

Hausarbeit im Rahmen der Veranstaltung

***Proseminar „Artificial Life“
Sommersemester 2012***

zum Thema

„Evolutionäre Dilemmas in sozialen Netzwerken“

basierend auf der Publizierung von Leslie Luthi, Enea Pestelacci und Marco Tomassini:

„Evolutionary Dilemmas in a Social Network“

Autor:

Felix Hanel

Datum:

22.09.2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
2 Soziale Entscheidungsprobleme.....	2
2.1 Reh-Hase-Dilemma.....	2
2.2 Gefangenen Dilemma.....	3
2.3 Falke-Taube-Dilemma.....	3
3 Soziale Netzwerke und ihre Parameter.....	4
3.1 Modellumgebung.....	4
3.2 Umgebungsparameter.....	5
3.3 Modellierungsfunktionen.....	5
4 Simulationen der Entscheidungsprobleme.....	6
4.1 Analyse der Simulation und ihre Ergebnisse.....	7
4.2 evolutionäre Stabilität der Simulation im GCPN.....	8
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	10
Literaturverzeichnis.....	V

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reh-Hase-Dilemma.....	2
Abbildung 2: Gefangen Dilemma.....	3
Abbildung 3: Falke-Taube-Dilemma.....	4
Abbildung 4: Grad der Kooperation.....	7
Abbildung 5: Grad der Kooperation mit vollständigen Variablenintervallen.....	7
Abbildung 6: Ausschnitt aus dem GCPN.....	8
Abbildung 7: Störung eines Gleichgewichtes.....	9

Abkürzungsverzeichnis

C	Strategie „Kooperation“ (Cooperation)
D	Strategie „Verweigern“ (Detect)
DD	Reh-Hase-Dilemma (Deer-Rabbit-Dilemma)
GPCN	Genetic programming authorship network
HD	Falke-Taube-Dilemma (Hawk-Dove-Dilemma)
P	Bestrafung (Punishment)
PD	Gefangenen Dilemma (Prisoner's Dilemma)
R	Belohnung (Reward)
S	Schuldaufnahme (Sucker's Payoff)
T	Versuchung (Temptation)

1 Einleitung

Diese Hausarbeit veranschaulicht die Problematik von Entscheidungsproblemen in sozialen Netzwerken.

Unsere Gesellschaft wächst global immer näher zusammen. Die Kommunikation zwischen einzelnen Personen und Personengruppen erfolgt zusehends immer mehr über soziale Netzwerke. Viele Unternehmen betreiben firmenintern oder branchenintern ein soziales Netzwerk, um Kontakte zu pflegen oder Informationen weiter zu reichen. In diesem Kontext ist es in dem letzten Jahrzehnt immer schwieriger geworden bestimmte Aspekte vorherzusehen oder Auswirkungen zu bestimmen, da diese von Entscheidungen vieler Einzelpersonen abhängig sind. Aus diesem Grund ist es bedeutsam die Vorgehensweise von Entscheidungen in dieser Umgebung nachzuvollziehen, dann ist es gegebenenfalls möglich Schlüsse über die Zukunft oder die Gründe einer Entscheidung zu ziehen.

Zu Beginn werden einzelne grundlegende Entscheidungsprobleme erläutert, an Hand derer sich ein Grundverständnis über die Entscheidung und daraus resultierend die Problematik dieser in sozialen Netzwerken erschließen lässt. Im Folgenden wird die Umgebung solcher Entscheidungsprobleme (soziale Netzwerke) analysiert. Nachdem diese Grundlagen dargestellt wurden, wird auf verschiedene Experimente eingegangen, die einen sozialen Aspekt widerspiegeln. Abschließend werden einzelne Aspekte der Arbeit resümiert und ihre Bedeutung für die Forschung, Wissenschaft und Wirtschaft hervorgehoben.

Entscheidungsprobleme sind jedem Menschen geläufig, sei es das Wahlrecht oder die Entscheidung welches Produkt man kaufen möchte. Soziale Entscheidungen sind hinsichtlich dieser Thematik ähnlich, nur haben sie eine Variable, die nicht so leicht feststellbar ist, andere Menschen.

