat sie der Master-Strategie schon einen uneinholbaren Bonus verschafft. Nach dem Aussterben der Slave-Strategie erhalten *TFT* und Master (Meister) zwar dieselbe Punktzahl, jedoch liegt *TFT* aufgrund des Anfangsvorsprungs der Master-Strategie zurück.

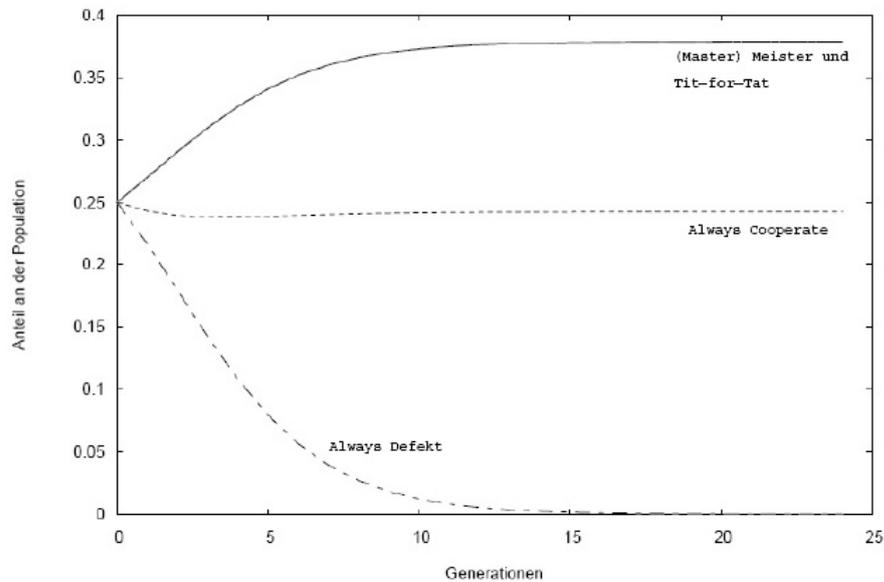


Abbildung 4.5: Turnier in der ökologischen Umgebung mit den vier Strategien *TFT*, *ALLD*, *ALLC* und Master (Meister). Master (Meister) und *TFT* gewinnen das Turnier mit dem gleichen Anteil an der Population. *ALLD* stirbt nach ca. 10 Generationen aus.

Wird die Anzahl der Slave-Strategien erhöht, vergrößert sich auch der Vorsprung der Master-Strategie. Nehmen neun weitere Slave-Strategien an dem Turnier teil, steigt der Populationsanteil der Master-Strategie auf rund 85%. Vergleiche Abbildung 4.7.

Fazit Wie zu erwarten, sterben Slave-Strategien in der ökologischen Umgebung nach einigen Generationen aus. Jedoch entscheidet der Anfangsvorsprung einer Master-Strategie über den Sieg. Die Master-Strategie bekommt durch den Slave einen Anfangsvorsprung, den sie später auch behält, allerdings nicht ausbauen kann, d. h. sowohl *TFT* als auch die Master-Strategie bleiben in ihren Bevölkerungsanteilen asymptotisch konstant. Wegen des Vorsprungs wurde immer die Master-Strategie als Sieger gekürt. Es gilt jedoch zu beachten: Die Bevölkerungsanteile für *TFT* und Master bleiben am Ende konstant, d. h. sie verändern sich nicht mehr. Für das einzelne Individuum heißt das folgendes: Master- und *TFT*-Individuen erreichen die gleichen durchschnittlichen Punktzahlen und haben damit den gleichen Fortpflanzungserfolg.

4.5 Zusammenfassung und Kritik

In diesem Kapitel wurden die *Master-Slave-Strategien* eingehend untersucht. Im Laufe der Arbeit stellte sich heraus, dass das Thema bisher kaum behandelt wurde. Deshalb konnte auf wenig Literatur zurückgegriffen werden. Die Ergebnisse stützen sich deshalb fast ausschließlich auf Arbeiten von Baranski u. a. (2006) und eigenen Untersuchungen.

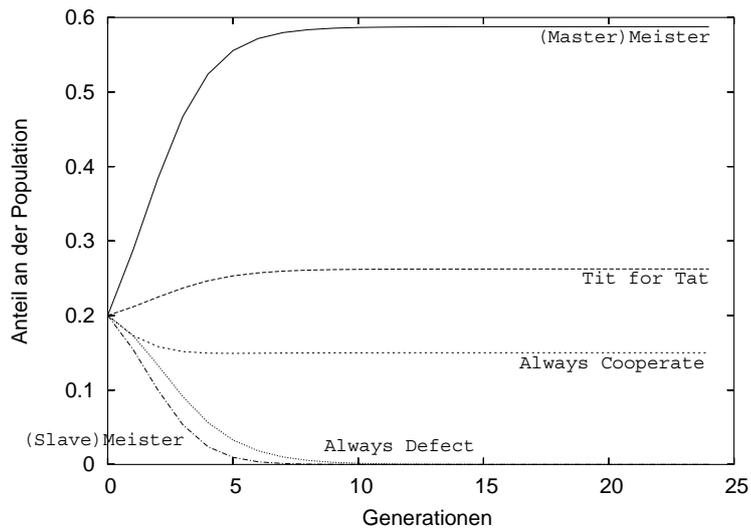


Abbildung 4.6: Das gleiche Turnier mit Hinzunahme einer Slave-Strategie „Slave (Meister)“. „Master (Meister)“ erhält jedoch zusätzliche Punkte durch seine Slave-Strategie. Diese stirbt zwar nach einigen Generation ähnlich wie *ALLD* aus und die Master-Strategie erhält keinen Bonus mehr. Jedoch entscheidet der Anfangsvorsprung das Turnier zu Gunsten von Master (Meister).

Es wurde versucht, *Master-Slave-Strategien* in einen größeren Kontext einzuordnen. Dazu wurden die Begriffe „Koalition“ und „Collusion“ eingeführt.

Die formale Definition der *Master-Slave-Strategien* wurde auf wenige entscheidende Merkmale reduziert. Das Verhalten der *Master-Slave-Strategien* gegen Strategien, die nicht zur Koalition gehören, wurde in einer umfassenden Klassifikation dargestellt. Die Erkennungssequenzen von *Master-Slave-Strategien* wurden ausführlich beschrieben und es wurde gezeigt, warum *Master-Slave-Strategien* nicht in jedem Fall sicher identifizierbar sind.

Ferner wurde bewiesen, dass der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* in allen monotonen Umgebungen nicht eliminierbar ist. Jedoch können die ökologische Umgebung und die *Jerusalem-Umgebung* den Vorteil von *Master-Slave-Strategien* deutlich reduzieren. Dies ist jedoch nur für eine gewisse Anzahl von Slave-Strategien möglich.

In der experimentellen Analyse wurde der Vorteil, der sich durch verschiedene Formen der unerlaubten Zusammenarbeit ergibt, verdeutlicht. Zuerst wurde der Vorteil von Klon-Strategien demonstriert. Diese Zusammenarbeit findet noch ohne Kommunikation über Erkennungssequenzen statt. Daraufhin wurden Koalitionen untersucht. In Koalitionen erreichen jedoch die Strategien dieselbe Punktzahl. Daher sind diese leicht zu erkennen. Zuletzt wurde eine Spezialform der Koalition untersucht: die *Master-Slave-Strategien*. Der enorme Vorteil von *Master-Slave-Strategien* wurde dargestellt. Dies wurde in *Round-Robin-Turnieren* und Turnieren in der ökologischen Umgebung gezeigt.

Das Thema der *Master-Slave-Strategien* wurde somit eingehend behandelt. Der ver-

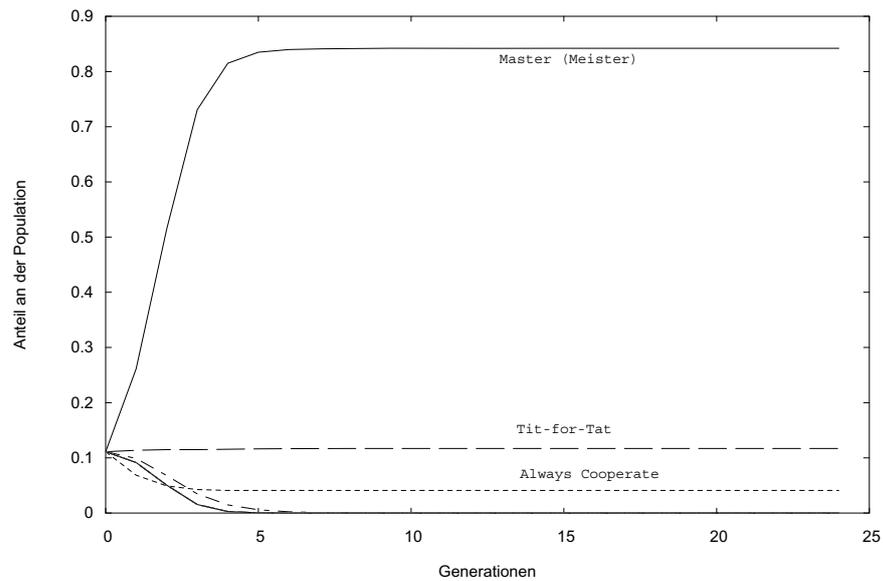


Abbildung 4.7: Das gleiche Turnier, nur diesmal mit neun weiteren Slave-Strategien, die den Master unterstützen. Der Populationsanteil von Master steigt auf rund 85%, obwohl die Slave-Strategien schnell aussterben.

mehrte Gebrauch von *Master-Slave-Strategien* in den Computerturnieren macht die Beschreibung dieses Problems notwendig (Baranski u. a., 2006; Kendall u. a., 2005).

Trotzdem muss der Einsatz von *Master-Slave-Strategien* in IPD-Turnieren kritisch hinterfragt werden. Die eigentliche Idee hinter den Computerturnieren geht verloren. Kommen *Master-Slave-Strategien* zum Einsatz gewinnt nicht mehr die beste Strategie, sondern die Strategie, die von den meisten Strategien unterstützt wird. Am Ende gewinnt die Gruppe, welche am meisten Strategien einsenden konnte und dabei nicht vom Turnierveranstalter entdeckt wurde. Beaufils u. a. (1998) kritisieren den Gebrauch von mehreren Strategien pro Teilnehmer in Form von *Master-Slave-Strategien*.

Dem Veranstalter von IPD-Turnieren bleibt nur die Möglichkeit den Einsatz von *Master-Slave-Strategien* explizit in den Regeln zu verbieten. Außerdem ist der Einsatz von alternativen Turnierumgebungen sinnvoll. Die umfangreiche Untersuchung der einzelnen Quelltexte bleibt bei auffälligem Verhalten die letzte Möglichkeit.

5 Rauschen

„I was having tea with a company when we heard a lot of shouting and went out to investigate. We found our men and the Germans standing on their respective parapets. Suddenly a salvo arrived but did no damage. Naturally both sides got down and our men started swearing at the Germans, when all at once a brave German got onto his parapet and shouted out: We are very sorry about that; we hope no one was hurt. It is not our fault. It is that damned Prussian artillery.“ (Owen Rutter, 1934)

Rauschen ist ein Grundproblem der Informatik. Immer wenn es zu Kommunikation zwischen vielen Verhandlungspartnern kommt, sind Fehler und Missverständnisse nicht auszuschließen. Es ist unrealistisch anzunehmen, dass bei einer großen Anzahl von Interaktionen zwischen Spielern, wie sie bei der populationsdynamischen Simulation angenommen wird, nicht gelegentlich auch Fehlleistungen und Missverständnisse auftreten. Im IPD wird das Rauschen durch zwei Arten gekennzeichnet: Der Spieler macht einen Fehler bei seiner Entscheidungswahl (mis-implementation) oder der Spieler empfängt die Entscheidung des anderen Spielers falsch (mis-perception). Diese Arbeit beschäftigt sich mit der falschen Übertragung der Entscheidungen. Das bedeutet, die Spieler wissen nie, wann sie unbeabsichtigt falsche Entscheidungen getroffen haben und wann sie durch unbeabsichtigte, falsche Entscheidungen betroffen sind.

Nach einer allgemeinen Einführung über Rauschen werden bekannte Ansätze im Umgang mit Rauschen im IPD demonstriert. Danach werden die Ergebnisse von der Wiederholung des originalen Axelrod Experiments unter Rauschen präsentiert.

Der experimentelle Teil untersucht zuerst die Robustheit der im rauschfreien IPD erfolgreichen Strategien *TFT* und *Gradual*. Mit steigender Rauschrate erhalten diese Strategien die Punktzahl einer *Random*-Strategie. Daraufhin werden eine Vielzahl von Strategien in zwei IPD-Turnieren getestet. In diesen Turnieren wird vor allem das schlechte Abschneiden der *Gradual*-Strategien deutlich. In zwei weiteren Turnieren werden zusätzlich an das Rauschen angepasste Strategien aufgenommen. Großzügigkeit (in dem Sinne, dass Defektionen teilweise toleriert werden) kann die Schwachstellen von *TFT* und *Gradual* ausmerzen.

Es wurden zwei neue Strategien entwickelt („*Noise Improved Gradual*“ und „*New CTFT*“), die erfolgreich in den Turnieren abschneiden. Ferner wird der Erfolg einer neuen Strategie „*DBS*“ verdeutlicht, welche unter fast allen Rauschraten die Turniere gewinnt.

Im letzten Teil werden die Auswirkungen von Rauschen auf Erkennungssequenzen der *Master-Slave-Strategien* getestet. Die bisher bekannten *Master-Slave-Strategien* schneiden äußerst schlecht im verrauschten IPD ab. Dies liegt zum einen an der Robustheit

der Erkennungssequenzen und zum anderen an den gespielten Alternativstrategien.

5.1 Was ist Rauschen?

5.1.1 Rauschen in der Informatik

Rauschen wird in Denda (1988) folgendermaßen definiert:

Definition 5.1 (Rauschen). *Zeitlich veränderliches, leistungsbegrenztes Signal, dessen Merkmale mathematisch durch einen Zufallsprozess beschrieben werden können. Rauschen wird entweder phänomenologisch oder durch die Parameter des ihm zu Grunde liegenden Zufallsprozesses klassifiziert.*

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Auswertung einer Lösung oder eines Lösungskandidaten immer denselben Wert ergibt. Der tatsächliche Wert wird von einem weiteren Faktor beeinflusst, dem Rauschen.

In der Informatik bezeichnet Rauschen einen Teil in einem „Signal“, welcher kein definiertes Verhalten hat, sondern Schwankungen unterliegt, die nicht vorhersagbar sind. Die Stärke des Rauschens wird allgemein mit dem Signal-Rausch-Abstand angegeben.

Rauschen kann viele Quellen haben. Licht z. B. unterliegt einer sogenannten natürlichen Rauschquelle, dem Quantenrauschen. Das Rauschen entsteht durch die Quantennatur selbst. Besonders wenn das Licht sehr schwach ist, ist es stark verrauscht. Die Bilder werden automatisch besser, wenn mehr Licht von einer oder mehreren Quellen ausgeht. Da das Rauschen bei Lichtquellen so gut bekannt ist, d. h., dass das Problem der Lichtquanten sehr gut modellierbar, analysierbar und korrigierbar ist, ist es heute sogar fast möglich, im Dunkeln zu sehen.

Eine andere Quelle ist das „Additive Rauschen“, welches entsteht, wenn Überlagerungen bei den Nutzsignalen vorhanden sind. Wenn die Quellen gut bekannt sind, kann mit Hilfe dieses Wissens das Rauschen quasi subtrahiert werden.

Wenn ein analoges Signal in ein digitales umgewandelt werden soll oder auch umgekehrt, kann es zu dem Diskretisierungs-Rauschen (Quantisierungs-Rauschen) kommen. In der Elektrotechnik gibt das Ohmsche Rauschen, welches auch Widerstandsrauschen genannt wird. Der Widerstand von Leitungen erhöht sich durch Erwärmung. Dadurch wird das Signal verrauscht, weil einfach nicht mehr alles ankommt, was gesendet wird.

Die letzte Quelle, auf die eingegangen wird, ist eine Reflektion in einem Übertragungssystem. Das zu übermittelnde Signal wird, z. B. am Eingang eines Messgerätes, reflektiert, läuft dann wieder zurück und wird erneut reflektiert. Aber auch eine Duplizierung des Signals ist möglich, z. B. durch Wände oder ähnliches, wobei die Reflektion zurück zum Sender zeitversetzt erfolgt. Auch diese Art des Rauschens kann leicht behoben werden, da ein doppeltes Signal sich leicht herausrechnen lässt. Beobachtbar ist dieses Phänomen bspw. im Fernsehen (durch Doppelbilder). Vorsorge ist hier z. B. durch abgeschirmte Leitungen oder ähnliches möglich.

5.1.1.1 Motivation

Die folgenden Beispiele sollen motivieren, warum sich mit Rauschen im IPD beschäftigt werden soll. Viele Anwendungen, die sich durch das IPD modellieren lassen, unterliegen den Einwirkungen von Rauschen.

Korean Airlines Flight 007 (kurz KAL 007) Axelrod u. Wu (1995) beschreiben die Auswirkungen von Rauschen anhand des Flugzeugabschusses der „KAL 007“. Die KAL 007 war die Flugnummer einer zivilen Boeing 747 der Korean Air Lines, die durch einen sowjetischen Abfangjäger wegen Verletzung des Luftraumes am 1. September 1983 über internationalem Gewässer westlich der Insel Sachalin abgeschossen wurde. Alle 240 Passagiere und die 29-köpfige Crew kamen zu Tode. Das Flugzeug war irrtümlich in den Luftraum eingedrungen (Rauschen), die Sowjets hielten das Flugzeug für ein Spionageflugzeug. Die Amerikaner und die Sowjets äußerten ihren Ärger in gegenseitigen Vergeltungsmaßnahmen innerhalb des Kalten Krieges.

Stellungskrieg In Axelrod (2005) wird die Situation im Stellungskrieg im Zweiten Weltkrieg und das folgende Phänomen beschrieben: „Ich trank gerade Tee bei der Kompanie A., als wir lautes Geschrei hörten. Wir gingen nach draußen, um zu sehen was vorgefallen war. Unsere Männer und die Deutschen standen auf der Brustwehr. Plötzlich schlug eine Salve ein, die jedoch keinen Schaden anrichtete. Beide Seiten gingen natürlich in Deckung und unsere Leute fluchten über die Deutschen. Auf einmal kletterte ein mutiger Deutscher auf seine Brustwehr und rief: ‚Wir bedauern das sehr. Hoffentlich wurde niemand verletzt. Es war nicht unsere Schuld. Es war die verfluchte preußische Artillerie.‘“

Durch solch eine Entschuldigung konnte auf wirkungsvolle Weise der Konflikt behoben und eine Vergeltung verhindert werden. Die Salve war keine Absicht der Deutschen Infanterie, sondern ein unglücklicher Unfall (Rauschen). Der Fehler durch Rauschen hatte jedoch keine Auswirkungen, weil er nicht mit dem vorherigen Verhalten der Deutschen übereinstimmte.

5.2 Rauschen im IPD

Im IPD gibt es zwei Möglichkeiten, wie ein Rauschen auftreten (O’Riordan, 2001).

- mis-perception: Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit wird der Zug eines Spielers invertiert. Der Spieler empfängt ein anderes Ergebnis, als es der andere Spieler gewählt hat (Spieler A kooperiert, aber Spieler B empfängt dies als Defektion).
- mis-implementation: Der Spieler macht einen Fehler bei der Ausführung seiner Wahl (defektiert, obwohl er kooperieren wollte oder umgekehrt).

Fehler durch mis-implementation sind relativ einfach zu behandeln, weil beide Spieler die Historie ihrer Züge kennen und so eigene Fehler ausmerzen können.

Bei der mis-perception merkt jedoch der Spieler nicht, ob seine Wahl von Rauschen betroffen war und ob eventuell ein Zug des Gegners durch Rauschen beeinflusst war. Es ist nicht zu erkennen, ob das Verhalten des Gegners beabsichtigt war oder nicht.

Au u. Nau (2006a) beschreiben, warum sich die meisten Arbeiten über Rauschen im IPD nur mit der mis-perception beschäftigen. Diese Arbeit befasst sich ausschließlich mit dieser Art des Rauschens.

Um diesen Aspekt zu simulieren, wird ein Rauschparameter in die Simulation eingefügt. Dabei werden mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Züge der Spieler ins Gegenteil verkehrt, d. h. einem Spieler, der kooperativ spielen wollte, wird eine Defektion untergeschoben und umgekehrt. Entscheidend ist, ob die Strategien in der Lage sind, solche Fehler wieder auszugleichen.

In Anlehnung an Au u. Nau (2006a) entsteht folgende Definition für das verrauschte iterierte Gefangenendilemma:

Definition 5.2 (Noisy Iterated Prisoner’s Dilemma). *Das verrauschte iterierte Gefangenendilemma (Noisy Iterated Prisoner’s Dilemma, Noisy IPD) ist eine Variante des IPD. Die „Rauschrate“ bestimmt die Wahrscheinlichkeit, wann eine Kooperation ausgeführt wird, wenn Defektion die beabsichtigte Wahl war, und umgekehrt. Die Spieler wissen nicht, ob ein Zug korrekt ausgeführt wurde oder nicht.*

5.3 Bekannte Ansätze im Umgang mit Rauschen im IPD

5.3.1 Die Schwachstelle von *TFT*

TFT ist eine bekanntermaßen in hohem Grade erfolgreiche Strategie im rauschfreien IPD (Axelrod, 2005; Baranski u. a., 2006). Molander (1985) zeigt zuerst analytisch, dass zwei *TFT*-Strategien unter Rauschen im Vergleich dieselbe Punktzahl erhalten wie *Random*-Strategien. Bendor J. u. S. (1995) beschreiben das schlechte Abschneiden von klassischen *TFT*-Strategien, welches sie in einem eigenen Turnier mit 13 Strategien experimentell belegen konnten. Dort belegte *TFT* nur den achten Platz. Rauschen ist die „Achillesferse“ der *TFT*-Strategien.

Die Tabellen 5.1 und 5.2 zeigen die Auswirkungen von Rauschen auf zwei *TFT*-Strategien. Ohne Rauschen spielen beiden Strategie dauerhafte Kooperation. Rauschen löst eine Folge von wechselseitiger Defektion und Kooperation aus.

Tabelle 5.1: Zwei *TFT*-Strategien im IPD ohne Rauschen. Dauerhafte Kooperation stellt sich ein, da kein Spieler defektieren wird.

<i>L</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>TFT</i> (1)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<i>TFT</i> (2)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Tabelle 5.2: Zwei *TFT*-Strategien im Noisy IPD. Ein Fehler in Runde drei, führt zu wechselseitiger Defektion und Kooperation.

<i>L</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>TFT</i> (1)	C	C	C	D	C	D	C	D	C	D
<i>TFT</i> (2)	C	C	D	C	D	C	D	C	D	C

5.3.2 Generous: Großzügiger im Tolerieren von Defektion (*GTFT*)

Bendor J. u. S. (1995) beschreiben „Großzügigkeit“ damit, dass ein Spieler mehr Kooperationen spielt, als er selber erhalten hat. Eine bestimmte Anzahl von Defektionen des Gegners wird toleriert und nicht durch eigene Defektion bestraft.

