

Abschlussbericht zum Projekt

SURVIVE

Simulationsgestützte Untersuchung der individuellen Reaktion auf Verkehrsinformationen mit variierenden Entscheidungsgrundlagen

Förderkennzeichen: 19M0014

Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg
Fachbereich Physik
Physik von Transport und Verkehr
Prof. Dr. Michael Schreckenberg

Laboratorium für Experimentelle Wirtschaftsforschung
Universität Bonn
Prof. (em.) Dr. Dr. h.c. mult. Reinhard Selten

Inhalt

Kontrollblatt	5
1 Übersicht.....	7
2 Aufgabenstellung und Voraussetzungen des Vorhabens.....	8
2.1 Aufgabenstellung.....	8
2.2 Voraussetzungen.....	8
2.3 Planung und Ablauf.....	9
2.3.1 Experimente.....	9
2.3.2 Modellierung	11
2.3.3 Verkehr	12
3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	14
3.1 Zusammenarbeit mit dem Institut Operations Research der Universität Graz.....	14
4 Wissenschaftliche Ergebnisse	15
4.1 Experimente.....	15
4.1.1 Einleitung Experimente	15
4.2 Experiment: Minority Game.....	19
4.2.1 Einführung und Experimentsaufbau.....	19
4.2.2 Beobachtetes Verhalten	20
4.2.3 Auszahlungen und Streckenwechsel	25
4.2.4 Verhaltenstypen.....	26
4.3 Spiel mit 18 Versuchspersonen	28
<i>[Gleichgewicht bei 12 Spielern auf der Hauptstrecke und 6 Spielern auf der Nebenstrecke]</i>	28
4.3.1 Einleitung und Experimentsaufbau	28
4.3.2 Gleichgewichtsprognosen und beobachtetes Verhalten	28
4.3.3 Verhaltenstypen.....	30
4.3.4 Auszahlungen und Häufigkeit der Streckenwechsel	31
4.3.5 Ergebnisse.....	33
4.4 Spiele mit mehr als 18 Personen	33
4.4.1 Ergebnisse.....	35
4.5 Spiele mit 18 Personen und Baustellen	37
4.5.1 Einleitung und Experimentsaufbau	37
4.5.2 Gleichgewichtsvorhersage und beobachtetes Verhalten	38
4.5.3 Streckenwechsel	41
4.5.4 Verhaltenstypen.....	43
4.5.5 Schlussfolgerung	45
4.6 Simulationen.....	45
4.6.1 Statistische Werte	51
4.6.2 Literaturdaten	54
4.7 Veröffentlichungen, Abschlussarbeiten, Konferenzen.....	54
4.7.1 Während des Projektes veröffentlichte Aufsätze und Artikel	54
4.7.2 Erster Internationaler Workshop „Human Behaviour and Traffic Networks“ in Bonn.....	54
4.8 Schlussfolgerungen „Kompakt“	55

5	Administrative Ergebnisse.....	56
5.1	Beitrag des Forschungsprojektes zur Erweiterung des Stands der Technik.....	56
5.2	Mögliche Erweiterung mit komplexeren Experimenten	56
6	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung der Ergebnisse.....	58
7	Offene Fragen.....	59
7.1	Größere Teilnehmerzahl in den Experimenten.....	59
7.2	Neue, naturgetreuere Experimente	59
7.3	Variation der Information.....	59
	Literatur	60

Kontrollblatt

Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) vertreten durch Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH		Förderkennzeichen: 19M0014 Förderzeitraum: 01.05.2000 – 30.04.2003	
Titel: SURVIVE Simulationsgestützte Untersuchung der individuellen Reaktion auf Verkehrsinformationen mit variierenden Entscheidungsgrundlagen			
Kurzbeschreibung: Das Projekt Survive hatte die experimentelle Untersuchung des Routenwahlverhaltens von Versuchspersonen in verschiedenen Experimenten, in denen die gegebene Information geändert wurde und deren Simulation zur Aufgabe.			
Organisation: Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg, Fachbereich Physik, Physik von Transport und Verkehr Prof. Dr. Michael Schreckenberg			
Bearbeiter	Tel.	Fax.	Email
Thorsten Chmura	0228-739192	0228-739193	chmra@wiwi.uni-bonn.de
Thomas Pitz	0228-739192	0228-739193	pitz@wiwi.uni-bonn.de
Sebastian Kube	0228-739192	0228-739193	
Joachim Wahle	0203-30511200	0203-30511201	wahle@traffgo.com
Birgit Dahm	0203-3793529	0203-3796564	dahm@uni-duisburg.de
Michael Schreckenberg	0203-3793552	0203-3796564	schreckenberg@uni-duisburg.de
Ausgabe Nr.:		Datum der Ausgabe: 14.12.2003 / 05.10.2006	
Schlüsselwörter SURVIVE Experimente, Routenwahl, Verkehrsinformation, Simulation		Status <input type="checkbox"/> Entwurf <input checked="" type="checkbox"/> abgeschlossen	
Anlagen			

1 Übersicht

Das Forschungsvorhaben SURVIVE (Simulationsgestützte Untersuchung der individuellen Reaktion auf Verkehrsinformationen mit variierenden Entscheidungsgrundlagen) wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und an der Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg in der Arbeitsgruppe Physik von Transport und Verkehr unter Leitung von Prof. Dr. Michael Schreckenberg, sowie am Laboratorium für Experimentelle Wirtschaftsforschung der Universität Bonn unter der Leitung von Prof. Dr. Reinhard Selten durchgeführt.

Die Projektlaufzeit war von Mai 2000 bis April 2003. Während dieser Zeit wurde das Projekt von dem Projektträger TÜV Rheinland in Köln betreut.

Die Aufgabenstellung und Voraussetzungen des Vorhabens sind in Kapitel 2 beschrieben.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens lassen sich in zwei Bereiche unterteilen:

Experimentelle Ergebnisse (Kapitel 4.)

Ergebnisse der Simulationen (Kapitel 4.6.)

2 Aufgabenstellung und Voraussetzungen des Vorhabens

2.1 Aufgabenstellung

Im Mittelpunkt des Vorhabens stand die experimentelle Untersuchung des Routenwahlverhaltens von Versuchspersonen in verschiedenen Experimenten. Die experimentellen Daten wurden statistisch untersucht. Die durchgeführten Simulationen wurden anhand der statistischen Kennwerte überprüft und verbessert.

Zur Zeit konzentrieren sich viele Forschungsaktivitäten auf die Entwicklung intelligenter Transportsysteme (ITS) und Telematikdienste, die eine effizientere Nutzung der vorhandenen Infrastruktur zum Ziel haben. Während diese Systeme zum Teil einen hohen technischen Standard erreicht haben, ist die Reaktion der Verkehrsteilnehmer auf die neuen Informationsquellen bisher weitestgehend unbekannt.

Eine Ursache dafür ist, dass sich die Verkehrsteilnehmer eingeschränkt rational verhalten und somit aufwendige Untersuchungen ihrer Entscheidungsfindung notwendig sind. Hierfür sind die Methoden der experimentellen Wirtschaftsforschung in besonderer Weise geeignet, da isolierte Fragestellungen in einem möglichst realistischen Umfeld gezielt untersucht werden können. Dies geschieht mit Hilfe von Versuchspersonen, die mit einer modellierten Verkehrssituation konfrontiert werden. Damit geeignete Anreizstrukturen vorliegen, werden die Versuchspersonen erfolgsabhängig bezahlt. Der Erfolg hängt dabei im Allgemeinen nicht allein von den eigenen Entscheidungen, sondern auch ganz wesentlich von denen der anderen Teilnehmer ab.

Gegenstand dieses interdisziplinären Forschungsprojektes ist daher, die Entscheidungsmuster der Verkehrsteilnehmer in Experimenten zu analysieren. Die häufige Wiederholung der Experimente erlaubt es, Lernprozesse und deren Struktur zu erkennen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen anschließend in neue Modellierungskonzepte (Simulationen) einfließen.

2.2 Voraussetzungen

Die Grundlage für die in 2.1 dargelegte Aufgabenstellung bildete die Erfahrung der Antragsteller in ihren verschiedenen Disziplinen.

Prof. Dr. Schreckenberg beschäftigt sich mit Zellularautomatenmodellen, die seit geraumer Zeit erfolgreich für die Simulation von Straßenverkehr eingesetzt werden.

Prof. Dr. Selten erhielt 1994 den Nobelpreis für seine Forschung im Gebiet der eingeschränkten Rationalität. Er ist Mitbegründer der experimentellen Wirtschaftsforschung. Diese Zusammenarbeit beider Stellen der Universitäten Duisburg-Essen und Bonn bringt zwei Forschungszweige zusammen, deren Kompetenzen auf diesem Niveau bislang noch nicht kooperierten. Die daraus entstandenen Synergien sollen in der Forschung neue Anstöße bringen.

2.3 Planung und Ablauf

2.3.1 Experimente

	1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr			
	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.
E1	■	■										
E2	■	■										
E3			■	■	■							
E4			■	■	■	■						
E5					■	■	■	■				
E6					■	■	■					
E7							■	■	■	■		
E8							■	■	■	■	■	
E9										■	■	■

E1 Informations- und Literaturrecherche

Um einen Überblick über den neuesten Stand der Forschung zu erhalten, wurden umfangreiche Recherchen experimenteller und theoretischer Literatur durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere die Literatur über Entscheidungsverhalten und -motivation in komplexen Situationen sowie die Literatur über Lernen berücksichtigt.

E2 Entwicklung eines Versuchsaufbaus

Das experimentelle Modell und dessen Parametrisierung wurde im Hinblick auf die zu untersuchenden Fragestellungen unter Berücksichtigung der Forschungsziele ausgearbeitet.

E3 Programmierung der Experimentsoftware

Die Darstellung der Entscheidungssituation, die Kommunikation der Entscheidungen sowie die Auswertung der Rundenergebnisse wurde in ein entsprechendes interaktives Experimentsoftwarepaket implementiert.

E4 Vorbereitung und Durchführung der Vorexperimente

Zur Durchführung der Experimente wurden organisatorische Vorarbeiten und Vorexperimente durchgeführt, z.B. Ausarbeitung von Instruktionen, Rekrutierung der Teilnehmer, Festlegung der Entlohnungsschemata und Entwurf von Fragebögen.

E5 Entwurf des endgültigen Versuchsaufbaus und Anpassung der Software

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Vorexperimenten wurde das endgültige Design der Experimente ausgearbeitet und die graphische Benutzeroberfläche dem veränderten Design angepasst.

E6 Organisation und Durchführung von Workshop I

Der Workshop Human Behaviour in Traffic Networks wurde mit großem Erfolg an der Universität Bonn durchgeführt. Als Teilnehmer konnten zahlreiche international renommierte Wissenschaftler gewonnen werden. Die Veröffentlichung eines Buches der Präsentationen beim Springer Verlag erfolgte 2004.

E7 Vorbereitung und Durchführung der Experimente

Die organisatorischen Vorarbeiten der Experimente (Ausarbeitung von Instruktionen, Rekrutierung der Teilnehmer, Festlegung der Entlohnungsschemata) wurden ausgeführt. Es wurden mehrere Experimentalsitzungen mit variierenden Entscheidungsgrundlagen durchgeführt.

E8 Auswertung der Ergebnisse

Die Experimentergebnisse wurden im Hinblick auf die Untersuchung der Lernprozesse und Motivationen der Versuchspersonen ausgewertet. Ziel war es, zu einer Theorie des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer zu gelangen.

E9 Aufbereitung und Publikation der Ergebnisse

Die Experimentergebnisse wurden im Hinblick auf ihre Verwendung in einem Simulationsmodell aufbereitet. In Diskussionspapieren wurden die Experimente und ihre Resultate dokumentiert und veröffentlicht.

Modellierung

	1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr			
	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.
M1	■	■										
M2	■	■	■									
M3		■	■	■	■	■	■	■				
M4			■	■								
M5					■	■	■	■	■			
M6							■	■	■	■	■	
M7									■	■	■	
M8										■	■	■

M1 Informations- und Literaturrecherche

Um vom Stand der Wissenschaft und Technik ausgehen zu können, wurden Informationsrecherchen über Veröffentlichungen und bereits bestehende Projekte unternommen. Darüber hinaus wurden hauptsächlich elektronische Quellen, u.a. Internet, Institute for Scientific Information, Cordis Server usw. genutzt.

M2 Identifikation der Modellparameter

Eine wesentliche Voraussetzung zur Modellentwicklung ist die Analyse der notwendigen Modellparameter, die nachher die Grundlage der Modellierung bilden. Hier wurde insbesondere in Absprache mit dem Experiment festgestellt, welche Parameter identifiziert und experimentell verifiziert werden können.

M3 Entwicklung von Simulationen

Die in den Experimenten gewonnenen Erkenntnisse wurden innerhalb einer der Simulationsreihen umgesetzt. Dazu wurden bestehende Systeme untersucht und modifiziert.

M4 Organisation und Durchführung Workshop I

Der Workshop Human Behaviour in Traffic Networks wurde mit großem Erfolg an der Universität Bonn durchgeführt. Als Teilnehmer konnten zahlreiche international renommierte Wissenschaftler gewonnen werden. Die Veröffentlichung eines Buches der Präsentationen beim Springer Verlag erfolgte 2004.

M5 Modellierung unterschiedlicher Verhaltenstypen

Die durch die Experimente bestimmten Verhaltenstypen wurden untersucht und im Hinblick auf die Simulationen klassifiziert.

M6 Implementierung der Simulationen

Mit Rücksicht auf die in den Schritten M2, M3 und M5 festgelegten Spezifikationen wurde das Programm implementiert.

M7 Simulation der Experimente

Eine erfolgreiche Nachstellung der Experimente durch die Simulation ist ein wesentlicher Erfolg dieses Projekt. Die in den Experimenten generierten Szenarien wurden mit Hilfe der Simulationsumgebung nachgestellt.

M8 Kalibrierung und Validierung der Multi-Agenten-Systeme

Auf der Basis der Experimente und anderer Datenquellen erfolgte letztendlich die Kalibrierung des Modells.

2.3.2 Verkehr

	1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr			
	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.
V1												
V2												
V3												
V4												
V5												
V6												
V7												
V8												
V9												

V1 Informations- und Literaturrecherche

Um sich über den neuesten Stand der Forschung und Technik zu informieren, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde insbesondere die Literatur über Verkehrsteilnehmer in entscheidungsrelevanten Situationen und Ergebnisse von Umfragen berücksichtigt.

V2 Identifikation entscheidungsrelevanter Situationen im Verkehr

Eine wesentliche Voraussetzung für gezielte Experimente war die systematische Untersuchung der entscheidungsrelevanten Situationen im Verkehr und deren Auswirkungen.

V3 Entwurf und Vorbereitung des Experimentlayouts

In enger Absprache mit dem Arbeitspaket E2 wurden besonders die verkehrstechnischen Details des Versuchsaufbaus entwickelt.

V4 Anpassung der Simulationsoberfläche

Das Design der Experimente wurde mit Rücksicht auf die verkehrstechnischen Daten aus der Simulation angepasst.

V5 Entwurf und Durchführung von Experimenten mit größeren Teilnehmerzahlen

Neben den Studien im Laboratorium wurden Experimente mit großen Personengruppen durchgeführt. Hier wurde die Anzahl der Teilnehmer deutlich vergrößert und damit der Einfluss der einzelnen Versuchsperson auf das Ergebnis verringert.

V6 Auswertung der Experimente mit großer Teilnehmerzahl

Die Ergebnisse der großen Experimente wurden im Hinblick auf die Zusammensetzung der Teilnehmer nach Verhaltenstypen ausgewertet.

V7 Simulation von Systemen mit variierender Information

Mit Hilfe der Modellierungsumgebung wurden die Ergebnisse nachgestellt.

V8 Vergleiche aller Simulationen

Die Erkenntnisse über das Verhalten der Verkehrsteilnehmer wurden in allen Simulationen überprüft.

V9 Organisation und Durchführung von Workshop I

Der Workshop Human Behaviour in Traffic Networks wurde mit großem Erfolg an der Universität Bonn durchgeführt. Als Teilnehmer konnten zahlreiche international renommierte Wissenschaftler gewonnen werden. Die Veröffentlichung eines Buches der Präsentationen beim Springer Verlag erfolgte 2004.

3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

3.1 Zusammenarbeit mit dem Institut Operations Research der Universität Graz

Die Zusammenarbeit mit Frau Prof. Dr. Leopold Wildburger und ihrem Team der Universität Graz war hilfreich, da Experimente mit mehr als 18 Personen zur Zeit der ersten Experimente in Bonn nicht möglich waren.

4 Wissenschaftliche Ergebnisse

4.1 Experimente

4.1.1 Einleitung Experimente

Die Qualität der Verkehrssysteme ist ein maßgeblicher Faktor für Wohlstand und Wirtschaftswachstum einer modernen Gesellschaft. Um den Mobilitätsanspruch gerade in Räumen mit großer Verkehrsdichte befriedigen zu können, müssen die derzeitigen Verkehrsprobleme erkannt und gelöst werden, ohne dass darunter Mobilität oder Standortqualität des Wirtschaftsraumes leidet. Zur Verbesserung der Verkehrsprobleme gibt es bereits eine Vielzahl von Erkenntnissen und Lösungsansätzen aus unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen. Von großem Interesse ist hierbei die Entwicklung intelligenter Verkehrsinformationssysteme (ADLER, BLUE 1998 [1], BARFIELD, DINGUS 1998[2], ITS 1998[3]). Solche verkehrspolitischen Konzepte können allerdings nur dann erfolgreich sein, wenn sie von den Verkehrsteilnehmern akzeptiert werden. Es ist nicht klar, ob mehr Information für Verkehrsteilnehmer den Verkehrsfluss günstig beeinflussen (BEN-AKIVA, DE PALMA, KAYSI 1991 [4]). Verkehrsteilnehmer, die eine zu große Informationsmenge erhalten, neigen dazu einfache Heuristiken zu bilden (GIGERENZER ET. AL. 1999 [5]). Hierbei können Überreaktionen entstehen, die zusätzliche Fluktuationen hervorrufen (WALE ET AL 2000 [6], BEN-AKIVA ET AL. 1991 [7], BONSALL 1992 [8]). Um derartige Reaktionen besser zu verstehen, ist es notwendig das Lernverhalten von Verkehrsteilnehmer intensiver zu untersuchen. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sollten eingesetzt werden, um die Wirksamkeit technischer Lösungen schon im Vorfeld zu analysieren und damit kostenintensive Feldversuche zu vermeiden.

Experimentelle Wirtschaftsforschung

Die experimentelle Wirtschaftsforschung ist die Kunst, empirische Daten zu erzeugen. Im Gegensatz zu den von der Ökonometrie und ihren verwandten Fächern erforschten empirischen Daten, sind die von der experimentellen Wirtschaftsforschung benutzten Daten in Experimentalsitzungen gewonnen worden, in denen Versuchspersonen reale Entscheidungen treffen, die mit Geldanreizen ausgestattet sind. Da die Experimente kontrollierte Versuche darstellen, kann das Verhalten der Versuchspersonen in wirtschaftlich relevanten Situationen genauer analysiert werden.