Dies ist ein Aspekt der zuerst analysiert werden muss. Bei einem einfachen Entscheidungsproblem zum Kauf eines Produktes hat der Kunde eine Liste von Merkmalen anhand derer er ein Produkt klassifiziert z.B. Preis, Robustheit oder Zweckmäßigkeit. Wenn man den sozialen Hintergrund betrachtet aus dem der Kunde stammt, sind die für diesen Kunden wichtigsten Merkmale analysierbar. Auf diese Merkmale kann man dann im Vorhinein besonderen Wert legen und sie hervorheben, sodass der Kunde sich wahrscheinlicher für dieses Produkt entscheidet bzw. es kauft.

Bei sozialen Entscheidungsproblemen gibt es diese Liste nicht. Hierbei muss der Kunde, im weiteren Spieler genannt, die Gegebenheiten der Umwelt analysieren und darauf entweder die anderen Mitspieler einschätzen oder direkt seine Entscheidung fällen. Anhand dieser Einschätzung steht und fällt die Entscheidung maßgeblich.

Um dieses Problem der „richtigen“ Einschätzung zu verdeutlichen, werden drei ähnliche soziale Entscheidungsprobleme angeführt.

2.1 Reh-Hase-Dilemma

In diesem Dilemma gibt es zwei Spieler (Jäger), die zusammen spielen. Beide Spieler können nicht miteinander kommunizieren, aber sie jagen in der gleichen Umgebung. Ein Jäger versucht

	R	H
R	(5, 5)	(0, 3)
H	(3, 0)	(3, 3)

möglichst viel Fleisch zu erjagen, damit er davon lange leben kann. Es gibt zwei Tiere, die er jagen kann: entweder das Reh oder den Hasen. Das Reh muss von beiden Spielern gejagt werden, damit es erlegt werden kann und liefert jedem Fleisch für 5 Tage. Der Hase kann nur alleine gejagt werden und liefert Fleisch für 3 Tage.

Abb. 1: Reh-Hase-Dilemma

Somit hat jeder Spieler zwei mögliche Strategien:

Entweder er jagt den Hasen oder das Reh. Abb. 1¹ verdeutlicht, dass Strategie Reh entweder 0 oder 5 Fleisch und Hase immer 3 Fleisch einbringt. Im Mittel ergibt sich also für Strategie Reh ein Fleischgewinn von 2,5 Tagen und für Hase ein Gewinn von drei Tagen. Da die Kommunikation

¹ Eigene Zusammenstellung

nicht möglich ist, werden alle Spieler Strategie Hase spielen, da sie dort mehr Fleisch bekommen. Wenn allerdings eine Absprache vor dem Jagen mit dem anderen Spieler erlaubt ist, dann ist die Lösung nicht mehr eindeutig, da der menschliche Aspekt nun mit einfließt.

2.2 Gefangenen Dilemma

Die Kommunikation ist ein wesentlicher Bestandteil eines sozialen Dilemmas. In diesem Fall ist sie nicht von solch wichtiger Bedeutung, da die Auswirkungen unter diesen Umständen geringer sind, dies ist auf die Änderung der Umgebung zurück zu führen.

Wiederum gibt es zwei Spieler, die miteinander spielen. Beide haben zusammen ein Verbrechen begangen und warten auf ihre Verurteilung. Beide werden verurteilt und wollen möglichst wenig Zeit im Gefängnis verbringen. Die Strafe ist unterschiedlich, je nach Strategie: Kooperation (C) oder Verweigerung (D). Außerdem gibt es je nach Ausgang der Strategiekombination der beiden Spieler vier Resultate: Versuchung (T), Belohnung (R), Bestrafung (P) und Schuldaufnahme (S).