Ein klassisches Beispiel hierfür wäre die *TfTT*-Strategie, welche nur auf zwei aufeinander folgende Defektionen des Gegners mit eigener Defektion antwortet (Axelrod, 2005). *TfTT* kann isolierte Defektionen tolerieren und so lange Sequenzen von wechselseitigen Vergeltungen wie bei zwei *TFT*-Strategien vermeiden. Jedoch hat *TfTT* die Schwachstelle, dass diese Strategie sehr leicht auszubeuten ist. Im zweiten Axelrod Turnier nutzt dies z. B. die Strategie *Tester* aus, eine Strategie, die nur jeden zweiten Zug defektiert.

Molander (1985) schlägt einen Strategiemix aus den Strategien *TFT* und *ALLC* vor, aus welcher eine neue Strategie „Generous TFT“ (*GTFT*) entstand. Diese Strategie kann wie *TfTT* ebenfalls Vergeltungssequenzen verhindern. Der Unterschied liegt jedoch darin, dass *GTFT* zufällig Defektionen toleriert. Mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (z. B. 33%) toleriert sie Defektionen des Gegners und antwortet mit Kooperation, sonst defektiert sie selbst. Hierbei bleibt die Frage, in welchem Ausmaß die Großzügigkeit einer *GTFT*-Strategie sein soll.

Bendor J. u. S. (1995) empfehlen mehr Großzügigkeit bei größeren Rauschraten. Je größer der Wert der tolerierten Defektionen ist, um so größer ist die Gefahr, von anderen Strategien ausgenommen zu werden. Daraus entsteht ein Tradeoff, welcher von Axelrod u. Dion (1988) folgendermaßen beschrieben wird: „For larger amounts of noise, there is a trade-off: unnecessary conflict can be avoided by generosity, but generosity invites exploitation.“

Molander (1985) demonstriert, dass *GTFT* die höchste Punktzahl erhält, wenn die Wahrscheinlichkeit, nach einer Defektion des Gegners trotzdem zu kooperieren, folgenden Wert hat:

$$g(R, P, T, S) = \min \left(\frac{1 - (T - R)}{(R - S)}, \frac{(R - P)}{(T - P)} \right)$$

Werden die Werte der Auszahlungsmatrix 3.2 eingesetzt, so ergibt sich für *g* folgender Wert:

$$g(3, 1, 5, 0) = \min \left(\frac{1 - (5 - 3)}{(3 - 0)}, \frac{(3 - 1)}{(5 - 1)} \right) = \frac{1}{3}$$

Dieser Wert soll es aggressiven Strategien nicht möglich machen, *GTFT* mehr auszunehmen als normale *TFT*-Strategien.

5.3.3 Contrition: Eigene Fehler ausmerzen (*CTFT*)

Sudgen (1986) führte eine *TFT*-Variante unter dem Namen „Contrite TFT“ (*CTFT*) ein. Die Strategie wird so angepasst, dass auf eine Defektion als Antwort auf eine Defektion des Gegners verzichtet wird, wenn vorher eine eigene unbeabsichtigte Defektion durch Rauschen entstanden ist. Auf diese Art kann die Kette von wechselseitigen Vergeltungen verhindert und ein erneutes kooperatives Verhalten hergestellt werden.

Die Strategie trifft ihre Entscheidung nicht nur aufgrund des letzten Zuges des Gegners, sondern auch aufgrund des Standings der beiden Spieler. Ein Spieler hat ein gutes Standing, wenn er in der vorherigen Runde kooperiert hat oder auf eine gegnerische Defektion mit eigener Defektion geantwortet hat. In allen anderen Fällen hat der Spieler ein schlechtes Standing. Das Verhalten kann folgendermaßen zusammengefasst werden: „Kooperiere, solange der Gegner ein gutes Standing hat oder die eigene Strategie ein schlechtes Standing hat. Sonst defektieren.“ (Sudgen, 1986).

Die *CTFT*-Strategie beginnt mit Kooperation und kooperiert solange bis sie provoziert wird. Treffen zwei *CTFT*-Strategien aufeinander und der erste Spieler defektiert durch einen Fehler, verliert dieser Spieler sein gutes Standing, kooperiert jedoch in der nächsten Runde. Der andere Spieler defektiert daraufhin, ohne jedoch sein gutes Standing zu verlieren (er antwortet auf eine unprovokierte Defektion). Daraufhin haben beide Spieler wieder ein gutes Standing und eine dauerhafte Kooperation setzt sich fort. Wenn in einem Vergleich ein Spieler versehentlich annimmt, dass der andere Spieler ein schlechtes Standing hat, so führt dies ähnlich wie bei *TFT*-Strategien zu Sequenzen wechselseitiger Vergeltungen. Im Noisy IPD, indem die Strategien nicht wissen, ob ihre Handlungen durch Rauschen beeinflusst wurden, ist diese Strategie nicht anwendbar.

In der experimentellen Analyse wird versucht, eine *CTFT*-Strategie so anzupassen, dass sie auch im Noisy IPD angewandt werden kann, indem die Strategien nicht wissen, wann ein Fehler vorliegt.

5.3.4 Win-Stay and Lose-Shift: Erfolgreiches Verhalten beibehalten (*Pavlov*)

Nowak u. Sigmund (1993) zeigten den Erfolg einer Strategie, welche erfolgreicher als *TFT* im Noisy IPD abschneidet. Dies ist die Strategie „Pavlov“, die aus einem evolutionären Prozess unter der Hinzunahme von Rauschen hervorging. Die Strategie beruht auf dem Win-Stay and Lose-Shift-Prinzip. Im Erfolgsfall wird bei der bisherigen Wahl geblieben und im anderen Fall wird die Wahl geändert. Die klassische Win-Stay, Lose-Shift-Strategie für das IPD ist die Strategie *Pavlov*.

Kraines u. Kraines (1995a,b) führten diese Strategieform als „Familie der Pavlov-Strategien“ ein und bestätigten den Erfolg von *Pavlov*-Strategien im Noisy IPD. Die Strategie basiert auf der Idee, dass, wenn die Auszahlungen in der letzten Runde hoch waren, dieselbe Entscheidung wie in der Vorrunde getroffen wird; im anderen Fall wird eine andere Wahl getroffen.

Die klassische *Pavlov*-Strategie kooperiert nur, wenn entweder beide Spieler kooperiert (CC) haben oder wenn beide Spieler defektiert haben (DD). Im Falle, dass die Strategie

für eigene Kooperation bestraft wurde (CD) oder für eine Defektion belohnt wurde (DC), wird Pavlov in der nächsten Runde defektieren. Damit unterscheidet sich die Strategie erheblich von *TFT*. Zwar hält *Pavlov* eine Kooperation aufrecht (C folgt CC) und antwortet auf gegnerische Defektion (D folgt CD). Jedoch hält *Pavlov* auch die Defektion aufrecht, wenn dadurch in der vorherigen Runde Erfolg erlangt werden konnte (D folgt DC), und zwar solange, bis der Gegner selber defektiert. Dann ändert *Pavlov* erneut sein Verhalten und kooperiert wieder.

Gegen eine *ALLD*-Strategie verliert *Pavlov* unnötig viele Punkte, da die Strategie zwischen Kooperation und Defektion wechselt.

Die obige Strategie ist die Strategie P_1 der Pavlov Familie P_n . Für jede natürliche Zahl n bestimmt $Pavlov_n$ den Grad der Kooperation im Verhältnis $\frac{1}{n}$, abhängig vom Ergebnis aus der Vorrunde.

Definition 5.3 (*Pavlov-Strategie P_n*). Die Pavlov-Strategie P_n mit der Lernrate von $\frac{1}{n}$ ist die Klasse:

$P_n = (P(i, n) : 0 \leq i \leq n, P(i, n) = \text{spiele } C \text{ mit der Wahrscheinlichkeit } \frac{i}{n})$

Wenn P_n mit einer Wahrscheinlichkeit von p in der letzten Runde kooperiert hat, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Strategie in der nächsten Runde kooperiert:

- $p + \frac{1}{n}$, wenn die Auszahlung R betrug
- $p - \frac{1}{n}$, wenn die Auszahlung P betrug
- $p + \frac{2}{n}$, wenn die Auszahlung T betrug
- $p - \frac{2}{n}$, wenn die Auszahlung S betrug

Kraines u. Kraines (1995a) schlagen Werte von drei oder vier für P vor.

5.3.5 Symbolic Noise Detection: Absicht oder Fehler erkennen (*DBS*)

Au u. Nau (2006b) präsentieren eine Technik im Umgang mit Rauschen im IPD, welche sie die „symbolic noise detection“ nennen. Die Technik beruht auf der Idee zu erkennen, ob Abweichungen im Verhalten des Spielers durch Absicht oder unabsichtlich (durch Rauschen) entstanden sind. Dazu entwickelten sie eine Strategie namens „DBS“, welche „symbolic noise detection“ nutzt. Dabei konstruiert *DBS* ein Modell vom Verhalten des anderen Spielers. Ist eine Aktion des Spielers abweichend von dem bisherigen Modell, kann diese Abweichung entweder durch Rauschen oder durch ein absichtliches Ändern des Verhalten entstanden sein. Dabei kann *DBS* oft zwischen diesen beiden Fällen unterscheiden, indem es die nächsten Zügen auf weitere Inkonsistenzen prüft. Der Erfolg der Technik ist darauf zurückzuführen, dass die meisten Strategien im IPD ein klares deterministisches Verhalten aufweisen.

DBS benutzt vier Grundtechniken (Au u. Nau, 2006a):

1. **Die Strategie des Gegners kennen lernen:** *DBS* macht Gebrauch von einer Induktionsstechnik um Richtlinien zu schaffen, welche das aktuelle Verhalten

```

Procedure DerivedBeliefStrategy()
  Initialize the hypothesized policy  $\pi$  (z. B. TFT)
  Loop until the end of the game
    Generate a move a based on  $\pi$  (by game-tree search)
    Obtain the other players move b
    If b contradicts any deterministic rule r in  $\pi$ 
      & the contradiction has recently occurred several times
        replace r in  $\pi$  with a probabilistic rule
    Else if b is consistent with a deterministic rule r not in  $\pi$ 
      & the consistency has recently occurred repeatedly
        replace the corresponding probabilistic rule in  $\pi$  with r

```

Prozedur Algorithmus der DBS Strategie (Au u. Nau, 2006b)

des Gegners nachbilden. Die Richtlinien geben die Wahrscheinlichkeit an, unter welcher der Spieler in verschiedenen Situationen kooperieren wird. *DBS* lernt die Wahrscheinlichkeiten während des Spiels und identifiziert ein Set von deterministischen Strategien, welche entweder 0 oder 1 als Wahrscheinlichkeit zur Kooperation haben.

2. **Rauschen erkennen:** Mit Hilfe dieser deterministischen Richtlinien versucht *DBS* Abweichungen zu erkennen, die entweder durch Rauschen oder durch eine absichtliche Verhaltensänderung entstanden sind (z. B. eine absichtliche Abweichung wie bei der Strategie *Joss*).

Wenn ein Zug von den vorgegebenen Richtlinien abweicht, löst diese Unbeständigkeit einen Überwachungsprozess aus, welcher diese Unbeständigkeiten in den nächsten Zügen überwacht. Der Überwachungsprozess dient der Feststellung, ob eine absichtliche Verhaltensänderung oder ein Störung durch Rauschen vorliegt.

3. **Kurzzeitiges Tolerieren von möglichen Fehlern des Gegners:** Solange bis der Überwachungsprozess beendet ist, nimmt *DBS* an, dass das Verhalten des Gegners den Richtlinien entspricht. Ist dieser Prozess beendet, entscheidet *DBS*, ob das Verhalten des anderen Spielers sich geändert hat und passt dementsprechend die Richtlinien an.
4. **Entscheidungen treffen basierend auf dem Modell des anderen Spielers:** *DBS* nutzt eine Spielbaumsuche, um Züge zu generieren, welche den Nutzen der *DBS*-Strategie erhöhen, wenn der andere Spieler sich so verhält, wie es die Richtlinien voraussagen.

DBS basiert auf der Erkennung von deterministischem Verhalten, um zwischen Rauschen und absichtlichen Verhaltensänderungen zu unterscheiden. *DBS* funktioniert gut, wenn der andere Spieler eine einfache Strategie benutzt, welche ihre Entscheidung hauptsächlich deterministisch trifft. Dabei profitiert *DBS* von der Tatsache, dass deterministisches Verhalten im IPD ein äußerst übliches Verhalten ist. Viele der Standardstrategien wie

TFT sind einfache Strategien. Einige Strategien (z. B. *Pavlov*) sind zwar keine einfachen Strategien, jedoch ist ein Großteil ihres Verhalten deterministisch. Der Pseudo-Code der Strategie wird in Algorithmus der *DBS* Strategie (Au u. Nau, 2006b) angegeben.

5.4 Axelrods Originalexperiment unter Rauschen

Axelrod u. Wu (1995) wiederholten das Originalexperiment von Axelrods zweitem Turnier mit den 63 Strategien. Diese 63 Strategien liefern ein weites Feld von unterschiedlichen Strategien, die sich gut im IPD behaupten sollen. Die Spieldauer beträgt im Schnitt 151 Runden. Um das Abschneiden der Strategien unter Rauschen zu überprüfen, führten sie das Turnier unter verschiedenen Rauschraten (0, 1% - 10%) durch. Das bedeutet, dass zu einem gewissen Prozentsatz die gewählte Entscheidung von Kooperation oder Defektion auf der anderen Seite falsch ankommt. Die ausgewählten Strategien waren zwar noch nicht an die Umstände von Rauschen angepasst, konnten jedoch eindrucksvoll zeigen, wie diese Strategien im Noisy IPD abschneiden. Jede Strategie spielt wieder gegen jede andere und die Durchschnittspunktzahl bestimmt den Sieger. Zusätzlich zu den 63 Strategien wurden vier an das Rauschen angepasste Strategien hinzugefügt:

1. *GTFT*: *Generous TFT*
2. *CTFT*: *Contrite TFT*
3. *Pavlov*: Die Win-Stay, Lose-Shift-Strategie *Pavlov*
4. *GPavlov*: Eine großzügige Variante der *Pavlov*-Strategie

Der Gewinner dieses Turniers bei einem Prozent Rauschen war die Strategie *GTFT*. *CTFT* belegte den sechsten Rang. Die Strategie *Pavlov* schnitt äußerst schlecht ab und belegte Rang 55. Ihre großzügigere Variante war nicht viel besser und erreichte Rang 48.

Abbildung 5.1 zeigt die Punktzahl der vier angepassten Strategien bei Rauschraten von 0, 1% - 10%. *GTFT* und *CTFT* sind bei allen Rauschraten erfolgreich, wobei *CTFT* bei höheren Rauschraten besser abschneidet und *GTFT* bei niedrigen Rauschraten. *Pavlov* und die großzügige *Pavlov*-Variante können nur die hinteren Plätze belegen.

5.4.1 Die ökologische Umgebung

Einen weiteren geeigneten Test, um Strategien im Noisy IPD zu überprüfen, stellt die ökologische Umgebung dar. Hier werden erfolgreiche Strategien in den nächsten Generationen des Turniers häufiger vertreten sein. So werden sich die Strategien vermehren, welche sich im Noisy IPD erfolgreich behaupten können. Die Strategien, die schlecht mit dem Rauschen umgehen können, werden von Generation zu Generation weniger im Umfeld vorhanden sein. Das Turnier startet wieder mit den 67 Strategien, den 63 Strategien aus Axelrods Originalexperiment und den vier an das Rauschen angepassten Strategien. In dieser Variante werden nur Untersuchungen mit einer Rauschrate von einem Prozent durchgeführt. Insgesamt läuft das Turnier über 2000 Generationen.

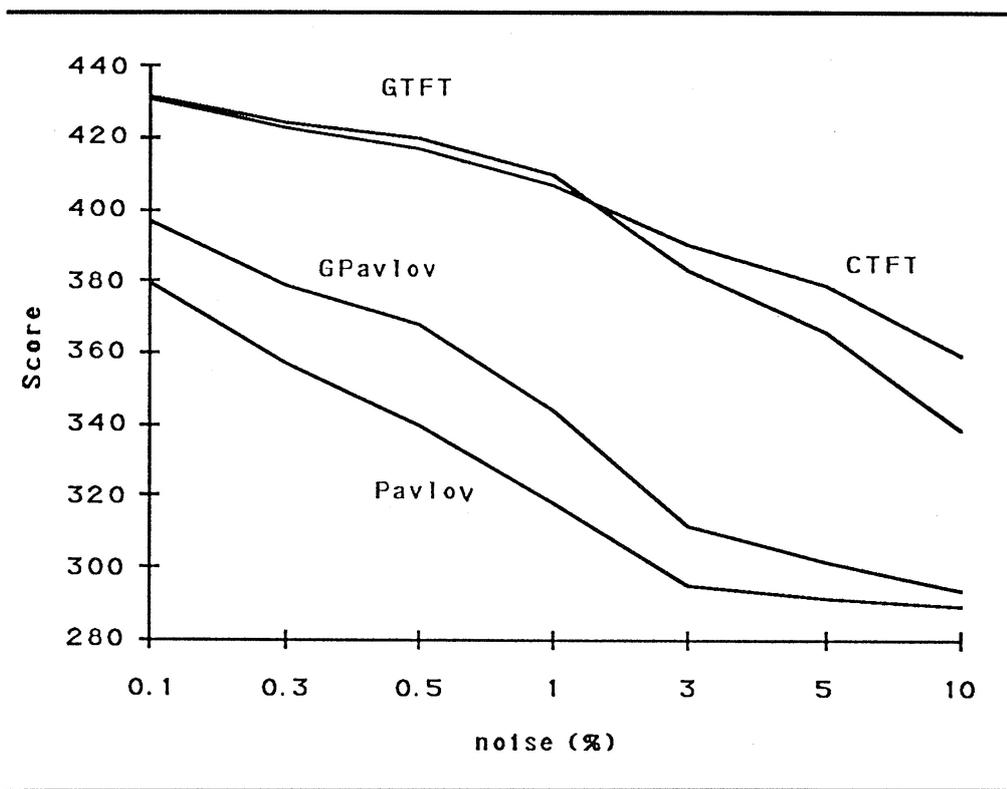


Abbildung 5.1: Die Punktzahl von vier an das Rauschen angepassten Strategien in der Wiederholung von Axelrods zweitem Turnier. Dieses Turnier wurde mit Rauschraten von 0,1% – 10% durchgeführt. *GTFT* und *CTFT* sind erfolgreich, die *Pavlov*-Strategien schneiden sehr schlecht ab (Axelrod u. Wu, 1995).

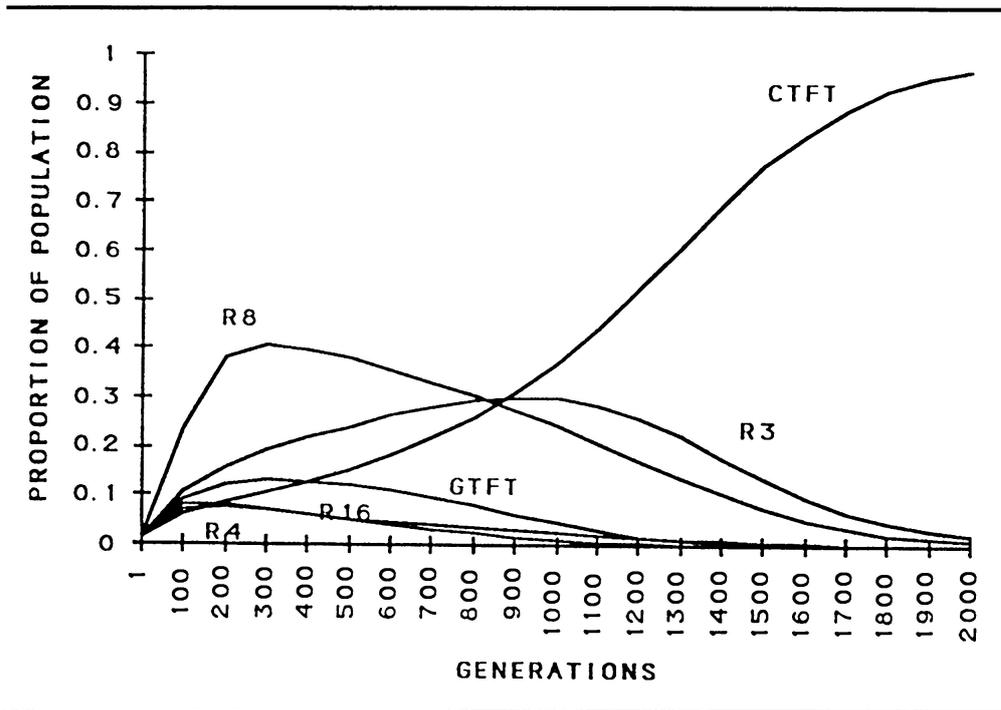


Abbildung 5.2: Wiederholung von Axelrods zweitem Originalexperiment. Hier werden die sechs besten Strategien in der ökologischen Umgebung bei einem Prozent Rauschen gezeigt. *GTFT* ist nur am Anfang erfolgreich, der klare Sieger nach 2000 Generationen ist *CTFT* mit 97% Anteil an der Population (Axelrod u. Wu, 1995).

Die Abbildung 5.2 zeigt das Ergebnis der sechs erfolgreichsten Strategien über 2000 Generationen. Die Strategien sind *GTFT* und *CTFT* sowie die Strategien *R3* (*R3* = dritter Platz im Originalturnier), *R4*, *R8* und *R16*. Die Strategie *R8* ist über die ersten hundert Generationen sehr erfolgreich, verliert aber nach der 500. Generation nach und nach an Populationsanteilen. Ab der 1000. Generation ist *CTFT* die führende Strategie und baut diesen Vorsprung bis zum Schluss auf 97% aus. *GTFT* ist zwar in den ersten Generationen sehr erfolgreich, verschlechtert sich aber erheblich in späteren Generationen. Die *Pavlov*-Strategien schneiden wieder sehr schlecht ab und haben am Ende nur einen minimalen Anteil an der Gesamtpopulation.

5.5 Experimentelle Untersuchung

5.5.1 Fragestellungen und Hypothesen

Die folgenden Fragen und Hypothesen werden in diesem Abschnitt experimentell untersucht.

1. Wie verhalten sich bisher erfolgreiche Strategien unter dem Einfluss von Rauschen? Untersuchung einzelner ausgewählter Strategien wie *TFT* und *Gradual*.
2. *Hypothese*: Es wird vermutet, dass beide Strategien schlecht unter Rauschen abschneiden, weil beide Defektionen mit eigener Defektion bestrafen.
3. Welche Auswirkungen hat Rauschen in einem *Round-Robin-Turnier*? Schneiden *TFT* und *Gradual*-Strategien mit steigender Rauschrate schlechter ab?
4. *Hypothese*: *TFT*- und *Gradual*-Strategien werden keine guten Ergebnisse erzielen. Strategien dürfen nicht jede Defektion bestrafen, um erfolgreich im Noisy IPD zu sein.
5. Wie ändern sich diese Ergebnisse in der ökologischen Umgebung?
6. *Hypothese*: In der ökologischen Umgebung werden solche Strategien am Ende mehr in der Population vertreten sein, die erfolgreich im Umgang mit Rauschen sind.
7. Welchen Erfolg haben speziell an das Rauschen angepasste Strategien? Wie erfolgreich sind diese Strategien? Wie ändern sich die vorherigen Turnierergebnisse?
8. *Hypothese*: Alle angepassten Strategien sind erfolgreich im Noisy IPD.