Die Bedeutung der experimentellen Wirtschaftsforschung wurde erst in den frühen 1960er erkannt, als Vernon Smith in den USA und Reinhard Selten in der Bundesrepublik ihre ersten Experimente durchführten. Zunächst schienen sich ihre Ansatzpunkte zu widersprechen. Vernon Smith setzte seine ersten Experimente dazu ein, die Vorhersagen der Wirtschaftstheorie zu überprüfen. Und er war damit sehr erfolgreich: er konnte zeigen, dass die Idee der Markträumung zum Marktpreis eine hervorragende Vorhersage der Dynamik in experimentellen Doppelte-Auktions-Märkten darstellte. Reinhard Selten, seinerseits, betrieb die experimentelle Wirtschaftsforschung zunächst als eine explorative Methode. Auch er war damit sehr erfolgreich: seine mit dem Nobelpreis ausgezeichneten Ideen bezüglich der Gleichgewichtsauswahl in Spielen kamen ihm, während er über Ergebnisse einer experimentellen Studie nachdachte.

Trotz dieser frühen Erfolge (und vieler weiterer Erfolge von einer Vielzahl von prominenten Wissenschaftlern: siehe hierzu *The Handbook of Experimental Economics* [9] von John Kagel und Al Roth), vergingen noch zwei Jahrzehnte bevor das Ausmaß des Einflusses der experimentellen Arbeit auf die gesamte Volkswirtschaftslehre evident wurde. Heute gibt es kaum noch eine angesehene Universität, die nicht ein computerisiertes Laboratorium für die experimentelle Wirtschaftsforschung aufweisen kann. (Eine ausführliche Liste findet man in Dan Friedman und Shyam Sunders Buch *Experimental Methods*. Zudem hat Al Roth eine ganze Reihe von Einrichtungen auf seiner Homepage aufgeführt).

Die Arbeit des Laboratorium für experimentelle Wirtschaftsforschung umfasst ein weites Feld experimenteller Untersuchungen. Dabei liegen Schwerpunkte auf den Gebieten: Verhandlungen, Auktionen und Märkte, extensive und Normalform-Spiele, Vertragstheorie, individuelles Verhalten unter Unsicherheit und die Untersuchung des Verhaltens in Finanzmärkten. Die experimentellen Ergebnisse werden in der Regel mit den Ergebnissen einer rationaltheoretischen Untersuchung verglichen. Der Zweck dieser Forschung ist es, auf den experimentellen Ergebnissen basierende deskriptive Theorien zu finden, die eine Erklärung für das Abweichen des Verhaltens von der normativen Vorhersage ermöglichen.

Auch wenn die Breite dieser Forschung einen Anschein von Zielunsicherheit vermitteln könnte, so ist diese gesamte Forschung doch auf ein langfristiges Ziel ausgerichtet. Das Hauptziel der Forschungsarbeit ist es, strukturelle Elemente zu entdecken, die allen einzelnen deskriptiven Theorien gemein sind, oder die diese miteinander verknüpfen. Diesen gemeinsamen Nenner zu finden, einen Anfang machen, auf der Suche nach einer echten Alternative zur normativen Theorie. In diesem Sinne folgt diese Arbeit dem Geiste Herbert Simons, der schon seit langem der Wissenschaftsgemeinde den Vorwurf macht, sie ignoriere die empirisch fundierten Erkenntnisse über die menschliche Kognition, Problemlösung und Entscheidungsfindung. Wir hoffen, dass unsere Forschung einen Beitrag zu einer allgemeinen Theorie des eingeschränkt rationalen Verhaltens leisten wird.

Die Computerisierung von Verhaltensforschungsexperimenten

Die Computerisierung von Verhaltensforschungsexperimenten erhöht die Effizienz der Datenerhebung ungemein. Da der Ablauf einer experimentellen Sitzung von Computern automatisiert und kontrolliert wird, werden Fehlerquellen bei Berechnungen und Zuordnungen minimiert. Die elektronische Datenübermittlung erhöht zudem die Geschwindigkeit, mit der die Entscheidungen der Versuchspersonen zusammengetragen werden, und ermöglicht deshalb einen wesentlich größeren Datenumsatz im Vergleich zu mit Papier und Bleistift durchgeführten Experimenten.

Bei allen erwähnten Vorteilen der Computerisierung von Verhaltensforschungsexperimenten darf aber nicht verschwiegen werden, dass die Entwicklung von Experimentalssoftware einen großen Aufwand für Experimentatoren darstellen kann. Der zeitliche Aufwand ist besonders groß, da die Heterogenität der experimentellen Anforderungen für fast jedes Experiment neue spezielle Software erforderlich macht.

Experimente zum Routenwahlverfahren

Es wurden verschiedene Experimente zum Routenwahlverfahren durchgeführt. Alle Experimente haben die Gemeinsamkeit, dass sich die Versuchspersonen zwischen 2 Strecken entscheiden mussten, um von einer Stadt A zu einer Stadt B zu gelangen. Diese Wahl trafen die Spieler bis zu 200 mal hintereinander. In den Experimenten wurde den Teilnehmern ein finanzieller Anreiz geschaffen. Die Auszahlungen hingen von der Fahrzeit auf den Strecken ab und wurde für jedes Experiment einzeln erläutert. Es wurden verschiedene Experimentvariationen durchgeführt, die sich an der den Teilnehmern zur Verfügung stehenden Information unterschieden. Jede Experimentvariation bestand aus sechs Beobachtungen.

Begonnen wurden die Untersuchungen mit einem einfachen Minority Game, an dem 9 Personen in jeder Sitzung teilnahmen. Das Gleichgewicht lag in diesen Experimenten bei 4,5 Personen auf der Strecke A und 4,5 Personen auf der Strecke B. Es wurden 100 Perioden gespielt.

Darauf folgten Untersuchungen mit 18 Personen in jeder Beobachtung. Das spieltheoretische Gleichgewicht lag auf einer Hauptstrecke bei 12 Personen und bei 6 Personen auf einer Nebenstrecke. Alle Experimente dieser Versuchsreihe erstreckten sich über 200 Runden.

Nach Auswertung dieser 18 Personen Experimente wurden Versuche mit einer größeren Zahl von Spielern durchgeführt. Die Größe der Personen betrug 36, 54, 72 und 90. Es war nötig diese Experimente unter den gleichen Kriterien der Kontrollierbarkeit durchzuführen, um somit eine vergleichende statistische Auswertung zu gewährleisten. Die spieltheoretischen Gleichgewichte wurden proportional der Personenanzahl variiert. Auch diese Experimente erstreckten sich über 200 Runden.

Als letzte Experimentreihe wurden wieder 18 Personen Spiele durchgeführt. Um ein komplexeres Szenario zu schaffen, wurden in Abständen Baustellen auf eine der beiden Strecken projiziert, die wiederum das theoretische Gleichgewicht veränderten. Diese Experimente erstreckten sich ebenfalls über 200 Runden.

Alle Experimente begannen mit einer Einleitung in die zu spielende Thematik.



Abbildung 1: Experimenteinführung.

Nach der Einführung konnten von den Versuchspersonen Fragen gestellt werden. Teilweise wurden von den Experimentatoren Testfragen gestellt, um ein umgehendes Verständnis der Thematik sicherzustellen.



Abbildung 2: Experiment.

Nach dem Experiment wurden die Versuchsteilnehmer gemäß ihren Auszahlungen bezahlt.



Abbildung 3: Auszahlung der Versuchsteilnehmer.

4.2 Experiment: Minority Game

Das erste Minority Game wurde von Arthur eingeführt. Es handelt sich um eine Anzahl von Agenten n , die sich in verschiedenen Runden entscheiden müssen, ob sie in Raum A, oder in Raum B gehen. Die Agenten, die sich in dem weniger gefüllten Raum befinden, haben gewonnen (erhalten eine Auszahlung), die anderen verlieren.

4.2.1 Einführung und Experimentaufbau

Es wurden zwei verschiedene Experimentvariationen durchgeführt. Jede Experimentvariation bestand aus sechs Beobachtungen, an denen jeweils neun Personen teilnahmen.

In den Experimenten M1 wurde den Versuchspersonen vorab erklärt, dass sich das Experiment über 100 Runden erstreckt. In jeder der 100 Runden ist eine Wahl zwischen zwei Strecken zu treffen (Strecke A, Strecke B). Beide Strecken führen von Stadt A zu Stadt B.

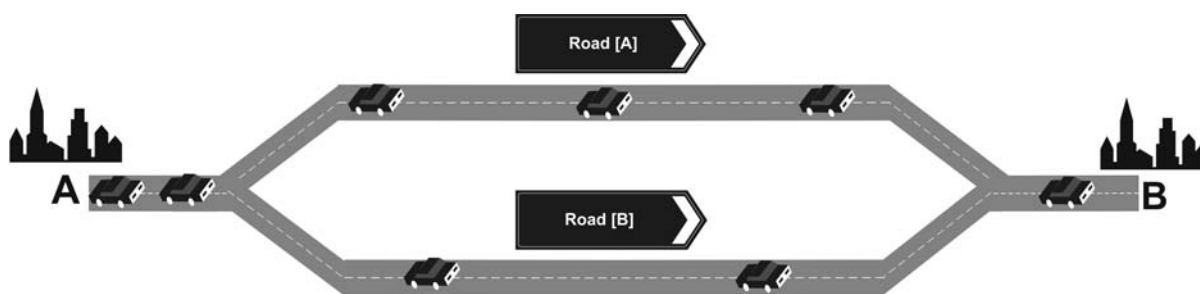


Abbildung 4: Teilnehmer hatten die Wahl zwischen einer Strecke [A] und einer Strecke [B].

Den Teilnehmern der Experimenten wurde gesagt, dass die Fahrtzeit t_A (Fahrtzeit auf der Strecke A) und t_B (Fahrtzeit auf der Strecke B) abhängt von der Anzahl n_A und n_B der Teilnehmer nach der Wahl der Strecke A oder der Strecke B.

$$t_A = 1, t_B = 0 \Leftrightarrow n_A < n_B$$

$$t_B = 1, t_A = 0 \Leftrightarrow n_A > n_B.$$

Die Rundenauszahlung war t_A , falls die Strecke A und t_B wenn die Strecke B gewählt wurde.

Die Gesamtauszahlung der Teilnehmer war die Summe aller 100 Periodenauszahlungen umgerechnet in Euro. Der Umrechnungsfaktor betrug 0,2 Euro für jede experimentelle Geldeinheit (Taler). Zusätzlich erhielt jeder ein Startgeld von 3 Euro. Eine Beobachtung dauerte ungefähr eine Stunde. In diesem Spiel gibt es keine reinen Gleichgewichte. Das Pareto-Optimum wird erreicht, wenn vier Spieler auf der einen und fünf Spieler auf der anderen Strecke sind.

Die Experimentvariationen unterschieden sich wie folgt. In der ersten Variation erhielten die Teilnehmer Informationen über:

- Ob die eigene Wahl auf der Minoritäten- oder der Majoritätenseite war.
- die letzte gewählte Strecke.
- Auszahlung der letzten Runde in Taler.
- Kumulierte Auszahlung in Taler.
- Anzahl der aktuell gespielten Runden.

In der zweiten Experimentvariation wurde eine zusätzliche Information gegeben:

- Die Verteilung auf den beiden Strecken in der letzten Rund.

4.2.2 Beobachtetes Verhalten

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Anzahl der Versuchspersonen auf der Strecke A über die Zeit von 100 Runden.

In beiden Experimentvariationen nehmen die substantiellen Fluktuationen bis zum Ende jeder Beobachtung nicht ab. Die durchschnittliche Anzahl der Spieler auf der Strecke A in Variation I ist 4,5 und 4,43 in Variation II. Dieses war erwartet, da keine Präferenz für Strecke A oder B in der Einleitung gegeben wurde. Die Fluktuationen können anhand der Standardabweichung der Spieler, die die Strecke A gewählt haben, gemessen werden. Die Standardabweichung liegt zwischen 0,67 und 1,5. Im Hinblick auf diese Zahlen kann also von substantiellen Fluktuationen in allen 12 Beobachtungen gesprochen werden. Die Fluktuationen sind größer in der Experimentvariation I (ohne die Information der Verteilung in der letzten Runde) als in Variation II. Dieser Effekt ist signifikant. Die Nullhypothese wurde von einem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test auf einem Signifikanzlevel 1% (einseitig) zurückgewiesen.

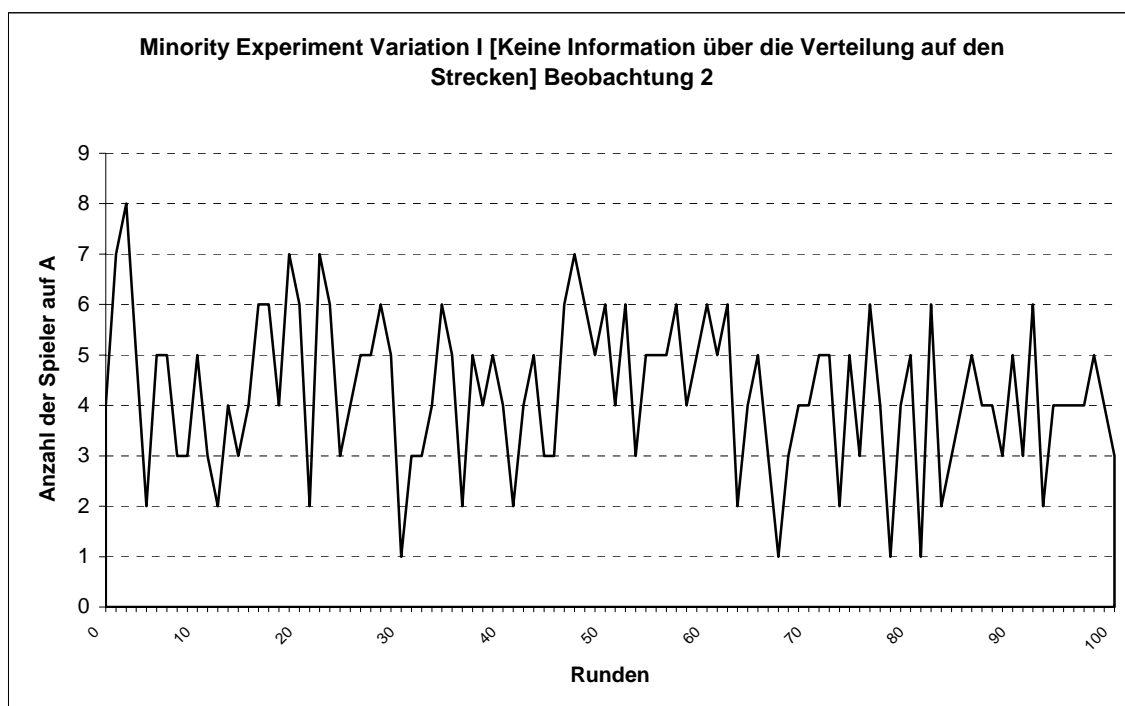


Abbildung 5: Anzahl der Spieler auf der Strecke A über 100 Runden [Experimentvariation I; Beobachtung 2].

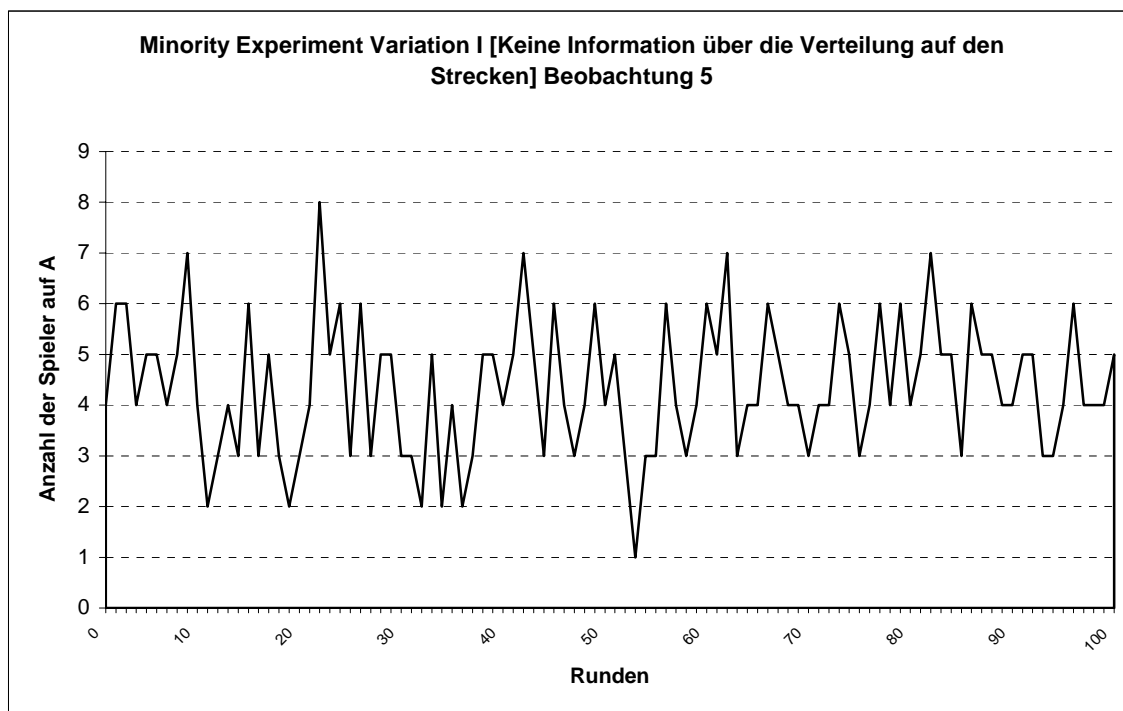


Abbildung 6: Anzahl der Spieler auf der Strecke A über 100 Runden [Experimentsvariation I; Beobachtung 5].

