

Strategische Koordination in real-dynamischen Konflikten

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften

(Dr. rer. pol.)

von der KIT-Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

DISSERTATION

von

M.Sc. Wi.-Ing. Alexander Graf

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juni 2021

Referent: Prof. Dr. rer. pol. Hagen Lindstädt

Korreferentin: Prof. Dr. rer. pol. Kerstin Fehre

Karlsruhe, Juni 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Methodik	4
1.3 Aufbau der Arbeit	6
2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung	9
2.1 Strategische Konfliktanalyse als Teilgebiet der Spieltheorie	9
2.1.1 Abgrenzung des Konflikt-Begriffs	10
2.1.2 Modellierungsansätze für nicht-kooperative, dynamische Spiele	11
2.2 Reichhaltigkeit der spielcharakterisierenden Informationsstruktur	24
2.2.1 Vollständige, vollkommene und perfekte Information	25
2.2.2 Modus und temporale Abfolge von Entscheidungen	29
2.3 Systematische Abgrenzung von informationsspezifischen Spielmechanismen	33
2.3.1 Real-dynamische Spiele in stetiger Zeit	34
2.3.2 Sequenziell-randomisierte Spiele	36
2.3.3 Simultan-wiederholte Spiele	38
2.4 Einfluss des Spielmechanismus auf das Koordinationsverhalten	40
2.4.1 Einordnung existierender Untersuchungen	41
2.4.2 Der Koordinationsbegriff im Sinne dieser Arbeit	43
2.4.3 Koordinative Züge als Substitut für verbale Kommunikation	46
2.5 Synthese der Forschungsfelder und Ableitung der Forschungsfrage	47
3 Herleitung der Hypothesen und Spielauswahl	49
3.1 Koordination in Abhängigkeit des Spielmechanismus als primäres Forschungsziel	49
3.2 Entwicklung eines Systems von Hypothesen	50
3.2.1 Quantifizierbare Performance	50

3.2.2	Realisierte Koordination im endlichen Zustandsraum	52
3.2.3	Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten	55
3.2.4	Weiterführende Hypothesen und Verallgemeinerung	57
3.2.5	Zusammenfassung der Hypothesen	58
3.3	Klassifizierung und Entwicklung geeigneter spieltheoretischer Konflikte	60
3.3.1	Grundsätzliche Anforderungen an das Spielformat	60
3.3.2	Entwicklung geeigneter Spiele zur empirischen Analyse	63
4	Konzeption und Operationalisierung der experimentellen Untersuchung	75
4.1	Experimentelles Design und Ausgestaltung der Modellökonomie	76
4.2	Technische Realisierung der experimentellen Plattform	78
4.2.1	Programmierung einer spezifischen Applikation zur Datenerhebung	79
4.2.2	Anforderungen an die Plattform und technische Spezifikation	80
4.3	Konfiguration und Visualisierung der Spielmechanismen	83
4.3.1	Spiel-Modus 1: <i>Simultan-wiederholt</i>	83
4.3.2	Spiel-Modus 2: <i>Sequenziell-randomisiert</i>	86
4.3.3	Spiel-Modus 3: <i>Real-dynamisch</i>	88
4.4	Systematische Datenerhebung und Design der Experiment-Sessions	90
4.4.1	Repeated-Measures-Design innerhalb einer Session	90
4.4.2	Steuerungssapplikation und Spielverlaufs-Tracking	91
4.4.3	Vorstudie: Technische und inhaltliche Validierung des Designs	92
4.5	Operative Durchführung der empirischen Studie	94
4.5.1	Experimentablauf im spieltheoretischen Labor	94
4.5.2	Teilnehmerauswahl und Charakterisierung der Stichprobe	101
5	Auswertung und Diskussion der experimentellen Untersuchung	105
5.1	Deskriptive Voranalysen und Ableitung statistischer Verfahren	105
5.1.1	Struktureigenschaften und Vergleichbarkeit der empirischen Daten	106
5.1.2	Deskriptive Auswertung der experimentellen Datenbasis	115
5.1.3	Auswahl und Abgrenzung geeigneter multivariater Methoden	123
5.2	Experiment I: Interaktives 3-Spieler-Gefangenendilemma	132
5.2.1	Analyseansatz und Modellüberblick	132
5.2.2	Statistische Analysen zur Überprüfung der Hypothesen	133
5.2.3	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD	138
5.3	Experiment II: Erweitertes 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischenoption	138
5.3.1	Implikation und Konzeption der Erweiterung	138
5.3.2	Analyseansatz und Modellüberblick	139

5.3.3	Statistische Analysen zur Überprüfung der Hypothesen	140
5.3.4	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD-N	145
5.4	Aggregierte statistische Betrachtung von Experiment I und II	146
5.4.1	Multivariate Überprüfung der Hypothesen im Gesamtmodell	146
5.4.2	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das aggregierte Datenset . .	151
5.4.3	Diskussion des Einflusses des Spiels	152
5.5	Experiment III: Explorative Analyse des Cerasia-Konflikts	153
5.5.1	Übertragung der Reaktions-These auf komplexe Spiele	153
5.5.2	Explorative Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen	154
5.5.3	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für den Cerasia-Konflikt	156
5.6	Integrierte Diskussion und Einordnung der Ergebnisse	156
6	Abschließende Überlegungen und Ausblick	163
6.1	Zusammenfassung und Zielabgleich	163
6.2	Kritische Diskussion und Ausblick	166
A	Appendix	171
A.1	Herleitung: Kooperation im unendlich oft wiederholten Gefangenendilemma . .	171
A.2	Technische Spezifikation der entwickelten Client-Server Experiment-Plattform	173
A.3	Übersicht der Oberflächen-Visualisierungen nach Spielmechanismus	175
A.4	Graphische Darstellung eines beispielhaften Spielverlaufs (CER)	177
A.5	Handouts für die Experimentteilnehmer	178
A.6	Fragebogen nach Durchführung des Experiments	181
	Literaturverzeichnis	183

Detalliertes Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Methodik	4
1.3 Aufbau der Arbeit	6
2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung	9
2.1 Strategische Konfliktanalyse als Teilgebiet der Spieltheorie	9
2.1.1 Abgrenzung des Konflikt-Begriffs	10
2.1.2 Modellierungsansätze für nicht-kooperative, dynamische Spiele	11
2.1.2.1 (Wiederholte) Spiele in Normalform	12
2.1.2.2 Extensivformspiele	16
2.1.2.3 Multi-Stufen-Spiele	19
2.1.2.4 Ansätze zur Modellierung realer Konflikte	22
2.2 Reichhaltigkeit der spielcharakterisierenden Informationsstruktur	24
2.2.1 Vollständige, vollkommene und perfekte Information	25
2.2.1.1 Klassifizierung nach <i>vollständiger Information</i>	26
2.2.1.2 Klassifizierung nach <i>vollkommener Information</i>	27
2.2.2 Modus und temporale Abfolge von Entscheidungen	29
2.2.2.1 Strukturierte vs. endogene Entscheidungen	29
2.2.2.2 Diskrete vs. stetige Entscheidungszeitpunkte	31
2.3 Systematische Abgrenzung von informationsspezifischen Spielmechanismen	33
2.3.1 Real-dynamische Spiele in stetiger Zeit	34
2.3.2 Sequenziell-randomisierte Spiele	36
2.3.3 Simultan-wiederholte Spiele	38
2.4 Einfluss des Spielmechanismus auf das Koordinationsverhalten	40

2.4.1	Einordnung existierender Untersuchungen	41
2.4.2	Der Koordinationsbegriff im Sinne dieser Arbeit	43
2.4.2.1	Reaktives Koordinationsverhalten	43
2.4.2.2	Temporäre Verschlechterungen als koordinatives Signal	44
2.4.3	Koordinative Züge als Substitut für verbale Kommunikation	46
2.5	Synthese der Forschungsfelder und Ableitung der Forschungsfrage	47
3	Herleitung der Hypothesen und Spielauswahl	49
3.1	Koordination in Abhängigkeit des Spielmechanismus als primäres Forschungsziel	49
3.2	Entwicklung eines Systems von Hypothesen	50
3.2.1	Quantifizierbare Performance	50
3.2.2	Realisierte Koordination im endlichen Zustandsraum	52
3.2.3	Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten	55
3.2.4	Weiterführende Hypothesen und Verallgemeinerung	57
3.2.5	Zusammenfassung der Hypothesen	58
3.3	Klassifizierung und Entwicklung geeigneter spieltheoretischer Konflikte	60
3.3.1	Grundsätzliche Anforderungen an das Spielformat	60
3.3.2	Entwicklung geeigneter Spiele zur empirischen Analyse	63
3.3.2.1	Interaktives Gefangenendilemma für drei Spieler	63
3.3.2.2	Erweitertes 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischen-Option	66
3.3.2.3	Der Cerasia Konflikt: Asymmetrisches NATO-Szenario	69
4	Konzeption und Operationalisierung der experimentellen Untersuchung	75
4.1	Experimentelles Design und Ausgestaltung der Modellökonomie	76
4.2	Technische Realisierung der experimentellen Plattform	78
4.2.1	Programmierung einer spezifischen Applikation zur Datenerhebung	79
4.2.2	Anforderungen an die Plattform und technische Spezifikation	80
4.3	Konfiguration und Visualisierung der Spielmechanismen	83
4.3.1	Spiel-Modus 1: <i>Simultan-wiederholt</i>	83
4.3.2	Spiel-Modus 2: <i>Sequenziell-randomisiert</i>	86
4.3.3	Spiel-Modus 3: <i>Real-dynamisch</i>	88
4.4	Systematische Datenerhebung und Design der Experiment-Sessions	90
4.4.1	Repeated-Measures-Design innerhalb einer Session	90
4.4.2	Steuerungsapplikation und Spielverlaufs-Tracking	91
4.4.3	Vorstudie: Technische und inhaltliche Validierung des Designs	92
4.5	Operative Durchführung der empirischen Studie	94
4.5.1	Experimentablauf im spieltheoretischen Labor	94