5.5.2 Experimentelles Setup:

Es wird dasselbe experimentelle Setup wie in 4.4.2 verwendet.

5.5.3 Verhalten von erfolgreichen Strategien im Noisy IPD

Fragestellung Wie verhalten sich bisher erfolgreiche Strategien unter dem Einfluss von Rauschen?

TFT und *Gradual* sind, wie verschiedene IPD-Turniere bewiesen haben, erfolgreiche Strategien für eine Vielzahl von Situationen. Es werden jeweils zwei *TFT*- und zwei *Gradual*-Strategien miteinander verglichen. Außerdem wird die durchschnittliche Punktzahl einer *Random*-Strategie ermittelt.

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*
- Rundenanzahl: 1000 Runden

- Strategien (Turnier 1): *TFT* gegen *TFT*, (Turnier 2): *Gradual* gegen *Gradual*, (Turnier 3): *Random* gegen *Random*
- Rauschwerte: kein Rauschen, 0.1%, 1%, 3%, 5% und 10%
- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn Mal wiederholt

Ergebnisse Die größtmögliche Punktzahl, die eine Strategie erreichen kann, sind 5000 Punkte. Dies ist der Fall, wenn eine Strategie das gesamte Spiel gegen eine immer kooperierende Strategie defektiert (*ALLD* gegen *ALLC*).

Eine *Random*-Strategie bekommt im Durchschnitt 2241 Punkte. Die erreichte Punktzahl ändert sich bei Rauschen nicht.

Ohne Einwirkung von Rauschen erhalten die beiden *TFT*-Strategien 3000 Punkte durch dauerhafte Kooperation. Die Ergebnisse des Vergleichs der zwei *TFT*-Strategien sind in Tabelle 5.5.3 zusammengefasst.

Tabelle 5.3: Die durchschnittliche Punktzahl einer *TFT*-Strategie bei unterschiedlichen Rauschraten.

Rauschrate (in Prozent)	0	0,1	1	3	5	10
Punktzahl	3000	2816	2336	2282	2263	2242

Schon bei einem Rauschen von einem Prozent erreicht *TFT* nur noch 2336 Punkte, anstatt der 3000 Punkte. Bei einem Rauschen von 3% erreicht die *TFT*-Strategie so viele Punkte, wie eine *Random*-Strategie im Durchschnitt erhält. Wird der Rauschwert weiter erhöht, verringert sich jedoch die Punktzahl kaum noch. Der schnelle Verlust von Punkten schon bei niedrigen Rauschraten wird in der Abbildung 5.3 noch einmal verdeutlicht.

Die Ergebnisse des gleichen Experiments mit zwei *Gradual*-Strategien sind in Tabelle 5.5.3 zusammengefasst. Die *Gradual*-Strategien sind kleinen Rauschraten mit 0,1%

Tabelle 5.4: Die durchschnittliche Punktzahl einer *Gradual*-Strategie bei unterschiedlichen Rauschraten.

Rauschrate (in Prozent)	0	0,1	1	3	5	10
Punktzahl	3000	2995	2792	1965	1602	1603

und 1% im Vergleich zu *TFT* robuster. Mit 0,1% Rauschen verliert die Strategie kaum Punkte (2995 Punkte) und auch bei einem Prozent Rauschen erhält sie deutlich mehr Punkte als eine *TFT*-Strategie (2792 Punkte im Vergleich zu den 2336 Punkten einer *TFT*-Strategie). Wird die Rauschrate erhöht, kommt es zu einem drastischen Abfall der Punkte. Bei 3% Rauschen fällt die Punktzahl von 2792 Punkten um 827 Punkte auf 1965 Punkte. Bei Rauschraten von 5% und 10% fällt die Punktzahl weiter. Der drastische Punktabfall wird in Abbildung 5.4 deutlich.

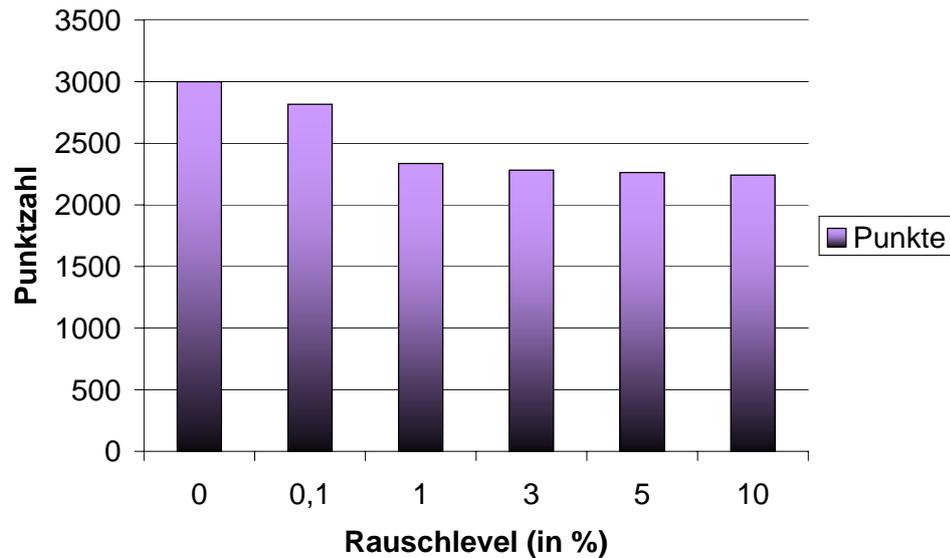


Abbildung 5.3: *TFT*-Strategien im Vergleich. *Round-Robin-Turnier* über 1000 Runden bei Rauschraten von 0,1% - 10%. *TFT*-Strategien schneiden schon bei geringen Rauschraten schlecht ab. Ab einem Prozent Rauschen gibt es keine signifikanten Änderungen.

Analyse der Ergebnisse Die Ergebnisse lassen sich dadurch erklären, dass *Gradual*-Strategien häufigere Defektionen mit der Zeit immer mehr bestrafen. Bei geringen Rauschraten schneidet *Gradual* aber gut ab, da die Strategie nach der Defektionsphase immer zwei Kooperationen zur Wiederherstellung der Kooperation anbietet. Bei höheren Rauschraten kann sich aber kaum wieder ein Gleichgewicht zwischen den Strategien einstellen, hat einmal die gegenseitige Bestrafung begonnen. Im Unterschied zu *TFT*-Strategien kommt es nicht zu einem ständigen Wechsel von Kooperation und Defektion (*CDCD*), sondern es stellt sich irgendwann eine dauerhafte Defektion zwischen den beiden *Gradual*-Strategien ein (*DDDD*).

Fazit Es bestätigt sich, dass *TFT*-Strategien äußerst empfindlich gegenüber Rauschen sind. Schon bei Rauschraten von einem Prozent erhält die Strategie nur noch die Punktzahl einer *Random*-Strategie. Bei höheren Rauschraten ändert sich die Punktzahl nicht mehr wesentlich.

Bei geringen Rauschwerten bis zum einem Prozent sind *Gradual*-Strategien weniger empfindlich. Höhere Rauschwerte ab 3 Prozent führen zu sehr starkem Punktverlust und ständiger Defektion zwischen den beiden Strategien.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die beiden im IPD erfolgreichen Strategien *TFT* und *Gradual* äußerst empfindlich gegenüber dem Rauschen sind. Die Abbildung 5.5 stellt die beiden Strategien noch einmal gegenüber und zeigt das unterschiedliche Abschneiden.

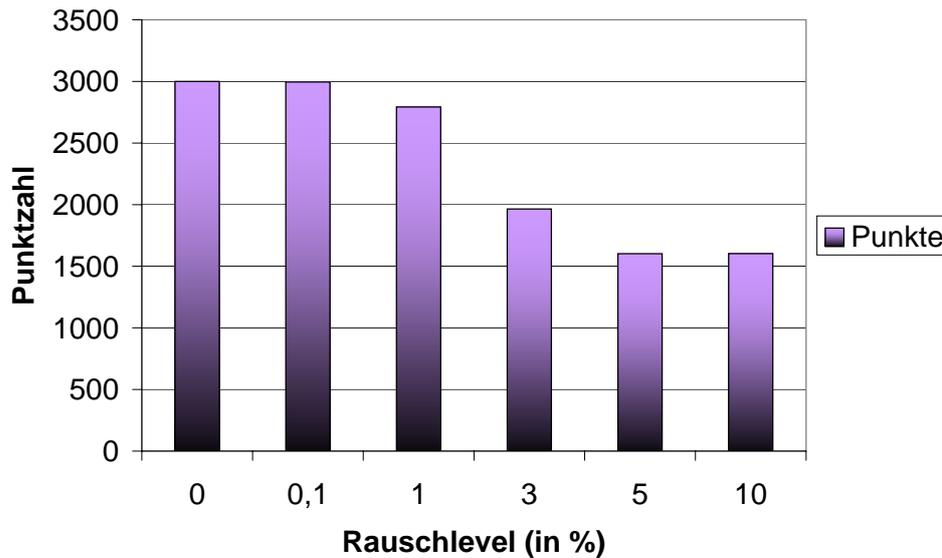


Abbildung 5.4: Zwei *Gradual*-Strategien im Vergleich in einem *Round-Robin-Turnier* über 1000 Runden bei Rauschraten von 0,1% - 10%. *Gradual*-Strategien zeigen eine große Empfindlichkeit gegen stärkeres Rauschen.

5.5.4 Rauschen im *Round-Robin-Turnier*

Fragestellung Welche Auswirkungen hat Rauschen in einem *Round-Robin-Turnier*? Bestätigen sich die Ergebnisse der Einzelanalysen von *TFT* und *Gradual*?

In verschiedenen *Round-Robin-Turnieren* soll die Robustheit bekannter Strategien im Noisy IPD überprüft werden.

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*
- Rundenanzahl: jedes Turnier besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Rauschwerte: kein Rauschen, 0.1%, 1%, 3%, 5% und 10%
- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn mal wiederholt
- Strategien: Insgesamt nehmen 40 Strategien an den Turnieren teil. Die eine Hälfte des Strategie-Sets bilden 20 bewährte Standardstrategien, die in 3.3.1 beschrieben und noch einmal kurz in der Tabelle 5.5 aufgelistet sind.

Die andere Hälfte des Strategiesets sind ausgewählte Strategien aus einem *Round-Robin-Turnier*, welches die PG474 im Juni 2005 durchgeführt hat (Baranski u. a., 2006). *Master-Slave-Strategien* wurden nicht in das Turnier aufgenommen. Die Strategien wurden so gewählt, dass ein möglichst differenziertes Teilnehmerfeld

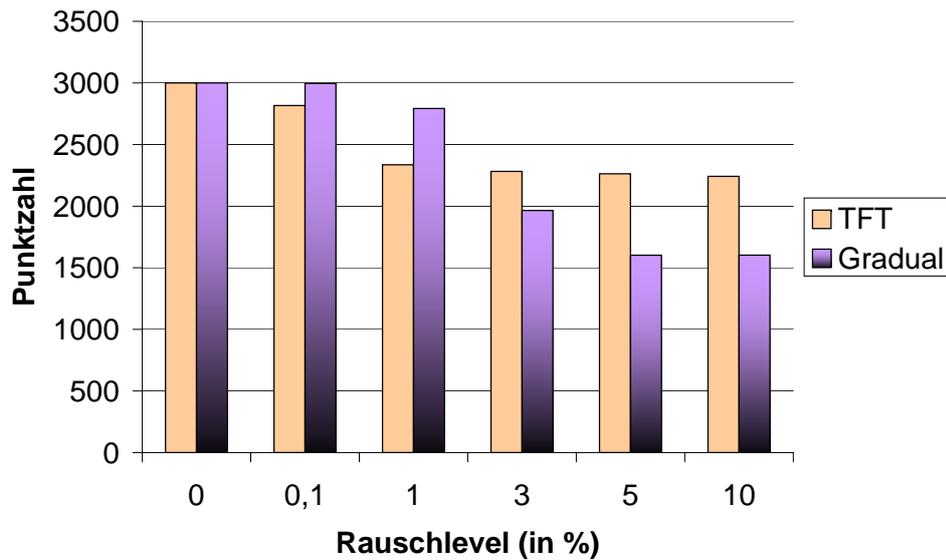


Abbildung 5.5: *TFT* und *Gradual* bei verschiedenen Rauschraten. *Gradual*-Strategien sind empfindlich bei hohen Rauschraten, *TFT*-Strategien bei niedrigen.

entsteht. Die 40 Strategien bilden ein realistisches und repräsentatives Set von Strategien.

Die 20 zusätzlichen Strategien werden kurz beschrieben und klassifiziert. Für eine ausführliche Beschreibung der Strategien wird auf Baranski u. a. (2006) verwiesen.

1. *Boris Konrad 1*: Die Strategie ist eine Implementierung der Siegerstrategie des Turniers von Pour La Science.
2. *Dirk Alpha*: *Dirk Alpha* ist eine *TFT*-Variante, die jeden zehnten Zug defektiert.
3. *evaWobeGa*: *evaWobeGa* ist eine durch einen evolutionären Prozess ermittelte Strategie, die besonders an die Standardstrategien angepasst ist.
4. *FJ LastTwen TFT*: Die Strategie ist eine *TFT*-Variante, welche die Gesamtanzahl der Defektionen berücksichtigt.
5. *Gralla 50*: Die Strategie spielt im Wechsel immer 50 Züge Kooperation und 50 Züge Defektion.
6. *Kemistry*: *Kemistry* ist eine Strategie, welche Standardstrategien erkennt und ihr Verhalten darauf ausrichtet.
7. *LateTFT*: Diese Strategie ist eine *TFT*-Variante, welche jedoch acht Defektion unbestraft toleriert.
8. *Muggling Through*: Die Strategie versucht das Verhalten des Gegners anhand der letzten fünf Züge zu bestimmen.
9. *Nils-TFT*: Die Strategie ist eine *TFT*-Variante.

Tabelle 5.5: Die Standardstrategien, welche in die durchgeführten Turniere aufgenommen wurden.

Strategienname	
<i>ALLD</i>	<i>ALLC</i>
<i>TFT</i>	<i>TfTT</i>
<i>PerKind</i>	<i>PerNasty</i>
<i>Go by Majority</i>	<i>Spite</i>
<i>Mistrust</i>	<i>Joss</i>
<i>Gradual</i>	<i>Prober</i>
<i>Tester</i>	<i>Hard Majority</i>
<i>Slow TFT</i>	<i>Hard TFT</i>
<i>Random</i>	<i>Per cccd</i>
<i>Doubler</i>	<i>Soft Joss</i>

10. *Schwalli Faku*: *Schwalli Faku* ist eine *Gradual*-Variante, welche nur ein bestimmtes Maß an Defektion toleriert (insgesamt maximal 40) und dann ständig defektiert.
11. *SchwallisGradual*: *SchwallisGradual* ist eine *Gradual*-Variante, welche jedoch nach der Defektionsphase nur eine Kooperation spielt.
12. *Sebrassi IPD I*: Diese Strategie zählt die Anzahl der Defektionen des Gegners. Neuere Defektionen werden immer schwerer gewichtet.
13. *Simon2*: Die Strategie bestimmt die Anzahl der Defektionen anhand der letzten fünf Züge des Gegners.
14. *Späte Rache*: *Späte Rache* ist eine *Spite*-Variante, welche jedoch unter Umständen Kooperation wieder zulässt.
15. *StrategyByBass*: Diese Strategie entspricht *TFT*, nur dass hier im Falle einer Defektion des Gegners lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{2}{5}$ selbst defektiert wird.
16. *THModGradual1*: *THModGradual1* ist eine *Gradual*-Variante, die ab Runde 25 jede Runde überprüft, ob die Anzahl der Defektionen des Gegners doppelt so groß wie die Anzahl der Kooperationen des Gegners ist. Ist dies der Fall wird nur noch defektiert.
17. *TitForTat Plus1*: Die Strategie ist eine *TFT*-Variante, welche jedoch zwei Defektion unbestraft toleriert.
18. *w-Random*: Die Strategie zählt die aktuelle Zugnummer und die Anzahl der Defektionen des Gegners. Es wird mit der Wahrscheinlichkeit $\frac{\text{Defektionen}}{\text{Zugnummer}}$ defektiert, ansonsten kooperiert.
19. *Der Zorn Gottes*: Diese Strategie kooperiert so lange, bis der Gegner insgesamt 23 Defektionen gespielt hat. Hat der Gegner diese 23 Defektionen erreicht, spielt die Strategie nur noch Defektion bis zum Ende des Spiels.

20. *Resistance is futile*: Die Strategie spielt periodisch Kooperation und Defektion nach bestimmten Wahrscheinlichkeiten.

5.5.4.1 Ergebnisstabelle

Ergebnisse Die Ergebnisse aller Turniere sind in der Tabelle 5.6 zusammengefasst.

Tabelle 5.6: Ergebnistabelle der *Round-Robin-Turniere* mit 40 Strategien. Es wurden Turniere bei Rauschraten von 0%, 0,1%, 1%, 3%, 5% und 10% durchgeführt. Die Tabelle ist nach den Ergebnissen des rauschfreien Vergleichsturnieres geordnet. Besonders das starke Abfallen der *Gradual*-Strategien wird deutlich. *TfTT* und *Doubler* sind erfolgreiche Strategien im Noisy IPD.

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Schwalli Faku</i>	1,7	4,4	22,5	32,7	34,1	33,8	<i>Gradual</i>
<i>THModGradual1</i>	3,0	3,2	13,9	23,1	29,8	32,1	<i>Gradual</i>
<i>Boris Konrad 1</i>	3,2	5,7	17,9	28,8	31,8	32,7	<i>Gradual</i>
<i>evaWobeGa</i>	3,4	5,2	17,4	20,9	21,1	24,0	<i>Evolutionär</i>
<i>Gradual</i>	6,0	4,5	16,1	16,3	17,8	24,7	<i>Gradual</i>
<i>Sebrassi IPD I</i>	6,0	6,2	13,0	16,6	19,9	27,1	<i>Gradual</i>
<i>Muggling Through</i>	6,1	18,8	25,6	34,3	34,5	34,2	<i>Letzte 5 Züge</i>
<i>SchwallisGradual</i>	6,6	3,5	11,2	17,2	16,9	23,6	<i>Gradual</i>
<i>Simon2</i>	9,0	6,0	13,8	11,7	12,4	13,7	<i>Letzte 5 Züge</i>
<i>Soft Joss</i>	10,0	9,0	8,6	5,8	6,3	7,0	<i>Joss</i>
<i>Der Zorn Gottes</i>	11,4	8,6	8,2	9,1	12,2	14,7	<i>Spite</i>
<i>FJLastTwen-TFT</i>	12,4	10,5	7,3	7,4	8,0	8,1	<i>TFT</i>
<i>Späte Rache</i>	13,4	21,5	25,6	22,5	21,1	17,3	<i>Joss</i>
<i>StrategyByBas</i>	15,1	13,9	12,7	5,9	6,1	10,9	<i>TFT</i>
<i>w-Random</i>	15,1	20,6	18,0	17,5	16,9	13,6	<i>Random</i>
<i>TFT Plus 1</i>	15,2	14,9	11,5	10,9	8,6	7,1	<i>TFT</i>
<i>Kemistry</i>	17,3	15,6	6,7	3,6	4,4	5,4	<i>Erkenner</i>
<i>Nils TFT</i>	17,7	21,3	20,4	12,1	11,8	9,2	<i>TFT</i>
<i>TFT</i>	18,2	21,8	15,9	13,2	11,5	9,1	<i>TFT</i>
<i>Slow TFT</i>	19,4	18,5	17,1	19,0	18,2	15,0	<i>TFT</i>
<i>Late TFT</i>	21,3	14,4	10,4	7,0	6,0	4,2	<i>TFT</i>
<i>Doubler</i>	22,2	16,2	5,8	1,8	1,7	2,1	<i>Sonst.</i>
<i>Spite</i>	22,9	27,2	31,0	39,0	38,9	38,4	<i>Spite</i>
<i>TfTT</i>	24,4	16,2	5,8	1,2	1,6	1,7	<i>TfTT</i>
<i>Go by Majority</i>	24,9	20,6	9,5	4,0	2,8	2,3	<i>Sonst.</i>

wird fortgesetzt

Fortsetzung von der letzten Seite

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Hard TFT</i>	25,1	27,6	35,7	36,9	37,7	37,2	<i>TFT</i>
<i>ALLC</i>	27,0	24,9	19,8	11,4	11,9	20,0	<i>Sonst.</i>
<i>Mistrust</i>	28,0	26,0	22,8	19,5	17,5	19,0	<i>Spite</i>
<i>Hard Majority</i>	29,0	28,2	27,6	23,8	26,8	25,3	<i>Sonst.</i>
<i>DirkAlpha</i>	30,0	30,0	25,0	28,5	25,1	17,6	<i>Sonst.</i>
<i>Per ccd</i>	31,5	31,4	28,8	25,5	24,1	23,8	<i>periodisch</i>
<i>Tester</i>	31,5	33,5	27,9	31,0	30,2	26,5	<i>Erkenner</i>
<i>Gralla50</i>	33,0	33,0	29,9	29,0	28,3	26,6	<i>periodisch</i>
<i>PerKind</i>	34,0	34,8	32,5	28,0	26,2	25,0	<i>periodisch</i>
<i>Prober</i>	35,1	32,3	28,5	25,2	23,1	23,5	<i>Erkenner</i>
<i>Random</i>	36,0	36,1	35,3	34,4	32,8	31,6	<i>Random</i>
<i>Joss</i>	36,9	36,9	29,3	31,1	28,5	17,8	<i>Joss</i>
<i>Resistance is futile</i>	38,0	38,9	36,3	37,5	36,6	36,3	<i>periodisch</i>
<i>PerNasty</i>	39,0	38,1	36,1	36,6	36,8	37,8	<i>periodisch</i>
<i>ALLD</i>	40,0	40,0	36,0	40,0	40,0	40,0	<i>Sonst.</i>

Die Abbildung 5.6 zeigt die durchschnittliche Punktzahl einer Strategie bei den verschiedenen Rauschwerten.

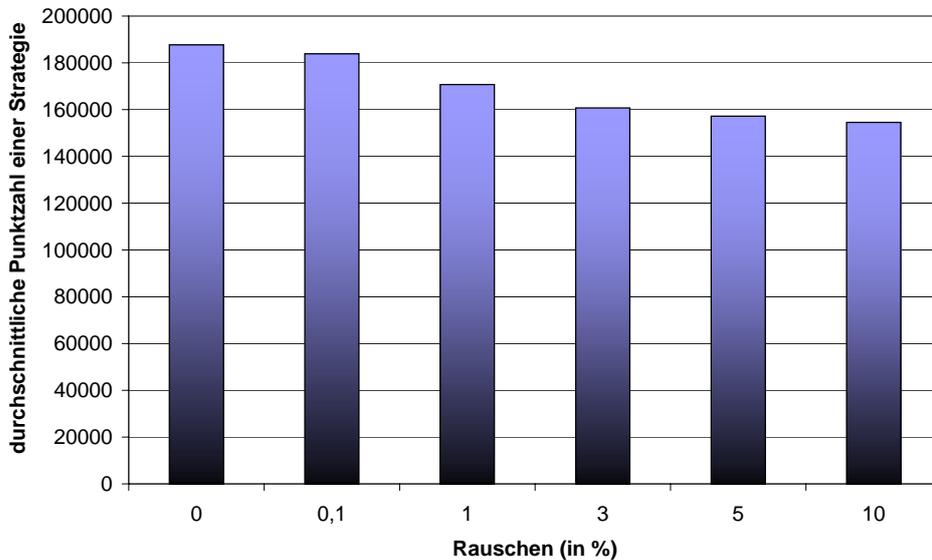


Abbildung 5.6: Die durchschnittliche Punktzahl einer Strategie im *Round-Robin-Turnier* bei Rauschwerten von 0,1% - 10%. Zunehmendes Rauschen führt zu weniger Kooperation und zu einer niedrigeren Punktzahl für alle Strategien.