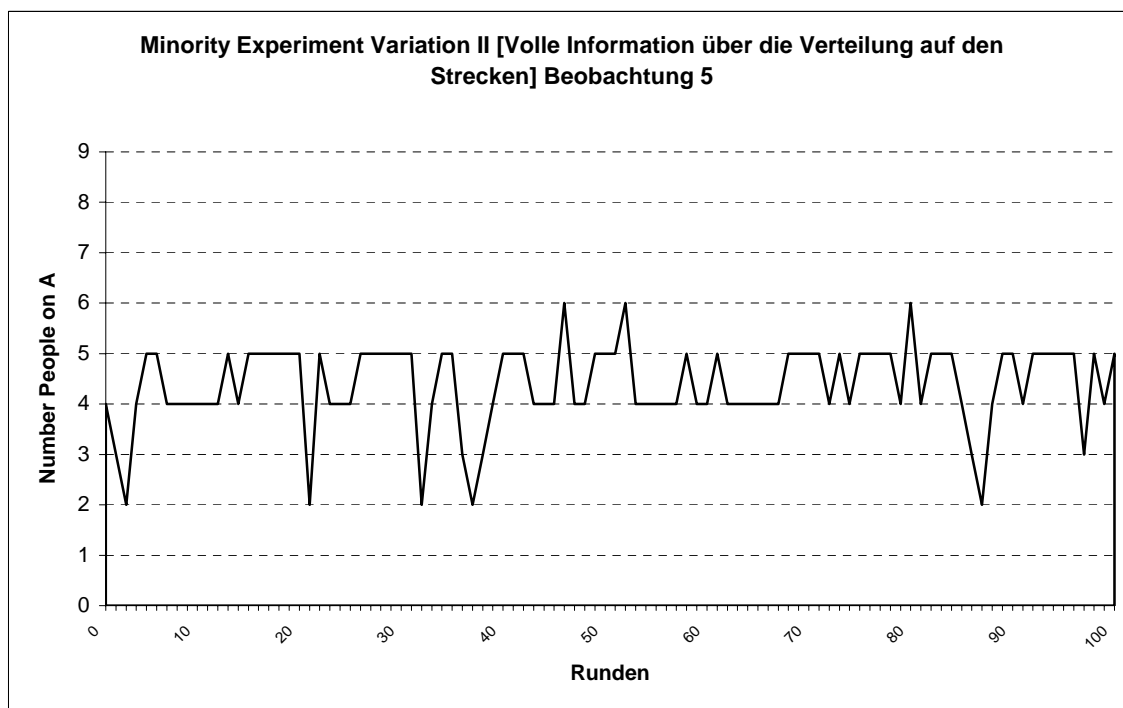


Abbildung 7: Anzahl der Spieler auf der Strecke A über 100 Runden [Experimentsvariation II; Beobachtung 5].

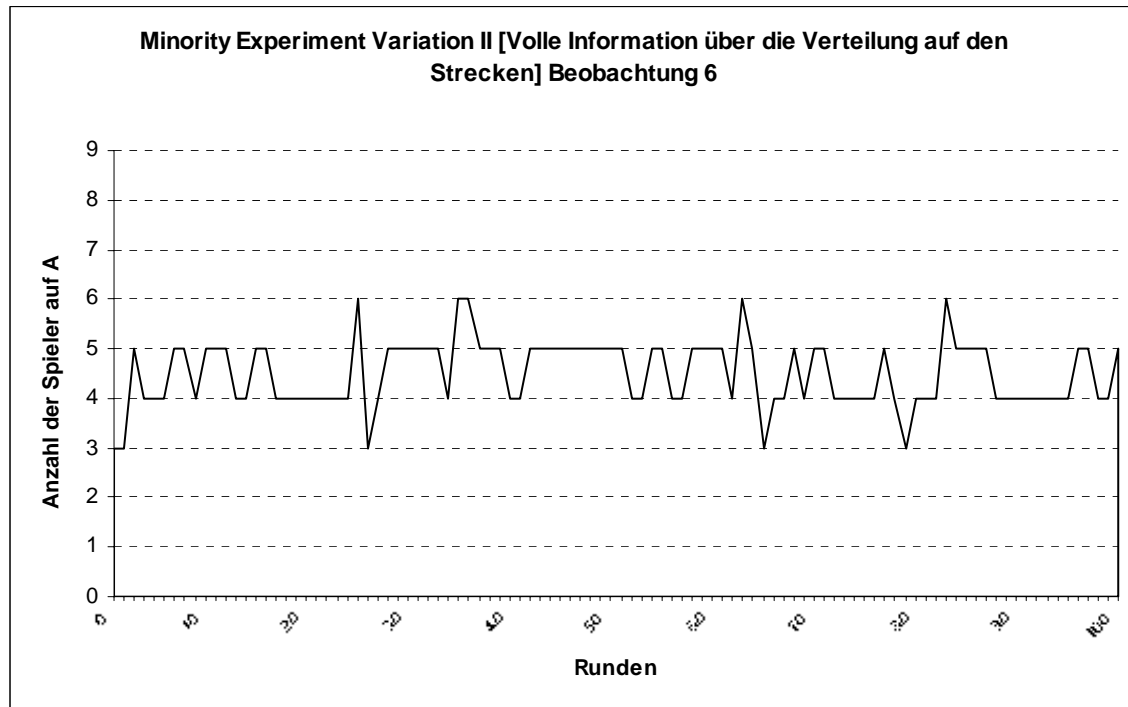


Abbildung 8: Anzahl der Spieler auf der Strecke A über 100 Runden [Experimentsvariation II; Beobachtung 6].

		Anzahl Spieler auf [A]	
		mean	std. dev.
Variation I	session I 01	4,33	1,36
	session I 02	4,74	1,50
	session I 03	4,41	1,50
	session I 04	4,40	1,31
	session I 05	4,65	1,33
	session I 06	4,44	1,28
	Variation I	4,50	1,38
Variation II	session II 01	4,19	1,35
	session II 02	4,62	1,19
	session II 03	4,36	1,05
	session II 04	4,34	0,97
	session II 05	4,62	0,84
	session II 06	4,50	0,67
	Variation II	4,44	1,01

Tabelle 1: Durchschnitt und Standard Abweichung der Spieler auf Strecke [A].

Abbildung 9 zeigt die Anzahl der Streckenwechsel über die Zeit für alle Beobachtungen. Es ist zu vermerken, dass in Variation II jede Beobachtung einen negativen Trend

zeigte, wohin hingegen in Variation I vier Beobachtungen einen positiven und zwei Beobachtungen einen negativen Trend aufwiesen. Der Median der Anzahl der Streckenwechsel ist signifikant höher in Variation I. Dieser Effekt ist signifikant. Die Nullhypothese wurde von einem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test auf einem Signifikanzlevel 1% (einseitig) zurückgewiesen. Die Anzahl der Streckenwechsel in Variation I ist somit signifikant höher als in Variation II.

		Anzahl der Wechsel
		Mean
Variation I	session I 01	0,430
	session I 02	0,466
	session I 03	0,434
	session I 04	0,442
	session I 05	0,374
	session I 06	0,464
	Variation I	0,44
Variation II	session II 01	0,357
	session II 02	0,222
	session II 03	0,250
	session II 04	0,099
	session II 05	0,146
	session II 06	0,053
	Variation II	0,19

Tabelle 2: Durchschnittliche Zahl der Streckenwechsel.

In Variation I erhielten die Teilnehmer nicht die Information über die Verteilung auf beiden Strecken. Somit bekamen sie die Information über die andere Strecke nur durch einen Wechsel. In Variation II erscheint ein Streckenwechsel aus Informationsgründen nicht nötig, da diese über die Verteilung auf beiden Strecken nach jeder Runde bekannt gegeben wurde. Dieses könnte eine Erklärung für die häufiger auftretenden Streckenwechsel und somit auch für die höheren Fluktuationen in Variation II sein.

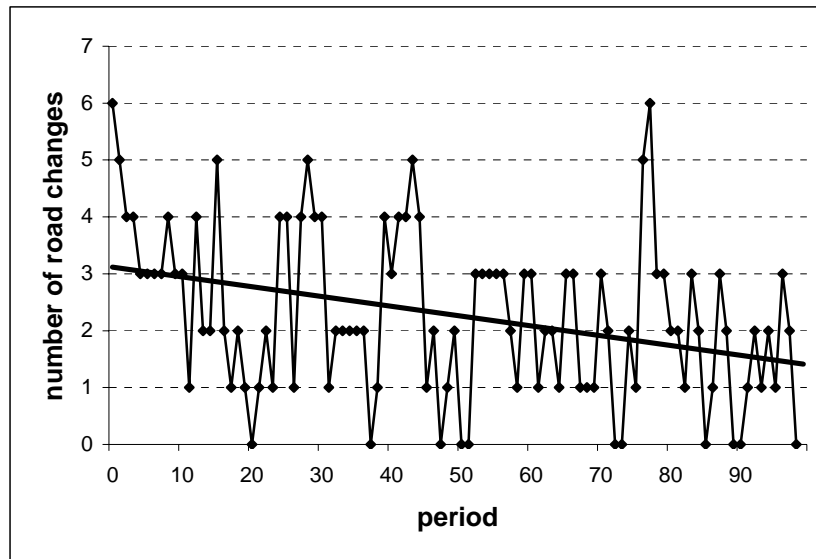


Abbildung 9: Anzahl der Streckenwechsel [Ein typisches Beispiel für Variation I].

4.2.3 Auszahlungen und Streckenwechsel

In allen Beobachtungen, ausgenommen einer Beobachtung in Variation I, ist die Anzahl der Streckenwechsel negativ korreliert mit den Auszahlungen der Versuchspersonen. Abbildung 10 zeigt, dass die negative Korrelation der Auszahlungen in Variation II höher als in Variation I sind.

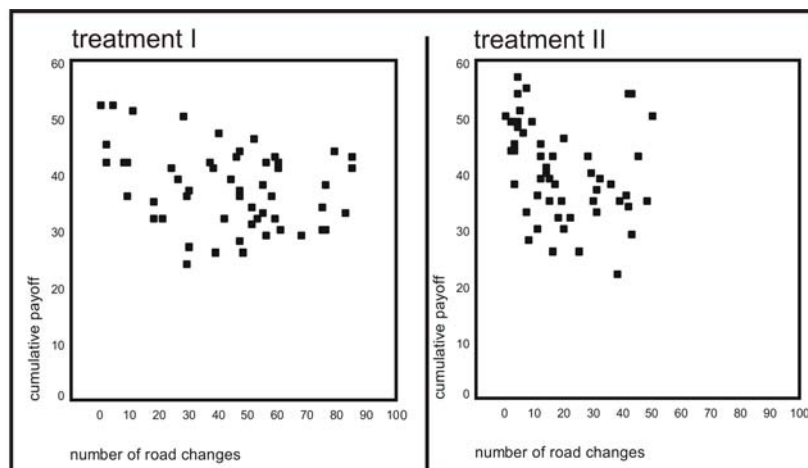


Abbildung 10: Scatter Diagram kumulierte Auszahlungen/Anzahl der Streckenwechsel Variation I and II.

		Spearman Rank Korrelation zwischen kumulierten Auszahlungen und der Anzahl der Streckenwechsel
Treatment I	session I 01	-0,48
	session I 02	0,34
	session I 03	-0,44
	session I 04	-0,70
	session I 05	-0,18
	session I 06	-0,18
Treatment II	session II 01	-0,51
	session II 02	-0,54
	session II 03	-0,30
	session II 04	-0,82
	session II 05	-0,27
	session II 06	-0,78

Tabelle 3: Spearman Rank Korrelation zwischen den kumulierten Auszahlungen und der Anzahl der Streckenwechsel in Variation I and II.

In 11 Beobachtungen der beiden Variationen zeigt die Spearman Rank Korrelation zwischen den kumulativen Auszahlungen und der Anzahl der Streckenwechsel negative Tendenzen. Die Spearman Korrelationskoeffizienten in Variation II sind niedriger als in Variation I. Dieser Effekt ist klein aber signifikant. Die Nullhypothese wurde von einem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test auf einem Signifikanzlevel 10% (einseitig) zurückgewiesen.

Selbst wenn Versuchspersonen mit dem Ziel auf höhere Auszahlung die Strecke wechseln, gelingt ihnen dies im Durchschnitt nicht. Dieses lässt vermuten, dass es schwierig ist, die zusätzliche Information zum eigenen Vorteil zu nutzen.

4.2.4 Verhaltenstypen

Ein Versuchsteilnehmer, der keine Auszahlung auf der zuletzt gewählten Strecke hatte, könnte die Strecke wechseln, um die Strecke zu suchen, auf der sich weniger Teilnehmer befinden. Dieses entspricht dem direkten Verhaltenstyp. Versuchsteilnehmer dieses Typs wechseln die Strecke, wenn sie in der letzten Runde keine Auszahlung hatten und bleiben auf der zuletzt gewählten Strecke, falls sie eine positive Auszahlung hatten.

Der direkte Verhaltenstyp ist in beiden Experimenten der vorherrschende. Es gibt jedoch auch einen gegenläufigen Verhaltenstyp. Versuchsteilnehmer, die gegenläufig handeln, erwarten, dass die weniger gefüllte Strecke attraktiv für andere Versuchsteilnehmer sein könnte. So bleibt er auf seiner Strecke, wenn er keine Auszahlung in der letzten Runde hatte und wechselt die Strecke, falls er eine Auszahlung in der letzten Runde hatte.

Für jeden Teilnehmer ist c_- (c_+) die Anzahl der Streckenwechsel, wenn die Auszahlung $p=0$ ($p=1$) in der letzten Runde war. Für jeden Teilnehmer ist s_- (s_+) die Häufigkeit des Verbleibens auf der Strecke, wenn seine Auszahlung $s=0$ ($s=1$) in der Runde zuvor war.

	Wechseln	Bleiben
$p=0$	c_-	s_-
$p=1$	c_+	s_+

Tabelle 4: 2x2 Tabelle zur Berechnung der Yule Koeffizienten.

Für jeden Teilnehmer kann man nun die oben dargestellte 2x2 Tabelle und daraus den Yule Koeffizienten errechnen. Die Berechnung des Yule Koeffizienten stellt sich wie folgt dar:

$$Q = \frac{c_- \cdot s_+ - c_+ \cdot s_-}{c_- \cdot s_+ + c_+ \cdot s_-}$$

Der Yule Koeffizient liegt zwischen -1 und $+1$. In dem Fall des Minority Games reflektieren hohe Yule Koeffizienten die Tendenz zu direkten Wechseln, und niedrige Yule Koeffizienten zeigen eine Tendenz zu gegenläufigen Spielern. Der Durchschnitt und die Standardabweichungen sind in Tabelle 5 dargestellt.

		Yule coefficients Q	
		mean	std. dev.
Treatment I	session I 01	0,14	0,62
	session I 02	0,15	0,43
	session I 03	0,27	0,76
	session I 04	0,01	0,47
	session I 05	0,11	0,75
	session I 06	-0,01	0,54
	treatment I	0,11	0,60
Treatment II	session II 01	0,21	0,75
	session II 02	0,42	0,39
	session II 03	0,48	0,61
	session II 04	0,72	0,40
	session II 05	0,68	0,66
	session II 06	0,87	0,33
	treatment II	0,56	0,52

Tabelle 5: Durchschnitt und Standardabweichungen der Yule Koeffizienten der beiden Experimentsvariationen.

Der Durchschnitt der Yule Koeffizienten ist signifikant höher in Variation II. Dieser Effekt ist signifikant. Die Nullhypothese wurde von einem Wilcoxon-Mann-Withney-

Test auf einem Signifikanzlevel 1% (einseitig) zurückgewiesen. Das bedeutet, dass es weniger gegenläufige Verhaltenstyp in Variation II gab.

4.3 Spiel mit 18 Versuchspersonen

[Gleichgewicht bei 12 Spielern auf der Hauptstrecke und 6 Spielern auf der Nebenstrecke]

4.3.1 Einleitung und Experimentaufbau

Den Versuchspersonen wurde erklärt, dass sie in jeder der insgesamt 200 Runden zwischen einer Hauptstrecke H und einer Nebenstrecke N wählen müssen, um von einem Startpunkt A zu einem Ziel B zu fahren. Ihnen wurde vorab mitgeteilt, dass die Fahrzeit auf H kleiner ist, wenn die Belastung auf beiden Strecken gleich groß ist.

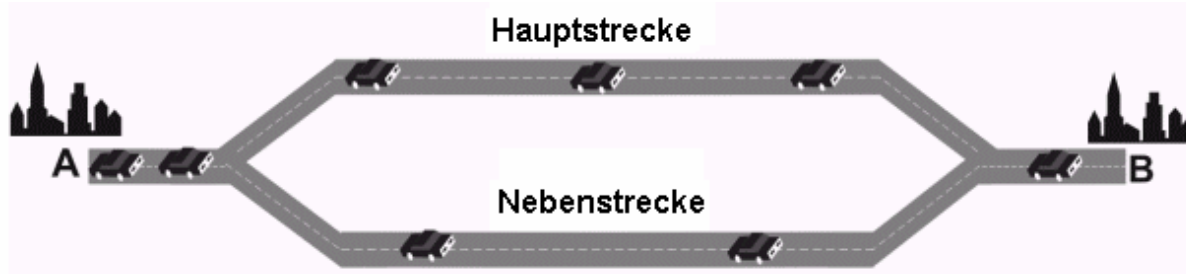


Abbildung 11: Teilnehmer hatten die Wahl zwischen einer Hauptstrecke [H] und einer Nebenstrecke Strecke [N].

Den Versuchspersonen wurden keine weiteren quantitativen Informationen gegeben. Die Anzahl der Versuchspersonen war in jeder Sitzung 18. Die Zeit t_H und t_N hängt von der Anzahl n_H und n_N der Spieler ab, die H und N wählen, nämlich:

$$\begin{aligned} t_H &= 6 + 2n_H \\ t_N &= 12 + 3n_N \end{aligned}$$

Die Auszahlung pro Runde war $40 - t$ mit $t = t_H$, wenn H gewählt und $t = t_N$ wenn N gewählt wurde. Die kumulierte Endauszahlung einer Versuchsperson war die Summe der Auszahlungen aller 200 Runden, welche in DM mit einem festgelegten Wechselkurs von 0,015 DM für jede experimentelle Geldeinheit umgerechnet wurden. Die spieltheoretischen Gleichgewichte in reinen Strategien sind durch $n_H = 12$ und $n_N = 6$ charakterisiert.

Es wurden zwei Experimente durchgeführt. Im Experiment I erhielten die Versuchspersonen nach jeder Runde nur eine Rückmeldung über die Fahrzeit auf der von ihnen gewählten Strecke. Im Experiment II wurde zusätzlich die Fahrzeit der nicht gewählten Strecke angegeben. Es wurden sechs Sitzungen von Experiment I und sechs Sitzungen von Experiment II abgehalten.

4.3.2 Gleichgewichtsprognosen und beobachtetes Verhalten

Abbildung 12 zeigt die Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke N als eine Funktion der Zeit für eine typische Sitzung von Experiment II.

Man sieht, dass es keine Annäherung an das theoretische Gleichgewicht gibt. Es treten beträchtliche Fluktuationen bis zum Ende der Sitzung auf. Das gilt für alle Sitzungen in beiden Experimenten. Die durchschnittliche Anzahl der Spieler auf N liegt sehr nahe am theoretischen Gleichgewicht. Die Fluktuationen können durch die Standardabweichung der Anzahl der Spieler auf N beschrieben werden. Die Standardabweichung liegt zwischen 1,53 und 1,94. In Anbetracht dieser Werte kann man von nicht vernachlässigbaren Fluktuationen in jeder der 12 Sitzungen sprechen.