4.5.1.1	Räumliche Aufteilung und Laborumgebung	98
4.5.1.2	Übersicht der durchgeführten Sessions	99
4.5.2	Teilnehmerauswahl und Charakterisierung der Stichprobe	101
4.5.2.1	Auswahlprozess und Anreizsystem	101
4.5.2.2	Demographische Eigenschaften der Stichprobe	103
5	Auswertung und Diskussion der experimentellen Untersuchung	105
5.1	Deskriptive Voranalysen und Ableitung statistischer Verfahren	105
5.1.1	Struktureigenschaften und Vergleichbarkeit der empirischen Daten . . .	106
5.1.1.1	Makro- und Mikro-Struktur der Datenbasis	106
5.1.1.2	Charakteristik der Messgrößen und der abgeleiteten Variablen	108
5.1.2	Deskriptive Auswertung der experimentellen Datenbasis	115
5.1.3	Auswahl und Abgrenzung geeigneter multivariater Methoden	123
5.1.3.1	Generelle Anforderungen an die Modellspezifikation	123
5.1.3.2	Differenzierte Herleitung des Analyseansatzes	125
5.2	Experiment I: Interaktives 3-Spieler-Gefangenendilemma	132
5.2.1	Analyseansatz und Modellüberblick	132
5.2.2	Statistische Analysen zur Überprüfung der Hypothesen	133
5.2.2.1	Spiel-Performance	133
5.2.2.2	Realisierte Koordinationszustände	134
5.2.2.3	Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten	136
5.2.3	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD	138
5.3	Experiment II: Erweitertes 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischenoption .	138
5.3.1	Implikation und Konzeption der Erweiterung	138
5.3.2	Analyseansatz und Modellüberblick	139
5.3.3	Statistische Analysen zur Überprüfung der Hypothesen	140
5.3.3.1	Spiel-Performance	140
5.3.3.2	Realisierte Koordinationszustände	141
5.3.3.3	Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten	143
5.3.4	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD-N	145
5.4	Aggregierte statistische Betrachtung von Experiment I und II	146
5.4.1	Multivariate Überprüfung der Hypothesen im Gesamtmodell	146
5.4.1.1	Spiel-Performance	146
5.4.1.2	Realisierte Koordinationszustände	147
5.4.1.3	Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten	149
5.4.2	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das aggregierte Datenset . .	151
5.4.3	Diskussion des Einflusses des Spiels	152

5.5	Experiment III: Explorative Analyse des Cerasia-Konflikts	153
5.5.1	Übertragung der Reaktions-These auf komplexe Spiele	153
5.5.2	Explorative Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen	154
5.5.3	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für den Cerasia-Konflikt	156
5.6	Integrierte Diskussion und Einordnung der Ergebnisse	156
6	Abschließende Überlegungen und Ausblick	163
6.1	Zusammenfassung und Zielabgleich	163
6.2	Kritische Diskussion und Ausblick	166
A	Appendix	171
A.1	Herleitung: Kooperation im unendlich oft wiederholten Gefangenendilemma	171
A.2	Technische Spezifikation der entwickelten Client-Server Experiment-Plattform	173
A.3	Übersicht der Oberflächen-Visualisierungen nach Spielmechanismus	175
A.4	Graphische Darstellung eines beispielhaften Spielverlaufs (CER)	177
A.5	Handouts für die Experimentteilnehmer	178
A.6	Fragebogen nach Durchführung des Experiments	181
	Literaturverzeichnis	183

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau der Arbeit	8
2.1	Ein Konflikt lässt sich anhand von vier Elementen modellieren	11
2.2	Relative Häufigkeit von kooperativem Verhalten im Gefangenendilemma (Cooper et al. (1996))	14
2.3	Gefangenendilemma in Extensivform mit simultaner (l) bzw. sequenzieller (r) Zugreihenfolge	17
2.4	Extensivform des erweiterten hybriden Stufenspiels in Anlehnung an J. H. Hamilton und Slutsky (1993)	21
2.5	Gefangenendilemma mit endogenisierter Zugreihenfolge in Optionsnotation und GMCR-Form	23
2.6	Klassifizierung vollständiger Information nach Informationsgrad	26
2.7	Mögliche Verläufe der Auszahlungsfunktionen für Follower und Leader im War of Attrition Spiel	31
2.8	Temporale Charakteristik diskreter und stetiger Entscheidungszeitpunkte	32
2.9	Die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur nimmt mit zunehmender Realitätsnähe zu	33
2.10	Dimensionen des Spielmechanismus im Bezug auf die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur	34
3.1	Spieler und Handlungsoptionen im Cerasia-Konflikt	70
3.2	Zustände, Gleichgewichte und spielerindividuelle Payoffs im Cerasia-Konflikt	73
4.1	Client-Server Architektur der Experiment-Plattform inkl. Control-Layer	80
4.2	Oberfläche der Experiment-Plattform (hier: Konfiguration für <i>simultan-wiederholte</i> Spiele im <i>iterativen 3-Spieler Gefangenendilemma</i>)	83
4.3	Oberfläche der Applikation zur <i>Spieladministration, Spielverlaufskontrolle</i> und <i>Datenerhebung</i>	91
4.4	Schrittweiser Ablauf des spieltheoretischen Experiments	94
4.5	Räumliche Positionierung der Teilnehmer im spieltheoretischen Labor	98
5.1	Vereinfachter Ablauf der empirischen Analyse	105

5.2	Nach Bereinigung des Datensatzes um netzwerktechnische, spielerbedingte und datenbankbedingte Fehler verbleiben 147 Spiele zur statistischen Analyse	106
5.3	Intervall-Länge der Datenpunkt-Generierung in Abhängigkeit vom Spielmechanismus	107
5.4	Beispielhafte Visualisierung des Treppenfunktions-Integrals für das 3PPD im <i>real-dynamischen</i> Spielmodus über einen Zeitraum von 60 Sekunden	110
5.5	Beispielhafte Veranschaulichung von 2-gliedrigen Reaktionsketten (2-Tupel) für das 3-Spieler Gefangenendilemma ([C] = kooperieren, [D] = defektieren)	112
5.6	Beispiel einer kombinierten Zustandstransition als alternative Darstellungsform einer 2-gliedrigen Reaktions-Kette	112
5.7	Verteilung der durchschnittlich erreichten Spielpayoffs pro Spiel nach Spielmechanismus	115
5.8	Anteil von Spielausgängen mit durchschnittlich erreichten Payoffs > 45 im Vergleich zwischen den einzelnen Spielmechanismen	117
5.9	Anteilige Verteilung der Zustände nach Spielmechanismus - 3PPD (links), 3PPD-N (rechts)	117
5.10	Beobachteter Anteil von Ketten temporärer Verschlechterungen im Cerasia-Konflikt	122
5.11	Strukturierter Prozess zur Auswahl geeigneter Regressions-Verfahren und Schätzfunktionen	128
A.1	Beispielhafte Darstellung eines Endpunktes des Server-Backends (Django REST) .	173
A.2	Beispielhafte Darstellung eines Client-Frontends (JavaFX)	174
A.3	Oberflächen-Visualisierung des real-dynamischen Spielmechanismus im 3PPD-N .	175
A.4	Oberflächen-Visualisierung des sequenziell-randomisierten Spielmechanismus im 3PPD-N	175
A.5	Oberflächen-Visualisierung des simultan-wiederholten Spielmechanismus im 3PPD-N	176
A.6	Graphische Darstellung eines beispielhaften Spielverlaufs (CER)	177
A.7	Instruktionen für Experiment I: 3PPD (Seite 1)	178
A.8	Instruktionen für Experiment I: 3PPD (Seite 2)	178
A.9	Instruktionen für Experiment II: 3PPD-N (Seite 1)	179
A.10	Instruktionen für Experiment II: 3PPD-N (Seite 2)	179
A.11	Instruktionen für Experiment III: Cerasia (Seite 1)	180
A.12	Instruktionen für Experiment III: Cerasia (Seite 2)	180