Es wird deutlich: zunehmendes Rauschen führt zu weniger Kooperation.

Die Ergebnisse der einzelnen *Round-Robin-Turniere* werden für jede Rauschrate getrennt präsentiert.

Vergleichsturnier ohne Rauschen In dem Turnier ohne jegliches Rauschen dominieren die *Gradual*-Strategien. Insgesamt gibt es sechs *Gradual*-Varianten, die sich leicht in der Implementierung unterscheiden. Diese Strategien belegen alle vordere Plätze. Neben den ersten drei Plätzen belegen sie die Plätze fünf, sechs und acht.

Sieben *TFT*-Varianten sind im Teilnehmerfeld. Die beste Variante belegt Platz zwölf, die klassische Variante Platz 19 und *Hard TFT* den schlechtesten Platz auf 26. *TfTT* belegt nur Platz 24, knapp vor *ALLC* auf Platz 27.

Periodische Strategien schneiden grundsätzlich schlecht ab. Die schlechteste Platzierung hat *ALLD* auf Platz 40, sogar *Random* ist auf Platz 36 erfolgreicher.

Fazit: In einem normalen Round-Robin-Turnier sind Gradual-Varianten erfolgreiche Strategien. Sie sind TFT-Strategien überlegen. Aggressive und periodische Strategien belegen die hinteren Plätze.

0,1 Prozent Bei einem Rauschwert von 0,1 Prozent gibt es nur zu marginale Änderungen der vorherigen Ergebnisse. Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen beträgt 2,4 Plätze. Die *Gradual*-Strategien sind weiter dominant und können jetzt sogar die ersten vier Plätze belegen.

Die *TFT*-Strategien ändern sich auch nur leicht in den Platzierungen; klassische *TFT*-Strategien verschlechtern sich um wenige Plätze, jedoch verbessern sich solche *TFT*-Varianten, die eine gewisse Anzahl an Defektionen tolerieren (*Late TFT* von Platz 21 auf Platz 14). *TfTT* verbessert sich um acht Plätze. Den größten Verlust muss die Strategie *MuggingThrough* hinnehmen. Sie verliert zwölf Plätze. Bei den unteren 15 Strategien gibt es kaum Veränderungen (die durchschnittliche Abweichung der letzten 15 Strategien ist ein Platz).

Fazit: Es gibt nur unwesentliche Änderungen der vorherigen Ergebnisse. Die Gradual-Varianten belegen weiterhin die ersten Plätze. Die TFT-Strategien verlieren einige Plätze, wobei großzügige TFT-Varianten Plätze gut machen.

1 Prozent Alle *Gradual*-Strategien verlieren mehr als zehn Plätze. Die durchschnittliche Platzierung einer *Gradual*-Strategie ändert sich von Platz 4,2 auf Platz 15,5. Die beste *Gradual*-Strategie belegt jetzt nur noch den neunten Platz in der Tabelle.

Die durchschnittliche Platzierung einer *TFT*-Strategie verbessert sich von Platz 18,5 auf Platz 17,7, wobei zu erkennen ist, dass sich Varianten von *TFT*, die einige Defektionen tolerieren, verbessern (*Late TFT* von Platz 21 auf Platz zehn) und andere Varianten sich stark verschlechtern (*Hard TFT* von Platz 25 auf Platz 35).

Der Sieger des Turniers ist die Strategie *Doubler*, gefolgt von der Strategie *TfTT*. Beide sind sehr kooperative Strategien, die viele Defektionen tolerieren.

Die aus einem evolutionären Entwicklungsprozess und an Standardstrategien angepasste Strategie *evaWobeGa* verliert zwölf Plätze und fällt auf Platz 18 zurück. Die

immer defektierende Strategie *ALLD* verlässt zum ersten Mal den letzten Platz und steigt auf Platz 38. Strategien wie *Spite*, die eine einmalige Defektion mit dauerhafter eigener Defektion beantworten, verschlechtern sich merklich. *Spite* fällt von Platz 23 auf Platz 31. Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen beträgt 7,2 Plätze.

Fazit: Bei einer Rauschrate von einem Prozent kommt es zu starken Veränderungen in der Tabelle. Die Gradual-Strategien fallen im Durchschnitt zehn Plätze ab. TFT-Strategien bleiben weiterhin relativ konstant. Sieger sind großzügige Strategien wie TfTT oder Doubler.

3 Prozent Bei einem Rauschen von drei Prozent bleiben die ersten drei Strategien (im Vergleich zum Turnier mit einem Prozent Rauschen) identisch. Die einfache Strategie *Go by Majority* klettert auf den vierten Platz. Die *Gradual*-Strategien verschlechtern sich weiter und fallen durchschnittlich um sieben Plätze von Platz 15 auf Platz 22.

Die *TFT*-Strategien verbessern sich im Durchschnitt weiter von Platz 17,7 auf Platz 14,8. Hierbei wird eine Dreiteilung der *TFT*-Strategien immer deutlicher. Die großzügigen Varianten *StrategyByBas*, *FJLastTwen-TFT* und *Late TFT* belegen die Plätze sechs, sieben und acht. Die klassischen Varianten *Nils TFT* und *TFT* belegen die Plätze 13 und 14 und die Varianten *Slow TFT* und *Hard TFT* die Plätze 19 und 37. Periodische Strategien schneiden weiterhin ähnlich schlecht ab wie im rauschfreien Vergleichsturnier.

Fazit: Bei einer Rauschrate von drei Prozent steigt die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen auf 9,8 Plätze. Dies liegt vor allem daran, dass die Gradual-Strategien noch weiter abfallen. Bei den TFT-Strategien muss zwischen großzügigen und nicht großzügigen Strategien unterschieden werden, wobei erstere erheblich besser abschneiden.

5 Prozent Die Unterschiede beim Übergang von drei auf fünf Prozent Rauschen fallen wieder kleiner aus. Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen steigt lediglich um 0,8 Plätze von 9,8 auf 10,6 Plätze. Die *TFT*-Strategien verbessern sich leicht um einen Platz auf durchschnittlich Platz 13,7. Die ersten vier Plätze bleiben identisch, wobei *Go by Majority* die Platzierung mit *Kemistry* getauscht hat. Auffällig ist, dass die Strategie *ALLC* mittlerweile auf Platz elf gestiegen ist, obwohl sie leicht ausgebeutet werden kann. *Fazit: Die Unterschiede zwischen einem dreiprozentigem Rauschen und fünfprozentigem Rauschen sind nicht sehr groß.*

10 Prozent Bei der größten Erhöhung der Rauschrate bleiben die Änderungen in der Tabelle eher gering. Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen erhöht sich im Vergleich zu drei Prozent nur um einen Platz auf 11,8 Plätze. Die Siegerstrategien auf den ersten drei Plätzen bleiben identisch. Die *Gradual*-Strategien fallen weiter leicht ab und die *TFT*-Strategien verbessern sich leicht. Die beste *TFT*-Strategie ist *Late TFT*, die mittlerweile auf Platz vier gestiegen ist.

Fazit: Auch bei einem zehnprozentigem Rauschen kommt es zu keinen weiteren erheblichen Änderungen in der Tabelle. Die Siegerstrategien sind identisch zum ein prozentigen

Rauschen.

Zusammenfassung der Ergebnisse Die Ergebnisse der Turniere liefern einen guten Überblick über die Auswirkungen von Rauschen im IPD. Die unterschiedlichen Auswirkungen von verschiedenen Rauschraten werden anhand der durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen in Tabelle 5.7 zusammengefasst.

Tabelle 5.7: Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum rauschfreien Turnier bei den Rauschwerten von 0,1% - 10%. Ergebnisse aus dem *Round-Robin-Turnier*.

Rauschrate (in %)	0,1	1	3	5	10
durchschnittliche Abweichung (in Plätzen)	2,6	7,2	9,6	10,6	11,8

Im rauschfreien IPD dominieren die *Gradual*-Strategien. Die *TFT*-Strategien sind nicht so erfolgreich und belegen Plätze im Mittelfeld der Tabelle.

Ein Rauschwert von 0,1% führt noch zu keinen größeren Änderungen. Auch hier sind *Gradual*-Strategien dominant.

Die Ergebnisse bei einem Rauschen von einem Prozent stehen stellvertretend für die Auswirkungen von Rauschen. Diese Ergebnisse werden durch höheres Rauschen dann nur noch verdeutlicht.

Die *Gradual*-Strategien verlieren ab einem Prozent Rauschen deutlich an Plätzen und sinken mit stärkerem Rauschen immer weiter ab, so dass sie nur noch untere Plätze belegen. Sie sind sehr empfindlich gegenüber Rauschen.

Die *TFT*-Strategien verbessern sich – auch begünstigt durch das Abfallen der *Gradual*-Strategien – mit zunehmenden Rauschen. Hier muss zwischen normalen und großzügigen *TFT*-Varianten unterschieden werden.

Allgemein belegen zwei großzügige Strategien ab einem Prozent Rauschen durchgehend die beiden vorderen Plätze. *TfTT* und *Doubler* sind erfolgreiche Strategien für das *Noisy IPD*.

ALLD belegt dauerhaft den letzten Platz, nur bei einem Prozent Rauschen kann sich die Strategie einmal auf Platz 38 steigern. Periodische Strategien sind nicht erfolgreich, ebenso wenig zufällige Strategien wie *Random*.

5.5.5 Rauschen im ökologischen Turnier

Fragestellung Wie ändern sich die Ergebnisse des *Round-Robin-Turniers* in der ökologischen Umgebung? Sind hier Strategien erfolgreich, die besonders gut im Umgang mit Rauschen umgehen und so in späteren Generationen häufiger vertreten sind?

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*

- Rundenanzahl: jedes *Round-Robin-Turnier* besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Rauschwerte: kein Rauschen, 0.1%, 1%, 3%, 5% und 10%
- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn Mal wiederholt
- Strategien: wie im *Round-Robin-Turnier*, vergleiche 5.5.4
- Generationen: 1000

Die Ergebnisse aller Turniere sind in der Tabelle 5.8 zusammengefasst.

Tabelle 5.8: Ergebnistabelle der Turniere in der ökologischen Umgebung mit 40 Strategien. Es wurden Turniere bei Rauschraten von 0%, 0,1%, 1%, 3%, 5% und 10% durchgeführt. Die Tabelle ist nach den Ergebnissen des rauschfreien Vergleichsturnieres geordnet. Die Ergebnisse der *Round-Robin-Turniere* werden größtenteils bestätigt. Besonders auffällig ist das Abschneiden der periodischen Strategien *Per cccd* und *PerKind*.

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Boris Konrad 1</i>	3	13,6	27,8	32	33,5	33,7	<i>Gradual</i>
<i>Simon2</i>	3,2	9,8	10,8	9,2	11	13,3	<i>Gradual</i>
<i>Sebrassi IPD I</i>	4,1	8,1	14,7	20,9	22,6	26,6	<i>Gradual</i>
<i>Schwalli Faku</i>	4,4	10,5	30,3	35,1	36,4	36,2	<i>Gradual</i>
SchwallisGradual	4,7	5	17,4	21,3	21,7	28,2	<i>Gradual</i>
<i>Muggling Through</i>	5,8	25,5	34	35,7	37,3	36,7	<i>Letzte 5 Züge</i>
<i>Gradual</i>	6,4	6,7	15,6	21,4	20,6	26,4	<i>Gradual</i>
<i>THModGradual1</i>	6,8	9	17,2	26,1	30,4	34,5	<i>Gradual</i>
<i>Soft Joss</i>	7,9	1,9	2,9	3,2	3,7	5,3	<i>Joss</i>
<i>FJLastTwen-TFT</i>	9,8	1,6	4,4	5,2	10,8	13,9	<i>TFT</i>
<i>TFT Plus 1</i>	11	8,1	10,7	11	12,3	12,1	<i>TFT</i>
<i>Slow TFT</i>	12,3	14,7	16,9	21,2	24,4	26,9	<i>TFT</i>
<i>Späte Rache</i>	13,2	20,7	26,1	27,4	21,3	19,3	<i>Spite</i>
<i>TFT</i>	14,7	17,8	12,9	15,4	13,2	14,6	<i>TFT</i>
<i>Nils TFT</i>	14,9	16,1	12,5	15,1	15,4	14,5	<i>TFT</i>
StrategyByBas	15,7	5,8	2,9	4,6	5,6	5,3	<i>TFT</i>
<i>w-Random</i>	17,2	24,4	20,6	18,2	13,6	10	<i>Random</i>
<i>Hard TFT</i>	18,7	28,2	36,8	36,6	36,6	36,4	<i>TFT</i>
<i>TfTT</i>	18,9	8,7	1,3	2,1	5,3	6,6	<i>TfTT</i>
<i>Der Zorn Gottes</i>	20,3	15	10,9	16,7	19,1	22,8	<i>Spite</i>

wird fortgesetzt

Fortsetzung von der letzten Seite

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>evaWobeGa</i>	20,8	24,5	20,9	17,7	13,6	13,3	<i>Evolutionär</i>
<i>Late TFT</i>	21,4	9,8	8,1	11,3	9,1	5	<i>TFT</i>
<i>Go by Majority</i>	22,8	15,8	7,8	10,9	14,4	13,3	<i>Sonst.</i>
<i>Doubler</i>	22,9	14,4	4,5	6,6	4,6	5,7	<i>Sonst.</i>
<i>Spite</i>	24,7	29,6	37,8	36,4	39	38,7	<i>Spite</i>
<i>ALLC</i>	25,4	18,8	5,4	9,5	16,6	16,8	<i>Sonst.</i>
<i>Kemistry</i>	27	21,7	14,9	9,5	6,6	11	<i>Erkenner</i>
<i>Mistrust</i>	28,1	24,3	23,2	21,7	23,3	21,8	<i>Spite</i>
<i>Hard Majority</i>	28,9	25,7	25,1	29	31,7	34,2	<i>Sonst.</i>
<i>Dirk Alpha</i>	30	31	29,2	26,7	25,7	20,1	<i>Sonst.</i>
<i>Prober</i>	31	29,2	30,7	30,5	30,4	29,8	<i>Erkenner</i>
<i>Per cccd</i>	32,4	32	20,3	3,8	1,4	1,1	<i>periodisch</i>
<i>Gralla 50</i>	32,6	33,7	33,6	32,5	30,2	23,7	<i>Sonst.</i>
<i>Tester</i>	34	33,9	26,8	15,8	11,5	9,3	<i>Erkenner</i>
<i>Joss</i>	35,2	36,1	34,1	30,3	28,8	24,2	<i>Joss</i>
<i>PerKind</i>	35,8	34,4	24,6	10,1	5,2	3,8	<i>periodisch</i>
<i>Random</i>	37	36,9	32,1	28,4	26,2	22,2	<i>Random</i>
<i>Resistance is futile</i>	38	38,9	38	37,6	35,5	33,2	<i>Sonst.</i>
<i>PerNasty</i>	39	38,1	36,2	33,3	31,4	29,5	<i>periodisch</i>
<i>ALLD</i>	40	40	40	40	40	40	<i>Sonst.</i>

Die Ergebnisse der einzelnen Turniere in der ökologischen Umgebung werden erneut für jede Rauschrate getrennt beschrieben.

Vergleichsturnier ohne Rauschen Die sechs *Gradual*-Strategien sind alle unter den ersten acht Strategien zu finden. Die sieben *TFT*-Strategien liegen zwischen Platz zehn und 22. Der Sieger des Turniers ist die *Gradual*-Variante *Boris Konrad 1*. Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich des *Round-Robin-Turniers* zur ökologischen Umgebung ist mit 2,72 Plätzen gering.

Fazit: Die Ergebnisse aus dem *Round-Robin-Turnier* bestätigen sich größtenteils in der ökologischen Umgebung. Auch hier dominieren die *Gradual*-Strategien vor den *TFT*-Strategien.

0,1 Prozent Bei 0,1 Prozent in der ökologischen Umgebung ist die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen mit 4,66 deutlich höher als im *Round-Robin-Turnier*. Die *Gradual*-Strategien fallen stärker ab, durchschnittlich auf Platz acht. Die *TFT*-Strategien verbessern sich deutlich, mit *FJLastTwen-*

TFT gewinnt sogar eine *TFT*-Variante das Turnier. Die großzügige *Joss*-Variante Strategie *Soft Joss* belegt Platz zwei. Auch die im verrauschten *Round-Robin-Turnier* erfolgreichen Strategien *TfTT* und *Doubler* steigen in der Tabelle auf.

Fazit: Die Gradual-Strategien verschlechtern sich schon bei einem minimalen Rauschen von 0,1% deutlich. TFT-Strategien verbessern sich. Die im Round-Robin-Turnier bei Rauschen erfolgreichen Strategien sind auch hier erfolgreich.

1 Prozent Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen steigt deutlich auf 9,16 Plätze und liegt damit deutlich höher als im identischen *Round-Robin-Turnier* (7,2 Plätze). Die Strategie *TfTT* gewinnt das Turnier, *Soft Joss* kann den zweiten Platz beibehalten. *StrategyByBas* und *FJLastTwo-TFT* belegen als *TFT*-Strategien die Plätze drei und vier. Die *Gradual*-Strategien fallen im Schnitt auf den 20. Platz ab. Die Siegerstrategie im rauschfreien Vergleichsturnier *Boris Konrad 1* fällt auf den 28. Platz zurück. *ALLC* steigt um 20 Plätze auf Platz fünf.

Fazit: In der ökologischen Umgebung hat schon schwaches Rauschen erheblich deutlichere Auswirkungen als im Round-Robin-Turnier. Die Gradual-Strategien schneiden sehr schlecht ab. Die kooperativen und großzügigen Strategien sind erfolgreich.

3 Prozent Die vorderen Plätze bleiben gleich. Die größte Veränderung betrifft die periodische Strategie *Per cccd*, welche von Platz 20 auf Platz drei steigt. Im *Round-Robin-Turnier* konnte keine periodische Strategie erfolgreich sein. Auch *PerKind* kann sich deutlich verbessern (Platz 25 auf Platz zehn).

Fazit: Die Änderungen in der Tabelle sind gering. Auffällig ist, dass die beiden periodischen Strategien Per cccd und PerKind erfolgreich abschneiden.

5 Prozent Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen steigt auf 11,78 Plätze, mehr als im zehnpromzentigen *Round-Robin-Turnier*. *Gradual*-Strategien sind mittlerweile im Durchschnitt auf Platz 27 gefallen. Abgesehen von den Varianten *Hard TFT* und *Slow TFT*, schneiden *TFT*-Strategien mit Platz zehn im Durchschnitt erfolgreich ab. Überraschenderweise gewinnt *Per cccd* das Turnier und *PerKind* belegt Platz vier. *Soft Joss* kann weiterhin den zweiten Platz belegen.

Fazit: Bei einem Rauschen von fünf Prozent in der ökologischen Umgebung siegt die periodische Strategie Per cccd, die ihr Verhalten nicht vom Gegner abhängig macht. TFT-Strategien schneiden gut ab, Gradual-Strategien sehr schlecht.

10 Prozent Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum Turnier ohne Rauschen erreicht mit 13,38 Plätzen ihren Höchstwert und liegt über einem Prozent über dem Wert im *Round-Robin-Turnier*. Sieger sind die beiden periodischen Strategien *Per cccd* und *PerKind*. Auf dem dritten Platz landet die *TFT*-Strategie *Late TFT* und auf dem vierten Platz die Strategie *Soft Joss*. Die beiden besten Strategien aus dem verrauschten *Round-Robin-Turnier* (*Doubler* und *TfTT*) belegen die Plätze sechs und sieben. Die Ergebnisse im unteren Feld bleiben konstant.

Fazit: Kooperative periodische Strategien belegen überraschend die ersten beiden Plätze.

Zusammenfassung der Ergebnisse Die Ergebnisse aus dem *Round-Robin-Turnier* bestätigen sich größtenteils auch in der ökologischen Umgebung. Jedoch haben hier schon kleinere Rauschraten wesentlich größere Auswirkungen auf die Änderungen in der Ergebnissetabelle, wie die Tabelle 5.9 zeigt.

Tabelle 5.9: Die durchschnittliche Abweichung einer Strategie im Vergleich zum rauschfreien Turnier bei den Rauschwerten von 0,1% - 10%. Ergebnisse aus dem ökologischen Turnier.

Rauschrate (in %)	0,1	1	3	5	10
durchschnittliche Abweichung (in Plätzen)	4,66	9,16	11	11,78	13,38

Im rauschfreien Turnier belegen erneut alle *Gradual*-Strategien die ersten Plätze. Sie fallen im Durchschnitt von Platz 4,7 auf Platz 31 bei zehnprozentigem Rauschen.

Die *TFT*-Strategien können sich wieder bei steigendem Rauschen leicht verbessern.

Im verrauschten *Round-Robin-Turnier* erfolgreiche Strategien sind auch hier erfolgreich, wobei *TfTT* bei einem stärkerem Rauschen ab drei Prozent diesmal wieder etwas zurückfällt und bei zehn Prozent nur Platz sieben belegt. *Doubler* belegt die Plätze vier bis sechs ab einem Prozent Rauschen.

Überraschenderweise schneiden bei zunehmendem Rauschen ab drei Prozent kooperative periodische Strategien sehr gut ab. *Per ccd* (Platz 32 im rauschfreien Vergleichsturnier) gewinnt ab fünf Prozent Rauschen und *PerKind* belegt Platz zwei bei zehn Prozent Rauschen.

Fazit: In der ökologischen Umgebung ist die durchschnittliche Abweichung einer Strategie schon bei kleineren Rauschraten deutlich höher. Die Ergebnisse aus dem *Round-Robin-Turnier* bestätigen sich soweit, dass *Gradual*-Strategien gut ohne Rauschen und sehr schlecht mit Rauschen abschneiden. *TFT*-Strategien sind nicht stark vom Rauschen betroffen und können sich sogar etwas verbessern. Bei Rauschraten bis fünf Prozent sind die im *Round-Robin-Turnier* erfolgreichen Strategien auch hier erfolgreich (*TfTT* und *Doubler*). Überraschend sind die Ergebnisse bei Rauschraten ab fünf Prozent, bei denen kooperative periodische Strategien gewinnen, die ihr Verhalten nicht vom Gegner abhängig machen.

5.5.6 An das Rauschen angepasste Strategien

Fragestellung Wie erfolgreich sind Strategien, welche explizit an das Rauschen angepasst wurden, bei der Wiederholung des *Round-Robin-Turniers*? Bestätigen sich die bekannten Ergebnisse?

Experimentelles Setup

- Turnierform: *Round-Robin-Turnier*
- Rundenanzahl: jedes Turnier besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Rauschwerte: kein Rauschen, 0, 1%, 1%, 3%, 5% und 10%
- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn Mal wiederholt
- Strategien: 40 Strategien wie im *Round-Robin-Turnier* in 5.5.4 und die folgenden sechs an das Rauschen angepasste Strategien:

1. Generous *TFT*: für die Wahl der Großzügigkeit wurde folgender von Molander (1985) vorgeschlagene Wert gewählt:

$$g(R, P, T, S) = \min \left(\frac{1 - (T - R)}{(R - S)}, \frac{(R - P)}{(T - P)} \right)$$

Bei der gewählten Auszahlungsmatrix 3.2 ergibt dies einen Wert von $\frac{1}{3}$.