Die Fluktuationen sind im Experiment I höher als im Experiment II. Der Unterschied ist signifikant. Die Nullhypothese kann durch einen Wilcoxon-Mann-Whitney-Test auf dem Signifikanzniveau von 5 % (einseitig) zurückgewiesen werden.

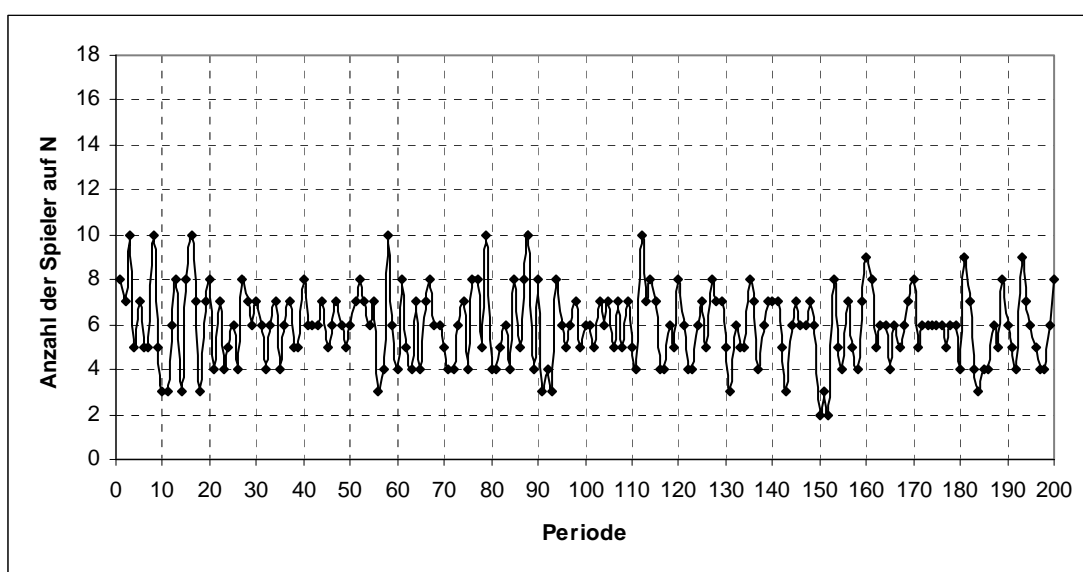


Abbildung 12: Anzahl der Spieler auf N [eine typische Sitzung von Experiment II].

Das dem Experiment zugrunde liegende Spiel hat viele Gleichgewichtspunkte in reinen Strategien. Im Gleichgewicht ist die Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke 6; aber die Menge der Spieler, die N wählen, kann jede beliebige Kombination von 6 Spielern sein. Die Vielzahl von Gleichgewichtspunkten stellt ein Koordinationsproblem dar, was einer der Gründe für die andauernden Fluktuationen sein könnte.

Die Rückmeldung der Fahrtzeit auf der nicht gewählten Strecke hat einen günstigen Einfluss auf die Reduktion der Fluktuationen, aber dieser Effekt ist relativ gering.

Für die 12 Sitzungen der Experimente I und II sind die Fluktuationen mit der Anzahl der Streckenwechsel innerhalb einer Sitzung korreliert. Die Rangkorrelation zwischen der Anzahl der Streckenwechsel und der Standardabweichung der Anzahl der Spieler auf N beträgt 0.795 und ist auf dem 1 % Niveau (einseitig) signifikant.

Die Anzahl der Streckenwechsel ist größer im Experiment I als im Experiment II. Ein Wilcoxon-Mann-Whitney-Test weist die Nullhypothese nur auf einem sehr schwachen Signifikanzniveau von 10 % (einseitig) zurück.

Im Experiment I versuchen die Spieler durch Streckenwechsel Informationen über beide Strecken zu erhalten. Im Experiment II besteht jedoch keine Notwendigkeit für ein sol-

ches Verhalten. Dies scheint der Grund für die größere Anzahl an Streckenwechsel und somit auch für die stärkeren Fluktuationen im Experiment I zu sein.

4.3.3 Verhaltenstypen

Ein Teilnehmer, kann bei einer niedrigen Auszahlung zu der Strecke wechseln, die weniger überfüllt war und bei einer hohen Auszahlung auf der zuletzt gewählten Strecke bleiben. Ein derartiges Verhalten bezeichnen wir als direkt. In diesem Fall ist ein Streckenwechsel umso wahrscheinlicher, je schlechter das Auszahlungsergebnis ist.

Der direkte Verhaltenstyp ist häufiger zu beobachten, aber es existiert auch ein *gegenläufiger* Verhaltenstyp. Als gegenläufig bezeichnen wir einen Spieler, bei dem ein Streckenwechsel umso wahrscheinlicher ist, je besser sein Auszahlungsergebnis ist. Der gegenläufige Spielertyp erwartet, dass eine hohe Auszahlung viele andere Spieler anziehen wird, und dass die gewählte Strecke in der nächsten Runde deshalb überfüllt sein wird.

Die Auszahlung im Gleichgewicht ist 10. Auszahlungen unter 10 werden als „schlecht“ wahrgenommen, wohingegen Auszahlungen über 10 als „gut“ empfunden werden. Dementsprechend haben wir das Verhalten einer Versuchsperson als direkt klassifiziert, wenn die Strecke nach einer Auszahlung kleiner als 10 gewechselt oder nach einer Auszahlung größer als 10 nicht gewechselt wird. Ein entgegengesetztes Verhalten wird als gegenläufig klassifiziert. Tabelle 6 zeigt in Abhängigkeit von der Auszahlung, wie oft eine Versuchsperson die Strecke gewechselt hat (c_- für eine Auszahlung kleiner 10 und c_+ für eine Auszahlung größer 10) oder wie oft die Person auf der gleichen Strecke geblieben ist (s_- für Auszahlungen kleiner 10 und s_+ für Auszahlungen größer 10).

	wechseln	bleiben
Auszahlungen < 10	c_-	s_-
Auszahlungen > 10	c_+	s_+

Tabelle 6: 2x2 Tabelle zur Berechnung des Yuleschen Assoziationskoeffizienten.

Für jede Versuchsperson wurde eine 2x2 Tabelle erstellt und daraus ein Yulescher Assoziationskoeffizient wie folgt berechnet:

$$Q = \frac{c_- \cdot s_+ - c_+ \cdot s_-}{c_- \cdot s_+ + c_+ \cdot s_-}$$

Der Yulesche Assoziationskoeffizient liegt zwischen -1 und $+1$. In unserem Fall steht ein hoher Yulescher Assoziationskoeffizient für eine Tendenz zu einem direktem Verhalten und ein niedriger für eine Tendenz zu einem gegenläufigem Verhalten.

Ein Spieler im Experiment I und drei Spieler im Experiment II haben nie die Strecke gewechselt. Für diese Spieler ist Q nicht definiert. Diese Versuchspersonen sind bei der Auswertung der Yuleschen Assoziationskoeffizienten nicht berücksichtigt worden.

Die Verteilung der Yuleschen Assoziationskoeffizienten (vgl. Abbildung X) zeigt die Bedeutung der beiden Verhaltenstypen. Wenn die beiden Verhaltenstypen keine Rolle spielen würden, sollte man eine Konzentration der Yuleschen Assoziationskoeffizienten um 0 erwarten.

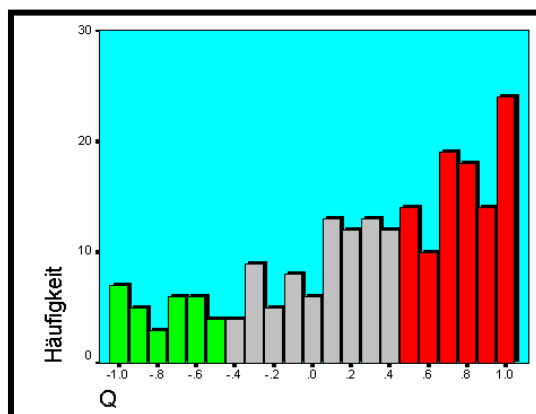


Abbildung 13: Verteilung der Yulekoeffizienten.

Aber die Anzahl der Versuchspersonen mit extremen Yuleschen Assoziationskoeffizienten unter $-0,5$ oder über $+0,5$ ist größer als die Anzahl der Versuchspersonen mit Yuleschen Assoziationskoeffizienten im Wertebereich zwischen $-0,5$ und $+0,5$. Das gilt für alle der 12 Sitzungen. Ein Wilcoxon one sample-Test stützt die Alternativhypothese, indem er die Nullhypothese, dass keine der beiden Werte der Tendenz nach größer ist als der andere, auf einem Signifikanzniveau von 1% (zweiseitig), zurückweist.

Wenn man die Versuchspersonen mit Yuleschen Assoziationskoeffizienten über $+0,5$ als direkt und Versuchspersonen mit Yuleschen Assoziationskoeffizienten unter $-0,5$ als gegenläufig klassifiziert, so erhält man 44% vom direkten Verhaltenstyp, 14% vom gegenläufigen Verhaltenstyp und 42% nicht klassifizierte Versuchspersonen.

4.3.4 Auszahlungen und Häufigkeit der Streckenwechsel

In allen Sitzungen korreliert die Anzahl der Streckenwechsel negativ mit den Auszahlungen der Versuchspersonen (vgl. Abbildung 14). Nach dem Binomischen Test ist dieses Ergebnis für beide Experimente getrennt auf dem Niveau von 5 % zweiseitig signifikant. Spieler mit einer hohen Zahl an Streckenwechsel haben im Mittel geringere Endauszahlungen. Das zeigen auch die Streudiagramme der Abbildung 15.

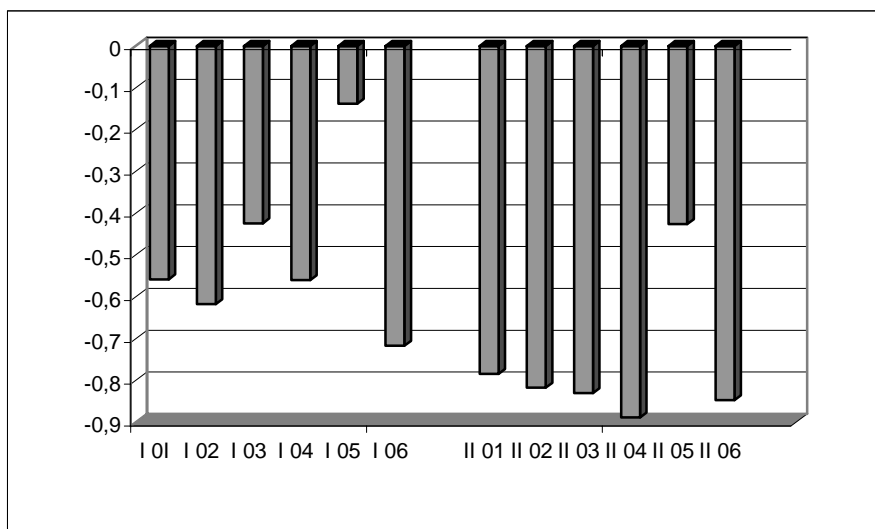


Abbildung 14: Rangkorrelation zwischen kumulativen Endauszahlungen und der Anzahl der Streckenwechsel.

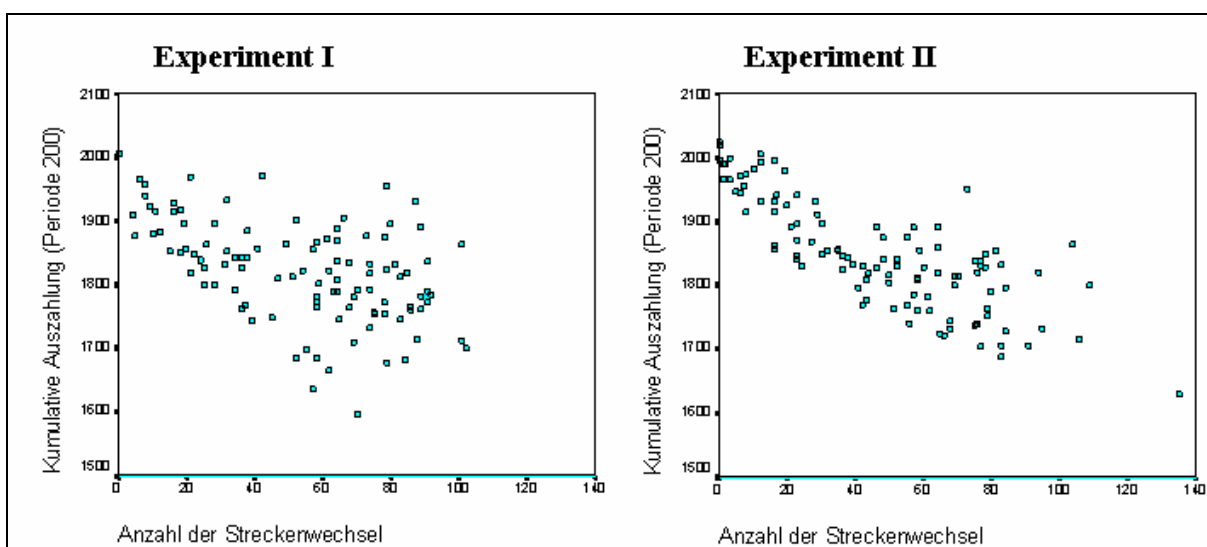


Abbildung 15: Streudiagramm kumulative Endauszahlung/Anzahl Streckenwechsel für Experiment I oder Experiment II.

Auch wenn die Versuchspersonen ihre Strecken wechseln, um höhere Auszahlungsergebnisse zu erzielen, gelingt ihnen dies im Durchschnitt nicht. Das deutet, dass es schwierig ist, die zusätzliche Information, welche man erhält, vorteilhaft zu nutzen.

Die negative Korrelation zwischen der Anzahl der Streckenwechsel und der Endauszahlung der Spieler in einer Sitzung ist der Tendenz nach im Experiment I signifikant höher als im Experiment II. Ein Wilcoxon-Mann-Whitney-Test verwirft die Nullhypothese auf dem 5 % Niveau (einseitig).

4.3.5 Ergebnisse

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die durchschnittliche Anzahl der Spieler auf den beiden Strecken sehr nahe am Gleichgewicht liegt. Trotzdem treten bis zum Ende der Sitzungen in beiden Experimenten Fluktuationen auf. Dies ist von besonderem Interesse in Anbetracht der Tatsache, dass selbst bei der Länge von 200 Runden eine Annäherung an das Gleichgewicht nicht stattfindet.

Im Vergleich zu Experiment I reduziert die Rückmeldung über Fahrtzeiten auf beiden Strecken im Experiment II die Fluktuationen. Der Effekt ist gering aber signifikant. Ebenso besteht eine signifikante Rangkorrelation zwischen der Anzahl der Streckenwechsel und der Größe der Fluktuationen. Im Experiment I können Streckenwechsel der Absicht dienen, Informationen zu sammeln. Dies gilt nicht im Experiment II. Streckenwechsel können als Versuche zur Verbesserung der Auszahlungen gedeutet werden. Das Ergebnis einer negativen Korrelation zwischen den Auszahlungen einer Versuchsperson und der Anzahl ihrer Streckenwechsel deutet an, dass diese Versuche im Durchschnitt erfolglos sind.

Anhand der Daten können zwei Verhaltenstypen erkannt werden; ein direkter Verhaltenstyp, bei welchem Streckenwechsel nach schlechten Auszahlungen auftreten und ein gegenläufiger Verhaltenstyp, bei welchem Streckenwechsel auf positive Auszahlungsergebnisse folgen. Man kann diese Verhaltenstypen als Folge von unterschiedlichen Auffassungen der kausalen Struktur der Situation verstehen. Wenn man erwartet, dass die Straße, die heute überfüllt ist, auch morgen überfüllt sein wird, ist man ein Spieler vom direkten Verhaltenstyp, aber wenn man glaubt, dass sich viele Leute morgen für die andere Straße entscheiden werden, weil die eine heute überfüllt war, ist man ein Spieler vom indirekten Verhaltenstyp. Die Bedeutung beider Verhaltenstypen konnte statistisch begründet werden.

4.4 Spiele mit mehr als 18 Personen

Nach der Untersuchung der 18 Personenspiele war von besonderem Interesse, ob sich die dort gefundenen Ergebnisse auf eine größere Anzahl von Spielern transferieren lassen, oder ob eine größere Spieleranzahl andere Ergebnisse liefert.

Da im Laboratorium für experimentelle Wirtschaftsforschung zu dieser Zeit nur Experimente mit 18 Versuchspersonen möglich waren, mussten die Experimente am CIP-Pool der Universität Graz in Zusammenarbeit mit Frau Prof. Leopold Wildburger und ihrem Team und im CIP-Pool des Juridikum der Universität Bonn durchgeführt werden. In Graz wurde das Experiment mit 36 und das Experiment mit 72 Spielern durchgeführt. In Bonn wurden die Experimente mit 54 Personen und mit 72 Personen gespielt. Der CIP-Pool in Graz besteht aus 3 Räumen einer unterschiedlichen Kapazität von Computerterminals:

- Raum I: 20 Terminals
- Raum II: 20 Terminals
- Raum III: 40 Terminals

Der CIP-Pool des Juridikums der Universität Bonn besteht aus 4 Räumen mit jeweils 25 Computerterminals.

Aus Kosten und Personalgründen wurde bei den mehr als 18 Personenexperimenten jeweils nur eine Beobachtung durchgeführt.

Den Versuchspersonen wurde erklärt, dass sie in jeder der insgesamt 200 Runden zwischen einer Hauptstrecke [H] und einer Nebenstrecke [N] wählen müssen, um von einem Startpunkt A zu einem Ziel B zu fahren. Ihnen wurde vorab mitgeteilt, dass die Fahrtzeit auf H kleiner ist, wenn die Belastung auf beiden Strecken gleich groß ist.

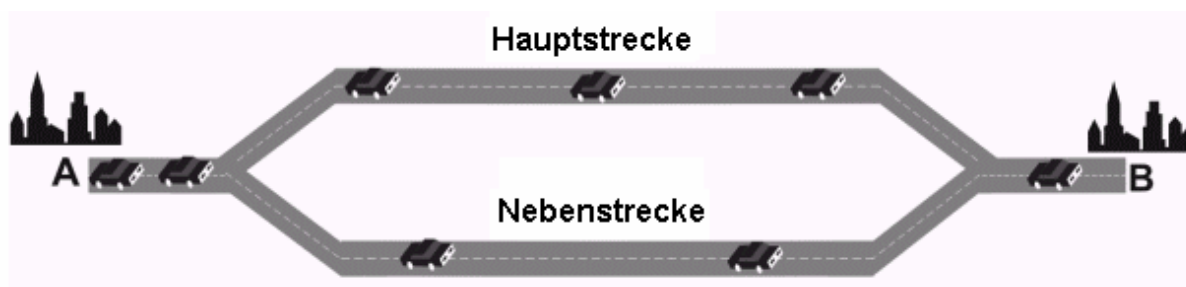


Abbildung 16: Teilnehmer hatten die Wahl zwischen einer Hauptstrecke [H] und einer Nebenstrecke Strecke [N].