Tabellenverzeichnis

2.1	Das 2-Spieler Gefangenendilemma in Normalform	13
2.2	Vorspiel und Basisspiel nach J. H. Hamilton und Slutsky (1993)	20
2.3	Ergebnisse des Experiments von Cooper et al. (in Anlehnung an Cooper et al. (1993, S. 1312))	28
2.4	Reaktive Koordination am Beispiel des 2-Spieler-Gefangenendilemmas	44
3.1	Übersicht der Thesen und Hypothesen	59
3.2	Übersicht der modellierten Spiele für die empirische Untersuchung	62
3.3	Das verallgemeinerte 2-Spieler Gefangenendilemma in Normalform	63
3.4	Payoffmatrix des n-Spieler Gefangenendilemmas in Abhängigkeit der Anzahl der kooperierenden Gegenspieler	64
3.5	Das normierte 3-Spieler Gefangenendilemma (2x2x2-Matrix)	65
3.6	Übertragung des 3PPD auf einen empirisch umsetzbaren Pricing-Kontext (Payoffs für Spieler A)	66
3.7	Partialkonflikt für 3 Spieler mit aktiver Konfliktbeteiligung im 3PPD-N	67
3.8	Partialkonflikt für 2 Spieler mit aktiver Konfliktbeteiligung im 3PPD-N	67
3.9	Das modifizierte 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption aus Sicht von Spieler A	68
3.10	Priorisierung der Handlungsoptionen und Präferenzen im Cerasia-Konflikt	71
4.1	Tabellarische Übersicht der durchgeführten Sessions	100
4.2	Struktur der Teilnehmer-Population auf Basis demographischer Merkmale	103
5.1	Verteilung der erhobenen Datensätze auf die getesteten Spiele und Treatments	107
5.2	Übersicht der erhobenen Messgrößen und abgeleiteten Variablen zur Beantwortung der Hypothesen	109
5.3	Payoff-spezifische Auswertung der Datenbasis unterteilt nach Spiel und Spielmechanismus	116
5.4	Auswertung der anteiligen Realisierung relevanter Fokus-Zustände	118
5.5	Übersicht der anteilig erreichten Reaktionsketten im 3PPD nach Spielmechanismus	120
5.6	Übersicht der anteilig erreichten Reaktionsketten im 3PPD-N nach Spielmechanismus	121
5.7	Deskriptive Auswertung der Verteilung von Folgen temporärer Verschlechterungen (CER)	122

5.8	Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für das 3PPD	132
5.9	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der erreichten \emptyset -Payoffs im 3PPD .	133
5.10	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der realisierten Zustände im 3PPD .	134
5.11	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse koordinativen Reaktionsverhaltens im 3PPD	136
5.12	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD	138
5.13	Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für das 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischenoption (3PPD-N)	139
5.14	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der erreichten \emptyset -Payoffs im 3PPD-N	140
5.15	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der realisierten Zustände im 3PPD-N	141
5.16	Regressionsergebnisse anteilig erreichter [NNN]-Zustände im 3PPD-N	143
5.17	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse koordinativen Reaktionsverhaltens im 3PPD-N	144
5.18	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD-N	145
5.19	Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für den aggregierten Datensatz .	146
5.20	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der erreichten \emptyset -Payoffs (3PPD & 3PPD-N)	147
5.21	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der realisierten Zustände (3PPD & 3PPD-N)	148
5.22	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse des koord. Reaktionsverhaltens (3PPD & 3PPD-N)	150
5.23	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das aggregierte Datenset	151
5.24	Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für den Cerasia-Konflikt	154
5.25	Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse koordinativen Verschlechterungsver- haltens (CER)	155
5.26	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für den Cerasia-Konflikt	156
5.27	Gesamtübersicht der Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung	160

Abkürzungsverzeichnis

<i>3PPD</i>	3-Player Prisoner's Dilemma
<i>3PPD-N</i>	3-Player Prisoner's Dilemma mit Nischen-Option
FüAkBw	Führungsakademie der Bundeswehr
<i>ANOVA</i>	Analysis of Variance
<i>ATPCO</i>	Airline Tariff Publishing Company
<i>CER</i>	Cerasia-Konflikt
<i>GLS</i>	Generalized Least Squares (Verallgemeinerte Kleinste-Quadrate-Schätzung)
<i>GMCR</i>	Graph Model for Conflict Resolution
<i>JSON</i>	JavaScript Object Notation
<i>LGAN</i>	Lehrgang Generalstabsdienst/Admiralstabsdienst National
<i>LOWESS</i>	Locally Weighted Scatterplot Smoothing
<i>ML</i>	Maximum Likelihood
<i>NPPD</i>	n -Player Prisoner's Dilemma
<i>OLS</i>	Ordinary Least Squares (Methode der kleinsten Quadrate)
<i>REST</i>	Representational state transfer
<i>SPSS</i>	Statistical Package for the Social Sciences
<i>VIF</i>	Varianzinflationsfaktor

1 Einleitung

”Action and reaction are equal and opposite, and are expressed simultaneously. Sequentially they are repeated in reverse, the reaction becoming the action and the action the reaction.”

— Walter Russell

1.1 Hintergrund und Motivation

Strategische Konflikte und die Inkompatibilität der Interessen einzelner Akteure sind in der ökonomischen, politischen und individuellen Realität elementare Bestandteile strategischer Entscheidungssituationen. Die wirtschaftstheoretische Modell-Vorstellung des *zeitkonsistenten Homo Oeconomicus*¹ identifiziert in diesem Zusammenhang das Prinzip der Nutzenmaximierung als besten Schätzer für menschliches Verhalten. Gerade bei dynamischen Konflikten konnten empirische Arbeiten jedoch bereits wiederholt nachweisen, dass tatsächlich beobachtetes Verhalten oft signifikant von den modelltheoretischen Vorhersagen abweicht. Die Verhaltensökonomie adressiert diese Differenz zwischen Theorie und Empirie mit dem Modell des *zeitinkonsistenten Homo Oeconomicus*, welcher seine individuellen Präferenzen vom Zeitpunkt der Entscheidung abhängig macht. Je nach Ausprägung dieser Präferenzen kann es auf individueller Ebene daher sinnvoll sein, eine kurzfristige Verschlechterung für eine langfristige Verbesserungen in Kauf zu nehmen oder bewusst darauf zu verzichten.

Ein anschauliches Beispiel für dieses Phänomen lässt sich anhand eines Duopol-Marktes mit quasi-homogenen Gütern ableiten, wobei lediglich die individuelle Preissetzung über den Absatz bestimmt. Unter der Annahme, dass Preisabsprachen kartellrechtlich untersagt sind, haben die Anbieter dennoch die Möglichkeit dem Konkurrenten durch einseitige Erhöhung des Preises die Bereitschaft zur Erhöhung des allgemeinen Preisniveaus zu signalisieren. Dieses Signal ist hierbei, aufgrund des kurzfristigen Wechselverhaltens der Kunden, kostspielig, führt bei einer positiven Antwort des Konkurrenten, durch eine analoge Preiserhöhung, jedoch langfristig für beide Akteure zu einem präferierten Status-Quo.

¹ Der lateinische Term *Homo Oeconomicus* taucht erstmals in Vilfredo Paretos *Manuale d'economia politica* auf und wird seitdem sowohl in der Politik, als auch den Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaften als Synonym für den nutzenmaximierenden Entscheider verwendet (vgl. Pareto, 1906).

Gerade in strategisch-konfliktären Situationen mit eingeschränkten Kommunikationsmöglichkeiten werden konkrete Handlungen gezielt als non-verbale Signale zur gegenseitigen Koordination eingesetzt. Da diese Signale in realen Konflikten, je nach individuellem Ratio und unklaren Präferenzen, unterschiedlich interpretiert bzw. nicht zwangsläufig als Instrumente zur Koordination erkannt werden, stellt sich die Frage nach den Determinanten des koordinativen Erfolgs. In der vorhandenen Literatur werden zur Analyse koordinativer Fragestellungen primär soziale Dilemma, wie beispielsweise das iterative Gefangenendilemma, als stellvertretende Forschungsobjekte herangezogen². Obwohl die Eignung dieser theoretisch-orientierten Modelle im Bezug auf deren tatsächliche Approximation realer Konflikte in der Wissenschaft kontrovers diskutiert wird, erlaubt die vergleichsweise einfache Struktur replizierbare, empirische Studien (vgl. Colman, 1982, S. 116 bzw. 257f.).