2. *New CTFT*: Wie bereits beschrieben (vgl. 5.3.3), ist eine Implementierung von *CTFT* im Noisy IPD nicht möglich, da die Strategien nicht wissen, wann eine Information falsch übertragen wurde. Deshalb wurde versucht das Verhalten von *CTFT* mit *New CTFT* nachzubilden. Diese Strategie erkennt Muster von wechselseitiger Defektion und Kooperation (CDCDCD) und versucht diesen Zyklus durch eine Kooperation wieder aufzulösen.
3. Pavlov: Die klassische *Pavlov*-Version mit Kooperationsgrad $P = 1$
4. Pavlov P4: Der Kooperationsgrad der *Pavlov*-Strategie auf $P = 4$ gesetzt.
5. *DBS*: Strategie, welche die „symbolic noise detection“ nutzt
6. *Noise Improved Gradual*: Diese Version von *Gradual* verhält sich ähnlich *Generous TFT*. Sie akzeptiert zufällig ein Drittel der gegnerischen Defektionen unbestraft. Das Listing 5.1 zeigt die Implementierung dieser Strategie.

Listing 5.1: Implementierung der *Noise Improved Gradual*-Strategie

```
public int getMove(int lastOpponentMove) {
    if (lastOpponentMove == Strategy.DEFECT)
        return (Math.random() < (1d / 3d)) ? Strategy.COOPERATE :
            Strategy.DEFECT;

    if (state==0) {
        if (lastOpponentMove==COOPERATE) return COOPERATE;
        state = punishment + 2;
        punishment++; }
    return (--state>=2)?DEFECT:COOPERATE;}
```

Ergebnisse Die Ergebnisse aller Turniere sind in der Tabelle 5.10 zusammengefasst.

Tabelle 5.10: Ergebnistabelle der *Round-Robin-Turniere* mit 40 Strategien und sechs zusätzlich an das Rauschen angepassten Strategien. Es wurden Turniere bei Rauschraten von 0%, 0,1%, 1%, 3%, 5% und 10% durchgeführt. Die Tabelle ist nach den Ergebnissen des rauschfreien Vergleichsturnieres geordnet. *Gradual*-Strategien schneiden im Noisy IPD sehr schlecht ab. Die *Pavlov*-Strategien belegen nur hintere Plätze. *DBS* ist die mit Abstand beste Strategie.

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Schwalli Faku</i>	1,5	4,4	31,4	39,4	40,2	40,6	<i>Gradual</i>
<i>evaWobeGa</i>	2,8	8,6	24,6	25,8	26,7	29,3	<i>Evolutionär</i>
<i>THModGradual1</i>	3,6	6,6	20,1	29,9	36,8	38,8	<i>Gradual</i>
<i>DBS</i>	3,7	1	1	1	1	1	<i>angepasst</i>
<i>Boris Konrad 1</i>	4	5,5	27,6	36,5	38,5	38,8	<i>Gradual</i>
<i>Sebrassi IPD I</i>	6,7	5,5	16,5	23,6	24,7	31,5	<i>Gradual</i>
<i>Gradual</i>	7,5	4	18,3	21,9	24,6	33,3	<i>Gradual</i>
<i>Muggling Through</i>	7,5	23,6	34,3	40,3	40,9	40,7	<i>Gradual</i>
<i>SchwallisGradual</i>	7,9	5,5	16,1	21,4	23,6	31,8	<i>Gradual</i>
<i>Simon2</i>	9,9	7,9	15,2	15,6	16	22	<i>Letzte 5 Züge</i>
<i>Soft Joss</i>	10,9	10,9	7,5	8,1	10,6	8,1	<i>Joss</i>
<i>Noise I. Gradual</i>	12,4	10,8	3,1	4,8	5,4	6,7	<i>angepasst</i>
<i>GTFT</i>	12,8	11	3,8	4,7	5,4	6,9	<i>angepasst</i>
<i>Der Zorn Gottes</i>	14,1	10,7	4,7	15,2	19,4	23,8	<i>Spite</i>
<i>Späte Rache</i>	15,6	25,5	26	25	23,8	20,2	<i>Spite</i>
<i>FJLastTwen-TFT</i>	17,2	12,9	8,4	10,9	10,4	12,9	<i>TFT</i>
<i>w-Random</i>	17,5	22,6	25,4	18,7	17,4	15,5	<i>TFT</i>
<i>StrategyByBas</i>	17,8	16,8	10,9	8,5	7,8	12	<i>TFT</i>
<i>TFT Plus 1</i>	18	19	16,5	14,8	12,7	10,6	<i>TFT</i>
<i>New CTFT</i>	20,1	19,3	9,3	9,3	8,8	6,7	<i>angepasst</i>
<i>TFT</i>	21,6	26,1	20,6	17,1	15,7	14,7	<i>TFT</i>
<i>Kemistry</i>	22,3	17,2	10	8,4	7,9	11,2	<i>Erkenner</i>
<i>Nils TFT</i>	22,6	26	20,2	16,7	16,1	12,6	<i>TFT</i>
<i>Slow TFT</i>	23,1	22,2	23	21,2	20	19,9	<i>TFT</i>
<i>Late TFT</i>	25,1	17,5	11,8	11,4	10,5	6,9	<i>TFT</i>
<i>Spite</i>	27,1	34,7	43,2	45	44,9	44,9	<i>Spite</i>
<i>TfTT</i>	28	20,3	4,5	2	2,2	2,5	<i>TfTT</i>
<i>Doubler</i>	28,2	20,4	5,6	3,2	3,2	2,9	<i>Sonst.</i>
<i>Go by Majority</i>	28,6	24,8	10,9	5,9	5,2	5,3	<i>Sonst.</i>

wird fortgesetzt

Fortsetzung von der letzten Seite

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Pavlov</i>	29,8	30,5	30,3	31,5	34,5	35,6	<i>angepasst</i>
<i>Pavlov P4</i>	29,8	28,9	29,8	33,4	34,5	31,2	<i>angepasst</i>
<i>Hard TFFT</i>	30,3	33,9	41,1	42	42,8	41,6	<i>TFFT</i>
<i>ALLC</i>	33	30	18,5	13,8	15,3	20,9	<i>Sonst.</i>
<i>Mistrust</i>	34	32	26	23,1	22,3	18	<i>Spite</i>
<i>Hard Majority</i>	35	33,5	30,4	26,4	26,6	26,1	<i>Sonst.</i>
<i>Dirk Alpha</i>	36	35,9	36,4	31,4	27,9	19,6	<i>Sonst.</i>
<i>Tester</i>	37	37,1	36,7	32,8	32,2	29,2	<i>Erkenner</i>
<i>Per cccd</i>	38	37,9	34,8	29,4	27,1	25,4	<i>periodisch</i>
<i>Gralla 50</i>	39	40	38,9	37,4	35,5	34,3	<i>Sonst.</i>
<i>PerKind</i>	40	40,4	37,2	32,2	28,5	26	<i>periodisch</i>
<i>Prober</i>	41,2	39,6	33,7	31,5	31,2	28,1	<i>Erkenner</i>
<i>Random</i>	42	42,1	41,1	40,3	38	36,1	<i>Sonst.</i>
<i>Joss</i>	42,8	42,9	40,8	36,5	32	24,7	<i>Joss</i>
<i>PerNasty</i>	44,5	44,6	43,8	43,2	43,4	44	<i>periodisch</i>
<i>Resistance is futile</i>	44,5	44,4	45	43,8	42,8	42,1	<i>Sonst.</i>
<i>ALLD</i>	46	46	46	46	46	46	<i>Sonst.</i>

Die Ergebnisse der sechs neuen Strategien sind in Tabelle 5.11 zusammengefasst. Im

Tabelle 5.11: An das Rauschen angepasste Strategien und zwei vorher erfolgreiche Strategien im *Round-Robin-Turnier* bei unterschiedlichen Rauschraten. Die Ergebnisse sind nach dem rauschfreien Vergleichsturnier geordnet. Die Strategie *DBS* ist die mit Abstand beste Strategie. Pavlov-Strategien schneiden äußerst schlecht ab.

Rauschrate (in %)	0	0,1	1	3	5	10
<i>DBS</i>	3,7	1	1	1	1	1
<i>Noise Improved Gradual</i>	12,4	10,8	3,1	4,8	5,4	6,7
<i>GTFT</i>	12,8	11	3,8	4,7	5,4	6,9
<i>New CTFT</i>	20,1	19,3	9,3	9,3	8,8	6,7
<i>Pavlov</i>	29,8	30,5	30,3	31,5	34,5	35,6
<i>Pavlov P4</i>	29,8	28,9	29,8	33,4	34,5	31,2
<i>TfTT</i>	28	20,3	4,5	2	2,2	2,5
<i>Doubler</i>	28,2	20,4	5,6	3,2	3,2	2,9

weiteren Verlauf sollen nur Ergebnisse dargestellt werden, die sich explizit vom vorherigen Turnier ohne die sechs angepassten Strategien unterscheiden. Es wird besonders auf

das Abschneiden der neuen Strategien eingegangen.

Vergleichsturnier ohne Rauschen Insgesamt ist das Teilnehmerfeld auf 46 Strategien angewachsen. Die Ergebnisse ändern sich nicht mehr sonderlich zum Turnier mit 40 Strategien. Die ersten Plätze bleiben fast identisch, es gewinnen wieder *Gradual*-Strategien. Die Strategie *ALLD* bleibt auch hier erfolglos auf dem letzten Platz.

0,1 Prozent Es zeigt sich die Dominanz der neuen *DBS*-Strategie, welche sich auf den ersten Platz verbessert. Auch alle anderen an das Rauschen angepassten Strategien verbessern sich leicht um einen Platz. Die Ausnahme bildet die klassische *Pavlov*-Strategie, welche einen Platz verliert.

1 Prozent Die ersten drei Plätze werden von neuen Strategien belegt. *DBS* bleibt auf Platz eins, gefolgt von *Noise Improved Gradual* und *GTFT*. Die Plätze vier und sechs belegen die im vorherigen Turnier erfolgreichen Strategien *TfTT* und *Doubler*. Auch die *New CTFT*-Strategie verbessert sich deutlich auf Platz neun. Bei den *Pavlov*-Strategien gibt es weiterhin keine signifikanten Änderungen. Auffällig ist noch das gute Abschneiden der Strategie *Der Zorn Gottes* auf Platz fünf.

3 Prozent *DBS* bleibt auf Platz eins, während sich *Noise Improved Gradual* (von Platz zwei auf Platz fünf) und *GTFT* (von Platz drei auf Platz vier) wieder leicht verschlechtern. Die Plätze zwei und drei belegen jetzt die Strategien *TfTT* und *Doubler*. *New CTFT* behält die Platzierung bei. Die *Pavlov*-Strategien verschlechtern sich leicht. Die einfache Mehrheitsregel *Go by Majority* belegt den sechsten Platz. Die bei einem Prozent Rauschen erfolgreiche Regel *Der Zorn Gottes* fällt weit um zehn Plätze zurück auf Platz 15. *ALLC* kann sich im Vergleich zum rauschfreien Turnier um 19 Plätze von 33 auf Platz 14 verbessern.

5 Prozent Die ersten drei Plätze bleiben identisch. *Noise Improved Gradual* und *GTFT* belegen die Plätze fünf und sechs. Auf Platz vier hat sich *Go by Majority* verbessert. Die *Pavlov*-Strategien belegen die Plätze 34 und 35. *New CTFT* belegt weiterhin Platz neun. Periodische Strategien können sich verbessern, jedoch belegen sie weiterhin schlechte Plätze (*Per ccd* von 38 auf 27, *PerKind* von 40 auf 28).

10 Prozent *DBS* belegt, wie bei allen anderen Rauschraten, den ersten Platz. Auch die nächsten vier Plätze sind identisch mit den Ergebnissen bei fünf Prozent Rauschen. *New CTFT* kann sich auf Platz 6 verbessern und erreicht damit die beste Platzierung. Die *Pavlov*-Strategien enden auf den Plätzen 31 (*Pavlov P4*) und 35 (*Pavlov*). Die klassische *TFT*-Strategie belegt den 15. Platz und kann sich somit um sieben Plätze gegenüber dem rauschfreien Vergleichsturnier verbessern. Die *TFT*-Variante *Late TFT* belegt Platz acht.

Zusammenfassung der Ergebnisse Die Ergebnisse aus dem vorherigen Turnier bestätigen sich auch in dem neuen Teilnehmerfeld. *Gradual*-Strategien sind zuerst stark und verlieren mit stärkerem Rauschen immer mehr Plätze. *TFT*-Strategien können sich etwas verbessern.

Die Strategie *DBS* belegt den vierten Platz im rauschfreien Turnier und gewinnt bei jeder Rauschrate die Turniere. Auch die anderen an das Rauschen angepassten Strategien schneiden gut ab. Besonders die an das Rauschen angepasste *Gradual*-Strategie *Noise Improved Gradual* scheint die Empfindlichkeit von *Gradual* bzgl. des Rauschens beseitigen zu können. Die klassische *GTFT*-Strategie und die angepasste *CTFT*-Variante belegen ab einem Prozent Rauschen gute Platzierungen. Nur die *Pavlov*-Strategien schneiden sowohl im rauschfreien Turnier als auch bei allen Rauschraten sehr schlecht ab.

Auch die aus dem vorherigen Turnier erfolgreichen Strategien *Doubler* und *TfTT* belegen durchweg vordere Plätze, wenn das Rauschen die 1%-Schwelle erreicht. Das Abschneiden der besten Strategien wird in der Tabelle 5.11 zusammengefasst.

Fazit *DBS* ist die mit Abstand beste Strategie im *Round-Robin-Turnier* unter Rauschen. Dies gilt für alle Rauschraten. Die an das Rauschen angepassten Strategien *GTFT* und *New CTFT* schneiden sehr gut ab. Die im ersten *Round-Robin-Turnier* erfolgreichen Strategien *TfTT* und *Doubler* bestätigen ihren Erfolg ab einem Prozent Rauschen. *Noise Improved Gradual* eliminiert die Schwachstelle von *Gradual* bzgl. des Rauschens. *Pavlov*-Strategien schneiden immer schlecht ab und sind keine erfolgreichen Strategien für das Noisy IPD. Abbildung 5.7 zeigt die sinkende Punktzahl bei zunehmendem Rauschen. Die Abbildung 5.8 stellt noch einmal den Platzierungsverlauf von einigen Strategien im Noisy IPD in *Round-Robin-Turnieren* dar.

5.5.7 An das Rauschen angepasste Strategien - ökologische Umgebung

Fragestellung Wie ändern sich die Ergebnisse des *Round-Robin-Turniers* in der ökologischen Umgebung? Sind hier Strategien erfolgreich, die besonders gut mit Rauschen umgehen und so in späteren Generationen häufiger vertreten sind?

Experimentelles Setup

- Turnierform: Turnier in ökologischer Umgebung
- Rundenanzahl: jedes Turnier besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Rauschwerte: kein Rauschen, 0,1%, 1%, 3%, 5% und 10%
- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn Mal wiederholt
- Generationen: 1000
- Strategien: siehe 5.5.6

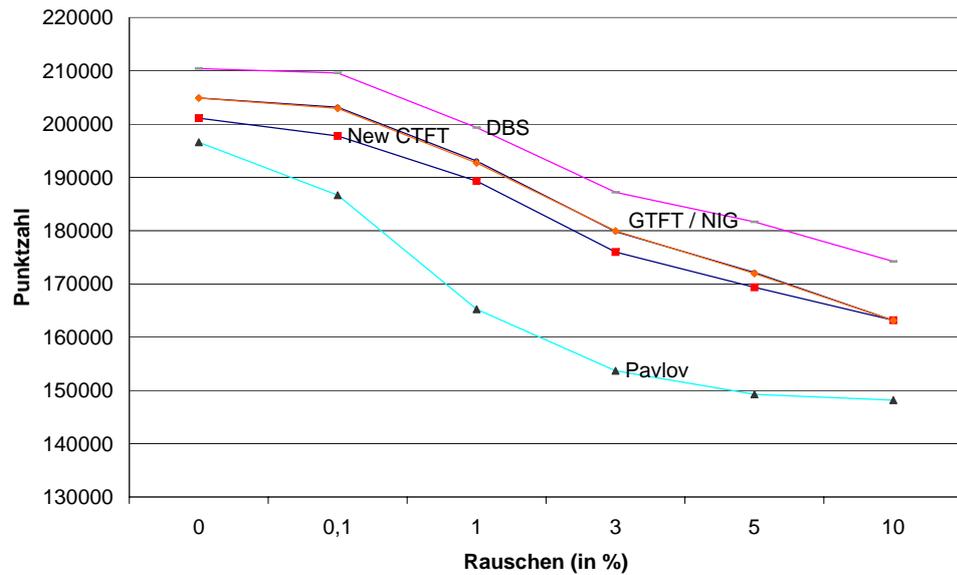


Abbildung 5.7: Der Punkteverlauf von fünf ausgewählten Strategien im verrauschten *Round-Robin-Turnier*. Rauschen führt zu weniger Kooperation und sinkender Punktzahl. *DBS* ist die beste Strategie.

Ergebnisse Tabelle 5.12 zeigt das Ergebnis der sechs neuen Strategien (und zweier vorher erfolgreicher Strategien) in dem ökologischen Turnier. Die Ergebnisse aller Turniere sind in der Tabelle 5.13 zusammengefasst.

Tabelle 5.13: Ergebnistabelle der Turniere in der ökologischen Umgebung mit 40 Strategien und sechs zusätzlich an das Rauschen angepassten Strategien. Es wurden Turniere bei Rauschraten von 0%, 0,1%, 1%, 3%, 5% und 10% durchgeführt. Die Tabelle ist nach den Ergebnissen des rauschfreien Vergleichsturnieres geordnet. Die *Gradual*-Strategien schneiden bei Rauschen sehr schlecht ab. *DBS*, *GTFT* und *Noise Improved Gradual* sind erfolgreiche Strategien. Die *Pavlov*-Strategien belegen nur hintere Plätze.

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Schwalli Faku</i>	2,5	19,5	37	42,6	43,8	43,4	<i>Gradual</i>
SchwallisGradual	4	9,5	23,6	31,3	32,2	35,2	<i>Gradual</i>
<i>Simon2</i>	4,3	12,7	13,6	14,2	18,8	27,8	<i>Letzte 5 Züge</i>
<i>Boris Konrad 1</i>	4,7	18,5	33,7	38,9	41	42	<i>Gradual</i>
<i>Sebrassi IPD I</i>	5	9,2	23	31,3	32,6	37,2	<i>Gradual</i>
<i>Gradual</i>	5,7	10,5	23,4	31,3	32	35,4	<i>Gradual</i>
<i>Mugging Through</i>	6,5	29,8	39,6	42,5	43,2	43,4	<i>Gradual</i>

wird fortgesetzt

Fortsetzung von der letzten Seite

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Soft Joss</i>	7,7	4,3	6,3	8,3	7,8	8,3	<i>Joss</i>
<i>Noise I. Gradual</i>	9,3	1,8	2	3	2,8	2,8	<i>angepasst</i>
<i>THModGradual1</i>	9,4	10,4	25,4	34,9	38,2	41,1	<i>Gradual</i>
<i>GTFT</i>	9,7	2,3	2	2,4	3	2,2	<i>angepasst</i>
<i>DBS</i>	12,2	4	4,6	2,3	1,3	1,6	<i>angepasst</i>
<i>FJLastTwen-TFT</i>	12,6	3,8	7,3	10,2	13,2	16,5	<i>TFT</i>
<i>TFT Plus 1</i>	13,1	14,2	14,9	14,2	14,8	11,8	<i>TFT</i>
<i>New CTFT</i>	14,2	7	8	7,8	7,8	6,7	<i>angepasst</i>
<i>Slow TFT</i>	16	17,4	16,3	20	23,4	22,9	<i>TFT</i>
<i>Späte Rache</i>	17,1	25	26	22,1	22,2	21	<i>Spite</i>
<i>TFT</i>	18,4	21	17,6	15,8	16,2	15,4	<i>TFT</i>
<i>Nils TFT</i>	18,8	20,5	17,4	17,1	16,9	15,9	<i>TFT</i>
<i>StrategyByBas</i>	20,7	8	5	4,8	5,3	4,7	<i>TFT</i>
<i>TfTT</i>	22,4	13,2	2,5	3,2	4,6	5,4	<i>TfTT</i>
<i>w-Random</i>	24,1	27,6	18,9	14,8	12	10,6	<i>Sonst.</i>
<i>Der Zorn Gottes</i>	24,3	17,7	12	25,2	29,3	32	<i>Spite</i>
<i>Late TFT</i>	24,7	13,6	13,4	14,9	13,9	9,6	<i>TFT</i>
<i>Hard TFT</i>	25,2	34	40,7	38,5	36,7	34,7	<i>TFT</i>
<i>Pavlov</i>	25,7	31,2	32,3	31,6	30,8	29,9	<i>angepasst</i>
<i>Go by Majority</i>	26,5	20,8	10,8	9,5	10,3	10,9	<i>Sonst.</i>
<i>Pavlov P4</i>	26,5	26,7	22,6	26,5	26,7	24	<i>angepasst</i>
<i>Doubler</i>	27,1	18,1	8,3	6,8	6,8	12,1	<i>Sonst.</i>
<i>evaWobeGa</i>	27,8	28,3	29,6	32,8	32,9	33,6	<i>Evolutionär</i>
<i>Spite</i>	30,7	35,7	45	45	45	45	<i>Spite</i>
<i>ALLC</i>	31,1	22,9	9,8	8,2	9	8,6	<i>Sonst.</i>
<i>Kemistry</i>	33	28	20,8	15,9	14,3	15,9	<i>Erkenner</i>
<i>Hard Majority</i>	34,5	32,3	25,6	28,1	27,1	25,6	<i>Sonst.</i>
<i>Mistrust</i>	34,5	31,2	25,6	21,5	23,6	20,7	<i>Spite</i>
<i>Dirk Alpha</i>	36	35,5	33	22,4	19,6	17,2	<i>Sonst.</i>
<i>Prober</i>	37	36,8	37,4	37	35,3	31	<i>Erkenner</i>
<i>Per cccd</i>	38,5	38,9	29,7	21,8	16,1	19,1	<i>periodisch</i>
<i>Tester</i>	38,5	38,1	31	22,7	24,5	26	<i>Erkenner</i>
<i>Gralla 50</i>	40	41,9	42	39,3	38,1	34,8	<i>Sonst.</i>
<i>PerKind</i>	41,4	40,5	34	25,1	19,6	23,4	<i>periodisch</i>
<i>Joss</i>	41,6	40,6	36,6	28,2	24,8	20,2	<i>Joss</i>

wird fortgesetzt

Fortsetzung von der letzten Seite

Name	0%	0,1%	1,0%	3,0%	5,0%	10,0%	Klasse
<i>Random</i>	43	43	39,7	36,1	35,7	31,7	<i>Sonst.</i>
<i>Resistance is futile</i>	44	44,9	44	43,9	41,8	39,9	<i>Sonst.</i>
<i>PerNasty</i>	45	44,1	43	41	40	37,8	Periodisch
<i>ALLD</i>	46	46	46	46	46	46	<i>Sonst.</i>

wird fortgesetzt

Es wird lediglich auf Ergebnisse eingegangen, die sich im Vergleich zum ersten ökologischen Turnier unterscheiden. Es wird besonders auf die sechs neuen Strategien eingegangen.