	C	D		C	D
C	(R,R)	(S,T)	C	(2,2)	(4,1)
D	(T,S)	(P,P)	D	(1,4)	(3,3)

Abb. 2: Gefangen Dilemma

Nach dem Beispiel in Abb. 2² erkennt man, dass die Verweigerung die Kooperation dominiert. Dabei ist die Möglichkeit zur Kommunikation außer Acht gelassen, da sie das Ergebnis kaum

beeinflusst. Warum sollte man seinem Mitgefangenen trauen, da dieser genau wie man selbst möglichst schnell wieder aus dem Gefängnis kommen will?³

2.3 Falke-Taube-Dilemma

Die Gewichtung der sozialen Komponente eines Dilemmas nimmt zu je ähnlicher sich die Durchschnitte der Ausgänge sind. Das Falke-Taube-Dilemma ist aus diesem Grund aufschlussreicher als das Gefangenen Dilemma, da es wegen der geringen Unterschiede der Ausgänge näher an der Realität liegt. Die Umgebung des Falke-Taube-Dilemmas ist bis auf die Gewichtung der Resultate gleich dem des Gefangenen Dilemmas.⁴

An dem Beispiel in Abb. 3⁵ ist abzulesen, dass der Ausgang der Strategien C und D jeweils 2,5

2 In Anlehnung an: Luthi, Pestelacci, Tomassini 2007, S. 3

3 Vgl. ebd., S. 2-3

4 Vgl. ebd., S. 2-3

5 In Anlehnung an: ebd., S. 3

	C	D
C	(2,2)	(3,1)
D	(1,3)	(4,4)

Abb. 3: Falke-Taube-Dilemma

Tage beträgt. Somit ist der Ausgang mathematisch gleich. Allerdings macht es für die Spieler einen Unterschied, ob sie zwei oder drei Tage bei C oder einen oder vier Tage bei D einsitzen müssen. Durch diese Resultate bekommen die beiden Strategien neue Hintergründe. Bei C weiß der Spieler, dass er persönlich relativ unabhängig von dem Mitspieler nahe

am Durchschnitt liegt. Bei D weiß der Spieler, dass er selbst garantiert nicht schlechter ist als der Mitspieler. Allerdings ist bei D der Unterschied zwischen den Resultaten am größten.⁶

Dieses Dilemma wirft die Frage auf, welche Strategie denn nun besser ist.⁷

3 soziale Netzwerke und ihre Parameter

Um diese Frage beantworten zu können wurden die oben behandelten Dilemmas modelliert. Die Umgebung der Modellierungen und die damit einhergehenden Eigenschaften und Parameter werden im folgenden untersucht.

3.1 Modellumgebung

Die Umgebung der Modellierung besteht in jedem Fall aus vielen Spielern, die zusammen die Population des Dilemmas bilden. In einfachen Populationen der allgemeinen evolutionären Spieltheorie spielen zufällige Spieler anonym gegen andere Spieler. Dabei gibt es zwei Arten von Spielern. Die einen spielen immer die gleiche Strategie (Hardliner) und die anderen können ihre Strategie nach einem Spiel (Wechsler) wechseln.⁸

Diese einfachen gemischten Populationen haben einen großen Vorteil, für sie gibt es allgemeine Funktionen. Mit Hilfe dieser Funktionen lassen sich Zukunftsvorhersagen treffen. Außerdem ist die Annahme möglich, dass jeder Spieler mit jedem anderen interagieren kann.

Allerdings weiß man heutzutage, dass diese Umgebungen zu theoretisch sind, um sie auf die Realität übertragen zu können. Das liegt beispielsweise daran, dass in einem künstlichen Modell die Anzahl an Verbindungen von einem Spieler zu einem anderen durchaus so groß ist, dass dies in der Realität unmöglich ist. Außerdem sind Gruppenbildungen nicht möglich, was jedoch soziale Netzwerke ausmacht. Aus diesen Gründen wurde ein Experiment in einem echten sozialen Netzwerk durchgeführt, dem „genetic programming coauthorship network“ (GPCN). Dieses besteht

6 Vgl. Luthi, Pestelacci, Tomassini 2007, S. 2-3

7 Vgl. ebd., S. 2-3

8 Vgl. ebd., S. 3

aus 942 Wissenschaftlern. Damit man keine Tests mit echten Menschen sondern weiterhin nur mit Simulationen machen kann wurde das Netzwerk übernommen, jedoch mit Agenten statt echten Spielern besetzt.⁹