Während die grundsätzliche Existenz koordinierender Signale mittels konkreter Handlungen inzwischen, nach übereinstimmender Meinung des Forschungsbereichs, als gesichert angesehen werden kann, ist die Erforschung der Determinanten, welche koordinatives Verhalten in spieltheoretischen Konfliktsituationen begünstigen bzw. erschweren, noch vergleichsweise unerforscht (vgl. Bigoni et al., 2015, S. 588). Besonders der vorherrschende Fokus auf einperiodige Spiele und streng simultane Zugentscheidungen führt zu einer Verkürzung der Dynamik realitätsnaher Konflikte, welche die Analyse wesentlicher Aspekte von koordinativem Verhalten von vorn herein ausschließt. Modernere Arbeiten, wie beispielsweise von Friedman und Oprea (2012) und Bigoni et al. (2015), widmen sich diesem Problem, indem Sie die traditionellen Modellierungsverfahren durch alternative zeitliche Strukturen, variierte Abbruchbedingungen oder einem höheren Grad endogenisierter Entscheidungen im Spielverlauf erweitern und vergleichen. Obwohl hierbei gleichgewichtstheoretische Fragestellungen in den Hintergrund treten müssen, können durch die Analyse empirischer Daten wichtige Informationen im Bezug auf das Entscheidungs-Rational und die Koordinationsbereitschaft der Probanden, in Abhängigkeit der gegebenen Rahmenbedingungen, abgeleitet werden. Der technische Fortschritt im Bereich des computergestützten Experiment-Designs und der Nutzung verteilter Systeme in (annähernd) Echtzeit unterstützt die zunehmende Popularität dieses Forschungsbereichs zusätzlich.

Als verwandtes Forschungsgebiet im Bereich der modernen Spieltheorie ist in diesem Zusammenhang die *Mechanismus-Design-Theorie* zu nennen, welche sich mit der Entwicklung von spezifischen Regeln – und damit auch Anreizen – in spieltheoretischen Szenarien beschäftigt, um ein gewünschtes Gesamtergebnis zu erzielen. Auch wenn die einzelnen Akteure hierbei ausschließlich ihren eigenen Interessen folgen, soll der Spielmechanismus die Dynamik des Spiels

² Als konkrete Beispiele für Arbeiten, welche Fragestellungen im Bezug auf (koordinatives) Entscheidungsverhalten am Beispiel des Gefangenendilemmas untersuchen, seien Andreoni und Miller (1993), Bó (2005), Friedman und Oprea (2012) und Bigoni et al. (2015) genannt.

insofern beeinflussen, dass ein vom Designer angedachtes Ergebnis begünstigt wird³. Nachdem die theoretische Wegbereitung der Theorie im Jahr 2007 mit dem Wirtschaftsnobelpreis an Leonid Hurwicz, Eric Maskin und Roger Myerson (vgl. Hurwicz, 1978; bzw. Myerson & Satterthwaite, 1983) ausgezeichnet wurde, bildete sich zunehmend auch ein empirischer Zweig dieses Forschungsbereichs heraus. Dieser widmet sich hierbei weniger der aktiven Entwicklung effizienter Mechanismen⁴, sondern vielmehr der experimentellen Untersuchung der konkreten Effekte dieser Mechanismen auf das beobachtbare Entscheidungsverhalten.

Als besonders vielversprechender und gleichzeitig in der Literatur bislang wenig untersuchter Forschungsschwerpunkt, kann hierbei die Analyse kontinuierlicher Spielmechanismen identifiziert werden. Der durch Simon und Stinchcombe (1989) erstmals mathematisch-modellbasiert beschriebene Spielmechanismus, zeichnet sich hierbei primär durch die stetigen Struktur der Entscheidungszeitpunkte, sowie den endogene Charakter der Züge und Reaktionen aus. Während sich kontinuierliche Spiele auf theoretischer Ebene aufgrund der vielfältigen Freiheitsgrade in vielerlei Hinsicht nur unzureichend beschreiben lassen, kann eine computergestützte Umgebung zur empirischen Analyse kontinuierlicher Spielmechanismen vergleichsweise einfach realisiert werden. Im Vergleich zu traditionellen Modellierungen in Form von simultanwiederholten Spielen, sowie sequenziell-formulierte Extensivformspielen, scheinen Effekte auf das individuelle Entscheidungsverhalten im Allgemeinen und auf das reaktive Koordinationsverhalten im Speziellen plausibel. Besonders der Unterschied bezüglich der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur innerhalb der einzelnen Spielmechanismen wird als mögliche Determinante für die Begünstigung oder Benachteiligung von koordinativem Verhalten in Betracht gezogen.

Motiviert durch die jüngsten Erfolge auf dem Gebiet der empirischen Erforschung kontinuierlicher Spielmechanismen und deren Auswirkungen auf das Entscheidungsverhalten, sowie der begrenzten Verfügbarkeit empirischer Erkenntnisse im Bezug auf reaktives Koordinationsverhalten, verfolgt diese Arbeit das erklärte Ziel einen wertstiftenden Beitrag zu dieser Fragestellung zu leisten. Durch die interdisziplinären Ausrichtung der Studie zwischen spieltheoretischer Theorie, verhaltensökonomischer Empirie und der Entwicklung computergestützter Experiment-Umgebungen, soll die Forschungsfrage hierbei spezifisch adressiert werden. Der folgende Abschnitt konkretisiert dieses Vorhaben in diesem Zusammenhang nochmals detailliert und geht neben der konkreten Zielsetzung auch näher auf die verwendete Methodik der empirischen Untersuchung ein.

³ In anderen Worten kann ein Spielmechanismus auch als ein mehrdimensionales Regelwerk verstanden werden, um Interaktionen zwischen Spielern zu steuern.

⁴ Ein populäres Beispiel für die Entwicklung spezifischer Mechanismen findet sich im Bereich der Auktionstheorie. Die sogenannte *Vickreyauktion* ist eine Weiterentwicklung traditioneller Auktions-Formate, wobei alle Bieter gleichzeitig verdeckte Gebote abgeben und der Bieter mit dem höchsten Gebot das zu versteigernde Gut zum Preis des zweithöchsten Gebots erhält. Die Variation des Spielmechanismus führt dazu, dass es für jeden Bieter optimal ist seine wahre Zahlungsbereitschaft zu bieten (vgl. Vickrey, 1961).

1.2 Zielsetzung und Methodik

Während die theoretische Aufarbeitung kontinuierlicher Spielmechanismen durch Radner und Rosenthal (1982) und Simon und Stinchcombe (1989) ein weithin akzeptiertes⁵ Konzept zur modelltheoretischen Definition von Spielen in stetiger Zeit liefert, sind die konkreten Effekte, welche durch den Spielmechanismus impliziert werden, nur mithilfe empirischer Untersuchungen verifizierbar. Besonders auf den Gebieten der angewandten Spieltheorie, der Konfliktanalyse, sowie der Verhaltensökonomie stellt sich die Frage, inwiefern sich durch die Variation von Spielmechanismen Verhaltensänderungen in realen Konfliktsituationen prognostizieren lassen. Für die vergleichsweise geringe Anzahl empirischer Studien in diesem Bereich können im Wesentlichen zwei Aspekte verantwortlich gemacht werden. Erstens ist die mathematische Modellierung von Spielmechanismen mit real-dynamischen Elementen äußerst komplex und unterliegt strengen Strukturannahmen. Eine Approximation realer Konflikte ist über ein solches Modell nur sehr bedingt möglich und erfordert eine strenge Kontrolle der vielfältigen Freiheitsgrade (vgl. Simon & Stinchcombe, 1989, S. 1198). Zweitens macht die empirische Untersuchung der Effekte von real-dynamischen Spielmechanismen eine computergestützte Experimentumgebung erforderlich, welche hohen Anforderungen an zeitlicher Synchronität und die Unterstützung von $n > 2$ Spielern erfordert. Friedman und Oprea (2012) bzw. Bigoni et al. (2015) implementieren zwar bereits empirisch analysierbare Umgebungen für kontinuierliche Spiele mit zwei Akteuren, merken allerdings an, dass eine Erweiterung der technischen Basis, sowie weitere empirische und theoretische Arbeiten auf diesem Gebiet wünschenswert sind.