Vergleichsturnier ohne Rauschen Auffällig ist, dass die *DBS*-Strategie auf Platz 12 schlechter abschneidet als im *Round-Robin-Turnier*.

0,1 Prozent Der Sieger ist die an das Rauschen angepasste *Gradual*-Strategie *Noise Improved Gradual* vor der klassischen *GTFT*-Strategie. Platz drei belegt die *TFT*-Variante *FJLastTwen-TFT*. *DBS* kann den vierten Platz belegen, kann aber die Dominanz aus dem *Round-Robin-Turnier* nicht aufrecht erhalten. *New CTFT* belegt den sechsten Platz. Die klassische *Pavlov*-Strategie fällt fünf Plätze ab, *Pavlov P4* kann die Platzierung halten.

1 Prozent Die beiden Siegerstrategien bleiben identisch und zeigen ihre Stärke bei niedrigen Rauschraten. *TfTT* steigert sich auf den dritten Platz. *DBS* bleibt auf dem vierten Platz. Auch die Strategie *Doubler* steigert sich wie gewohnt deutlich auf Platz neun. Besonders auffällig ist jedoch der Erfolg der Strategie *ALLC*, welche von Platz 31 auf Platz zehn steigt. Auch die Mehrheitsregel *Go by Majority* steigt von Platz 27 auf Platz elf.

3 Prozent Bei drei Prozent Rauschen kann *DBS* auf Platz eins steigen. *GTFT* kann vor *Noise Improved Gradual* den zweiten Platz belegen. *TfTT* bleibt erfolgreich auf Platz vier. Die Strategie *StrategyByBas* belegt den fünften Platz als *TFT*-Variante. Bei den *Pavlov*-Strategien gibt es keine bedeutsamen Änderungen. *ALLC* bleibt weiterhin erfolgreich und belegt den achten Platz. Die im vorherigen Turnier ohne die angepassten Strategien erfolgreichen Strategien *Per cccd* (Platz 21) und *PerKind* (Platz 25) können sich zwar stark verbessern, jedoch keine der vorderen Plätze belegen.

5 Prozent Der Sprung von drei Prozent auf fünf Prozent bringt wie immer die geringsten Änderungen in der Tabelle mit sich. Die größten Änderungen betreffen die beiden periodischen Strategien *PerKind* und *Per cccd*, die sich beide um drei Plätze verbessern können.

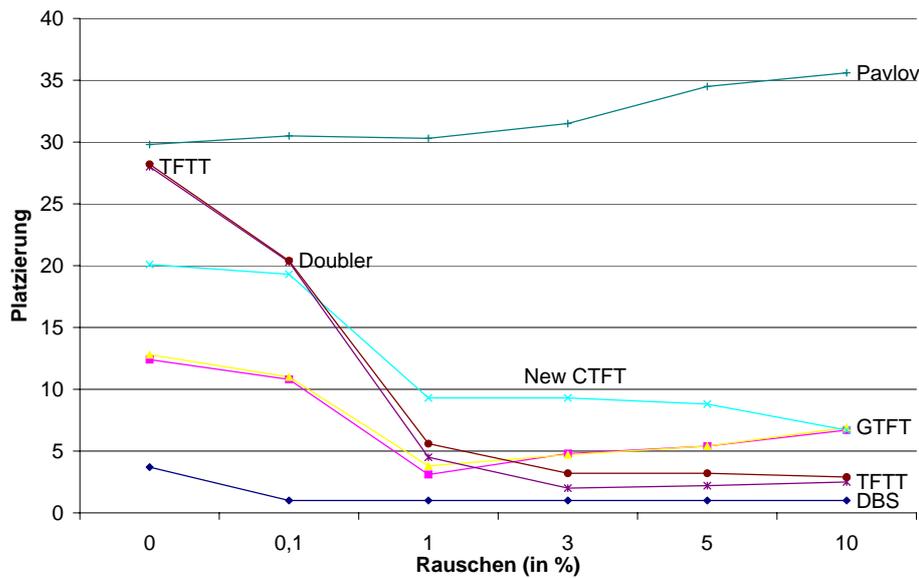


Abbildung 5.8: Der Platzierungsverlauf einiger Strategien im verrauschten *Round-Robin-Turnier*.

10 Prozent Die ersten acht Plätze bleiben unverändert. *DBS* siegt auch hier. Die immer kooperierende Strategie *ALLC* belegt den überraschenden achten Platz. Neben der angepassten *GTFT*-Strategie auf Platz zwei belegt noch die *TFT*-Variante *StrategyBy-Bas* den vierten Platz. Die Strategie *Doubler* fällt bei zehnprozentigem Rauschen wieder etwas ab (Platz 13).

Zusammenfassung der Ergebnisse *DBS* ist die mit Abstand beste Strategie für Turniere in der ökologischen Umgebung ab drei Prozent Rauschen. Vorher ist die Strategie zwar erfolgreich, aber nicht ganz so dominant wie im *Round-Robin-Turnier*. Bei Rauschraten von 0,1% und einem Prozent ist die angepasste *Gradual*-Strategie *Noise Improved Gradual* die erfolgreichste Strategie, vor der *GTFT*-Strategie. *New CTFT* belegt bei allen Rauschraten Plätze von sechs bis acht. *TFFT* ist bei Rauschraten ab einem Prozent erfolgreich und belegt vordere Plätze. *Pavlov*-Strategien schneiden wieder sehr schlecht ab und können keine Plätze in der oberen Hälfte der Tabelle belegen.

Fazit Auch in der ökologischen Umgebung ist *DBS* bei Rauschen die beste Strategie. Jedoch gewinnt sie erst ab drei Prozent alle Turniere. Vorher erweisen sich die angepasste *Gradual*-Variante *Noise Improved Gradual* und *GTFT* als erfolgreicher. Periodisch kooperative Strategien können den Erfolg aus den vorherigen Turnieren in der ökologischen Umgebung nicht bestätigen. *Pavlov*-Strategien schneiden schlecht ab.

Tabelle 5.12: An das Rauschen angepasste Strategien und zwei vorher erfolgreiche Strategien in der ökologischen Umgebung bei unterschiedlichen Rauschraten.

Rauschrate (in %)	0	0,1	1	3	5	10
<i>DBS</i>	12,2	4	4,6	2,3	1,3	1,6
<i>GTFT</i>	9,7	2,3	2	2,4	3	2,2
<i>Noise Improved Gradual</i>	9,3	1,8	2	3	2,8	2,8
<i>New CTFT</i>	14,2	7	8	7,8	7,8	6,7
<i>Pavlov P4</i>	26,5	26,7	22,6	26,5	26,7	24
<i>Pavlov</i>	25,7	31,2	32,3	31,6	30,8	29,9
<i>TfTT</i>	22,4	13,2	2,5	3,2	4,6	5,4
<i>Doubler</i>	27,1	18,1	8,3	6,8	6,8	12,1

5.5.8 Analyse der Ergebnisse

Es werden die auffälligsten Ergebnisse aus dem vorherigen Abschnitt analysiert. Dabei werden die *Round-Robin-Turniere* und die beiden Turniere in der ökologischen Umgebung zusammen betrachtet.

5.5.8.1 Analyse der *Round-Robin* Turniere

- *Wie ist das schlechte Abschneiden der vorher sehr erfolgreichen Gradual-Strategien zu erklären?*

Gradual-Strategien haben sich als erfolgreiche Strategien für das IPD ohne Rauschen erwiesen. Sie unterscheiden sich von *TFT*-Strategien dadurch, dass sich ihre Bestrafungen mit der Anzahl der gegnerischen Defektionen immer weiter erhöhen. Die klassische Variante spielt nach der x -ten Defektion des Gegners insgesamt x Defektionen hintereinander und dann zwei Kooperationen. Die Varianten haben meist nur eine leicht andere Berechnung der auf eine Defektion folgenden Anzahl von eigenen Defektionen. Im Noisy IPD kommen immer gegnerischen Defektionen vor. In einem Spiel über 1000 Runden gegen eine immer kooperierende *ALLC*-Strategie kommt es schon bei 1% Rauschen zu im Durchschnitt zehn unbeabsichtigten Defektionen dieser Strategie. *Gradual*-Strategien werden auch gegen kooperative Strategien bei höheren Rauschraten immer mehr Defektionen zur Vergeltung spielen. Deswegen schneiden sie mit zunehmendem Rauschen immer schlechter ab. Die zunehmende Bestrafung erweist sich im Noisy IPD als äußerst ineffektiv.

- *Warum sind TFT-Strategien erfolgreicher als erwartet?*

Gegen andere *TFT*-Strategien sind diese selbst nicht erfolgreich, wie in 5.5.3 bereits gezeigt wurde. Dort kommt es zu ständiger wechselseitiger Defektion und Kooperation. Jedoch spielen *TFT*-Strategien gegen viele andere Strategien immer noch erfolgreich. Gegen eine *ALLC*-Strategie bekommt eine *TFT*-Strategie fast noch

die maximale Punktzahl für beidseitige Kooperation. *Gradual*-Strategien schneiden in diesem viel schlechter ab. Auch gegen periodische Strategien spielen *TFT*-Strategien weiterhin erfolgreich. Außerdem profitieren *TFT*-Strategien von den Verlusten der *Gradual*-Strategien. Einige *TFT*-Varianten waren außerdem schon großzügiger als die klassische Variante und somit schon indirekt an das Rauschen angepasst. Die Strategie *Late TFT* toleriert bspw. acht Defektionen des Gegners unbestraft, ähnlich *TFT Plus 1*, welche zwei Defektionen toleriert.

- *Wie ist das gute Abschneiden der beiden Strategien TfTT und Doubler zu erklären?*

Die beiden Strategien haben ein *TFT*-ähnliches Verhalten. Sie sind beide jedoch großzügiger bzgl. Defektionen des Gegners. So können beide Strategien unbeabsichtigte Defektionen einfach tolerieren, ohne sofort mit eigener Defektion zu antworten. *TfTT* spielt wie *TFT*, defektiert jedoch nur, wenn der Gegner zwei Mal in Folge defektiert hat. *Doubler* verallgemeinert dieses Konzept und spielt Defektion, wenn die Anzahl der generischen Defektionen doppelt so groß ist wie die Anzahl der Kooperationen. Es zeigt sich, dass das Tolerieren von vereinzelt Defektionen im Noisy IPD äußerst erfolgreich sein kann. Das Problem bleibt, dass diese Strategien beide nicht gut im rauschfreien IPD abschneiden. Sie können leicht von anderen Strategien ausgebeutet werden und belegen nur die Plätze 22 (*Doubler*) und 24 (*TfTT*).

- *Wie erfolgreich sind die speziell an das Rauschen angepassten Strategien?*

Alle an das Rauschen angepassten Strategien sind erfolgreiche Strategien. Die Ausnahme bilden die beiden *Pavlov*-Strategien. Die beiden Strategien *Noise Improved Gradual* und *GTFT* arbeiten nach ähnlichem Konzept. Sie akzeptieren zufällig ein Drittel der gegnerischen Defektionen. Damit sind sie nicht so leicht auszubeuten wie eine *TfTT* oder *Doubler*-Strategie und sind auch im rauschfreien IPD erfolgreich. Vor allem eine *Gradual*-Strategie kann somit robuster gegen das Rauschen gemacht werden. Beides sind daher erfolgreiche Strategien für das IPD mit und ohne Rauschen. Die spezielle *New CTFT*-Strategie belegt im rauschfreien IPD den Platz einer klassischen *TFT*-Strategie. Ab Rauschraten von 1% hat diese Strategie jedoch eine deutlich bessere Performance als eine herkömmliche *TFT*-Strategie. Diese Strategie kann gegen die anderen *TFT*-Strategien deutlich mehr Punkte holen, weil sie Muster von wechselseitiger Vergeltung erkennt und diese durch eine Kooperation auflösen kann.

- *Welche Eigenschaften machen den Erfolg der DBS-Strategie aus?*

Die *DBS*-Strategie ist die mit Abstand beste Strategie im Noisy IPD. Im rauschfreien *Round-Robin-Turnier* belegt die Strategie den vierten Platz und gewinnt bei jeder Rauschrate das Turnier. Der Erfolg von *DBS* ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen.

1. *DBS* ist großzügig und toleriert vereinzelt Defektionen. Jedoch lässt sich die Strategie weniger ausnehmen als andere Strategien wie *TfTT* oder *GTFT*.

Gegen eine *ALLD*-Strategie verliert *DBS* nur wenige Punkte.

2. *DBS* ist eine Erkennen-Strategie. Sie erkennt verschiedene Strategien und passt ihr Verhalten explizit an diese an. *DBS* ist besonders erfolgreich, wenn sie auf deterministische Strategien trifft, die ein klares Verhalten aufweisen. Gegen eine *ALLD*-Strategie verliert *DBS* nur minimale Punkte, weil sie die ständige Defektion erkennt, die nicht auf Rauschen zurückgeführt werden kann.
3. *DBS* spielt gut gegen *Random*. Sie erkennt das zufällige Verhalten dieser Strategie und spielt dauerhafte Defektion.
4. *DBS* ist freundlich. Sie spielt keine Defektion, um andere Strategien zu erkennen.
5. *DBS* spielt erfolgreich gegen aggressive Strategien. Eine Schwachstelle von *DBS* auf den ersten Blick ist, dass sie sich von Strategien, die nur vereinzelte Defektionen einstreuen (z. B. *Joss*), ausnehmen lässt. Diese Schwachstelle ist aber ein Vorteil. Denn gegen eine *Joss*-Strategie bekommt *DBS* eine deutlich höhere Punktzahl als eine *TFT*-Strategie. Zwischen *Joss* und *TFT* stellt sich nämlich dauerhafte Vergeltung ein, was zu unnötigen Punktverlust führt. Es werden vereinzelte Defektionen toleriert und so dauerhafte Kooperation aufrecht erhalten.

- *Warum schneiden Pavlov-Strategien so schlecht ab?*

Die klassische *Pavlov*-Strategie kooperiert nur, wenn entweder beide Spieler kooperiert (CC) oder wenn beide Spieler defektiert haben (DD). Im Falle, dass die Strategie für eigene Kooperation bestraft (CD) oder für eine Defektion belohnt wurde (DC), wird *Pavlov* in der nächsten Runde defektieren. D. h. bei jeder Defektion, die durch Rauschen entstanden ist, defektiert *Pavlov*. So stellt sich gegen viele Strategien dauerhafte Defektion ein. Zwar kooperiert *Pavlov* nach beidseitiger Defektion, jedoch führt dies dazu, dass sie von aggressiven Strategien ausgenommen wird.

5.6 Rauschen und *Master-Slave-Strategien*

Fragestellung Welche Auswirkungen hat Rauschen auf *Master-Slave-Strategien* und deren Erkennungssequenzen? Es wird überprüft werden, wie robust die Erkennungssequenzen von *Master-Slave-Strategien* sind.

Experimentelles Setup

- Turnierform: Turnier in der ökologischen Umgebung
- Rundenanzahl: jedes *Round-Robin-Turnier* innerhalb der ökologischen Umgebung besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Rauschwerte: (Turnier 1): kein Rauschen, 1% und 10%, (Turnier 2): 1%

- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn Mal wiederholt
- Strategien (Turnier 1): 20 Strategien. Zehn Master-Strategien mit jeweils einer dazugehörigen Slave-Strategie. Es sind die zehn *Master-Slave-Strategien*, die in dem Turnier der PG474 teilgenommen haben (Baranski u. a., 2006). Dazu kommen die angepassten Strategien *DBS*, *Noise Improved Gradual* und *GTFT*.
- Strategien (Turnier 2): wie in Turnier 1, nur jede Master-Strategie bekommt die Unterstützung von jeweils acht Slave-Strategien. Insgesamt 93 Strategien, davon zehn Master-Strategien und 80 Slave-Strategien. Es wird überprüft, ob auch eine große Anzahl von Slave-Strategien den Master-Strategien trotzdem nicht zum Sieg verhilft.
- Generationen: 1000

Tabelle 5.14: *Master-Slave-Strategien* im Noisy IPD. Schon ab 1% gewinnen die an das Rauschen angepassten Strategien *Noise Improved Gradual* und *GTFT*. Ab 10% gewinnt die Strategie *DBS*. Die Tabelle ist nach den Ergebnissen des rauschfreien Vergleichsturniers geordnet.

	Name	0%	1%	10%	Klasse
1	Meister	1	5,4	5,8	Master
2	He - Man	2,3	8,4	2,3	Master
3	MN1	2,7	5,5	5,4	Master
4	Netzer	4,2	9,5	11,9	Master
5	Kemistry	4,8	2,9	6,5	Master
6	Noise Improved Gradual	6,4	1,4	3	angepasst
7	GenerousTFT	6,6	1,7	3,3	angepasst
8	Raskolnikoff	8,4	9,8	9,2	Master
9	Zweiundvierzig	9	4,9	9	Master
10	Green Shark	9,7	13	13,8	Master
11	Throat	10,9	9,2	9,9	Master
12	DBS	12,2	7,9	1,8	angepasst
13-23	Slave-Strategien	Slave-Strategien

Ergebnisse In einem Turnier ohne Rauschen belegen *Master-Slave-Strategien* die ersten fünf Plätze. Die erfolgreichste Strategie ist die Master-Strategie „Meister“. Die Tabelle 5.14 zeigt die Ergebnisse der ökologischen Turniere bei 0%, 1% und 10% Rauschen. Im Noisy IPD kann die Zusammenarbeit von *Master-Slave-Strategien* nicht mehr sichergestellt werden. Ab 1% Rauschen gewinnen die angepassten Strategien *Noise Improved Gradual* und *GTFT*. Sie belegen nach 1000 Generationen ca. 80% des Populationsanteils.

Bei einem Rauschen von 10% gewinnt die Strategie *DBS* und bildet fast die komplette Population. Der Popualtionsverlauf des Turniers unter 1% Rauschen ist in der Abbildung 5.9 und unter in 10% Rauschen in Abbildung 5.10 dargestellt.

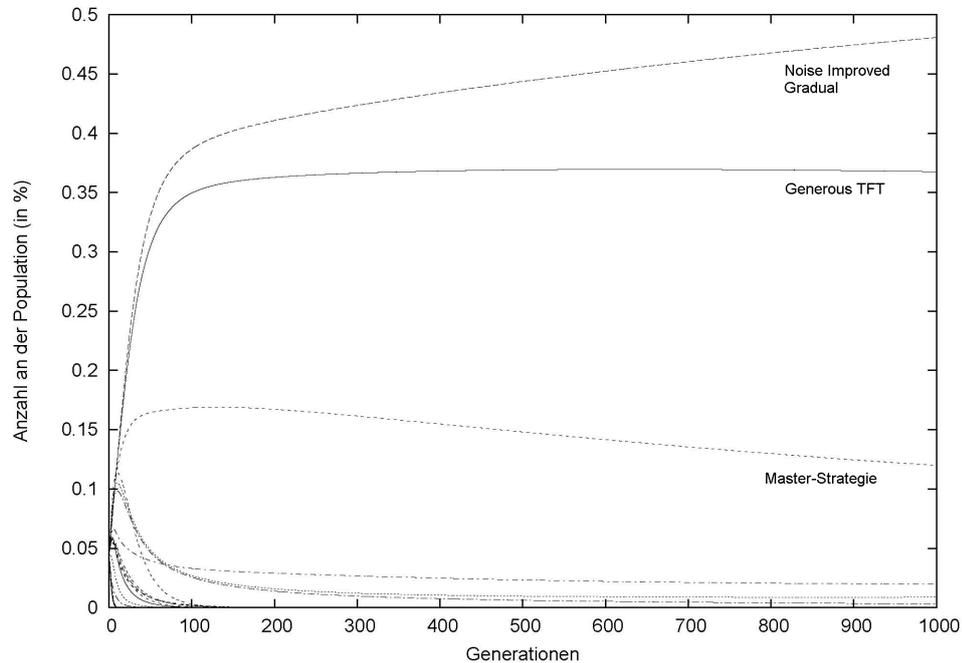


Abbildung 5.9: Ökologisches Turnier mit 20 *Master-Slave-Strategien* unter 1% Rauschen über 1000 Generationen. Die *Master-Slave-Strategien* können nicht gewinnen. *GTFT* und *Noise Improved Gradual* belegen die ersten beiden Plätze und bilden zusammen den Großteil der Population.

Tabelle 5.15 zeigt die Ergebnisse eines Turniers in der ökologischen Umgebung bei 1% Rauschen mit jeweils acht *Slave-Strategien* pro *Master-Strategie*. Auch die große Anzahl an *Slave-Strategien* kann die Ergebnisse aus dem vorherigen Experiment nicht beeinflussen. So können auch hier die *Master-Strategien* nicht die ersten Plätze belegen. *GTFT* gewinnt vor *Noise Improved Gradual* das Turnier.

Zusammenfassung der Ergebnisse Im Noisy IPD haben herkömmliche *Master-Slave-Strategien* keinen Vorteil mehr. Es gewinnen die an das Rauschen angepassten Strategien, obwohl diese keine Unterstützung von *Slave-Strategien* bekommen.

Analyse der Ergebnisse Das schlechte Abschneiden der *Master-Slave-Strategien* in der ökologischen Umgebung hat zwei Ursachen. Zu einem wird die Erkennung der *Master-Slave-Strategien* durch das Rauschen gestört. Das heißt, in viele Fällen erkennt die *Master-Strategie* die *Slave-Strategie* nicht und umgekehrt. So können diese Strategien

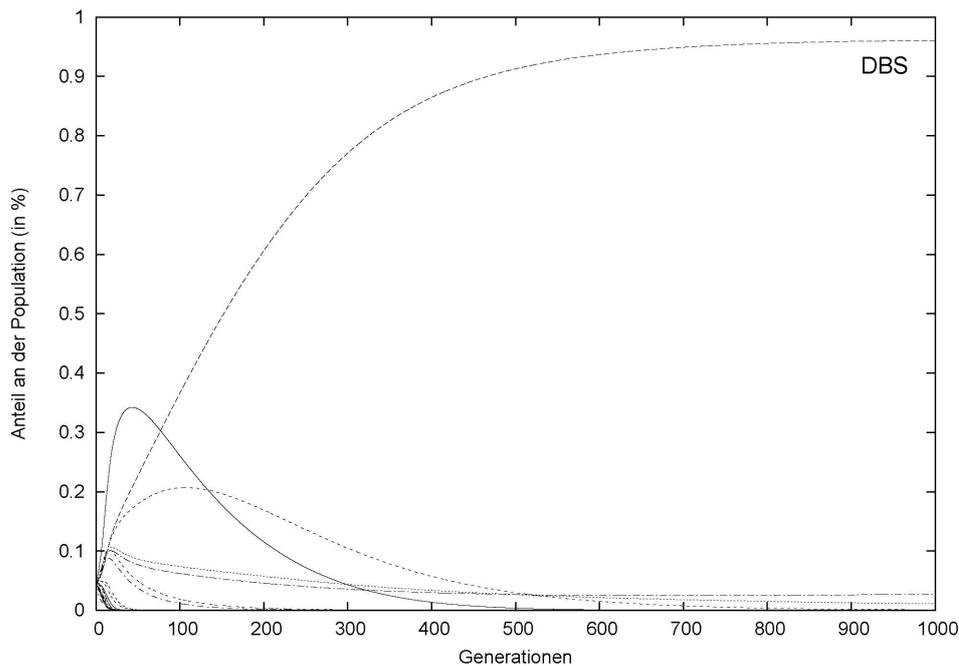


Abbildung 5.10: Ökologisches Turnier mit 20 *Master-Slave-Strategien* unter 10% Rauschen über 1000 Generationen. *DBS* bekommt fast den kompletten Populationsanteil.

keinen Bonus erhalten. Außerdem sterben die *Slave-Strategien* schon in den ersten Generationen aus. Die *Master-Strategien* erhalten zwar einen Vorteil gegenüber den Strategien ohne Unterstützung, jedoch schwindet dieser Vorsprung wieder durch das Abschneiden in späteren Generationen.