3.2 Umgebungsparameter

Dazu benötigt man eine Herunterbrechung der Komplexität einer Umgebung auf das Dilemma. Das Netzwerk ist nun ein Graph $G(V, E)$ mit Nummer $i \in N$ Agentenanzahl und Agent $v_i \in V$ der Agentenmenge und der Kantenanzahl E . Dabei entspricht e_{ij} einer Kante von i nach j welche Teil von E ist. Der Grad eines Agenten wird bestimmt durch die Anzahl aller

Kannten eines Agentens $k_i = \{e_{ij} | i, j \in P, i \neq j\}$. Der Grad eines Netzwerkes ist $\bar{k} = \frac{\sum k_i}{N}$. Mit

diesen Parametern ist das Netzwerk komplett beschrieben, es fehlen für die Modellierung die Strategieübernahmefunktion - mit deren Hilfe Wechsler wechseln können - und eine Reichtumsfunktion, um zu berechnen, ob sich ein Wechsel lohnt und wie gut ein Netzwerk ist bzw. arbeitet.¹⁰

3.3 Modellierungsfunktionen

Die Modellierungsfunktion für die Strategieübernahmefunktion basiert auf zwei weiteren Konstanten Π_{M1}, Π_{m1} sowie auf zwei Variablen Π_i, Π_j . Die beiden Konstanten stehen für den größten (M1) und kleinsten (m1) Reichtum, der bei nur einer Kante bzw. nur einem Nachbarn möglich ist. Die Variablen Π_x mit $x \in P$ stehen für den Reichtum des Agenten x zum aktuellen Zeitpunkt.

Die Strategieübernahmefunktion $\phi(\Pi_j - \Pi_i)$ ist folgendermaßen definiert:

$$\phi(\Pi_j - \Pi_i) = \begin{cases} \frac{\Pi_j - \Pi_i}{k_j * \Pi_{M1} - k_i * \Pi_{m1}} & \text{wenn } (\Pi_j - \Pi_i) > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Strategieübernahmefunktion gibt an mit welcher Wahrscheinlichkeit der Agent i die Strategie von Agent j übernimmt. Da in diesem Netzwerk sowohl Π_{M1}, Π_{m1} als auch die Agentengrade k_i, k_j konstant sind, wächst die Wahrscheinlichkeit proportional mit dem Reichtumsunterschied

⁹ Vgl. Luthi, Pestelacci, Tomassini 2007, S. 3-4

¹⁰ Vgl. ebd., S. 4

zwischen Agent i und j . Für die Berechnung des Reichtums gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen der summierte Reichtum $R_{su}(i) = |\{e_{ij} | j \in P, i \neq j\}|$ und zum anderen der durchschnittliche

Reichtum $R_{du}(i) = \frac{|\{e_{ij} | j \in P, i \neq j\}|}{|E|}$. Wenn die Umgebung homogen in Bezug auf den Grad der

Agenten ist, dann macht es keinen Unterschied welcher Reichtum zur Bewertung herangezogen wird. Ist die Umgebung aber inhomogen, dann betont der summierte Reichtum mehr den Grad eines Agenten als der durchschnittliche Reichtum. Letzterer ebnet die Unterschiede zwischen den Agentengraden, jedoch berücksichtigt er eventuell vorhandene Kosten eine Kante zu pflegen. Dies berücksichtigt der summierte Reichtum nicht.

Bislang blieb die Art der Populationsaktualisierung unberücksichtigt, jedoch ist dies auch nicht weiter relevant, da Experimente mit synchroner und asynchroner Aktualisierung unwesentlich anders verlaufen.¹¹

4 Simulation der Entscheidungsprobleme

Damit die sozialen Entscheidungsprobleme simuliert werden können und die Ergebnisse in den richtigen Grenzen liegen, werden zunächst die geeigneten Grenzen der Variablen für die Simulationen des Gefangenen und des Falke-Taube-Dilemmas ermittelt. Anschließend werden die Simulationsergebnisse in Bezug auf die Realität vorgestellt.