Als Reaktion auf die aufgezeigte Forschungslücke, soll im Zuge der vorliegenden Arbeit der konkrete Einfluss der Spielmechanismen auf das Koordinationsverhalten im Allgemeinen und das Kooperationsverhalten im Speziellen untersucht werden. Als Ausgangspunkt der Untersuchung sollen zunächst spiel- und konfliktanalytische Spielmechanismen in der Literatur identifiziert und eine umfassende Übersicht klassischer und moderner Modellierungen erstellt werden. Auf dieser Grundlage werden wiederum drei charakteristische Spielmechanismen abgeleitet, welche jeweils eine bestimmte und abgrenzbare Reichhaltigkeit der korrespondierenden Informationsstruktur abbilden. Während sich die Kernelemente des *simultan-wiederholten* und *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus aus traditionellen Stufenspielen bzw. Spielen in Extensivform ableiten, ist der *real-dynamische* Spielmechanismus als Approximation an reale Konflikt-Bedingungen zu verstehen. Hierzu gehört neben dem kontinuierlichen Charakter und der stetigen Struktur der Entscheidungszeitpunkte primär der endogene Charakter der Züge und Reaktionen.

⁵ Während sich praktisch alle Studien in diesem Bereich auf das Modell von Simon und Stinchcombe (1989) beziehen, erachten manche Autoren die theoretische Erarbeitung von Konzepten von kontinuierlichen Spielmechanismen als noch nicht abgeschlossen Bigoni et al. (2015, S. 588).

Es wird weiterhin angenommen, dass eine unterschiedliche Gestaltung der Zugentscheidungen und der temporale Kontext, in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, wesentlich zur Reichhaltigkeit der Informationsstruktur des Spiels beiträgt und folglich eine messbare Verhaltensänderung bei den, am Spiel beteiligten, Akteuren induziert. Hierbei steht, neben der Untersuchung der erreichten Spielperformance und der Realisierung definierter Zustände, primär die vergleichende Analyse des koordinativen Reaktionsverhaltens im Fokus. Konkret sollen diese Aspekte zunächst empirisch anhand einer Implementierung des 3-Spieler-Gefangenendilemmas untersucht werden, welches in einem zweiten Schritt um eine zusätzliche Nischenoption für die Akteure erweitert wird. Ziel ist hierbei die beobachteten Effekte für verschiedene real-inspirierte Konfliktsituationen zu überprüfen und vergleichend zu analysieren. Diese Vorgehensweise knüpft zum einen an vorangegangene Arbeiten wie Friedman und Oprea (2012) an, erweitert jedoch gleichzeitig den betrachteten Zustandsraum und ermöglicht durch den zusätzlichen, dritten Spieler erweiterte Untersuchungen im Bereich der Koordination. Abgerundet wird die Arbeit durch die explorative Untersuchung des offiziellen NATO-Szenarios „East Cerasia“, welches unter anderem an der Führungsakademie der Bundeswehr in der Generalstabsausbildung als Konfliktmodell eingesetzt wird.

Bedingt durch den empirischen Charakter der Arbeit, wird zur Beantwortung der Forschungsfrage eine umfassende computergestützte Experimentplattform entwickelt, welche die drei Spielmechanismen für verschiedene Spiele und Konfliktszenarien empirisch untersuchbar macht. Die auf der Server-Client-Architektur basierende Applikation mit zugehörigem Kontrollzentrum erlaubt hierbei die Datenerhebung bei bis zu fünf parallel stattfindenden Experimenten mit variabel parametrisierbaren Experimentumgebungen. Das Design der einzelnen Experimente ist gemäß eines „Repeated-Measures-Schemas“ mit multiplen Treatments strukturiert, wobei alle drei Spielmechanismen in gleichbleibenden Gruppen, aber wechselnden Reihenfolgen getestet werden. Lern-⁶ und weitere Stör-Effekte werden bei der konsekutiven Auswertung der Daten entsprechend adressiert.

Im Hinblick auf die externe Validität der Ergebnisse sollen insgesamt drei Experimente mit identischer Methodik⁷, jedoch unterschiedlichen Spielen durchgeführt werden. Zudem werden die Daten der ersten beiden Experimente zusätzlich aggregiert betrachtet, um mögliche Effekte der Spiele und der verwendeten Payoffstrukturen zu adressieren. Primäres Ziel ist hierbei die umfassende Analyse aller primären und begleitenden Effekte im Sinne einer umfassenden Beantwortung der Forschungsfrage.

⁶ Obwohl Lerneffekte bei Repeated-Measures-Designs besonders häufig zu beobachten sind, konnten über die gesamte Studie hinweg nur sehr vereinzelt Lerneffekte nachgewiesen werden. Dennoch wurde in allen durchgeführten Regressionen auf Lerneffekte kontrolliert.

⁷ Alle getesteten Spiele wurden unter Anwendung der drei zentralen Spielmechanismen experimentell untersucht und nutzten hierbei die identische Experiment-Plattform.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nachdem in **Kapitel 1** Motivation, Zielsetzung und Methodik dargelegt wurden, widmet sich **Kapitel 2** den theoretischen Grundlagen der angesprochenen Forschungsfelder und fasst den aktuellen Stand der Forschung im Sinne dieser Arbeit zusammen. In einem ersten Schritt wird hierbei die strategische Konfliktanalyse als zentrales Forschungsgebiet definiert und in den spieltheoretischen Kontext gesetzt (Abschnitt 2.1). Hierbei wird der Schwerpunkt auf die Definition und Herleitung von traditionellen und modernen Modellierungsansätzen gelegt, welche im nachfolgenden Kapitel bezüglich der Reichhaltigkeit der jeweils charakterisierenden Informationsstruktur diskutiert und klassifiziert werden (Abschnitt 2.2). Darauf aufbauend werden drei konkrete und klar abgrenzbare Spielmechanismen abgeleitet und anhand von sechs Dimensionen für die weitere Analyse parametrisiert (Abschnitt 2.3). Darüber hinaus wird im nachfolgenden Abschnitt der Einfluss von Spielmechanismen auf das Entscheidungsverhalten im Allgemeinen und das reaktive Koordinationsverhalten im Speziellen anhand der vorhandenen Literatur analysiert und Forschungslücken aufgezeigt. (Abschnitt 2.4). Eine Synthese der einzelnen Forschungsfelder, Theorien und Methoden und die Ableitung der konkreten Forschungsfrage (Abschnitt 2.5), runden das zweite Kapitel ab.

Kapitel 3 konkretisiert und strukturiert die Forschungsfrage im Bezug auf die zu analysierenden Spielmechanismen und Koordinationsaspekte und erläutert den hypothetisch-deduktiven Ansatz der Arbeit (Abschnitt 3.1). Auf dieser Grundlage wird ein System aus insgesamt vier übergeordneten Thesen und korrespondierenden Sub-Hypothesen abgeleitet, welche jeweils einen Teilaspekt im Bezug auf die Forschungsfrage adressieren (Abschnitt 3.2). Neben einer einführenden Analyse der quantifizierbaren *Spielperformance* in Abhängigkeit des betrachteten Spielmechanismus, werden mit zunehmender Präzision realisierte *Koordinationszustände*, reaktives *Koordinationsverhalten*, sowie temporäre *Verschlechterungen* in überprüfbare Hypothesen überführt. Weiterhin werden in diesem Zusammenhang drei konkrete Spiele bzw. Konfliktszenarien abgeleitet, an welchen sich die erarbeiteten Annahmen experimentell überprüfen lassen (Abschnitt 3.3). Konkret kommt hierbei eine Implementierung des 3-Spieler-Gefangenendilemmas zum Einsatz, welches in einem zweiten Schritt um eine zusätzliche Nischenoption für die Akteure erweitert wird. Die Analyse des offiziellen NATO-Trainings-Konflikts „East-Cerasia“ ergänzt die primäre Analyse um weitere, explorative Ansätze.

Kapitel 4 widmet sich der Konzeption der empirischen Untersuchung, sowie dem grundlegenden Experiment-Design und legt dabei einen besonderen Fokus auf die Entwicklung einer computergestützten Experiment-Umgebung. Neben der Ausgestaltung der verwendeten Modellökonomie (Abschnitt 4.1), wird daher zunächst die technische Realisierung der Experimentplattform mittels einer interaktiven Server-Client Applikation beschrieben (Abschnitt 4.2). Aufgrund der hohen Relevanz der Client-Oberfläche, in Abhängigkeit vom jeweils getesteten

Spielmechanismus, wird diesem Aspekt der Oberflächen-Visualisierung zudem ein separater Abschnitt gewidmet (Abschnitt 4.3). Darauf aufbauend kann im Folgenden die systematische Datenerhebung mithilfe von drei Experimenten beschrieben werden. Zudem wird auf das Design der einzelnen Sessions innerhalb dieser Experimente eingegangen (Abschnitt 4.4). Die operative Durchführung der Studie, inklusive Experimentablauf und Teilnehmerauswahl, bildet den Schlusspunkt dieses Kapitels (Abschnitt 4.5).

Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Auswertung der erhobenen Datenbasis, der Überprüfung der Hypothesen, sowie der konsekutiven Beantwortung der Forschungsfrage. Als erster Schritt werden hierbei die Datensätze aller Experimente deskriptiv untersucht, um erste Hinweise im Bezug auf die Forschungsfrage zu extrahieren (Abschnitt 5.1). Darauf folgend werden Experiment I (Abschnitt 5.2) und Experiment II (Abschnitt 5.3) zunächst individuell statistisch ausgewertet und danach in einer separaten Analyse, unter Einbeziehung des aggregierten Datensatzes, überprüft⁸ (Abschnitt 5.4). Die Auswertung und erweiterte Hypothesenüberprüfung anhand des Cerasia-Konflikts erfolgt in Experiment III (Abschnitt 5.5). Zuletzt werden die Ergebnisse der gesamten Experimentreihe aus einer übergreifenden Perspektive integriert diskutiert (Abschnitt 5.6).

Kapitel 6 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit abschließend zusammen und geht hierbei insbesondere auf zentrale Erkenntnisse, im Bezug auf die initial gestellte Forschungsfrage, ein (Abschnitt 6.1). Diese werden zudem kritisch diskutiert und in den Gesamtzusammenhang des Forschungsgebiets eingliedert (Abschnitt 6.2). Ein kritischer Blick auf die Zukunft des Forschungsbereichs, sowie die Diskussion vielversprechender Anknüpfungspunkte runden das finale Kapitel ab.

Der Aufbau dieser Arbeit ist in Abbildung 1.1 nochmals zusammenfassend in graphischer Form dargestellt.

⁸ Neben der reinen statistischen Auswertung, werden mithilfe der einzelnen Regressionen auch die korrespondierenden Hypothesen überprüft und im Bezug auf das jeweils untersuchte Spiel diskutiert. Eine integrierte und spielübergreifende Diskussion der Ergebnisse und Hypothesen folgt am Ende des Kapitels in Abschnitt 5.6.

1 Einleitung		
1.1 Motivation	1.2 Zielsetzung & Methodik	1.3 Aufbau der Arbeit
2 Theoretische Grundlagen & Stand der Forschung		
2.1 Strategische Konfliktanalyse	2.2 Reichhaltigkeit der Informationsstruktur	2.3 Abgrenzung von Spielmechanismen
2.4 Einfluss der Spielmechanismen auf das Koordinationsverhalten	2.5 Synthese der Forschungsfelder und Ableitung der Forschungsfrage	
3 Herleitung der Hypothesen & Spielauswahl		
3.1 Koordination als primäres Forschungsziel	3.2 Ableitung von Hypothesen	3.3 Entwicklung geeigneter Spiele
4 Konzeption der experimentellen Untersuchung		
4.1 Experimentelles Design	4.2 Technische Realisierung der Plattform	4.3 Konfiguration der Spielmechanismen
4.4 Systematische Datenerhebung	4.5 Operative Durchführung der Sessions	
5 Auswertung & Diskussion der experimentellen Untersuchung		
5.1 Deskriptive Voranalysen	5.2 Experiment I: 3PPD	5.3 Experiment II: 3PPD-N
5.4 Agg. Betrachtung: Exp.1 & Exp.2	5.5 Experiment III: CERASIA	5.6 Integrierte Diskussion
6 Abschließende Überlegungen & Ausblick		
6.1 Zusammenfassung & Zielabgleich	6.2 Kritische Diskussion & Ausblick	

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit

2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung

2.1 Strategische Konfliktanalyse als Teilgebiet der Spieltheorie

Die Spieltheorie als eigenständiger Forschungszweig beschäftigt sich in ihrem Kern mit der Modellierung und Analyse von Entscheidungssituationen, in welchen mehrere Akteure miteinander interagieren (vgl. Neumann & Morgenstern, 1944). Während die vergleichsweise junge Wissenschaft originär als ein Teilgebiet der Mathematik entstanden ist, werden spieltheoretische Untersuchungen heute überall dort eingesetzt, wo Konkurrenz von Individuen um knappe Ressourcen besteht. Das übergeordnete Ziel der klassischen Spieltheorie ist hierbei, beobachtetes Verhalten zu erklären oder effizientere Strategien zu entwickeln (vgl. Camerer, 2011, S. 5). Das Forschungsgebiet hat sich in diesem Zusammenhang längst von rein mathematischen Theorien gelöst und beschäftigt sich neben ökonomischen, sozialwissenschaftlichen und psychologischen Fragestellungen auch mit Phänomenen der evolutionären Biologie¹ und statistischen Physik.

Im Bereich der mathematischen Wirtschaftswissenschaften sorgten Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts die Arbeiten von John Nash (vgl. Nash, 1951; bzw. Nash, 1953) und die Veröffentlichung des, nach ihm benannten, Nash-Theorems für eine größere öffentliche Bekanntheit der Disziplin und legten den Grundstein für zahlreiche wissenschaftliche Folge-Publikationen, von welchen zahlreiche mit dem Wirtschaftsnobelpreis² ausgezeichnet wurden. Auf der obersten Abstraktionsebene lässt sich die ökonomische Spieltheorie in die Teilbereiche der *nicht-kooperativen* und der *kooperativen* Spieltheorie einteilen, wobei die vorliegende Arbeit dem Bereich der *nicht-kooperativen* Spieltheorie zuzuordnen ist und sich deshalb primär auf die Einführung dieses Forschungsgebiets konzentriert³.

Die klassische, theoretisch motivierte, nicht-kooperative Spieltheorie zeichnet sich zum einen dadurch aus, dass den betrachteten Akteuren zum einen „rationales“ Verhalten und Nutzen-

¹ Siehe hierzu beispielsweise die Arbeit von Maynard Smith (1972) zu evolutionär stabilen Strategien.

² Zum Zeitpunkt dieser Arbeit wurde der Wirtschaftsnobelpreis insgesamt acht mal an Arbeiten vergeben, welche in direktem Zusammenhang mit Fortschritten auf dem Gebiet der Spieltheorie stehen (vgl. Sanderson & Siegfried, 2019).

³ In der kooperativen Spieltheorie sind die partizipierenden Spieler in der Lage Lösungskonzepte für ein festgelegtes Problem auf der Grundlage von Koalitionsfunktionen zu diskutieren und nach einer Einigung für alle Parteien bindend zu vereinbaren. Zu den bekanntesten Konzepten in diesem Bereich gehören die Pareto-Effizienz, sowie der Shapley-Wert (vgl. K. J. Arrow & Kuhn, 1971, S. 307–317).

maximierung im Sinne des *Homo Oeconomicus* unterstellt wird, und zum anderen Erwartungen, bzgl. des Verhaltens anderer Spieler, mit in die individuelle Entscheidungsfindung integriert werden (vgl. Osborne & Rubinstein, 1994, S. 1–2). Entgegen der Bezeichnung „nicht-kooperativ“, ist Kooperation zwischen den Spielern hierbei jedoch keinesfalls ausgeschlossen, sondern kann sich, je nach untersuchtem Spiel, durchaus als individuell nutzenmaximierende Strategie erweisen. Gerade im Bereich der angewandten Spieltheorie, welche starke Bezüge zu Themen der Verhaltensökonomie und Psychologie aufweist, greifen die vereinfachenden Verhaltensannahmen des *Homo Oeconomicus* jedoch häufig zu kurz und bilden die Realität nur unzureichend bzw. verzerrt ab (vgl. Bonau, 2017, S. 7).

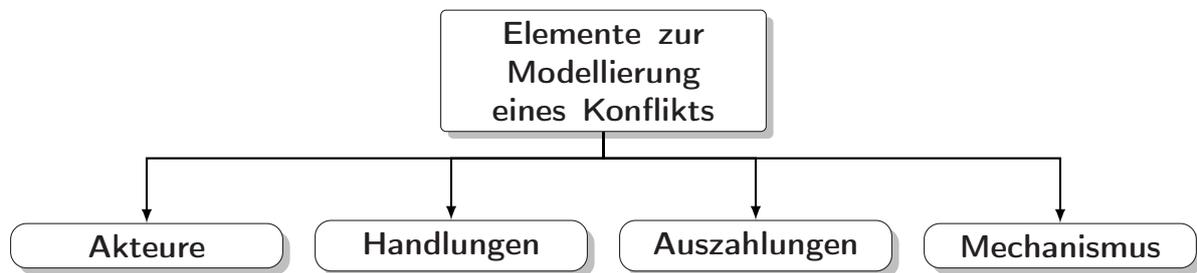
Seit Beginn der 1980er Jahre hat sich aus diesem Grund ein empirisch orientierter Forschungszweig ausgebildet, welcher die postulierten Theoreme, Ansätze und Konzepte der theoretischen Spieltheorie experimentell überprüft und um interdisziplinäre Erkenntnisse erweitert. Auch der Bereich der strategischen Konfliktanalyse lässt sich diesem Gebiet zuordnen und vereint mathematische Lösungskonzepte, verhaltenswissenschaftliche Erkenntnisse, sowie realitätsnahe Konfliktmodellierung zu einer anwendungsorientierten Wissenschaft (vgl. Fraser & Hipel, 1979; bzw. He et al., 2017). Die strategische Konfliktanalyse begegnet somit der Kritik von Colman (1982), welcher die grundsätzliche Eignung klassischer spieltheoretischer Modelle zur Approximation realer Konflikte in Frage stellt⁴. Gleichzeitig können, durch spezifische Modellierung von Konflikten und computergestütztes, empirisches Design, experimentelle Studien durchgeführt werden, welche die Analyse von Spielerverhalten im Allgemeinen und Koordinations-effekten im Speziellen ermöglichen. Der folgende Abschnitt beschäftigt sich daher zunächst mit der Abgrenzung des Konfliktbegriffs im Sinne dieser Arbeit und widmet sich danach der Einordnung verschiedener Modellierungsansätze für nicht-kooperative, dynamische Spiele.