5.6.1 Wie können *Master-Slave-Strategien* an das Rauschen angepasst werden?

Fragestellung Auf welche Weise können die Erkennungssequenzen modifiziert werden, damit die Zusammenarbeit von *Master-Slave-Strategien* auch im Noisy IPD sichergestellt werden kann?

Rauschen verhindert die Zusammenarbeit von den bisher bekannten *Master-Slave-Strategien* im Noisy IPD. Es gibt jedoch Möglichkeiten, die *Master-Slave-Strategien* so anzupassen, dass auch im Noisy IPD eine Kommunikation möglich ist. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten:

1. Verkürzung der Erkennungssequenzen: Je kürzer die gespielte Sequenz ist, um so kleiner wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Sequenz von Fehlern betroffen ist.
2. Eine bestimmte Anzahl von Fehlern in der Sequenz zulassen. D. h., die Sequenz muss z. B. nur zu einer bestimmten Prozentzahl übereinstimmen.

Tabelle 5.15: *Master-Slave-Strategien* im Noisy IPD. Die ersten sechs Strategien aus einem Turnier in der ökologischen Umgebung bei 1% Rauschen mit 93 Strategien. Dabei wird jede Master-Strategie von acht Slave-Strategien unterstützt. Die an das Rauschen angepassten Strategien *GTFT* und *Noise Improved Gradual* gewinnen und bilden den größten Teil der Population.

Platz	Strategie	Populationsanteil (in %)	Klasse
1	<i>GTFT</i>	42,2	angepasst
2	<i>Noise Improved Gradual</i>	31,1	angepasst
3	<i>Throat</i>	8,4	Master-Strategie
4	<i>Meister</i>	7,4	Master-Strategie
5	<i>Zweiundvierzig</i>	4,8	Master-Strategie
6	<i>MN1</i>	2,7	Master-Strategie

3. Einsatz von kooperativen Slave-Strategien: Diese bleiben länger im Turnier vertreten und so besteht häufiger die Möglichkeit, dass die Zusammenarbeit trotz Rauschen gewährleistet werden kann.

Experimentelles Setup

- Turnierform: Turnier in der ökologischen Umgebung
- Rundenanzahl: jedes *Round-Robin-Turnier* innerhalb der ökologischen Umgebung besteht aus jeweils 100, 500 und 1000 Runden
- Rauschwerte: 1%
- Wiederholungen: jedes Turnier wird zehn Mal wiederholt
- Strategien: wie in 5.6. Die Master-Strategie „Meister“, sowie die zugehörige Slave-Strategie werden so angepasst, dass sie als Alternativstrategie *GTFT* spielen. Außerdem wird die Erkennungssequenz so angepasst, dass diese eine gewisse Anzahl von Fehlern zulässt und nur zu 70% übereinstimmen muss.
- Generationen: 1000

Ergebnisse Da nur eine Strategie in diesem Turnier zum Vergleichsturnier geändert wurde, gibt es keine größeren Änderungen. Die an das Rauschen angepasste Master-Strategie „Meister“ zeigt, dass *Master-Slave-Strategien* auch im Noisy IPD einen Vorteil haben. Diese Strategie ist identisch mit der Strategie *GTFT*. „Meister“ kann das Turnier vor allen anderen Strategien gewinnen und hat immer einen leichten Vorteil gegenüber *GTFT*.

Tabelle 5.16: Wird die Strategie „Meister“ zu einer an das Rauschen angepassten *Master-Slave-Strategie* erweitert, gewinnt diese das Turnier in der ökologischen Umgebung mit 1% Rauschen. *GTFT* ist ansonsten identisch mit „Meister“, nur bekommt *GTFT* keine Unterstützung einer Slave-Strategie.

Platz	Strategie	Populationsanteil (in %)
1	<i>Meister</i>	31,1
2	<i>GTFT</i>	26,7
3	<i>Noise Improved Gradual</i>	25,9

5.6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Noisy IPD schneiden die klassischen *Master-Slave-Strategien* schlecht ab. Die angepassten Strategien sind diesen überlegen. Dies liegt zum einen an den Erkennungssequenzen, die nicht robust genug gegenüber dem Rauschen sind, und zum anderen an dem früheren Ausscheiden der Slave-Strategien. Ohne die Unterstützung einer Slave-Strategie verlieren die Master-Strategien den Bonus, den sie in den ersten Generationen bekommen haben.

Jedoch kann jede an das Rauschen angepasste Strategie zu einer *Master-Slave-Strategie* erweitert werden. Diese haben dann wiederum einen Vorteil gegenüber nicht-*Master-Slave-Strategien*.

Ferner können die Erkennungssequenzen von *Master-Slave-Strategien* an das Rauschen angepasst werden, so dass die Erkennung vom Rauschen nicht zu stark beeinflusst wird.

5.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Auswirkungen vom Rauschen im IPD analysiert. Es gibt zahlreiche Untersuchungen, die sich mit dem Noisy IPD beschäftigen. Zuerst wurden vier Ansätze präsentiert, aus welchen jeweils eine angepasste Strategie für das Noisy IPD hervorging.

Molander (1985); Bendor J. u. S. (1995) beweisen, dass Rauschen die „Achillesferse“ der im rauschfreien IPD erfolgreichen Strategie *TFT* ist.

Zwei klassische Strategien versuchen diese Schwachstelle zu beseitigen. *GTFT* ist großzügiger und lässt eine bestimmte Anzahl an gegnerischen Defektionen unbestraft (Molander, 1985). *CTFT* ist eine angepasste *TFT*-Strategie, so dass auf eine Defektion als Antwort auf eine Defektion des Gegners verzichtet wird, wenn vorher eine eigene unbeabsichtigte Defektion durch Rauschen entstanden ist (Sudgen, 1986).

Aus dem Win-Stay, Lose-Shift-Ansatz resultiert die Strategie *Pavlov* (Nowak u. Sigmund, 1993; Kraines u. Kraines, 1995a,b). Die Strategie basiert auf der Idee, dass wenn die Auszahlungen in der letzten Runde hoch waren, dieselbe Entscheidung wie in der Vorrunde getroffen wird; im anderen Fall wird eine andere Wahl getroffen.

Als letztes wurde eine neue Strategie *DBS* analysiert (Au u. Nau, 2006b). Eine Technik

im Umgang mit Rauschen im IPD, welche die „symbolic noise detection“ nutzt.

Axelrod u. Wu (1995) wiederholten das Originalexperiment von Axelrods zweiten Turnier mit den 63 Strategien. Dabei untersuchten sie den Erfolg der drei Strategien *GTFT*, *CTFT* und *Pavlov*. Die ersten beiden konnten in allen Untersuchungen gute Ergebnisse erzielen, *Pavlov* jedoch schnitt äußerst schlecht ab.

Die experimentelle Analyse hat sich zum aufwendigsten und umfangreichsten Teil dieser Arbeit entwickelt. Neben der Einzelanalyse von ausgewählten Strategien, wurden vier große Turniere durchgeführt, um die Auswirkungen von Rauschen zu untersuchen.

Gradual-Strategien waren die erfolgreichsten Strategien, wenn die Turniere ohne Rauschen durchgeführt wurden. Im Noisy IPD fielen diese Strategien aber unerwartet stark ab. Erfolgreich waren Strategien die großzügig sind. *GTFT* ist eine im Noisy IPD erfolgreiche *TFT*-Strategie. Auch die beiden in dieser Arbeit entwickelten Strategien *Noise Improved Gradual* und *New CTFT* waren erfolgreich.

Die erfolgreichste Strategie ist jedoch *DBS*. Sie gewann fast alle Turniere unter Rauschen und war auch im rauschfreien IPD erfolgreich.

Als Brückenschlag zwischen den beiden Hauptteilen dieser Arbeit wurden die Auswirkungen von Rauschen auf *Master-Slave-Strategien* untersucht. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die bisher bekannten *Master-Slave-Strategien* im Noisy IPD nicht mehr erfolgreich sind. Es wurden jedoch Möglichkeiten aufgezeigt, wie *Master-Slave-Strategien* auch an das Rauschen angepasst werden können.

Kapitel 5 hat sich zum umfangreichsten Kapitel der Arbeit entwickelt. Die durchgeführten Experimente machten einen Großteil des Arbeitsaufwandes aus, daraus resultieren jedoch äußerst interessante Ergebnisse, welche es wert sind weiter verfolgt zu werden. Herausragend ist das Abschneiden der *DBS*-Strategie und der Erfolg der hier entwickelten Strategie *Noise Improved Gradual*, welche den Erfolg einer *Gradual*-Strategie vom IPD ins Noisy IPD überträgt.

6 Anwendungsbeispiele

„Game theory is everywhere these days.“ (Hargreaves Heap, 1995)

6.1 Leben und leben lassen

In Axelrod (2005, Kapitel. 4) wird die Entwicklung von Kooperation in Frontkämpfen im ersten Weltkrieg beschrieben. Hier, wo Kooperation am wenigsten erwartet wird, entsteht auf Grundlage von *TFT* das System des „leben und leben lassen“.

Die Westfront war der Schauplatz schrecklicher Schlachten um wenige Meter Gelände. Trotzdem hielten sich die Soldaten während der Schlacht an der Front erstaunlich oft zurück, entgegen aller militärischen Logik. Ein britischer Stabsoffizier bemerkte während einer Inspektion der Front, er habe, „mit Erschrecken festgestellt, dass deutsche Soldaten in Reichweite unserer Gewehre hinter ihren eigenen Linien umhergehen. Unsere Leute schienen davon keine Notiz zu nehmen. Ich beschloss, nach Übernahme der Stellung diese Dinge abzustellen; so etwas sollte nicht erlaubt werden. Diesen Leuten war offensichtlich nicht klar, dass sie sich im Krieg befanden. Beide Seiten glaubten anscheinend an die Politik des ‚Leben und leben lassen‘.“¹

Die Situation in den ruhigen Frontabschnitten lässt sich als IPD auffassen. Die Soldaten standen an der Westfront langfristig den selben Einheiten gegenüber. Sie konnten wählen zwischen „gezielt schießen, um zu töten“ und „vorsätzlich so schießen, dass Verletzungen vermieden werden“.

So wäre einseitige Defektion, d. h. zu kämpfen und dabei siegen, sicherlich die bevorzugte Alternative jeder Seite gewesen ($T > R, P, S$), wenn es aber nicht möglich war, durch Kämpfen einen durchschlagenden Erfolg zu erringen, dann war es besser, „Ruhe zu halten“, sofern die Gegenseite darauf einging, da ein solches Arrangement die Überlebenschancen drastisch erhöhte ($R > P, S$). Gegenseitige Zurückhaltung war auch besser als abwechselnde einseitige Kampfhandlungen ($R > \frac{T+S}{2}$). Ging die Gegenseite aber nicht darauf ein, dann blieb den Soldaten nur noch zu kämpfen, was immer noch besser war, als sich einfach überrennen zu lassen ($P > S$).

Obwohl die Soldaten an der Front jeweils nach wenigen Wochen ausgewechselt wurden, wurden sie bei der Ablösung von ihren Vorgängern mit den Verhältnissen an der Front vertraut gemacht, so dass sie das „Spiel“ an dem Punkt aufnehmen konnten, an dem die abgelösten Soldaten aufgehört hatten. Weniger deutlich erklärt Axelrod (2005), worin der evolutionäre Transmissionsmechanismus bestand, der zur Ausbreitung des „Leben und leben lassen“-Systems führte. Er begnügt sich mit dem Hinweis, dass sich das System

¹für die nachfolgenden Zitate vgl. (Axelrod, 2005, Seiten. 67-79)

unter anderem über benachbarte Frontabschnitte verbreitete. Aber, wie schon erwähnt, kann davon ausgegangen werden, dass es auch immer wieder unabhängig entstand.

Während offene Fraternisierungen zu Beginn des Krieges durch das Oberkommando leicht unterdrückt werden konnten, kam das System gegenseitiger Zurückhaltung ohne mündliche Absprachen aus. Es entstand z. B. aus Waffenruhen, die von Schlechtwetterperioden erzwungen wurden. Nach einer solchen Pause lag es nahe, den Beginn neuer Kampfhandlungen zu verzögern. Hatte der Prozess wechselseitiger Zurückhaltung erst einmal begonnen, konnte er auf andere Gelegenheiten, z. B. auf die Essenszeiten, ausgeweitet werden.

„Es wäre ein Kinderspiel, die mit Verpflegung und Wasserkarren voll gestopfte Straße hinter den feindlichen Linien zu beschießen und in eine blutige Wüste zu verwandeln...aber im Großen und Ganzen ist es ruhig. Wenn Du Deinen Feind daran hinderst, seine Verpflegung zu fassen, verfügt er schließlich über ein einfaches Mittel: er wird Dich daran hindern, Deine zu bekommen.“

Die erzielten Kooperationserfolge wurden an benachbarte Einheiten und vor allen an die Ablösung weitergeben. Ein englischer Veteran empfing einen Neuling mit den Worten: „Der Deutsche ist kein schlechter Kerl. Laß' ihn in Ruhe, dann läßt er Dich in Ruhe.“

Während der Perioden wechselseitiger Zurückhaltung waren die Soldaten darauf bedacht zu zeigen, dass sie nötigenfalls tatsächlich zurückschlagen konnten. Die deutschen Scharfschützen bewiesen den Briten dadurch ihre Vergeltungsmöglichkeit, dass sie solange auf den Flecken an der Mauer einer Hütte schossen, bis sie ein Loch durchgebrochen hatten. Noch auffallender war das an vielen Stellen auftretende vorhersehbare Artilleriefeuer. Von einer Stelle der Front wird berichtet, die Deutschen führten „ihre offensiven Operationen mit einer taktvollen Mischung aus gleich bleibendem und schlecht gezielten Beschuss durch, der einerseits die Preußen zufrieden stellt und andererseits Thomas Atkins keine ernsthaften Schwierigkeiten macht“.

Engländer und Franzosen verhielten sich ebenso.

„Er begann um sieben - so pünktlich, daß man seine Uhr danach stellen konnte...Er hatte immer das gleiche Ziel, sein Umfang war genau bemessen, er wich nie zur Seite aus oder schlug vor oder hinter dem Ziel ein... Es gab sogar ein paar Vorwitzige, die (kurz vor sieben) herauskamen, um die Einschläge zu sehen.“

Da die Artillerie hinter der Front weniger gefährdet war als die Infanterie, nahm sie an dem Gefangenendilemma nicht teil. Um zu verhindern, dass das System durch Artilleriefeuer zerstört wurde, war die Infanterie auf ein gutes Verhältnis zur Artillerie bedacht. Andererseits hatte insbesondere die Artillerie die Funktion, Provokationen zu vergelten. Ein neuer vorgeschobener Artilleriebeobachter wurde von den Infanteristen häufig mit dem Wunsch begrüßt „Ich hoffe, Du beginnst keinen Ärger“. Die beste Antwort war „Nicht, ohne dass Du es willst.“

Aus dem System der gegenseitigen Zurückhaltung entwickelte sich teilweise sogar ein Interesse am Wohlergehen der anderen Seite.

„Ich trank gerade Tee bei der Kompanie A., als wir lautes Geschrei hörten. Wir gingen nach draußen, um zu sehen was vorgefallen war. Unsere Männer und die Deutschen standen auf der Brustwehr. Plötzlich schlug eine Salve ein, die jedoch keinen Schaden anrichtete. Beide Seiten gingen natürlich in Deckung und unsere Leute fluchten über die

Deutschen. Auf einmal kletterte ein mutiger Deutscher auf seine Brustwehr und rief ‚Wir bedauern das sehr. Hoffentlich wurde niemand verletzt. Es war nicht unsere Schuld. Es war die verfluchte preußische Artillerie.‘“

Da das System weit verbreitet war, muss davon ausgegangen werden, dass das System generische Ursachen (im Gegensatz zu historisch singulären) hat. Nach der Schätzung von Ashwort (1980) trat es bei einer durchschnittlichen Division immerhin während ca. eines Drittels aller Frontaufenthalte auf. Das bedeutet freilich auch, dass es nur während eines Drittels aller Frontaufenthalte auftrat. Soll erklärt werden, wie es dazu kam, muss ebenso erklärt werden können, warum es häufig nicht dazu kam. In Ashworth Darstellung lassen sich folgende Ursachen für das „Leben- und leben lassen“-System ausmachen:

1. Die strategische Situation: Festgefahrene Fronten
2. Der nur natürliche Wunsch der meisten Soldaten, den Krieg zu überleben
3. Die unpersönliche und bürokratisierte Struktur der Aggression
4. Empathie mit den Soldaten auf der gegnerischen Seite
5. Korpsgeist, der sich förderlich oder (bei Elite-Einheiten) hinderlich auf die Entwicklung des „Leben und leben lassen Systems“ auswirken konnte
6. Initialursachen wie Weihnachts-Waffenstillstände, Schlechtwetterperioden, Gleichzeitiges Schweigen der Waffen aufgrund der Ähnlichkeit der Lebensabläufe in den feindlichen Gräben (z. B. infolge gleicher Essenszeiten)

Verschiedene Erklärungen wären denkbar, warum das System nicht überall auftrat. Da das „Leben und leben lassen“-System nicht den Zielen eines Krieges entspricht, liegt die Annahme nahe, dass es in den meisten Fällen erfolgreich unterbunden werden konnte. Tatsächlich erwies es sich für die Militärführung als überaus schwierig, das, was in ihren Augen ein Unwesen war, zu unterbinden. Es dauerte eine ganze Weile bis sich Mittel und Wege fanden, das „Leben und leben lassen“-System (dann aber mit nachhaltigem Erfolg) zu durchbrechen. Auch könnte vermutet werden, dass das System einigermaßen störanfällig war, da die Soldaten ja keine Abmachungen mit der feindlichen Seite treffen konnten. Der entscheidende Faktor war nach der empirischen Untersuchung von Ashwort (1980) jedoch, ob es sich um Elite-Einheiten oder gewöhnliche Truppen handelte. Nur wo gewöhnliche Truppen in den Gräben einander gegenüber lagen, bildete sich das „Leben und leben lassen“-System heraus. Das System brach zusammen, als die Militärführung dazu überging, Stoßtruppunternehmen einzusetzen. Die Angreifer hatten den Befehl, den Feind in seinen eigenen Stellungen zu töten oder gefangen zu nehmen. Wenn der Stoßtrupp Erfolg hatte, konnten Gefangene gemacht werden, war er ein Fehlschlag, dann waren Verluste der Beweis für den Versuch. Die Einheiten verloren auf diese Weise ihren Handlungsspielraum, da sie die Kampfhandlungen nicht mehr vortäuschen konnten, ohne selbst Schaden zu nehmen.

6.2 Doping im Sport

Die Dopingsituation Die Dopingsituation als Gefangenendilemma wird von Bertensen (2002) beschrieben. Typisch dafür ist die Frage, ob sich ein Athlet dopen soll oder nicht. Der Sportler muss den Nutzen seines Verhaltens - Verbesserung der Siegeschancen gegenüber jenen, die sich nicht dopen – gegen die Nachteile – Gesundheitsschäden bzw.-risiken und Sanktionen bei einer eventuellen Aufdeckung seines Vergehens gegeneinander abwägen. Wenn dem Athleten die Siegeschancen mehr wert sind als die unsicheren (und in der Zukunft liegenden) Gesundheitsrisiken, und wenn die Gefahr, entdeckt zu werden, gering ist, wird Dopen für ihn einen Nutzen bringen, wenn er mit Doping gute, ohne Doping aber nur geringe Siegeschancen besitzt. Für ihn besteht also die beste Situation darin, wenn er sich selber dopt, der Gegner jedoch nicht; die schlechteste Situation ergibt sich für ihn dann, wenn der Gegner dopt, er selber jedoch nicht. In dieser Situation ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich alle dopen, besonders groß, so dass für den Einzelnen zwar kein Nutzen, für alle aber Kosten – etwa in Form von Gesundheitsrisiken – entstehen. So wäre es für alle sicherlich das Beste, wenn keiner sich dopt, weil sich mit einem Doping alle relativ in der gleichen Situation befinden, aber alle höhere Kosten haben. Aber diese Situation wird sich bei rationaler Einzelentscheidung nicht ohne Weiteres einstellen. Dies gilt nur unter der Annahme, dass ein herausragendes sportliches Ergebnis – etwa ein 100-Meter-Lauf unter 10 sec – nicht als solches ein erstrebenswerter und gut zu vermarktender Wert ist, der die (ökonomischen, gesundheitlichen etc.) Kosten des Dopings übersteigen könnte.

Tabelle 6.1: Auszahlungsmatrix für das Dopingspiel

	Doping	Clean
Doping	$\frac{1}{4}, \frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}, 0$
Clean	$0, \frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$

In der einfachsten Version des Doping-Spiels gibt es zwei Spieler. Beide Agenten haben jeweils zwei Strategien: Doping (D) und kein Doping (C) wobei C für „clean“ steht. Es gibt vier Möglichkeiten: Entweder dopen beide (D,D) oder beide sind clean (C,C). Beide Spieler sind gleich talentiert, was zur Folge hat, dass beide Spieler das Spiel mit Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ gewinnen, wenn beide Spieler clean sind. In diesem Fall ist somit die erwartete Auszahlung $\frac{1}{2}$. Wenn beide Spieler dopen, ändern sich die Gewinnwahrscheinlichkeiten nicht, d. h. jeder Spieler gewinnt das Spiel wiederum mit Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$. Die Auszahlung ist jedoch nur $\frac{1}{4}$. Die niedrigere Auszahlung rührt daher, dass das Doping Kosten in der Höhe von $\frac{1}{4}$ verursacht, so dass die erwartete Auszahlung, wenn beide Spieler dopen, kleiner ist, als wenn beide Spieler clean sind, obwohl sich die Gewinnwahrscheinlichkeiten nicht geändert haben. Diese konstante Gewinnwahrscheinlichkeit ist das zentrale Element des Dopingspiels. Es hat zur Folge, dass im Doping-Gleichgewicht kein Spieler von der Einnahme leistungssteigernder Mittel profitiert. Wenn nur ein Spieler

dopt, dann gewinnt dieser Spieler das Spiel mit Sicherheit und erhält die Auszahlung $\frac{3}{4}$ und der Verlierer die Auszahlung 0. Für den gedopten Spieler ist die Auszahlung wiederum kleiner als die Siegesprämie von 1, weil noch die Dopingkosten abgezogen werden müssen. Der nicht gedopte Spieler erhält die Auszahlung von 0, weil er das Spiel mit Sicherheit verliert und weil er keine Dopingkosten zu tragen hat. Das Wesentliche an den Auszahlungen des Doping-Spiels ist, dass beide Spieler es vorziehen, ohne Doping statt, als mit Doping zu gewinnen. Im ersten Fall ist die Auszahlung $\frac{1}{2}$, im letzteren Fall ist sie nur ein $\frac{1}{4}$. Der Anreiz, zu unerlaubten leistungssteigernden Mitteln zu greifen, rührt daher, dass jeder Spieler lieber mit Doping gewinnt als ohne Doping verliert, d. h. er vergleicht die Auszahlung $\frac{3}{4}$ mit der Auszahlung 0. Die Auszahlungen und die Beschreibung des Doping-Spiels findet sich in der Abbildung 6.1. Die Einträge in den vier Boxen sind jeweils die Auszahlungen, die aus den Strategien der zwei Spieler resultieren, wobei die erste Zahl die Auszahlung für Spieler 1 ist und die zweite Zahl für Spieler 2.