Um den Wert der Ergebnisse zu überprüfen wird im Rahmen des *GPCN* die Stabilität der erhaltenen Werte auf Umpolung getestet. Mit diesen Experimenten lässt sich eine verlässliche Aussage über den Informationswert der vorherigen Experimente treffen.

4.1 Analyse der Simulation und ihre Ergebnisse

Die Untersuchung der Dilemmas *PD* und *HD* ergibt, dass es jeweils eine Gesetzmäßigkeit in der Bildung der Werte gibt. Im Falle *PD* $T > R > P > S$ und im *HD* $T > R > S > P$, da die Resultate nur Platzhalter für Werte sind, ist vor allem die Position in den Relationen relevant. Mit diesem Wissen kann man die beiden Graphiken in Abb. 4¹² problemlos vergleichen.¹³

Für die Simulation ist es am geeignetsten Werte im Intervall $[-1,2]$ zu wählen, da diese direkt als Prozentuale Werte betrachtet werden können und dadurch eine Hochrechnung erleichtert wird.

11 Vgl. Luthi, Pestelacci, Tomassini 2007, S. 4-5

12 In Anlehnung an: ebd., S. 6

13 Vgl. ebd., S.5

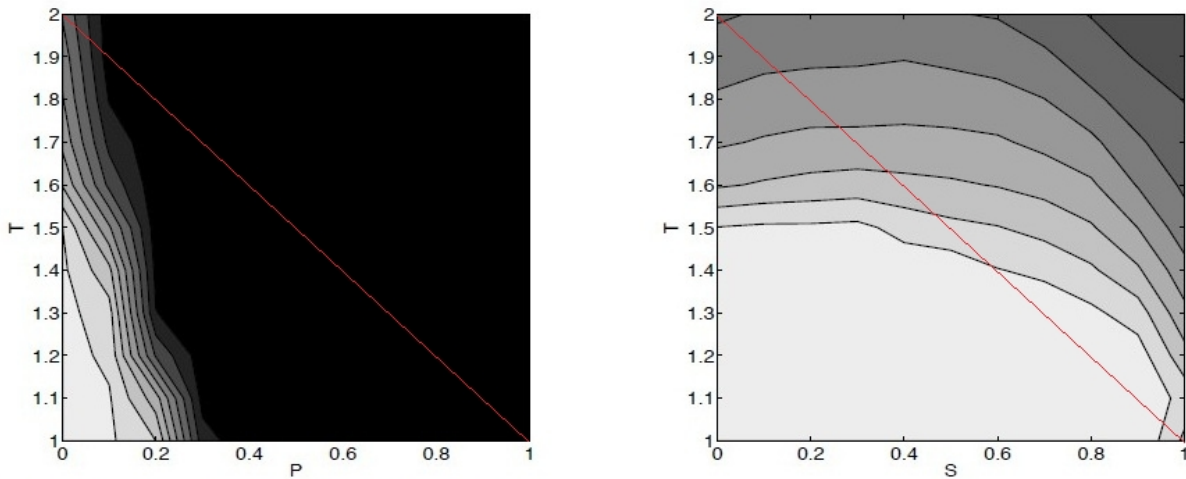


Abb. 4: Grad der Kooperation, links PD rechts HD

In der Simulation wird jeweils $R=1$ und in PD $S=0$ (HD $P=0$) als konstant gesetzt. Nach den oben beschriebenen Relationen muss sich T im Intervall $[1,2]$ und $P(S)$ im Intervall $[0,1]$ befinden. Zudem muss stets in beiden Fällen die Formel $2R > T + S$ gelten. Dies ist der Grund für die Obergrenze von 2 für T . Unter diesen mathematischen Restriktionen wurde die in Abb 4 gezeigte Graphik mit je 50 Durchläufen und 16000 Aktualisierungen pro Punktepaar durchgeführt. Allerdings erfüllen nur die Bereiche unterhalb der roten Linie die $2R > T + S$ Regel. Die Graphik zeigt an wie groß der Anteil der C -Strategie an der Gesamtpopulation ist. Je heller der Punkt, desto größer ist der Grad der Kooperation. Da im PD die D -Strategie dominiert, war zu erwarten, dass bei dem Graph von PD der Grad an Verweigerern überwiegen muss. Außerdem ist der Übergang von C zu D viel steiler als der in HD . In der rechten Graphik ist deutlich zu erkennen, dass die C -Strategie überwiegt. Somit ist nach dieser Modellierung es Sinnvoller zu kooperieren, da man einen höheren Reichtum erlangt.¹⁴