2.1.1 Abgrenzung des Konflikt-Begriffs

Der Begriff „Konflikt“ wird im wissenschaftlichen Sprachgebrauch in vielfältiger Weise verwendet und bedarf deshalb einer präzisen Definition im spieltheoretischen Sinne. Während die offizielle, deutsche Definition des Duden einen Konflikt als „[...] *durch das Aufeinanderprallen widerstreitender Auffassungen, Interessen o. Ä. entstandene schwierige Situation, die zum Zerwürfnis führen kann.* [...]“, beschreibt, kann ein Konflikt im Sinne dieser Arbeit als interaktionsgetriebener Wettstreit von Individuen um begrenzte Ressourcen verstanden werden. Dieser Wettstreit kann hierbei anhand vier übergeordneten Elementen modelliert werden: Einer festen Menge von **Akteuren** $n \geq 2$, einer korrespondierenden Menge von **Handlungen** $h \geq 2$ für jeden

⁴ Colman legt seine Kritik an dieser Stelle beispielhaft anhand des Gefangenendilemmas dar, welches gerade bei einmaliger Wiederholung, simultaner Zugauswahl und unter Berücksichtigung von lediglich zwei Akteuren nicht als allgemeingültige Approximation für reale Konflikte aufgefasst werden sollte (vgl. Colman, 1982, S. 116 bzw. 257f.).

Akteur, einer wohldefinierten und spielerindividuellen **Auszahlung**⁵ für jede Kombination von Handlungsoptionen, sowie einem Set von allgemeingültigen Spielregeln, welches im Folgenden als **Spielmechanismus** bezeichnet wird (vgl. Narahari, 2014, S. 205ff.).



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2.1: Ein Konflikt lässt sich anhand von vier Elementen modellieren

Der Begriff des Spielmechanismus erlangte in jüngster Zeit erhöhte Aufmerksamkeit in der Wissenschaft, da die Spieltheoretiker Leonid Hurwicz, Eric S. Maskin und Roger B. Myerson für ihre Fortschritte im Bereich des „*Game-Mechanism-Design*“, mit dem Wirtschaftsnobelpreis 2007 ausgezeichnet wurden (vgl. Myerson & Satterthwaite, 1983; bzw. Hurwicz, 1978). Während diese Arbeiten das Ziel verfolgten, konkrete und effiziente Mechanismen für wirtschaftliche Handlungsvorgänge zu entwickeln, existiert auch ein empirischer Zweig dieser Disziplin, welcher sich mit der experimentellen Untersuchung der Auswirkungen veränderter Spielmechanismen auf das Entscheidungsverhalten beschäftigt (vgl. Healy, 2006). So untersuchen Friedman und Oprea (2012) in diesem Zusammenhang exemplarisch Variationen im Entscheidungsverhalten von Akteuren im klassischen, wiederholten Gefangenendilemma, in Abhängigkeit der Frequenz möglicher Zugentscheidungen. An dieser Stelle knüpft die vorliegende Arbeit an. Da der Begriff „Spielmechanismus“ im Sinne dieser Arbeit jedoch zahlreiche verschiedene Aspekte enthält, wird der Begriff im Folgenden zunächst aus modellierungstheoretischer Sicht betrachtet und auf die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur zurückgeführt. Sowohl die unterschiedliche Gestaltung der Zugentscheidungen als auch der temporale Kontext, in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, werden hierbei gesondert hervorgehoben und im Bezug auf die Formulierung konkreter Spielmechanismen berücksichtigt. Das Ziel relevante Aspekte für realitätsnahe Spielmechanismen zu identifizieren, bleibt bestehen.

2.1.2 Modellierungsansätze für nicht-kooperative, dynamische Spiele

Die Modellierung von Spielen im Allgemeinen und Konflikten im Speziellen ist in der Spieltheorie seit jeher elementarer Bestandteil des wissenschaftlichen Diskurses. Während einige

⁵ Im Folgenden auch im Einklang mit der wissenschaftlichen Literatur als „Payoff“ bezeichnet.

Aspekte der Modellierung lediglich die visuelle Darstellung eines Konflikts betreffen, haben andere Aspekte konkrete Auswirkungen auf den zugrunde liegenden Spielmechanismus. Der folgende Abschnitt geht aus diesem Grund zunächst detailliert auf die klassischen Modellierungsansätze der Spieltheorie ein und beleuchtet deren spezifische Charakteristika und Limitationen, im Bezug auf ihre Eignung zur Abbildung dynamischer Spiele und realer Konflikte. Darauf aufbauend wird eine Auswahl hybrider Modelle und alternativer Ansätze betrachtet, welche diese Limitationen dezidiert adressieren. Übergreifendes Ziel ist es hierbei stets, sich den verschiedenen Aspekten des Begriffs „Spielmechanismus“ strukturiert anzunähern, relevante Stellschrauben zu identifizieren und im Bezug auf die Eignung zur realitätsnahen Modellierung von Konflikten zu bewerten.

2.1.2.1 (Wiederholte) Spiele in Normalform

Die Normalform stellt die elementarste Form der Spiel- bzw. Konfliktmodellierung dar und benötigt in ihrer einfachsten Konfiguration - dem sogenannten „One-Shot-Spiel“ - lediglich Informationen zu Akteuren, Strategien und korrespondierenden Auszahlungen, um ein spieltheoretisches Szenario abzubilden. Da in diesem Spezialfall jeder Spieler laut Definition genau einmal und simultan zu den anderen Spielern eine Strategie wählt und das Spiel danach endet, ist eine differenzierte Charakterisierung des Spielmechanismus an dieser Stelle trivial. Da die Auszahlungen für jede mögliche Strategiekombination allen Spielern bereits a-priori bekannt sind, besteht die Herausforderung, gemäß den Annahmen der nicht-kooperativen Spieltheorie, darin, gegnerische Züge zu antizipieren und in die eigene Strategiewahl nutzenmaximierend miteinzubeziehen (vgl. Fudenberg & Tirole, 1991, S. 4ff.).

Das populärste Beispiel für ein **einperiodiges Spiel in Normalform** ist hierbei das Gefangenendilemma (eng. Prisoner's Dilemma), dessen philosophische Aspekte bereits 1651 von Thomas Hobbes in seinem Hauptwerk „Leviathan“ untersucht wurden⁶ (vgl. Hobbes, 1651). Die erste systematische, spieltheoretische Auseinandersetzung mit dem Dilemma erfolgte durch Merrill M. Flood und Melvin Dresher in den 1950er Jahren im Zuge der strategischen Aufarbeitung des zweiten Weltkriegs (vgl. Poundstone, 1993). Die konkrete Bezeichnung des Gefangenendilemmas geht jedoch auf Albert William Tucker zurück, welcher das ursprünglich rein mathematische Modell durch ein konkretes, soziologisches⁷ Szenario auch der Allgemeinheit zugänglich machte (vgl. Tucker & Straffin Jr., 1983, S. 229ff.). Bei seinem Modell werden zwei Gefangene verdächtigt gemeinsam eine Straftat begangen zu haben. Da jedoch keine konkreten Beweise vorliegen, werden die beiden Untersuchungshäftlinge in getrennten Zellen verhört. Hier wer-

⁶ Hobbes leite in seiner Arbeit, anhand eines abstrahierten Gefangenendilemmas, die Notwendigkeit eines starken Staates ab, welcher die Macht besitzt, getroffene Abmachungen ex-post durchzusetzen.