Den Versuchspersonen wurden keine weiteren quantitativen Informationen gegeben. Bei den Experimenten mit 18 Personen hing die Auszahlung von der Fahrtzeit ab. Die Zeit t_H und t_N hing von der Anzahl n_H und n_N der Spieler ab, die H und N wählen, nämlich:

$$\begin{aligned} t_H &= 6 + 2n_H \\ t_N &= 12 + 3n_N \end{aligned}$$

Für eine größere Spielerzahl können diese Auszahlungsfunktionen einfach modifiziert werden:

$$\begin{aligned} p_H &= 40\lambda - [6\lambda + 2n_H] \\ p_N &= 40\lambda - [12\lambda + 3n_N] \end{aligned}$$

Wobei p_H die Auszahlung der Teilnehmer auf der Hauptstrecke und p_N die Auszahlung der Versuchspersonen auf der Nebenstrecke war.

Der Wert λ war für die verschiedenen Experimente wie folgt:

- $\lambda = 2$ für die Experimente mit 36 Personen
- $\lambda = 3$ für die Experimente mit 54 Personen
- $\lambda = 4$ für die Experimente mit 72 Personen
- $\lambda = 5$ für die Experimente mit 90 Personen

Die spieltheoretischen Gleichgewichte leiten sich daraus wie folgt ab:

Anzahl der Spieler	Gleichgewicht	
	Hauptstrecke	Nebenstrecke
18	12	6
36	24	12
54	36	18
72	48	24
90	60	30

Tabelle 7: Spieltheoretische Gleichgewichte in den Experimenten.

4.4.1 Ergebnisse

Aus der Tabelle 8 und den Abbildungen 17, 18 und 19 ist zu ersehen, dass der Mittelwert der Personen auf der Nebenstrecke linear mit den Versuchspersonen in den Experimenten steigt. Ebenso linear steigt der Mittelwert der Anzahl der Streckenwechsel. Die Werte für den letzten Wechsel, Mittelwert und Standardabweichung des Yulekoeffizienten liegen in allen Experimenten sehr nahe beieinander.

Statistische Werte	Anzahl der Spieler [18, 36, 54, 72, 90]				
	G 18	G36	G54	G72	G90
Mittelwert [Anzahl der Spieler auf N]	5,98	12,21	17,98	24,20	30,02
Standard Abweichung [Anzahl der Spieler auf N]	1,78	2,64	3,24	4,54	5,02
Mittelwert [Anzahl der Streckenwechsel]	4,82	11,35	15,57	22,76	26,02
Mittelwert [Letzter Wechsel]	182,07	189,00	182,05	183,00	184,28
Mittelwert [Yule Koeffizient]	0,28	0,14	0,22	0,20	0,24
Standard Abweichung [Yule Koeffizient]	0,58	0,58	0,58	0,57	0,60

Tabelle 8: Statistische Kennwerte in den Experimenten.

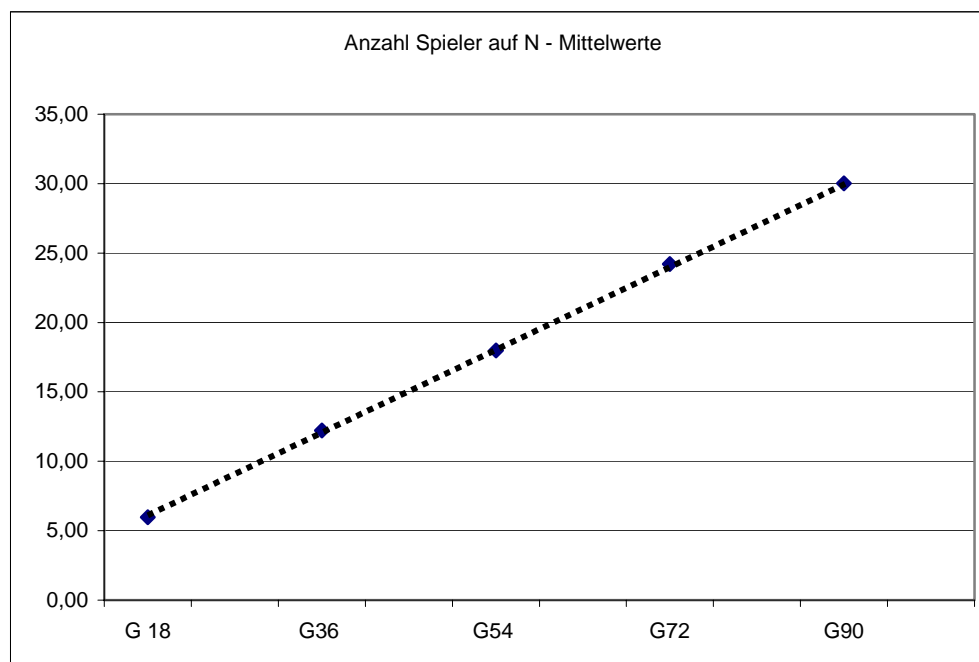


Abbildung 17: Mittelwert der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke über die Experimente.

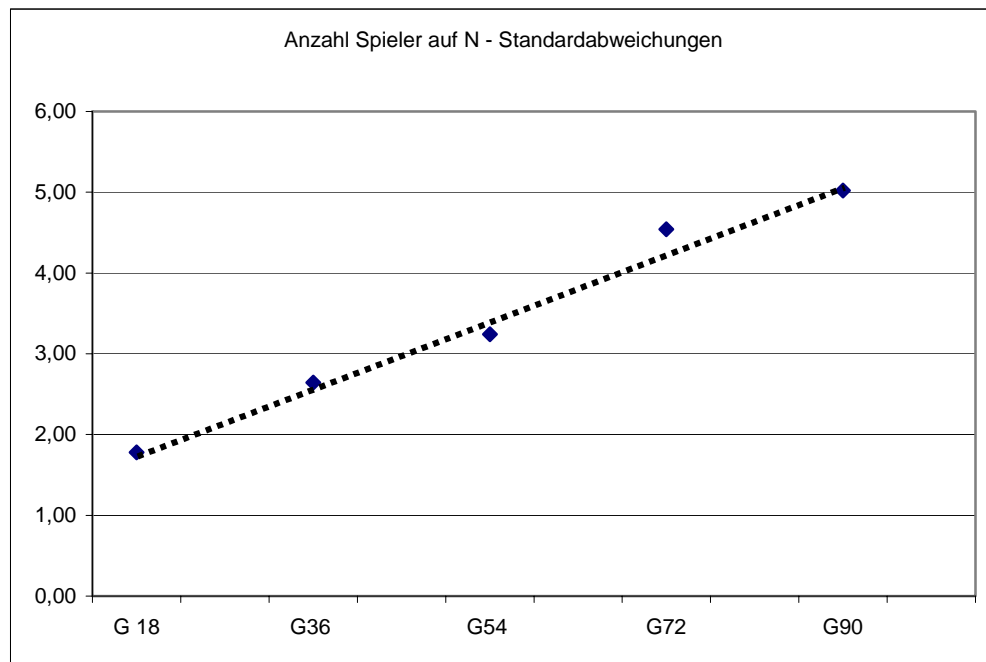


Abbildung 18: Standardabweichungen der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke über die Experimente.

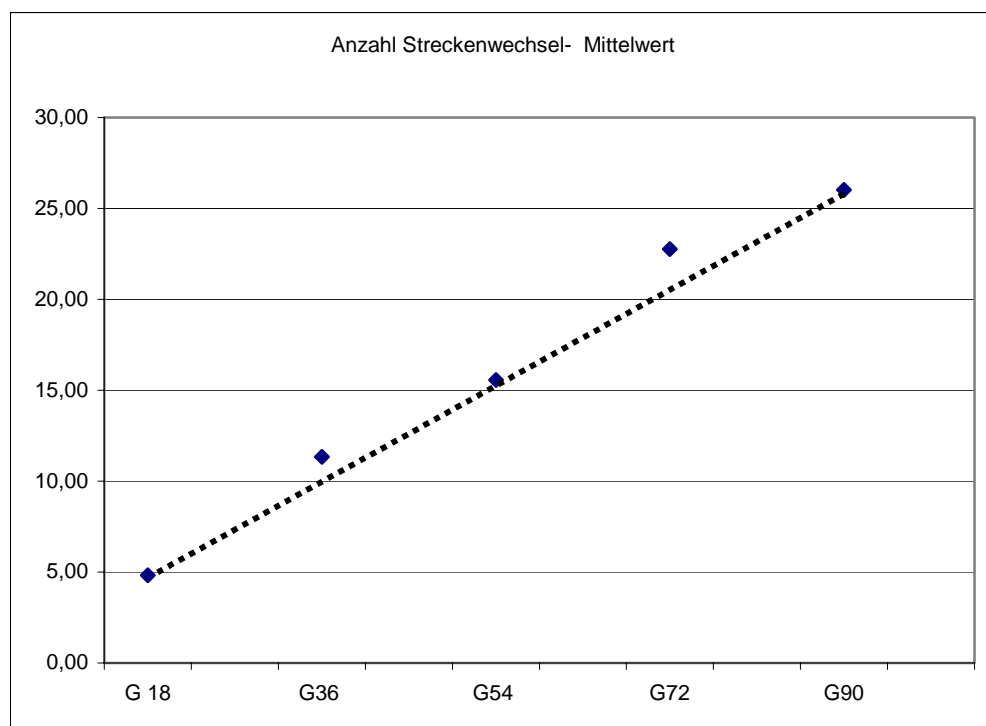


Abbildung 19: Mittelwert der Anzahl der Streckenwechsel in den Experimenten.

4.5 Spiele mit 18 Personen und Baustellen

4.5.1 Einleitung und Experimentaufbau

In den zuvor beschriebenen Experimenten sollten sich die Versuchsteilnehmer zwischen einer Haupt- und einer Nebenstrecke entscheiden. Die Kapazität war größer auf der Hauptstrecke [H]. Es spielten wie auch hier 18 Spieler miteinander. Im Gleichgewicht war die Verteilung 12 Spieler auf der Hauptstrecke [H] und 6 Spieler auf der Nebenstrecke [N]. Wie auch in dieser Experimentsreihe mit Baustellen auf beiden Strecken verliefen die Experimente über 200 Runden.

Den Versuchspersonen wurde gesagt, sie haben sich zwischen einer Hauptstrecke [H] und einer Nebenstrecke [N], auf ihrer Reise von Stadt A zu Stadt B 200 Mal zu entscheiden.

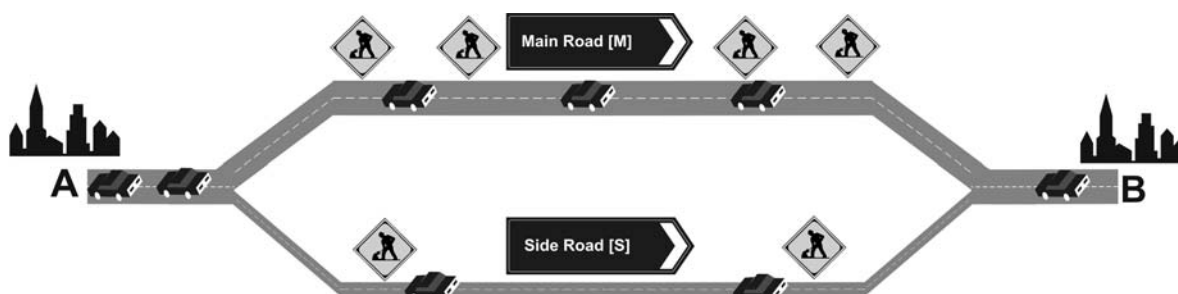


Abbildung 20: Die Teilnehmer mussten sich zwischen einer Hauptstrecke [H] und einer Nebenstrecke [N] entscheiden.

Den Teilnehmern der Experimente wurde mitgeteilt, dass die Reisezeit auf H kürzer ist als auf N, wenn die gleiche Anzahl die Strecke H und N wählen. In jeder Beobachtung nahmen 18 Versuchspersonen teil. Sie wurden informiert, dass auf einer der beiden Strecken Baustellen und somit gegebene Engpässe auftreten können. Vor jeder Runde in der eine Baustelle auftritt, erscheint ein Baustellenwarnschild auf dem Computermonitor. Die Baustellen traten nach folgendem Schema auf:

10 Runden ohne Baustellen, 5 Runden mit Baustellen auf N, 10 Runden ohne Baustellen, 5 Runden mit Baustellen auf H, usw.

Die Fahrzeiten t_H und t_N hängen von der Anzahl n_H und n_N der Teilnehmer ab, die H oder N gewählt haben:

1. Ohne Baustellen

$$t_H = 6 + 2n_H$$

$$t_N = 12 + 3n_N$$

2. Baustellen befinden sich auf der Hauptstrecke [H]

$$t_H = 2(n_H + 5) + 6$$

$$t_N = 12 + 3n_N$$

3. Baustellen befinden sich auf der Nebenstrecke [N]

$$t_H = 6 + 2n_H$$

$$t_N = 3(n_N + 5) + 12.$$

Die Rundenauszahlung war 42 -t mit $t = t_H$, wenn H gewählt wurde und $t = t_N$, wenn N gewählt wurde.

Die Gesamtauszahlung eines Teilnehmers war die Summe aller 200 Rundenauszahlungen, umgerechnet in DM mit einem festen Wechselkurs von 0,015 DM pro Taler (experimentelle Geldeinheit). Zusätzlich erhielt jeder Teilnehmer ein Startkapital von 10 DM. Eine Beobachtung dauerte ca. 1,5 Stunden.

Alle reinen Gleichgewichte sind charakterisiert durch:

1. Ohne Baustellen

$$n_H = 12 \text{ und } n_N = 6,$$

2. Baustellen befinden sich auf der Nebenstrecke [N]

$$n_H = 15 \text{ und } n_N = 3,$$

3. Baustellen befinden sich auf der Hauptstrecke [H]

$$n_H = 10 \text{ und } n_N = 8$$

Die Gleichgewichtsauszahlung ist im ersten Fall 12 Taler pro Spieler und im zweiten und dritten Fall 6 Taler pro Spieler.

Zwei Variationen wurden durchgeführt. In Variation I erhielten die Versuchsteilnehmer folgende Informationen:

- Fahrtzeit auf der zuletzt gewählten Strecke
- Welche Strecke zuletzt gewählt wurde
- Die Auszahlung der letzten Runde in Talern
- Die kumulierte Auszahlung in Taler
- Aktuelle Rundenummer

In Variation II wurde zusätzlich die Information der Fahrtzeit der nicht gewählten Strecke gegeben. Weitere Informationen erhielten die Spieler nicht.

4.5.2 Gleichgewichtsvorhersage und beobachtetes Verhalten

In Abbildung 21 ist ein typisches Beispiel der Anzahl der Teilnehmer über die 200 Runden auf der Nebenstrecke zu sehen. Es wird gezeigt, dass der „moving average“ mit einem „lag“ von 10 Runden in Richtung des theoretischen Gleichgewichts periodisch alterniert.

Substantielle Fluktuation halten bis zum Ende jeder Beobachtung durch. Dieses gilt für alle Beobachtungen und Variationen. Der aggregierte Durchschnitt der Teilnehmer, in

Runden ohne Baustellen, liegt nahe an der Gleichgewichtsvorhersage. Wenn Baustellen auf der Nebenstrecke auftreten, liegt der Durchschnitt der Anzahl der Spieler in jeder Beobachtung über dem Gleichgewicht.

Im Falle das Baustellen auf der Hauptstrecke auftreten, liegt der Durchschnitt der Anzahl der Spieler in jeder Beobachtung deutlich unterhalb der Gleichgewichtsvorhersage. In Runden ohne Baustellen liegt der Median der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke [N] bei 6. Der Median der Anzahl der Spieler in diesen Runden auf der Nebenstrecke ist 5,99 in Variation I und 5,96 in Variation II. In Runden mit Baustellen auf der Nebenstrecke liegt der Median der Spieler in Variation I zwischen 4,5 und 5,5 und zwischen 4 und 6 in Variation II. Der Durchschnitt der Spieler auf der Nebenstrecke ist in Variation I 5,32 und in Variation II 5,26.

In den Runden, in denen Baustellen auf der Hauptstrecke auftreten, liegt der Median der Anzahl der Spieler in Variation I zwischen 6 und 8 und in Variation II bei 7. Die durchschnittliche Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke liegt in Variation I bei 6,72 und 6,60.

Die Fluktuationen können anhand der Standardabweichungen der Anzahl der Spieler, die die Nebenstrecke pro Runde gewählt haben, gemessen werden. Die Fluktuationen sind größer in Variation I ohne Information als in Variation II mit voller Information. Dieser Effekt ist signifikant. Die Nullhypothese in Runden ohne Baustellen kann durch eine Wilcoxon-Mann-Whitney Test auf einen Signifikanzlevel von 5% (einseitig) zurückgewiesen werden. In Runden mit Baustellen auf der Nebenstrecke und in Runden mit Baustellen auf der Hauptstrecke kann die Nullhypothese ebenfalls zurückgewiesen werden. Das Signifikanzlevel liegt bei 1% (einseitig).

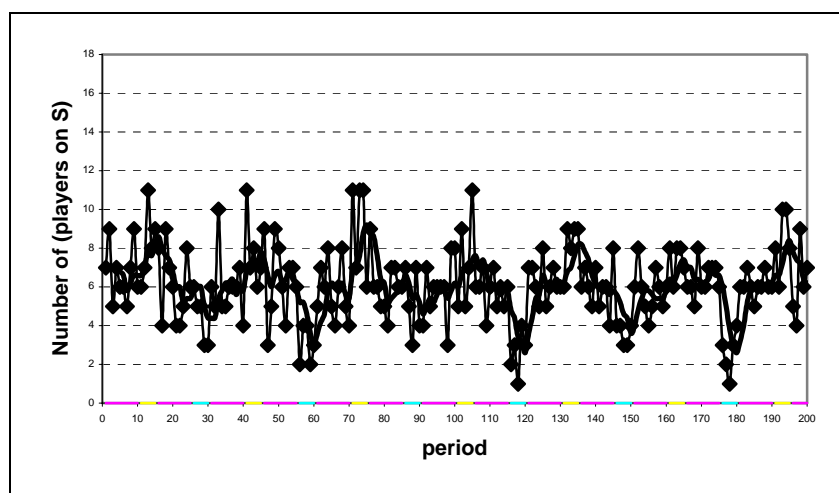


Abbildung 21: Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke [N] als typisches Beispiel für Variation I.