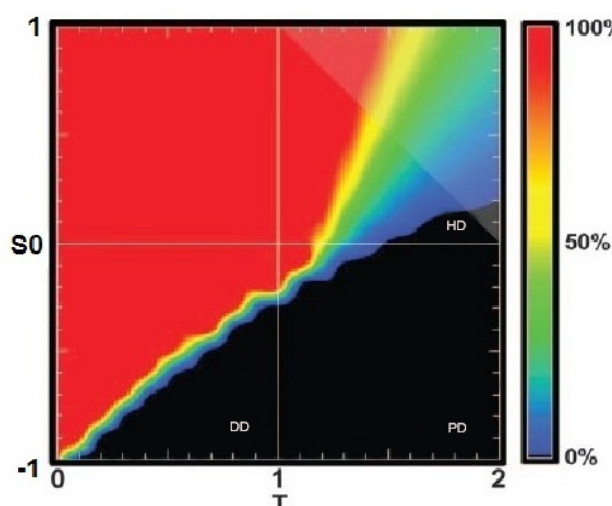


Abb. 5: Grad der Kooperation mit vollständigen Variablenintervallen

Einen vollständigen Überblick liefert Abb. 5.¹⁵ Im oberen linken Quadrat gibt es keine Versuchung, deshalb wird nur kooperiert. Das linke untere Quadrat illustriert das Reh-Hase-Dilemma (DD). Da man sobald das Reh deutlich mehr Fleisch gibt als der Hase sich abspricht und das Reh jagt und das wegen des überproportional hohen Gewinns garantiert ist, ist die Grauzone in der sich der Spieler nicht sicher sein kann was er jagen soll sehr eng. Ähnlich wie bei dem DD ist das

Resultat bei dem PD in dem rechten unteren Quadrat. Das Ergebnis des rechten oberen Quadrats

¹⁴ Vgl. Luthi, Pestelacci, Tomassini 2007, S. 5-6

¹⁵ In Anlehnung an: Santos, Pacheco, Lenearts, 2004, S. 3491

zeigt die weite Fächerung des *HD*. Diese Abbildung veranschaulicht, dass die soziale Komponente primär von den äußeren Gegebenheiten abhängt. Sobald sich diese als nicht eindeutig erweisen, kommt es zur Problematik der sozialen Aspekte.

4.2 evolutionäre Stabilität der Simulation im GPCN

Trotz dieser Ergebnisse muss im Rahmen des *GPCN* der Informationswert der Ergebnisse auf Sicherheit getestet werden. Dazu wird der Aufbau des Netzwerkes nach einem kompletten

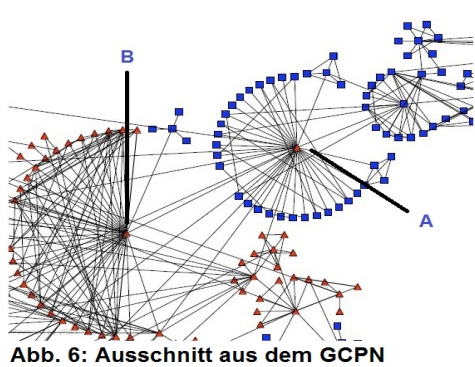


Abb. 6: Ausschnitt aus dem GPCN

Durchlauf ausschnittsweise in Abb. 6¹⁶ graphisch veranschaulicht. Die roten Dreiecke stellen Agenten mit *C* und die blauen Quadrate Agenten mit *D* dar. Durch die Gruppenbildung gibt es Bereiche in denen eine Strategie dominiert. Da Agent *A* fast ausschließlich mit *D*-Agenten benachbart ist, außer mit dem hochgradigen *C*-Agenten *B*, oszilliert Agent *A* im Verlauf der Simulation zwischen den beiden Strategien. Generell dominieren im gesamten