Das Doping-Dilemma Bei genauerer Betrachtung der Auszahlungen kann festgestellt werden, dass für beide Spieler die Strategie D eine höhere Auszahlung gibt als C, und zwar völlig unabhängig von dem, was der andere Spieler macht. Dieser Umstand hat zur Folge, dass das einzige Gleichgewicht darin besteht, dass beide Spieler dopen. Dieses Gleichgewicht ist offensichtlich nicht optimal, denn beide Spieler wären besser gestellt, wenn beide nicht dopen würden. Ein Zustand, in dem beide Spieler nicht dopen, ist aber nicht stabil, denn jeder Spieler hätte einen Anreiz abzuweichen, um sich damit die Auszahlung $\frac{3}{4}$ statt $\frac{1}{2}$ zu sichern. Im Falle des Sports wären dies Anti-Doping Maßnahmen, wie sie beispielsweise durch das Internationalen Olympischen Komitee (IOK) vorgeschlagen werden. So ist es immer wieder erstaunlich, wie mild sich die nationalen Verbände gegenüber ihren des Dopings überführten Sportlern geben. In der Regel fällt die Bestrafung weit milder aus, als es die Anti-Dopingmaßnahmen des IOK vorsehen. Auch hat es immer wieder Fälle gegeben, in denen die nationalen Verbände das Doping der Sportler systematisch organisiert haben, wie beispielsweise in der ehemaligen DDR. In einem Punkt unterscheiden sich die beiden fiktiven Geschichten jedoch. Niemand käme auf die Idee, den Wettkampf im Sport zu unterbinden, um das Dopingproblem zu lösen.

Wege aus dem Doping-Dilemma In der Theorie gibt es einen relativ einfachen Weg, der aus diesem Doping-Dilemma herausführt. Die Auszahlungen der Spieler müssen derart verändert werden, dass es sich für die Sportler nicht mehr lohnt zu dopen. In der Praxis werden diese Auszahlungen durch verschärfte Kontrollen und höhere Strafen geändert. Dies kann die Auszahlungen derart verändern, dass das Doping-Gleichgewicht verschwindet. Dies sind sicherlich Maßnahmen, welche in die richtige Richtung gehen. Zu bedenken ist jedoch, dass die Innovationskraft der Manager auch in Zukunft Mittel und Wege findet, bestehende Gesetze zu umgehen. In der gleichen Weise werden auch in Zukunft immer wieder neue temporär nicht nachweisbare Dopingmittel auf den Markt gebracht werden, welche die bestehenden Anti-Doping-Maßnahmen untergraben.

7 Zusammenfassung

„So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig, man muß sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Mögliche getan hat.“ (Johann Wolfgang von Goethe, 1787)

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden zwei ausgewählte Aspekte des IPD eingehend untersucht.

Zunächst wurde in Kapitel 2 eine kurze Einführung in die für diese Arbeit relevanten Konzepte der Spieltheorie gegeben. Sie dient als Grundlage für die folgenden Kapitel. Ziel war es, die nötigen Konzepte zum Verständnis der späteren Arbeit zu erarbeiten. Dabei wurden die Aspekte des Gefangenendilemmas noch außen vor gelassen.

Im folgenden Kapitel wurde das Gefangenendilemma formal eingeführt. Dabei wurden die Ergebnisse der wichtigsten Computerturnieren zum IPD präsentiert. Es existieren insgesamt drei Formen von erfolgreichen Strategien: die berühmte *TFT*-Strategie, die *Gradual*-Strategie und die *Master-Slave-Strategien* (Baranski u. a., 2006). Es wurden Eigenschaften beschrieben, welche den Erfolg dieser Strategien ausmachen. Dabei wurden die klassischen Thesen von Axelrod (2005) zumindest teilweise widerlegt.

Das vierte Kapitel widmete sich den *Master-Slave-Strategien*. Aufgabe war es diese Strategien formal zu beschreiben und zu klassifizieren. Außerdem sollten Lösungsmöglichkeiten entwickelt werden, um den Vorteil von *Master-Slave-Strategien* zu eliminieren. Im Laufe der Arbeit wurde deutlich, dass bisher nur sehr wenig Literatur zu diesem Thema existiert. Deshalb wurde versucht die Form der Zusammenarbeit in einem größerem Rahmen einzuordnen. Es wurden die Begriffe der „Koalition“ und der „Collusion“ eingeführt. Die Untersuchungen von *Master-Slave-Strategien* aus einem Computerturnier der PG474 der Universität Dortmund brachten die Erkenntnis, dass diese auf nur sehr wenige entscheidende Merkmale reduziert werden können (Baranski u. a., 2006). Deshalb erfasst die formale Definition nur das Verhalten von Master-Strategie zur Slave-Strategie und von Slave-Strategie zur Master-Strategie. Das Verhalten gegenüber anderen Strategien wurde in einer umfassenden Klassifikation der *Master-Slave-Strategien* dargestellt. Dabei kann bewiesen werden, dass ein kooperatives Verhalten gegenüber Strategien außerhalb der *Master-Slave-Koalitionen* erfolgreicher ist als unkooperatives.

Master-Slave-Strategien treffen Absprachen über Erkennungssequenzen. Diese wurden umfassend untersucht.

Im weiteren Verlauf wurde bewiesen, dass sich der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* in den bekannten Turnierumgebungen (und allen anderen „monotonen Umgebungen“) nicht vollständig eliminieren lässt. Jedoch ist es möglich, durch alternative Turnierumgebungen den Vorteil für eine geringe Anzahl von Slave-Strategien erheblich zu reduzieren. Es wurden die Forschungsergebnisse der PG474 präsentiert, die das Abschneiden von

Master-Slave-Strategien in der ökologischen Umgebung und der *Jerusalem* Umgebung erprobt haben (Baranski u. a., 2006).

Die experimentelle Analyse untersuchte zuerst die Zusammenarbeit von Strategien ohne Kommunikation. Es wurde demonstriert, dass Turnierergebnisse von „geklonten“ Strategien massiv beeinflusst werden können. Das nächste Experiment analysierte Koalitionen im IPD. Dabei schließen sich Strategien zu Teams zusammen und defektieren gegen alle Strategien, die nicht zu der eigenen Gruppe gehören. Die *Master-Slave-Strategien* bilden eine spezielle Form der Koalition. Der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* wurde in *Round-Robin-Turnieren* und Turnieren in der ökologischen Umgebung untersucht.

Kapitel 5 beschäftigte sich mit dem Noisy IPD. Im Gegensatz zum vorherigen Kapitel wurden die Auswirkungen von Rauschen, einem Grundproblem der Informatik, im IPD schon vielfältig untersucht. Es wurden bekannte Ansätze im Umgang mit Rauschen dargestellt. Aus jedem Ansatz resultiert eine eigene Strategie. Molander (1985); Bendor J. u. S. (1995) beweisen, dass Rauschen die „Achillesferse“ der im rauschfreien IPD erfolgreichen Strategie *TFT* ist.

Zwei klassische Strategien versuchen diese Schwachstelle zu beseitigen. *GTFT* ist großzügiger und lässt eine bestimmte Anzahl an gegnerischen Defektionen unbestraft (Molander, 1985). *CTFT* ist eine angepasste *TFT*-Strategie, so dass auf eine Defektion als Antwort auf eine Defektion des Gegners verzichtet wird, wenn vorher eine eigene unbeabsichtigte Defektion durch Rauschen entstanden ist (Sudgen, 1986).

Aus dem Win-Stay, Lose-Shift-Ansatz resultiert die Strategie *Pavlov* (Nowak u. Sigmund, 1993; Kraines u. Kraines, 1995a,b). Die Strategie basiert auf der Idee, dass wenn die Auszahlungen in der letzten Runde hoch waren, dieselbe Entscheidung wie in der Vorrunde getroffen wird; im anderen Fall wird eine andere Wahl.

Als letztes wurde eine neue Strategie *DBS* analysiert (Au u. Nau, 2006b). Eine Technik im Umgang mit Rauschen im IPD, welche die „symbolic noise detection“ nutzt.

Axelrod u. Wu (1995) wiederholten das Originalexperiment von Axelrods zweiten Turnier mit den 63 Strategien. Dabei untersuchten sie den Erfolg der drei Strategien *GTFT*, *CTFT* und *Pavlov*. Die ersten beiden konnten in allen Untersuchungen gute Ergebnisse erzielen, *Pavlov* jedoch schnitt äußerst schlecht ab.

Die experimentelle Analyse hat sich zum aufwendigsten und umfangreichsten Teil der Arbeit entwickelt. Neben der Einzelanalyse von ausgewählten Strategien, wurden vier große Turniere durchgeführt, um die Auswirkungen von Rauschen zu untersuchen.

Gradual-Strategien waren die erfolgreichsten Strategien, wenn die Turniere ohne Rauschen durchgeführt wurden. Im Noisy IPD fielen diese Strategien aber unerwartet stark ab. Erfolgreich waren Strategien die großzügig sind. *GTFT* ist eine im Noisy IPD erfolgreiche *TFT*-Strategie. Auch die beiden in dieser Arbeit entwickelten Strategien *Noise Improved Gradual* und *New CTFT* sind im Noisy IPD erfolgreiche Strategien. Die erfolgreichste Strategie ist jedoch *DBS*. Sie gewann fast alle Turniere unter Rauschen und ist auch im rauschfreien IPD erfolgreich.

Als Brückenschlag zwischen den beiden Hauptteilen wurden die Auswirkungen von Rauschen auf *Master-Slave-Strategien* untersucht. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die bisher bekannten *Master-Slave-Strategien* im Noisy IPD nicht mehr erfolgreich sind. Es wurden jedoch Möglichkeiten aufgezeigt, die es ermöglichen *Master-Slave-Strategien*

auch an das Rauschen anzupassen.

Fazit und Bewertung der Ergebnisse Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Analyse von zwei fast unabhängigen Teilbereichen des IPD erst im Laufe der Arbeit einen Schwerpunkt bekommen hat.

Die Ergebnisse der letzten IPD-Computerturniere machen es notwendig, sich mit den *Master-Slave-Strategien* zu befassen und diese eingehend zu analysieren. Während der Arbeit konnte jedoch auf kaum auf bekannte Ergebnisse zurückgegriffen werden. Glücklicherweise war es möglich, viele persönliche Kontakte zu IPD-Forschern zu knüpfen und Ergebnisse auszutauschen. So konnte erstmals das exakte Verhalten der *Master-Slave-Strategien* der Forschungsgruppe aus Southampton dargestellt werden. Auch der entwickelte Beweis über „monotone Umgebungen“ stellt ein interessantes Ergebnis dar. Trotzdem müssen *Master-Slave-Strategien* kritisch hinterfragt und der Sinn von diesen in IPD-Turnieren überdacht werden. Ein Verhalten ähnlich der *Master-Slave-Strategien* mag zwar im realen Leben denkbar sein, ist jedoch eher unwahrscheinlich. So gewinnen die Strategien die IPD-Turniere, welche die meiste Unterstützung von anderen Strategien erhalten. Hier wird über die Dauer nur noch die schiere Anzahl von Strategien entscheidend sein. Es scheint sinnvoll an den „Sportsgeist“ der Teilnehmer zu appellieren, so dass der Gebrauch von *Master-Slave-Strategien* auf diese Weise unterbunden wird.

Der Schwerpunkt der Arbeit verschob sich auf die experimentelle Analyse des Noisy IPD. Dabei wurden zwei neue Strategien selbst entwickelt und eine weitere neue Strategie analysiert, die bisher noch kaum beschrieben wurde. Interessant ist vor allem, dass noch nicht vorher die *Gradual*-Strategie unter Rauschen erprobt wurde, *TFT* jedoch in zahlreichen Experimenten. Die neu entwickelte Strategie *Noise Improved Gradual* kann den Erfolg von *Gradual* vom IPD zum Noisy IPD übertragen. Überraschend war die Dominanz der *DBS*-Strategie im Noisy IPD, deren Erfolg analysiert wurde. Der in vielen Berichten beschriebene Erfolg der *Pavlov*-Strategien konnte eindrucksvoll widerlegt werden. Diese Strategien konnten in keinem Turnier erfolgreich abschneiden.

Die abschließenden Ergebnisse bzgl. Rauschen und *Master-Slave-Strategien* schafften es noch einmal eine engere Beziehung zwischen den beiden Hauptteilen der Arbeit herzustellen.

Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit sollen noch verdeutlicht werden.

1.
 - *Master-Slave-Strategien* wurden definiert und klassifiziert. Dabei wurde bewiesen welches Verhalten gegenüber „koalitionsfremden“ Strategien am erfolgreichsten ist. Das exakte Verhalten der *Master-Slave-Strategien* der Forschungsgruppe aus Southampton konnte erstmalig dargestellt werden und verschiedene andere Berichte konnten widerlegt werden.
 - Es wurde bewiesen, dass *Master-Slave-Strategien* aufgrund von verschiedenen Erkennungssequenzen nicht von herkömmlichen Strategien unterschieden werden können.
 - Es wurde bewiesen, dass der Vorteil von *Master-Slave-Strategien* in monotonen Umgebungen nicht eliminiert werden kann.

- Für wenige Slave-Strategien konnte der Vorteil jedoch durch alternative Turnierumgebungen reduziert werden.
- 2. • *Gradual*-Strategien waren im Noisy IPD nicht erfolgreich. Deshalb wurde in dieser Arbeit die Strategie *Noise Improved Gradual* entwickelt, welche die Schwachstellen der *Gradual*-Strategien beseitigen kann und sehr erfolgreich war.
- *New CTFT* wurde entwickelt und kann die Schwachstelle der *TFT*-Strategie fast so gut überwinden wie *GTFT*.
- Es wurde gezeigt, dass die neue Strategie *DBS* allen bisher bekannten Strategien im Noisy IPD überlegen ist.
- *Master-Slave-Strategien* waren nicht im Noisy IPD nicht erfolgreich. Es wurde jedoch gezeigt, wie diese angepasst werden können.

8 Literaturverzeichnis

- [Arnold 2002] ARNOLD, Eckhart: *Der Einsatz evolutionärer Computermodelle bei der Untersuchung historischer und politischer Fragestellungen*. <http://thphil.phil-fak.uni-duesseldorf.de/index.php/filemanager/download/306/Evolutionstheorien.pdf>, 2002. – Verfügbar am: 26.10.2006
- [Ashlock u. Kim 2005] ASHLOCK, Daniel ; KIM, Eun-Youn: The impact of cellular representation on finite state agents for prisoner's dilemma. In: *GECCO '05: Proceedings of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation*. New York, NY, USA : ACM Press, 2005. – ISBN 1-59593-010-8, S. 59-66
- [Ashwort 1980] ASHWORT, Tony: *Trench Warfare, 1914-1918: The Live and Let Live System*. New York : Holmes & Meier, 1980
- [Au u. Nau 2006a] AU, Tsz-Chiu ; NAU, Dana: Accident or Intention: That is the Question (in the Noisy Iterated Prisoner's Dilemma). In: *5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2006), Hakodate, Japan, May 8-12, 2006*, S. 561-568
- [Au u. Nau 2006b] AU, Tsz-Chiu ; NAU, Dana: Maintaining Cooperation in Noisy Environments. In: *Proceedings, The Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence and the Eighteenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, July 16-20, Boston, Massachusetts, USA, 2006*
- [Axelrod u. Dion 1988] AXELROD, R. ; DION, D.: The further evolution of cooperation. In: *Science* 242 (1988), S. 1385-1390
- [Axelrod u. Wu 1995] AXELROD, R. ; WU, J.: How to Cope with Noise in the Iterated Prisoner's Dilemma. In: *Journal of Conflict Resolution* 39 (1995), S. 183-189
- [Axelrod 2005] AXELROD, Robert: *Die Evolution der Kooperation*. München : R. Oldenbourg, 2005
- [Baranski u. a. 2006] BARANSKI, B. ; EHLERS, R ; KAJENDRAN, T. ; KOSSLERS, B. ; POLASZEK, T. ; REIMHOLZ, R. ; SCHMIDT, J. ; SEIS, D. ; SLODZINSKI, R. ; STEEG, S. ; WIEMANN, N. ; ZIMMERMANN, M.: *Endbericht der PG 474: Neue Ansätze für das Gefangenendilemma*. <http://www.ipd-dortmund.de/>, April 2006. – Verfügbar am: 26.10.2006
- [Beaufils u. a. 1996] BEAUFILS, B. ; DELAHAYE, J. P. ; MATHIEU, P.: Our Meeting with Gradual, A Good Strategy for the Iterated Prisoner's Dilemma. In: LANGTON, C. G.

- (Hrsg.) ; SHIMOHARA, K. (Hrsg.): *Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*. Cambridge, MA, USA : The MIT Press/Bradford Books, 1996, S. 202–209
- [Beaufils u. a. 1998] BEAUFILS, B. ; DELAHAYE, J. P. ; MATHIEU, P.: *Iterated Prisoner's Dilemma*. <http://www2.lifl.fr/IPD/ipd.frame.html>, 1998. – Verfügbar am: 26.10.2006
- [Bendor J. u. S. 1995] BENDOR J., KRAMER R. ; S., STOUT: When in doubt cooperation in a noisy prisoner's dilemma. In: *Journal of Conflict Resolution* 35 (1995), S. 691–719
- [Bertensen 2002] BERTENSEN, Alexander: The economics of doping. In: *European Journal of Political Economy* 18 (2002), S. 109–127
- [Bowles 1999] BOWLES, Roger: *Corruption*. <http://encyclo.findlaw.com/8500book.pdf>, 1999. – Verfügbar am: 26.10.2006
- [Delahaye u. Mathieu 1995] DELAHAYE, J. P. ; MATHIEU, P.: Complex Strategies in the Iterated Prisoner's Dilemma. In: ALBERT, A. (Hrsg.) ; Université du Québec à Hull, Canada (Veranst.): *Chaos and Society* Bd. 29 Université du Québec à Hull, Canada, IOS Press/Presses de l'Université du Québec, 1995 (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications), S. 283–292
- [Delahaye u. Mathieu 1998] DELAHAYE, J. P. ; MATHIEU, P.: Altruismus mit Kündigungsmöglichkeit. In: *Spektrum der Wissenschaft* 2 (1998), S. 8–19
- [Denda 1988] DENDA, Wolfgang: *Rauschen als Information*. Heidelberg : Hüthing, 1988
- [Grossmann 2004] GROSSMANN, W.: *New Tack Wins Prisoner's Dilemma*. <http://www.wired.com/news/culture/0,1284,65317,00.html>, Oktober 2004. – Verfügbar am: 26.10.2006
- [Hirshleifer u. Coll 1988] HIRSHLEIFER, J. ; COLL, J.: What Strategies Can Support the Evolutionary Emergence of Cooperation? In: *Journal of Conflict Resolution* 32(2) (1988), S. 367–398
- [Holler u. Illing 2002] HOLLER, Manfred ; ILLING, Gerhard: *Einführung in die Spieltheorie*. Berlin : Springer, 2002
- [Jerger 2006] JERGER, Jürgen: *Spieltheorie, Script zur Vorlesung im SS 2006*. <http://www-cgi.uni-regensburg.de/Fakultaeten/WiWi/jerger/>, April 2006. – Verfügbar am: 26.10.2006
- [Kendall u. a. 2005] KENDALL, G. ; DARWEN, P. ; YAO, X.: *The iterated prisoner's dilemma competition*. <http://www.prisoners-dilemma.com/>. <http://www.prisoners-dilemma.com>. Version: 2005. – Verfügbar am: 26.10.2006

-
- [Kraines u. Kraines 1995a] KRAINES, D. ; KRAINES, V.: Evolution of learning among pavlov strategies in a competitive environment with noise. In: *The Journal of Conflict Resolution* 39 (1995), S. 439–466
- [Kraines u. Kraines 1995b] KRAINES, D. ; KRAINES, V.: Learning to cooperate with Pavlov an adaptative strategie for IPD with Noise. In: *Theory and Decision* 35 (1995), S. 107–150
- [Luce u. Raiffa 1957] LUCE, R.D ; RAIFFA, H: *Games and Decisions*. New York : Wiley, 1957
- [Maynard Smith 1982] MAYNARD SMITH, John: *Evolution and The Theory of Games*. London : Cambridge University Press, 1982
- [Molander 1985] MOLANDER, Per: The optimal level of generosity in a selfish, uncertain environment. In: *Journal of Conflict Resolution* 29 (1985), S. 611–618
- [von Neumann u. Morgenstern 1944] NEUMANN, John von ; MORGENSTERN, Oskar: *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, 1944 <http://www.amazon.co.uk/exec/obidos/ASIN/0691119937/citeulike-21>. – ISBN 0691119937
- [Nowak u. Sigmund 1993] NOWAK, M. ; SIGMUND, K.: A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the prisoner’s dilemma game. In: *Acta Applicandae Mathematicae* 20 (1993), S. 247–265
- [O’Riordan 2000] O’RIORDAN, Calm: A forgiving strategy for the Iterated Prisoner’s Dilemma. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 3 (2000), Nr. 4
- [O’Riordan 2001] O’RIORDAN, Colm: Iterated Prisoner’s Dilemma: A review / Department of Information Technology, NUI, Galway. 2001 (NUIG-IT-260601). – Forschungsbericht
- [Riechmann 2002] RIECHMANN, Thomas: *Spieltheorie*. München : Vahlen, 2002
- [Rogers 2006] ROGERS, Alex: *Die Arbeitsweise der Southampton Master-Slave-Strategien*. Persönlicher Kontakt, Juli 2006
- [Sieg 2005] SIEG, Gernot: *Spieltheorie*. München : R. Oldenbourg, 2005
- [Straffin 1980] STRAFFIN, Philip: The Prisoner’s Dilemma. In: *Journal of Undergraduate Mathematics and its Applications* 1 (1980), S. 102–103
- [Sudgen 1986] SUDGEN, R.: *The econmics of rights, co-operation and welfare*. Oxford : Basil Blackwell, 1986
- [Thelen 1997] THELEN, T.: *Spieltheorie und das Gefangenendilemma*. <http://www.tobiasthelen.de/ipd>, 1997. – Verfügbar am: 26.10.2006

[Walker 2005] WALKER, Paul: *A Chronology of Game Theory*. http://www.econ.canterbury.ac.nz/personal_pages/paul_walker/gt/hist.htm.
http://www.econ.canterbury.ac.nz/personal_pages/paul_walker/gt/hist.htm.
Version: 2005. – Verfügbar am: 26.10.2006

ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich diese Diplomarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Dasselbe gilt sinngemäß für Tabellen, Karten und Abbildungen. Diese Arbeit hat in dieser oder einer ähnlichen Form noch nicht im Rahmen einer anderen Prüfung vorgelegen.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)