Die Spieler hatten größere Schwierigkeiten das Gleichgewicht während Runden mit Baustellen zu erreichen. Ein Grund könnte sein, dass das Rundenintervall mit Baustellen auf einer der Strecken um die Hälfte kleiner ist, als das Rundenintervall ohne Baustellen.

		Anzahl der Spieler auf N [Ohne Baustellen]	
		mean	sdt. dev.
Treatment I	session I 01	6,07	1,99
	session I 02	5,73	1,88
	session I 03	5,96	2,04
	session I 04	6,12	1,89
	session I 05	6,09	1,96
	session I 06	5,99	1,88
	treatment I	5,99	1,94
Treatment II	session II 01	6,10	1,34
	session II 02	6,07	1,53
	session II 03	5,80	1,90
	session II 04	5,89	1,90
	session II 05	6,12	1,87
	session II 06	5,83	1,50
	treatment II	5,97	1,67

Tabelle 9: Durchschnitt und Standardabweichung der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke während der Runden ohne Baustellen.

		Anzahl der Spieler auf N [Baustellen auf N]	
		mean	sdt. dev.
Treatment I	session I 01	5,27	2,85
	session I 02	5,17	2,68
	session I 03	5,50	2,67
	session I 04	5,37	2,63
	session I 05	5,20	2,78
	session I 06	5,43	2,74
	treatment I	5,32	2,72
Treatment II	session II 01	5,17	2,49
	session II 02	5,10	2,22
	session II 03	5,33	2,23
	session II 04	5,43	2,65
	session II 05	5,47	2,47
	session II 06	5,07	2,55
	treatment II	5,26	2,44

Tabelle 10: Durchschnitt und Standardabweichung der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke während der Runden mit Baustellen auf der Nebenstrecke.

		Anzahl der Spieler auf N [Baustellen auf H]	
		mean	sdt. dev.
Treatment I	session I 01	6,83	3,41
	session I 02	6,69	3,03
	session I 03	6,43	2,96
	session I 04	6,89	2,95
	session I 05	6,91	3,20
	session I 06	6,60	3,28
	treatment I	6,72	3,14
Treatment II	session II 01	6,71	2,92
	session II 02	6,89	2,52
	session II 03	6,29	2,49
	session II 04	6,34	2,42
	session II 05	7,00	2,93
	session II 06	6,34	2,72
	treatment II	6,60	2,67

Tabelle 11: Durchschnitt und Standardabweichung der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke während der Runden mit Baustellen auf der Hauptstrecke.

4.5.3 Streckenwechsel

Abbildung 22 zeigt ein Beispiel der Anzahl der Streckenwechsel als eine Funktion über die Zeit für eine typische Beobachtung von Experimentsvariation II. Dieses erstaunt aufgrund der Vielfalt der Baustellen auf beiden Strecken. Negative Trends waren in allen Beobachtungen in Variation II zu erkennen. In beiden Variationen war der Trend der Streckenwechsel meist negativ.

Jede Beobachtung wurde in vier Phasen unterteilt:

- Phase I spiegelt die Runden ohne Baustellen wider.
- Phase II sind die Runden mit Baustellen auf der Hauptstrecke [H].
- Phase III Runden mit Baustellen auf der Nebenstrecke [N].
- Phase IV sind alle Runden während Übergängen zu und von Baustellen weg.

Die durchschnittliche Anzahl der Streckenwechsel liegt in allen vier Phasen signifikant höher in Variation I. Die Nullhypothese kann zurückgewiesen werden von einem Wilcoxon-Mann-Whitney Test auf einem Signifikanzlevel von 5% (einseitig) in Phase II, III und IV. In Phase I liegt das Signifikanzlevel bei 10% (einseitig). Die durchschnittliche Anzahl der Streckenwechsel in Variation I ist also deutlich höher als in Variation II.

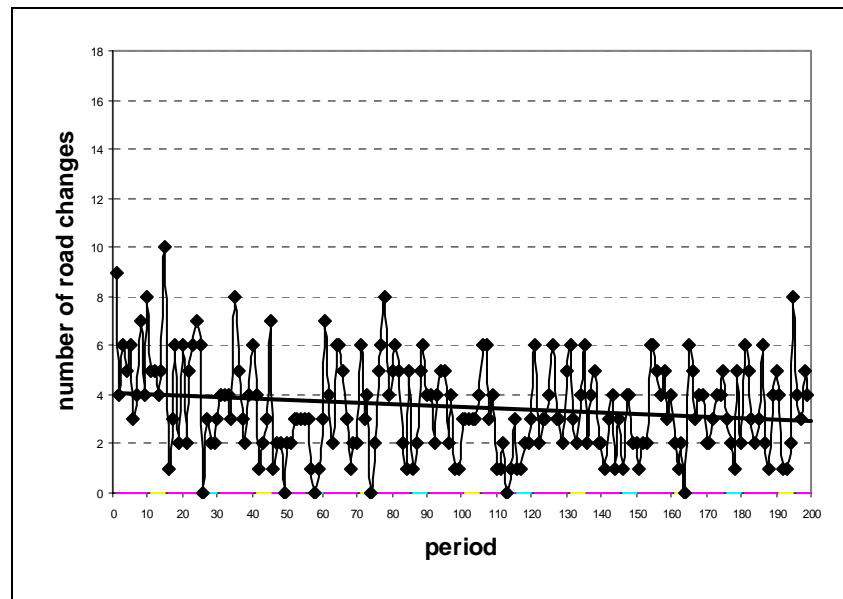


Abbildung 22: Anzahl der Streckenwechsel [typisches Beispiel für Variation II].

Wie in den Experimenten ohne Baustellen zuvor gezeigt, wechseln die Teilnehmer in der Variation ohne Information über die Verteilung auf den beiden Strecken die Strecke häufiger, weil sie sich von Zeit zu Zeit genötigt sehen, durch den Wechsel Informationen über beide Strecken zu erhalten. In Variation II gibt es keine Notwendigkeit aus Neugiergründen zu wechseln. Dieses könnte der Grund für die höhere Anzahl der Wechsel und vielleicht auch für die stärkeren Fluktuationen in Variation I sein.

In dieser Experimentsreihe mit Baustellen könnte dieser Effekt noch stärker beobachtet werden.

Es scheint, dass im Vergleich mit den Experimenten ohne Baustellen die zusätzliche Information in diesen komplexeren Variationen nützlicher ist.

	Durchschnittliche Streckenwechsel in Phase I	
	Treatment I	Treatment II
session I 01	5,53	3,42
session I 02	4,64	4,54
session I 03	5,84	5,21
session I 04	6,68	5,50
session I 05	5,60	5,95
session I 06	5,21	3,64
treatment I	5,58	4,71

Abbildung 23: Durchschnittliche Streckenwechsel [Phase I, ohne Baustellen].

	Durchschnittliche Streckenwechsel in Phase II	
	Treatment I	Treatment II
session I 01	4,68	2,96
session I 02	4,80	4,42
session I 03	5,26	4,71
session I 04	5,05	4,21
session I 05	4,55	5,13
session I 06	5,34	1,88
treatment I	4,95	3,88

Abbildung 24: Durchschnittliche Streckenwechsel [Phase II, mit Baustellen auf H].

	Durchschnittliche Streckenwechsel in Phase III	
	Treatment I	Treatment II
session I 01	5,70	3,86
session I 02	5,66	5,68
session I 03	6,49	5,54
session I 04	6,84	4,68
session I 05	5,41	6,43
session I 06	6,16	3,25
treatment I	6,05	4,90

Abbildung 25: Durchschnittliche Streckenwechsel [Phase III, mit Baustellen auf N].

	Durchschnittliche Streckenwechsel in Phase IV	
	Treatment I	Treatment II
session I 01	7,42	5,00
session I 02	6,62	5,42
session I 03	6,81	7,00
session I 04	7,42	6,62
session I 05	7,04	7,12
session I 06	6,96	4,54
treatment I	7,04	5,95

Abbildung 26: Durchschnittliche Streckenwechsel [Phase IV, während Übergängen zu Baustellen und von Baustellen weg].

4.5.4 Verhaltenstypen

Auch in den Experimenten mit Baustellen wurden Typisierungen der Spieler festgelegt. Teilnehmer, die niedrige Auszahlungen auf der zuletzt gewählten Strecke hatten, wechselten die Strecke mit der Intention, sich in der nächsten Runde auf der weniger befah-

renden Strecke zu befinden. Dieses sind die direkten Spieler. Die Wahrscheinlichkeit eines Wechsels steigt je schlechter ihre Auszahlung in der letzten Runde war.

Auch in diesen Experimenten tritt der direkte Spieler häufiger auf als der gegenläufige. Beim gegenläufigen Spieler wird ein Streckenwechsel umso wahrscheinlicher, wenn die Auszahlungen steigen. Der gegenläufige Spieler geht davon aus, dass hohe Auszahlungen anziehend auf andere Spieler wirken, und diese deshalb die Strecke wechseln.

Die Gleichgewichtsauszahlung beträgt $E=7$ oder $E=10$. Auszahlungen, die unter dem Wert für E liegen, können niedrigere Auszahlungen genannt werden. Dementsprechend wären Auszahlungen über dem Wert von E hohe Auszahlungen. Aufgrund dessen konnten die Spielertypen klassifiziert werden. Die direkten Spieler wechseln die Strecke in der nächsten Runde, wenn ihre Auszahlung unter E in der letzten Runde war und bleiben auf der Strecke, wenn ihre Auszahlung über E war. Ein gegenteiliges Verhalten klassifiziert den gegenläufigen Spieler. Tabelle 12 zeigt die Häufigkeit mit der Versuchsteilnehmer die Strecke wechseln (c_- für Auszahlungen unter E und c_+ für Auszahlungen über E) oder bleiben auf der gleichen Strecke (s_- für Auszahlungen unter E und s_+ für Auszahlungen über E).

	Bleiben	Wechseln
Auszahlung < E	c_-	s_-
Auszahlung > E	c_+	s_+

Tabelle 12: 2x2 Matrix zur Berechnung der Nullkoeffizienten.

Für jeden Versuchsteilnehmer lässt sich solch eine 2x2 Tabelle erstellen, aus der sich der Yule Koeffizient berechnen lässt.

$$Q = \frac{c_- \cdot s_+ - c_+ \cdot s_-}{c_- \cdot s_+ + c_+ \cdot s_-}$$

Der Yule Koeffizient liegt zwischen -1 und 1 . Im Falle dieser Experimentsreihe reflektieren hohe Yule Koeffizienten die Tendenz zu direkten Verhaltenstypen und niedrige Yule Koeffizienten die Tendenz zu gegenläufigen Verhaltenstypen.

In Tabelle 13 ist der durchschnittliche Yule Koeffizient der vorangegangenen Experimente ohne Baustellen und der hier besprochenen Experimente mit Baustellen gegeneinander abgetragen. Die durchschnittlichen Yule Koeffizienten sind in Experimenten mit Baustellen signifikant höher. Die Nullhypothese für beide Variationen kann durch einen Wilcoxon-Mann-Whitney Test auf einen Signifikanzlevel von 5% (einseitig) zurückgewiesen werden. Dies bedeutet, dass es weniger gegenläufige Verhaltenstypen in Experimenten mit Baustellen gibt. Eine Erklärung hierfür könnte die komplexere Spielsituation in den Spielen mit Baustellen sein. Durch diese komplexere Situation treten mehr direkte Verhaltenstypen auf. Es bleibt also zu sagen, dass die Yule Koeffizienten

nicht alleinig vom Spieler abhängen, sondern ebenfalls von der Situation, in der Spieler spielt.

		Yule Koeffizienten Q	
		Experimente ohne Baustellen	Experimente mit Baustellen
Treatment I	session I 01	0,214	0,334
	session I 02	0,373	0,337
	session I 03	0,277	0,324
	session I 04	0,191	0,361
	session I 05	0,313	0,316
	session I 06	0,332	0,435
	treatment I	0,283	0,351
Treatment II	session II 01	0,365	0,362
	session II 02	0,374	0,349
	session II 03	0,308	0,378
	session II 04	0,271	0,363
	session II 05	0,246	0,438
	session II 06	0,122	0,392
	treatment II	0,281	0,380

Tabelle 13: Durchschnitt und Standardabweichung der Yule Koeffizienten in Experimenten mit und ohne Baustellen.

4.5.5 Schlussfolgerung

Es zeigt sich, dass bei fehlenden Baustellen die durchschnittliche Anzahl der Spieler auf beiden Strecken nahe des Gleichgewichtes liegt. Während in Runden, in denen Baustellen auftreten, die durchschnittliche Anzahl der Spieler vom Gleichgewicht abweicht. Nichtsdestotrotz treten Fluktuationen auf beiden Strecken bis zum Schluss der 200 Runden auf. Die Information über die Fahrtzeiten auf beiden Strecken reduzieren die Fluktuationen in Variation II signifikant. Dieser Effekt ist höher signifikant als in den Experimenten ohne Baustellen.

Wie auch in den Experimenten ohne Baustellen konnten hier zwei Verhaltenstypen in den Daten gefunden werden. Ein direkter Verhaltenstyp, der die Strecke wechselt nach niedrigen Auszahlungen und einen gegenläufigen Verhaltenstypen, der die Strecke wechselt bei hohen Auszahlungen. Diese Verhaltenstypen sind das Ergebnis der verschiedenen Situationen. Bemerkenswert bleibt, dass die Yule Koeffizienten signifikant höher in Experimenten mit Baustellen sind.

4.6 Simulationen

Im Hinblick dessen weitere Einsichten in theoretische Signifikanz der Ergebnisse zu erhalten, wurden Simulationen durchgeführt.

Für die geschilderten Routenwahlexperimente wurde ein erweitertes Auszahlungssummenmodell HARLEY (1981)[10], ATHUR (1991)[11], EREV UND ROTH (1998) [12] untersucht. Der Lernalgorithmus lässt sich wie folgt beschreiben:

Initialisierung: Es sei n die Anzahl der Strategien, die einem Spieler i zur Verfügung stehen und $[x_{i,1}^1, \dots, x_{i,n}^1]$ ein Vektor natürlicher Zahlen.

Periode 1: Jeder Spieler i wählt mit Wahrscheinlichkeit $\frac{x_{i,j}^1}{\sum_j x_{i,j}^1}$ die Strategie j .

Periode $t+1$: Es sei a_i^t die Auszahlung des Spielers i in Periode t und j die gewählte Strategie in Periode t . Dann gilt:

IF $a_i^t \geq 0$:

$$x_{i,j}^{t+1} := x_{i,j}^t + a_i^t$$

$$x_{i,k}^{t+1} := x_{i,k}^t, k \neq j$$

ELSE

$$x_{i,j}^{t+1} := x_{i,j}^t$$

$$x_{i,j}^{t+1} := x_{i,j}^t + a_i^t, k \neq j$$

Jeder Spieler i wählt mit Wahrscheinlichkeit $\frac{x_{i,j}^1}{\sum_j x_{i,j}^1}$ die Strategie j .

In (SELTEN, SCHRECKENBERG, ET. AL 2002 [13], 2003 [14]) wurden Simulationen mit folgenden vier Strategien beschrieben:

Hauptstrecke: Der Spieler wählt die Hauptstrecke.

Nebenstrecke: Der Spieler wählt die Nebenstrecke.

Es gelten folgende Bezeichnungen: a_i^t sei die Auszahlung des Spielers i in Periode t und μ_i^t der Median der Auszahlungen des Spielers i bis zum Zeitpunkt t . $A_{i,<}^t$ ($A_{i,>}^t$) sei die Anzahl der Auszahlungen des Spielers i bis zum Zeitpunkt t , die kleiner (größer) waren als μ_i^t .

Nach der 1. Periode, sind zusätzlich folgende zwei Strategien definiert:

Direkt: Gilt $a_i^t < \mu_i^t$ so wechselt der Spieler die Strecke. Entsprechend bleibt i auf der zuletzt gewählten Strecke, falls $a_i^t > \mu_i^t$ gilt. Für den Fall $a_i^t = \mu_i^t$ gilt: i wechselt, falls $A_{i,<}^t < A_{i,>}^t$ und bleibt auf der Strecke, falls $A_{i,<}^t > A_{i,>}^t$. Für den seltenen Fall $A_{i,<}^t = A_{i,>}^t$ wechselt i mit Wahrscheinlichkeit 0.5.

Gegenläufig: Gilt $a_i^t < \mu_i^t$ so bleibt der Spieler auf der zuletzt gewählten Strecke. Entsprechend wechselt i , falls $a_i^t > \mu_i^t$ gilt. Für den Fall $a_i^t = \mu_i^t$ gilt: i bleibt, falls $A_{i,<}^t < A_{i,>}^t$ und wechselt, falls $A_{i,<}^t > A_{i,>}^t$. Für den seltenen Fall $A_{i,<}^t = A_{i,>}^t$ wechselt i mit Wahrscheinlichkeit 0.5.

Für jeden Initialisierungsvektor einer Simulationssequenz wurden 1000 Simulationen durchgeführt. Zu Beginn wurden die diagonalen Initialisierungsvektoren des folgenden Typs getestet:

$$I_0 := \{[x, x, 0, 0, 0, 0] : 1 \leq x \leq 120\}$$

$$I_1 := \{[x, x, x, x, 0, 0] : 1 \leq x \leq 120\}$$

$$I_2 := \{[x, x, x, x, x, 0] : 1 \leq x \leq 120\}$$

$$I_3 := \{[x, x, x, x, 0, x] : 1 \leq x \leq 120\}$$

$$I_4 := \{[x, x, x, x, x, x] : 1 \leq x \leq 120\}$$

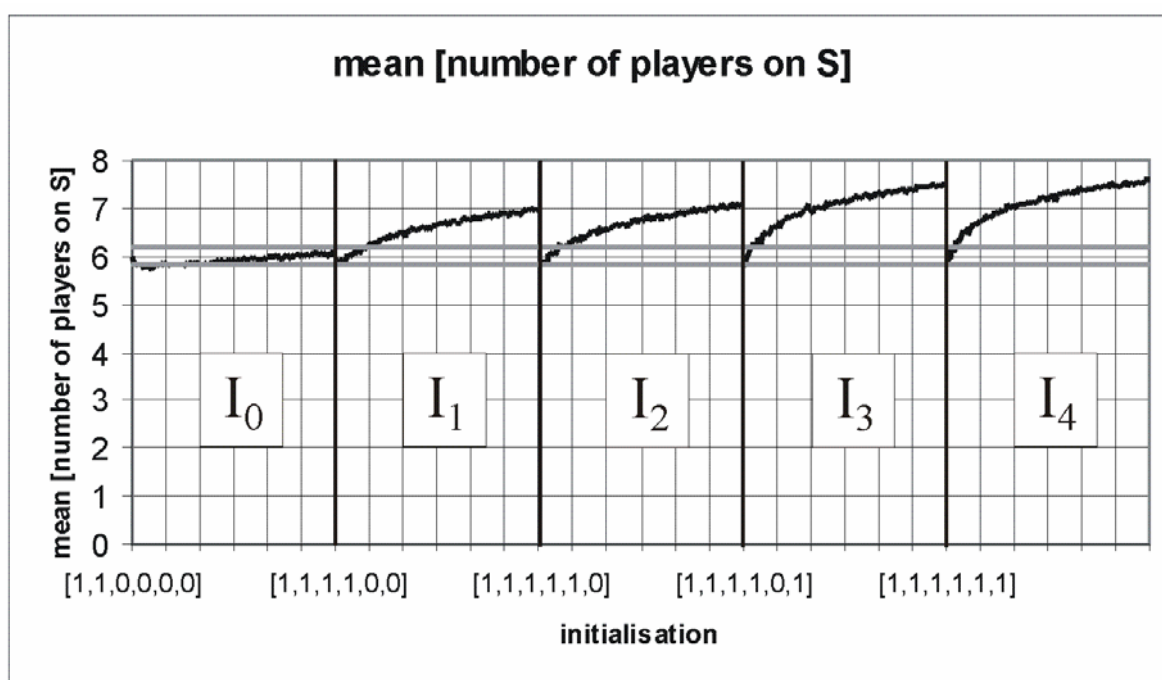


Abbildung 27: Durchschnittliche Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke in den verschiedenen Initialisierungsvektoren.