Netzwerk bei hohem *C*-Anteil die *C*-Agenten die höchstgradigen Agenten. Je größer der Anteil der *D*-Agenten ist, desto mehr oszillieren diese Agenten wie Agent *A*. Auch bei größten *D*-Anzahlen oszillieren diese hochgradigen Agenten, somit dominieren die *D*-Agenten nicht die hochgradigen Agenten. Diese Ergebnisse sind unabhängig davon, ob die Agenten *PD* oder *HD* spielen.¹⁷

Die Sicherheit des Ergebnisses wird geprüft durch die manuelle Änderung eines hochgradigen *C*-Agenten und allen direkt benachbarten *C*-Agenten in *D*-Agenten. Bei großem *C*-Anteil in Abb. 7¹⁸ in den Graphiken *a* und *d* werden diese wieder komplett hergestellt. Die Dichte in der die unterschiedlichen Durchläufe bei einander liegen ist im Falle des *HD* deutlich größer, als bei dem *PD*. Aus den Graphiken *b* und *c* kristallisiert sich heraus, dass anfängliche Ausreißer wieder das Gleichgewicht annehmen, Ausreißer später wieder das Gleichgewicht herstellen können und sich neue Ausreißer bilden können, die nicht wieder zurück in das Gleichgewicht gelangen.¹⁹

Das gesamte Gleichgewicht scheint jedoch bei allen Simulationen zu dominieren, sodass es sich am Ende wieder einstellt. Zudem weist eine Umpolung eine Optimierung des Ergebnisses auf.

¹⁶ In Anlehnung an: Luthi, Pestelacci, Tomassini 2007, S. 8

¹⁷ Vgl. ebd., S. 6-7

¹⁸ In Anlehnung an: ebd., S. 9

¹⁹ Vgl. ebd., S. 8-9

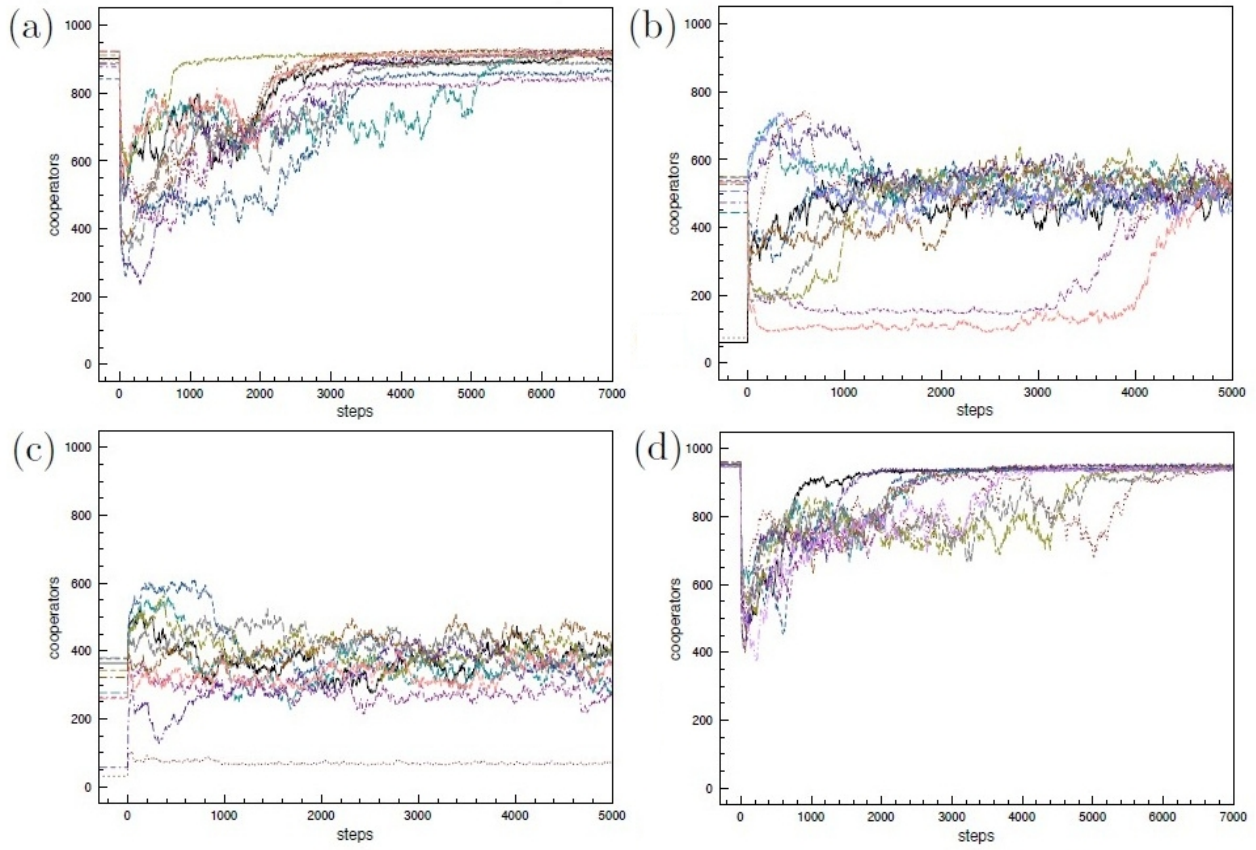


Abb. 7: Störung eines Gleichgewichtes, PD: a,b,c HD: d

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Netzwerkkomplexität des GPCN ist dank der Möglichkeiten zur Gruppenbildung, Vernetzung und programmiertem intelligenten Verhalten den realen sozialen Netzwerken sehr nahe gekommen. Dies ist insbesondere für Ableitungen aus den Verhaltensweisen der Modellierungen in die Realität von Bedeutung, da eine Reduktion eines realen Netzwerkes auf einen Graph nicht zwingend wieder einen sinnvollen Rückschluss der Resultate auf die Realität ermöglicht.

Die Ergebnisse der Simulationen im Falle des PD und HD konnten auf Störungsresistenz erfolgreich getestet werden. Diese Resistenz kann man als Gedächtnis eines Netzwerkes, als Wille zur Verbesserung aller Individuen oder als Möglichkeit zur Optimierung des Systems auffassen. Mit anderen Worten es wurde gezeigt, dass man robustes „primitives“ soziales Verhalten in sozialen Netzwerken reproduzieren kann.

Auf diese Weise sind komplexere Problemstellungen unter bestimmten oder angepassten Bedingungen lösbar geworden. Welche Strategie im Falle des HD zu wählen ist, ist somit mit Kooperation beantwortbar.

Durch die Ergebnisse im GPCN wurde eine Grundlage geschaffen. Die motiviert die Erkenntnisse und Möglichkeiten von diesem Netzwerk auf andere Netzwerke oder zur Allgemeingültigkeit zu übersetzen. Zudem wäre es von Vorteil komplexere Agents zur Modellierung realer Netzwerke zu schaffen, die unterschiedliche Eingangsinformationen verarbeiten können. Dadurch wären die Auswirkungen eines Phänomens in sozialen Netzwerken nicht weiter ungewiss.

Interessenten für diese Modelle gäbe es, da mittlerweile Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sich zusehends immer weiter mit sozialen Netzwerken verbinden und diese für ihre Ziele nutzen.

Literaturverzeichnis

Luthi, L., Pestelacci, E., Tomassini, M., 2007, Evolutionary Dilemmas in a Social Network, <http://arxiv.org/abs/0706.0100v1>, 26.09.2012

Santos, F.C., Pacheco, J.M., Lenearts, T., 2006, Evolutionary dynamics of social dilemmas in structured heterogeneous populations, in: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Jg. 103 (9), S. 3490-3494