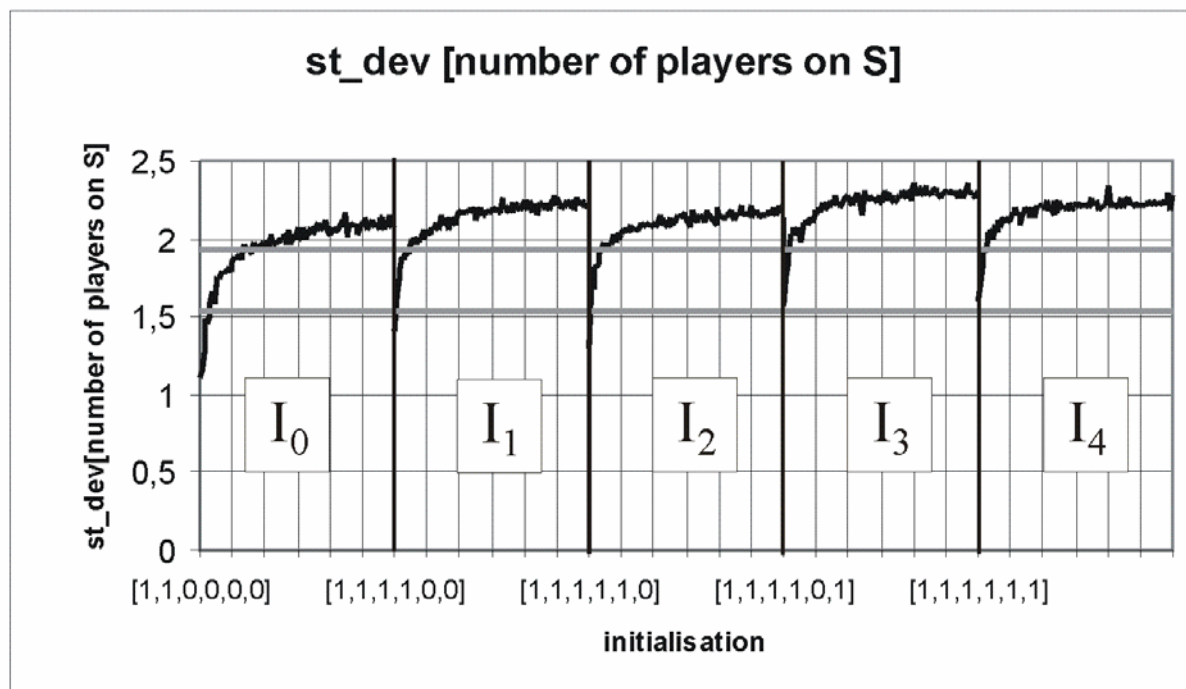


Abbildung 28: Standardabweichung der Anzahl der Spieler auf der Nebenstrecke in den verschiedenen Initialisierungsvektoren.

In den Ergebnissen der Simulationen zeigt sich, dass die Größe der Initialisierungsvektoren der Auszahlungsfunktion angepasst sein sollte. Es kam zu einem reduzierten Lerneffekt, wenn die Werte über 10 lagen. Aus diesem Grund beschränkten wir uns auf die Werte ≤ 10 .

Stichproben zeigten, dass die Vektoren Bleiben und Wechseln in den Initialisierungen $\{[u, v, w, x, y, z] : 1 \leq u, v, w, x, y, z \leq 10\}$ nicht zwingend nötig sind, um gute Resultate zu erhalten.

Aus diesem Grund wurde jeder Initialisierungsvektor folgendermaßen gesetzt: $\{[u, v, w, x, 0, 0] : 1 \leq u, v, w, x \leq 10\}$. Der Vektor $[4, 3, 3, 2]$ war der Einzige, der mit den aus den Experimenten gewonnenen Kennwerten übereinstimmte.

Für jeden Initialisierungsvektor $[x_1, \dots, x_4] \in \{1, \dots, 10\}^2 \times \{0, \dots, 10\}^2$ wurden 1000 Simulationsfolgen entsprechend den Experimenten über jeweils 200 Perioden untersucht. Es wurden die Mittelwerte von sechs Variablen (vgl. Tabelle 14) mit den Experimentellen Ergebnissen verglichen. Hierbei konnte beobachtet werden, dass im Mittel nur für den Initialisierungsvektor $(4, 3, 3, 2)$ die Werte der Experimente erzielt werden konnten:

	Minimum	Mittelwert	Maximum
	Treatment I & II	Simulationen	Treatment I & II
Mittelwert: Anzahl Spieler auf N	5.85	5.88	6.17
Standardabweichung: Anzahl Spieler auf N	1.53	1.65	1.94
Mittelwert: Anzahl der Streckenwechsel pro Runde	3.67	5.17	5.28
Mittelwert: Letzer Streckenwechsel pro Spieler	154.78	183.73	190.39
Mittelwert: Yulekoeffizient	0.12	0.14	0.37
Standardabweichung: Yulekoeffizient	0.52	0.60	0.74

Tabelle 14: Vergleich Experimente und Simulationen.

Die Verteilung der Durchschnitte und der Standardabweichungen der simulierten Spieler auf der Nebenstrecke sind in Abbildung 29 dargestellt. Die Grenzwerte der Experimente stellen die Balken dar.

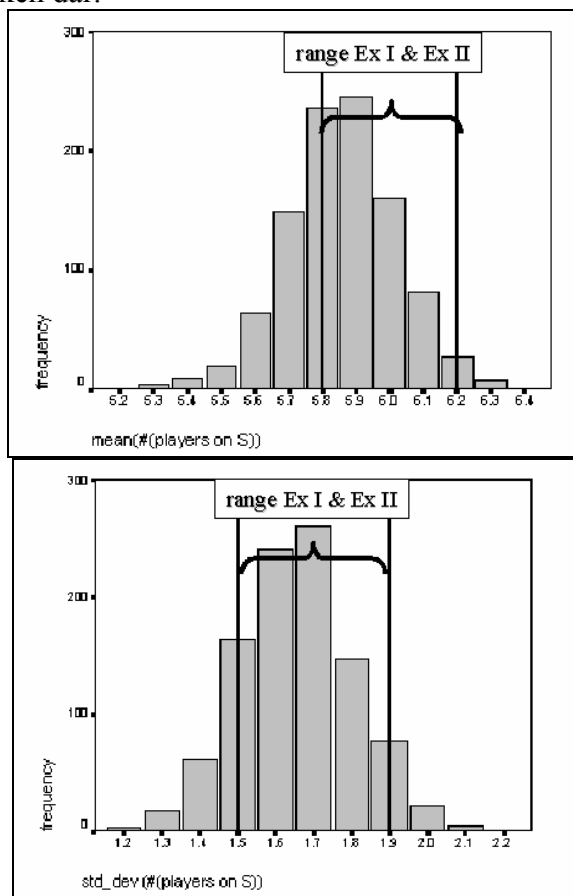


Abbildung 29: Durchschnitte und Standardabweichungen der simulierten Spieler auf der Nebenstrecke.

Simulationen der Spiele mit 36, 54, 72 und 90 Teilnehmern

Die Simulationen die zuvor für die 18-Personenspiele durchgeführt wurden können erweitert werden um die Experimente mit 36, 54, 72 und 90 Personen zu simulieren. Diese Erweiterung gelingt durch die Modifikation der Auszahlungsfunktion. Wie im Kapitel der Mehrpersonenexperimente beschrieben, wurden die Experimente mit 36 und 72 Personen an der Universität Graz durchgeführt. Die Experimente mit 54 und 90 Personen wurden jedoch am Laboratorium der Universität Bonn gespielt. Die modifizierten Auszahlungsfunktionen waren:

$$\begin{aligned} p_H &= 40\lambda - [6\lambda + 2n_H] \\ p_N &= 40\lambda - [12\lambda + 3n_N] \end{aligned}$$

Wobei p_H die Auszahlung der Teilnehmer auf der Hauptstrecke und p_N die Auszahlung der Versuchspersonen auf der Nebenstrecke war.

Der Wert λ war für die verschiedenen Simulationen wie folgt:

- $\lambda = 2$ für die Experimente mit 36 Personen
- $\lambda = 3$ für die Experimente mit 54 Personen
- $\lambda = 4$ für die Experimente mit 72 Personen
- $\lambda = 5$ für die Experimente mit 90 Personen

Die spieltheoretischen Gleichgewichte leiten sich daraus wie folgt ab:

Anzahl der Spieler	Gleichgewicht	
	Hauptstrecke	Nebenstrecke
18	12	6
36	24	12
54	36	18
72	48	24
90	60	30

Tabelle 15: Spieltheoretische Gleichgewichte in den Experimenten.

Für die Simulationen wurde der Initialisierungsvektor $\lambda \cdot [4,3,3,2]$ genutzt. Die Ergebnisse der Simulationen im Vergleich zu den Experimenten sind in Tabelle 16 und 17 dargestellt.

Statistische Werte	Anzahl der Spieler [18, 36, 54, 72, 90]				
	G 18	G36	G54	G72	G90
Mittelwert [Anzahl der Spieler auf N]	5,98	12,21	17,98	24,20	30,02
Standard Abweichung [Anzahl der Spieler auf N]	1,78	2,64	3,24	4,54	5,02
Mittelwert [Anzahl der Streckenwechsel]	4,82	11,35	15,57	22,76	26,02
Mittelwert [Letzter Wechsel]	182,07	189,00	182,05	183,00	184,28
Mittelwert [Yule Koeffizient]	0,28	0,14	0,22	0,20	0,24
Standard Abweichung [Yule Koeffizient]	0,58	0,58	0,58	0,57	0,60

Tabelle 16: Statistische Werte für die Mehrpersonenexperimente.

Statistische Werte	Anzahl der Spieler in den Simulationen [18, 36, 54, 72, 90]				
	S18	S36	S54	S72	S90
Mittelwert [Anzahl der Spieler auf N]	5,88	11,91	17,90	23,83	29,02
Standard Abweichung [Anzahl der Spieler auf N]	1,65	2,39	3,04	3,78	4,58
Mittelwert [Anzahl der Streckenwechsel]	5,17	10,07	15,98	21,32	23,04
Mittelwert [Letzter Wechsel]	183,73	176,58	184,24	188,28	190,02
Mittelwert [Yule Koeffizient]	0,14	0,16	0,15	0,15	0,16
Standard Abweichung [Yule Koeffizient]	0,60	0,54	0,54	0,52	0,56

Tabelle 17: Statistische Werte für die Mehrpersonensimulationen.

In den Abbildungen 30, 31 und 32 sind die wichtigsten statistischen Kennzahlen der Experimente und der Simulationen dargestellt. Auffallend ist die Genauigkeit der Simulationen. Die experimentellen Daten liegen sehr nahe den Simulationsergebnissen.

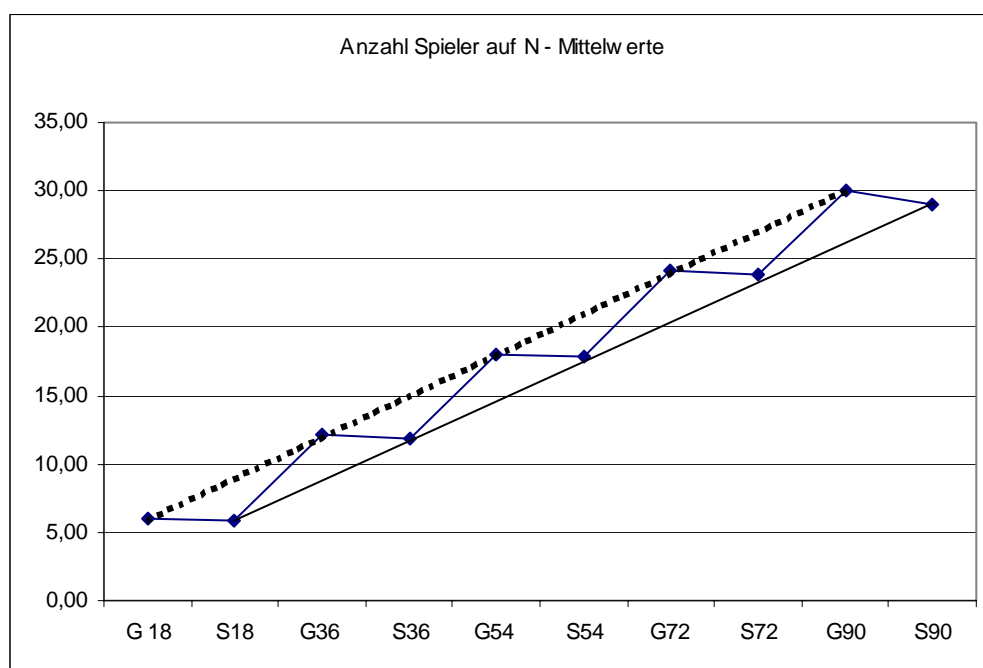


Abbildung 30: Mittelwerte für die Mehrpersonenexperimente und Simulationen.

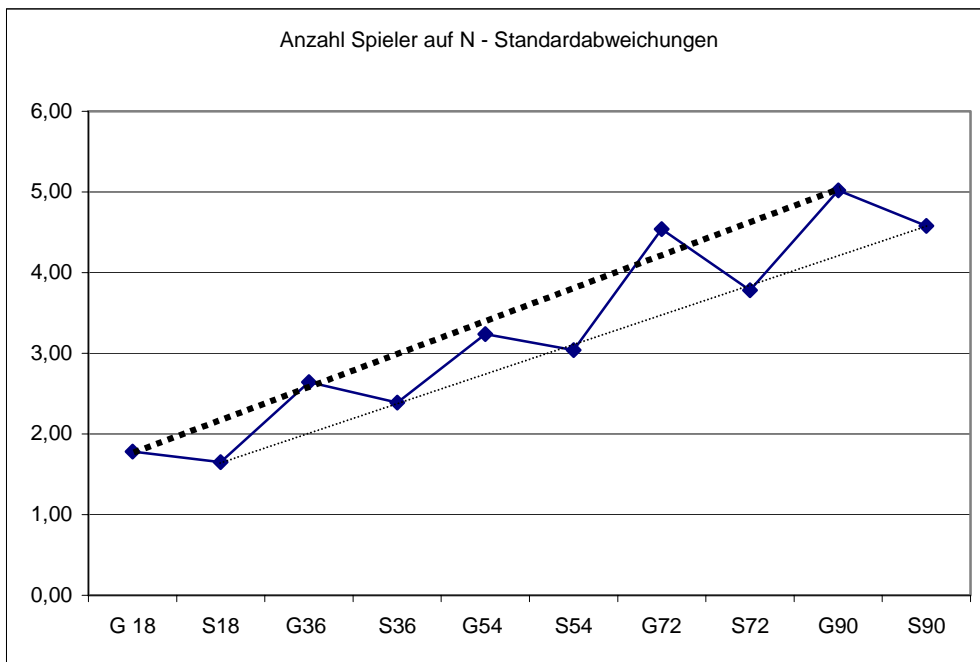


Abbildung 31: Standardabweichungen für die Mehrpersonenexperimente und Simulationen.

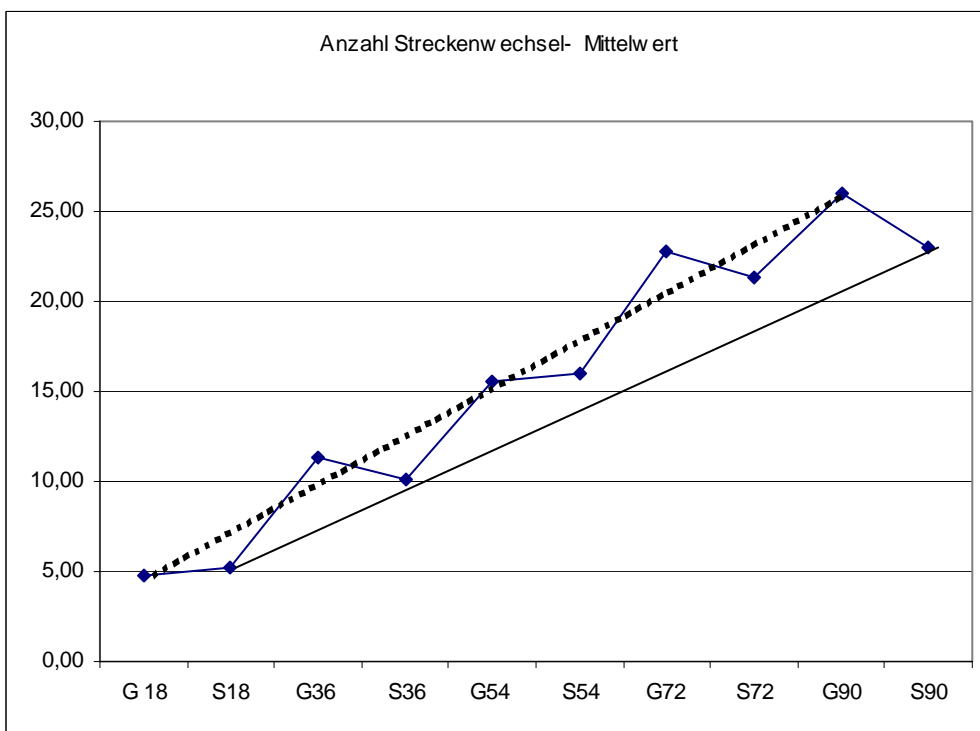


Abbildung 32: Anzahl der Streckenwechsel für die Mehrpersonenexperimente und Simulationen.

Minority Simulationen

Für die Simulationen der Minority Spiele wurden die gleichen strengen Kriterien, wie für alle anderen Simulationen angewandt. So spielen immer 9 Agenten in 100 Runden. Jeder Agent hat vier Strategien:

- 1. Strecke A:** Diese Strategie ist dadurch bestimmt, die Strecke A zu wählen.
- 2. Strecke B:** Diese Strategie ist dadurch bestimmt, die Strecke B zu wählen.
- 3. Direkt:** Diese Strategie korrespondiert mit dem direkten Antwortverhalten in den Experimenten. Das bedeutet, dass der Agent bei einer Auszahlung von 1 auf der zuletzt gewählten Strecke bleibt und bei einer Auszahlung von 0 die Strecke wechselt.
- 4. Gegenläufig:** Diese Strategie korrespondiert mit dem gegenläufigen Antwortverhalten in den Experimenten. Das bedeutet, dass der Agent bei einer Auszahlung von 1 die zuletzt gewählte Strecke verlässt und wechselt und bei einer Auszahlung von 0 auf der zuletzt gewählten Strecke bleibt.

In der ersten Runde sind nur die Strategien 1 und 2 vorhanden, da die Strategien 3 und 4 nur möglich sind, wenn ein Antwortverhalten der letzten Runde beobachtet werden kann.

Die simulierten Agenten gründen ihr Verhalten lediglich aus den Initialisierungsvektoren und ihren Beobachtungen. In den Experimentvariationen II wurde die Information über die eigene und die nicht gewählte Strecke gegeben. Das Auszahlungssummenmodell berücksichtigt hingegen nur die eigenen Auszahlungen und ignoriert somit die zusätzliche Information aus Variation II.

Die Unterschiede zwischen Variation I und Variation II können somit nicht durch das Auszahlungssummenmodell ausgedrückt werden, da es die zusätzliche Information nicht verarbeitet. Zum Vergleich der Simulationsdaten mit den Experimenten wurden die Daten beider Experimentvariationen herangezogen, weil der Unterschied zwischen den beiden Variationen nur gering ist.

Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Startgewichte aus den Daten geschätzt werden müssen. Dieses wurde durch die Variation der Gewichte der Strategien der *Strecke A* und *Strecke B* über die Werte 1 bis 10 gelöst. Für die Startgewichte der Strategien *Direkt* und *Gegenläufig* wurden alle Permutationen der Werte von 0 bis 10 simuliert.

Die Ergebnisse der Simulationen wurden mit den sechs Minimum und Maximum Grenzwerten der Experimente in Tabelle 18 verglichen.

Die Grenzwerte ergeben sich aus allen 12 Beobachtungen beider Experimentvariationen. Für jede der 12100 Parameter Kombinationen wurden 1000 Simulationen durchgeführt. Es traten drei Parameter Kombinationen auf, die in den sechs experimentellen Grenzwerten lagen. Diese Parameter Kombinationen waren $(1,1,2,1)$, $(2,2,1,1)$ und $(3,3,4,2)$. Die Zahlen korrespondieren mit $(Strecke A, Strecke B, Direkt, Gegenläufig)$. Da es keine Präferenz für eine der beiden Strecken gibt, scheint es klar, dass die Startgewichte der Strecken gleich sein sollten. Bei zwei der drei Vektoren ist das Startgewicht der Strategie *Direkt* größer als der Strategie *Gegenläufig*. Dieses erkennt man auch in den Experimentsdaten. Besonders in Variation II zeigt der Yule Koeffizient ein

zunehmend Direktes Antwortverhalten der Versuchspersonen. Das könnte die Startgewichte der Vektoren in den Simulationen erklären.

	Treatment I & Treatment II				
	Minimum	Simulations			Maximum
		{1,1,2,1}	{2,2,1,1}	{3,3,4,2}	
Player on road A [mean]	4,19	4,48	4,50	4,54	4,74
Player on Road A [standard deviation]	0,67	1,45	1,48	1,50	1,50
Road Changes [mean]	0,59	4,32	4,18	4,51	5,17
Last Roadchange [mean]	54,44	96,11	97,67	97,44	98,11
Yule Coefficient [mean]	-0,01	0,10	0,04	0,14	0,87
Yule Coefficient [mean for every player]	0,33	0,50	0,40	0,35	0,76

Tabelle 18: Experimente und Simulationen des Minority Games im Vergleich.

Es erstaunt, dass ein so einfaches Reinforcement Modell die Daten aus den Experimenten in dieser Qualität reproduzieren kann. Es ist nicht selbstverständlich, dass ein Modell die Daten in der Präzision wiedergibt, da die Kriterien der sechs Werte eng gesteckt und sehr streng sind und zu Beginn der Simulationen alle Agenten die gleichen Voraussetzungen haben und auch das gleiche Verhalten. Es gibt also keine verschiedenen Agenten.

4.6.2 Literaturdaten

4.7 Veröffentlichungen, Abschlussarbeiten, Konferenzen

4.7.1 Während des Projektes veröffentlichte Aufsätze und Artikel

Während des Projektes wurden folgende Aufsätze und Artikel veröffentlicht (siehe Literaturverzeichnis): [13 und [14].

Weitere Veröffentlichungen sind geplant. Es sind folgende Veröffentlichungen eingereicht:

- Minority Game, Experiments and Simulations
- Day-to-Day Route Choice Behaviour and Construction Areas
- Simulating Traffic Experiments

Weitere Veröffentlichungen sind geplant.

4.7.2 Erster Internationaler Workshop „Human Behaviour and Traffic Networks“ in Bonn

Der erste internationale Workshop Human Behaviour and Traffic Networks wurde mit großem Erfolg an der Universität Bonn durchgeführt. Als Teilnehmer konnten zahlreiche international renommierte Wissenschaftler gewonnen werden. Die Veröffentlichung der Präsentationen erfolgte 2004 in einem Buch beim Springer Verlag.

4.8 Schlussfolgerungen „Kompakt“

Das beobachtete Verhalten in den Experimenten gibt Aufschluss, wie Versuchspersonen „Verkehrsteilnehmer“ sich in unterschiedlichen Situationen verhalten. Aus dem Projekt ist ersichtlich dass es unterschiedliche Typen von Verkehrsteilnehmern gibt.

Die Teilnehmer wurden bezahlt, wenn sie auf dem schnellsten Wege von A nach B gelangen. Dieses lässt sich auf den Straßenverkehr transferieren. Der Autofahrer hat die Priorität möglichst schnell sein Ziel zu erreichen, dieses gilt insbesondere für Pendler auf dem Weg zu ihrer Arbeitsstelle.

In den Experimenten konnten im wesentlichen zwei Typen gefunden werden, ein Direkter Typ, der auf die Informationen sofort reagiert und ein Indirekter Typ, der gegenläufig zu dem direkten Typ die Informationen benutzt, um die Strecke zu wählen, die als die schlechtere gilt, da er damit rechnet, dass viele Teilnehmer der Information folgen und er somit seinen Gewinn, da er sich nicht der Masse anpasst, maximiert.

Dieses zeigt sich deutlich, wenn verschiedene Informationen gegeben werden. Es kann gesagt werden, dass zusätzliche Informationen den Teilnehmern eine Hilfestellung gibt, sich zu entscheiden. Die Ergebnisse wurden durch zusätzliche Informationen besser. Es spricht vieles dafür, dass die Optimierung der Informationen einen noch größeren Erfolg hätte.

Dieses gilt es durch weitere Forschungen zu bestätigen.

In komplexeren Situationen, wie den zuvor beschriebenen Experimenten mit den Baustellen, treten vermehrt direkte Spieler auf.

Die erstellten Simulationen wurden durch die experimentellen Daten überprüft. Die sechs statistischen Kennwerte der Experimente bildeten die Grenzen, in die eine Simulation passen muss. Zu jedem Experiment wurden Simulationen gefunden, die experimentellen Kriterien erfüllten. Dieses ist auch ein großer Erfolg dieses Projektes, derart präzise Simulationsergebnisse zu erlangen.

5 Administrative Ergebnisse

5.1 Beitrag des Forschungsprojektes zur Erweiterung des Stands der Technik

Zu Beginn des Forschungsprojektes SURVIVE gab es nur wenig Experimente, die sich im Bereich Verkehr und insbesondere des Routenwahlverfahrens in dieser Genauigkeit widmeten.

Sowohl die Experimente, als auch die exakten Simulationen werden helfen, die Verkehrsplanung und das Verkehrsmanagement zu unterstützen.

5.2 Mögliche Erweiterung mit komplexeren Experimenten

Deterministisches Modell

Am Labor für experimentelle Wirtschaftsforschung und dem Institut für die Physik von Transport und Verkehr wurde ein bislang noch nicht publiziertes deterministisches Modell für Verkehrssimulation entwickelt. Die erforderlichen Parameter zur Simulation von Fahrzeugen auf einer Straße mit L Zellen und einer Fahrbahn ohne Überholmöglichkeit sind die folgenden:

Bewegungsregeln der Fahrzeuge auf der Straße:

Maximale Eintrittsgeschwindigkeit = 2

Maximale Geschwindigkeit $v = 6$

Beschleunigung $v_{t+1} = v_t + 1$ und Abbremsen: $v_{t+1} = v_t - 1$

Jedes Fahrzeug muss am Ende der Straße, d. h. an Zelle L für eine Periode anhalten.

Abstandsregel:

Um Auffahrunfälle zu vermeiden, muss ein Minimalabstand zum Vordermann eingehalten werden gilt eine

Maximal-Geschwindigkeits-Regel:

Unter der Berücksichtigung der Abstandsregel fährt jedes Fahrzeug mit der maximal möglichen Geschwindigkeit

Die folgende Abbildung veranschaulicht das Bewegungsmodell auf einer Straße eine mit 100 Zellen:

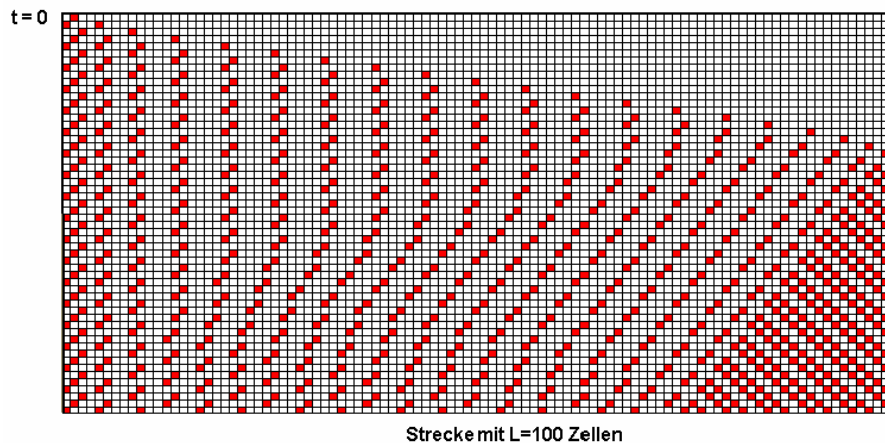


Abbildung 33: Bewegungsmodell auf einer Straße eine mit 100 Zellen.

Dieses Modell könnte in ein Experiment eingebunden werden, um eine natürlichere Umgebung widerzuspiegeln. Versuchsteilnehmer könnten dann wählen, wann sie ein Auto auf besagte Strecken schicken. Wiederum wäre die Variation in der Informationsgebung zu finden. Wie verhalten sich die Personen, wenn viel Verkehr auf der Strecke ist? Welche Informationen bringen welche Vorzüge?

6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung der Ergebnisse

Das Verkehrsaufkommen wächst aufgrund des steigenden Bedürfnisses nach Mobilität stetig an. Verschiedene Studien gehen davon aus, dass allein die Anzahl der im Betrieb befindlichen PKW's weiter deutlich ansteigen wird. Das vorhandene Straßennetzwerk stößt damit gerade in Ballungsräumen an seine äußersten Grenzen, zumal Verlagerungseffekte auf andere Verkehrsmittel (allen voran die Bahn) nur einen begrenzten Beitrag leisten. Im Hinblick auf die häufige Überlastung der Straßen und ein weiterhin wachsendes Verkehrsaufkommen ist der unmittelbare Handlungsbedarf daher offensichtlich. Durch Verkehrsstaus entsteht jährlich immerhin ein geschätzter volkswirtschaftlicher Schaden für ganz Deutschland von rund 100 Milliarden Euro, einhergehend mit steigender Unzufriedenheit der Verkehrsteilnehmer.

Da der weitere Ausbau des Straßennetzes an vielen Orten aus sozialen, wirtschaftlichen und umwelttechnischen Gründen nicht in Frage kommt, ist ein intelligenter Gebrauch der Ressource „Straße“ ein nahe liegender, ja sogar zwingender Ansatz. Telematik-Systeme helfen dem Verkehrsteilnehmer dabei, das verfügbare Straßennetzwerk intelligent zu nutzen. Dies fängt schon bei der konkreten Planung der Route vor Reiseantritt an. So trifft ein Verkehrsteilnehmer zu diesem Zeitpunkt wichtige Entscheidungen bezüglich der Route, des Zeitpunkts der Abreise sowie des Verkehrsmittels. Die Informationen, die dem Reisenden als Basis dieser Entscheidungen dienen, bezeichnet man als Pre-Trip-Informationen. Informationen, die der Reisende während der Fahrt bekommt und nur noch eingeschränkte Reaktionsmöglichkeiten zulassen, sind die En-Route Informationen.

Aber so ausgefeilt die Technik von Verkehrsmanagement-Systemen in der Zukunft auch sein wird, ohne die Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft der Nutzer wird die Wirkung stark eingeschränkt bleiben. Es ist daher unabdingbar, die Reaktion und das Verhalten der Nutzer insgesamt mit einzubeziehen. Insbesondere ist bei einer Prognose im Vorhinein einzuplanen, wie die Nutzer diese in ihrer Reiseplanung und -durchführung berücksichtigen.

Dieses Problem ist aber absolut nicht trivial. Es stellt sich sogar die Frage, ob es überhaupt möglich ist, Prognosen zu formulieren, die sich bei Übertragung an den Nutzer nicht selbst „zerstören“, d.h. die Reaktion der Nutzer auf die Prognose führt zu abweichenden Ergebnissen. In einem solchen iterativen Prozess müsste also die Prognose vor Übermittlung virtuell immer wieder an die zu erwartenden Reaktionen angepasst werden. Ob diese Iteration konvergiert, ist ein bis heute nicht gelöstes wissenschaftliches Problem.

Es wird also darauf hinaus laufen, nicht nur die Bewegung der Fahrzeuge im Netz zu simulieren, sondern auch das Verhalten der Fahrer. Um einen Eindruck von der Vielfalt der möglichen Reaktionen zu bekommen, wurde in verschiedenen Studien untersucht, worauf Verkehrsteilnehmer ihre „Strategien“ stützen und wie sie diese hinterher begründen.

7 Offene Fragen

7.1 Größere Teilnehmerzahl in den Experimenten

Die Veränderung der Teilnehmergröße in den Experimenten würde ein realistischeres Bild über die Verkehrssituation zeichnen. Es wäre über das Internet möglich, Experimente mit bis zu 1000 Versuchspersonen zu gestalten. Diese würden dann simultan in einem Szenario spielen. Die Simulationen hierzu wären von großem Interesse, da somit auch genauere Prognosen zu verfassen wären.

7.2 Neue, naturgetreuere Experimente

Experimente, in denen ein komplexeres Szenario dargestellt wird, können Licht auf die Fragen, die ein komplexes Verkehrsnetz mit sich bringt, werfen. So ist es fraglich, wie die Teilnehmer an Experimenten mit einem größeren Spektrum an Möglichkeiten umgehen. Auch die Information spielt in einem System mit mehr als 2 Möglichkeiten der Entscheidung eine wichtige Rolle.

7.3 Variation der Information

Wie in den durchgeführten Experimenten zu sehen ist, spielt die gegebene Information eine Schlüsselrolle im Verhalten der Experimentsteilnehmer. Wie die Information eingesetzt wird, ob sie bezahlt werden muss, oder wie präzise diese Information ist, sind wichtige Indizien, die auch auf den Straßenverkehr übertragen werden können. Die Variation in verschiedenen Experimenten würde vermutlich zu einer stärkeren oder vielfältigeren Typisierung der Versuchspersonen führen. Diese weitere Differenzierung des Verhaltens müsste dann in Simulationsstudien überprüft werden; Ziel muss es in weiteren Simulationen sein, die Experimente vorherzusagen. Die Entwicklung eines Prognosesystem, welches aus dem Verhalten der Teilnehmer der Experimente resultiert, würde einen wichtigen Beitrag zu Verkehrsleitsystemen und neuen Technologien in der Vorhersage stellen.

Literatur

- [1] Adler, J. and Blue, V., 1998, Toward the design of intelligent traveler information systems, *Transpn. Res. C* 6, 157.
- [2] Barfield, W. and T.A. Dingus (eds.)(1998). *Human Factors in Intelligent Transportation Systems*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers London.
- [3] ITS (1998). *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transportation Systems*, ITS International, Seoul.
- [4] Ben-Akiva, M., de Palma, A., Kaysi, I.: 1991, Dynamic network models and driver information systems, *Transpn. Res. A* 25, 251.
- [5] Gigerenzer, G., Todd, P.M. , and ABC Research Group (eds.), 1999: *Simple heuristics that make us smart*. Oxford University Press.
- [6] Wahle, J., Bazzan, A., Klügl, F., Schreckenberg, M.: 2000, Decision dynamics in a traffic scenario, *Physica A* 287, 669-681.
- [7] Ben-Akiva, M., de Palma, A., Kaysi, I.: 1991, Dynamic network models and driver information systems, *Transpn. Res. A* 25, 251.
- [8] Bonsall, P.: 1992, The influence of route guidance advice on route choice in urban networks, *Transportation* 19, 1-23
- [9] Kagel, John; Roth, Al (1995). *Handbook of Experimental Economics*. Princeton University Press, Princeton, 721 pages.
- [10] Harley, C. B. 1981: Learning in Evolutionary Stable Strategie, *J. Teoret. Biol.* 89, 611-633.
- [11] Arthur W. B. 1991: Designing economic agents that act like human agents: A behavioural approach to bounded rationality. *Amer. Econ. Rev. Papers Proc.* 81 May, 353-359.
- [12] Erev I., Roth A. E. 1998: Predicting How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, Mixed Strategy Equilibria, *American Economic Review*, 88(4), p. 848-81
- [13] Selten, R., M. Schreckenberg, T. Pitz, T. Chmura, J. Wahle (2003). Experiments on Route Choice Behaviour. In *Interface and Transport Dynamics, Lectural Notes in Computational Science and Engineering*. Springer Verlag, Heidelberg 2003, Pages 217.221.
- [14] Selten, R., M. Schreckenberg, T. Pitz, T. Chmura, J. Wahle (2003). Experimental Investigation of a Day-to-Day Route Choice Behaviour. In *Proceedings of the International Workshop on Traffic and Granular Flow (TGF) '01*, Springer Verlag, Heidelberg 2003, Pages 225-230.