⁷ Gerade aufgrund seiner Eigenschaft, mit vergleichsweise geringem Modellierungsaufwand ein nicht-triviales und greifbares Entscheidungsproblem abzubilden, gilt das Gefangenendilemma als ein Klassiker der Spieltheorie und ist Ausgangspunkt vieler empirischer Studien. Da beide Spieler darüber hinaus über identische Handlungsoptionen verfügen, ist das Spiel symmetrisch und erfüllt damit die Voraussetzung eines „fairen“ Spiels.

den diese jeweils vor die Wahl gestellt, den anderen Gefangenen zu verraten (wird auch als Defektion bezeichnet) oder die Tat zu leugnen (wird auch als Kooperation bezeichnet). Eine Kommunikationsmöglichkeit zwischen den beiden Verdächtigen besteht nicht. Entscheiden sich beide Gefangenen die Tat zu leugnen, so werden beide zu lediglich einem Jahr Haft verurteilt. Bei gegenseitigem Verrat, müssen beide Häftlinge für jeweils zwei Jahre in Haft. Da die beiden Gefangenen jedoch nicht kommunizieren dürfen ist es auch möglich, dass ein Häftling gesteht und der andere leugnet. In diesem Fall wird der verratende Häftling durch die Kronzeugenregelung freigesprochen, der schweigende Gefangenen muss jedoch die Höchststrafe von drei Jahren antreten. Das eindeutige und einzige Nash-Gleichgewicht des Spiels liegt folglich auf dem Zustand bilateraler Defektion, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass sich keiner der Akteure durch eine einseitige Abweichung aus diesem Gleichgewichtszustand verbessern kann (vgl. Holt & Roth, 2004, S. 3999). Das namensgebende Dilemma besteht darin, dass sich beide Spieler durch bilaterale Kooperation eigentlich besser stellen könnten, dies allerdings die Gefahr des Verrats durch den anderen Spieler beinhaltet. Bildet man die beschriebene Auszahlungsmatrix gemäß der Normalform-Darstellung ab, so ergibt sich folgende Bimatrix (2x2):

Tabelle 2.1: Das 2-Spieler Gefangenendilemma in Normalform

		Spieler B	
		<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>
Spieler A	<i>kooperieren</i>	-1, -1	-3, 0
	<i>defektieren</i>	0, -3	-2, -2

Da Konflikte im Sinne dieser Arbeit den dynamischen Spielen zugerechnet werden, welche sich von soeben beschriebenen, statischen Spielen durch eine klar definierte zeitliche Struktur der Entscheidungen unterscheiden, wird im Folgenden auf **wiederholte Spiele bzw. Stufenspiele** eingegangen. Hierbei handelt es sich per Definition um einen Spezialfall dynamischer Spiele, bei welchen wiederholte Interaktionen zwischen Akteuren modelliert werden können. Sei G hierbei ein beliebiges endliches Spiel in Normalform. Dann ist G^T ein wiederholtes Spiel, wobei das Stufenspiel G T -mal in unmittelbarer Folge hintereinander gespielt wird. Hierbei kann zwischen endlich wiederholten und unendlich wiederholten Spielen $T \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$ unterschieden werden⁸. Zudem wird, ohne genauere Spezifizierung innerhalb des Spielmechanismus, angenommen, dass alle Akteure zu jedem Zeitpunkt die gesamte Historie des Spiels kennen.

Endlich oft wiederholte Spiele

Aufgrund ihrer zusätzlichen Eigenschaften im Bezug auf Gleichgewichte und Reputationsef-

⁸Dynamische Spiele mit variablen und exogen veränderlichen Zustandsvarianten wie Ressourcen-Extrahierungsspiele, Investitionsspiele und Oligopolspiele mit Nachfragerträgeit werden nicht der Klasse der wiederholten Spiele zugerechnet, sondern als *stochastische Spiele* bezeichnet (vgl. Shapley, 1953, S. 1095).

fekte, gehören endlich wiederholte Spiele sowohl in der Theorie, als auch in der empirischen Forschung, zu den am häufigsten untersuchten dynamischen Spielen. Die theoretisch fundierte Spieltheorie beschäftigt sich in diesem Zusammenhang primär mit gleichgewichtstheoretischen Fragestellungen und überträgt das Konzept des Nash-Gleichgewichts mithilfe des Konzepts der Teilspielperfektheit auf wiederholte Spiele. Für ein wiederholtes Spiel, welches den oben beschriebenen Kriterien genügt, gilt daher folgender Satz (vgl. Gibbons, 1992, S. 85):

Satz 1 *Wenn das Stufenspiel G ein eindeutiges Nash-Gleichgewicht hat, dann hat das endlich oft wiederholte Spiel G^T , $T < \infty$, ein eindeutiges teilspielperfektes Gleichgewicht, nämlich die T -fache Wiederholung des Nash-Gleichgewichts unabhängig von der Geschichte des Spiels.*

Übertragen auf das Beispiel des wiederholten Gefangenendilemmas hat, nach der theoretischen Auffassung, das Ergebnis der ersten Stufe des Spiels keinen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten in der zweiten Stufe des Spiels, da alle Akteure entsprechend der Annahmen des *homo Oeconomicus* handeln. Da sich das Nash-Gleichgewicht über die einzelnen Iterationen des Spiels hinweg nicht verändert, wird davon ausgegangen, dass in jeder Runde bilateral defektiert wird (teilspielperfektes Gleichgewicht⁹). In der empirischen Forschung konnte jedoch bereits wiederholt gezeigt werden, dass menschliche Akteure in wiederholten Spielen im Spielverlauf zur bilateralen Kooperationslösung tendieren, welche für beide Spieler eine höhere Auszahlung zur Folge hat (vgl. Axelrod & Hamilton, 1981, S. 1391). Selbst im einperiodigen Gefangenendilemma haben empirische Untersuchungen eine durchschnittliche Kooperationsquote von ca. 22% ermitteln können, was dem theoretisch vorhergesagten Entscheidungsrational diametral widerspricht (vgl. Vogt, 2001; bzw. Andreoni & Miller, 1993).

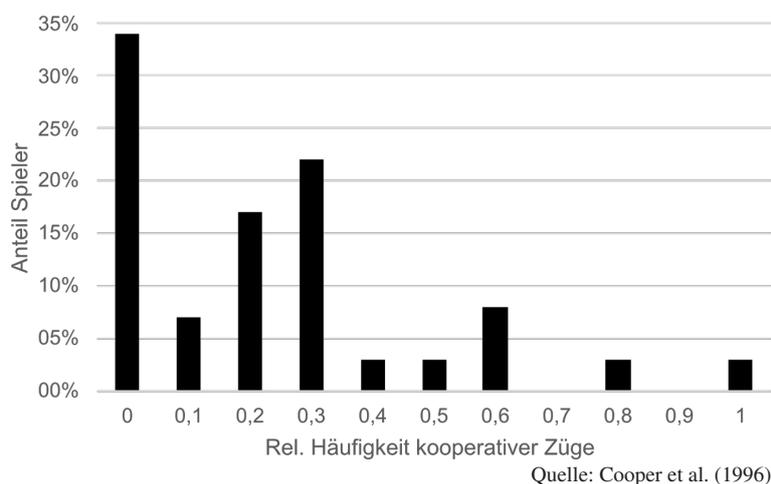


Abbildung 2.2: Relative Häufigkeit von kooperativem Verhalten im Gefangenendilemma (Cooper et al. (1996))

⁹ Teilspielperfektheit kann an dieser Stelle über das Verfahren der sogenannten Rückwärtsinduktion gezeigt werden. Für eine tiefere Erklärung dieses Verfahrens sei auf den folgenden Abschnitt zum Thema Extensivformspiele verwiesen.

Cooper et al. (1996) bestätigen diese Beobachtung und zeigen zudem, anhand eines von Townsend (1980) inspirierten *Turnpike*-Modells, die relative Häufigkeit von Kooperationszügen bei wiederholten Durchläufen des Gefangenendilemmas mit wechselnden Partnern auf (vgl. Abbildung 2.2). Ungefähr ein Drittel (34%) der Spieler lassen sich hierbei als strikte Defektoren beschreiben, wohingegen 3% der Spieler immer kooperieren. Die restlichen 63% der Spieler spielen andere Strategien, wobei der Großteil dieser Spieler eine Kooperationsquote zwischen 10% und 30% aufweist.

Bei der folgenden Untersuchung eines 10-stufigen, wiederholten Gefangenendilemmas mit gleichbleibendem Partner konnten Cooper et al. (1996) für die ersten acht Perioden des Spiels durchschnittliche Kooperationsquoten von deutlich über 50% beobachten. Spieler agieren unter diesem Spielmechanismus demnach strategisch und versuchen über Kooperationsangebote Reputation und Vertrauen beim Mitspieler aufzubauen, um den präferierten Zustand der bilateralen Kooperation zu realisieren. In den letzten beiden Perioden konnte zudem ein signifikanter Rückgang der Kooperationsquote auf unter 20% beobachtet werden, was auf den sogenannten „Endspieleeffekt“ zurückzuführen ist (vgl. Cooper et al., 1996, S. 205). Endspieleeffekte treten immer dann auf, wenn das Spielende bekannt ist und keine Sanktionen, aufgrund von abweichendem Verhalten in der letzten Periode, zu erwarten sind¹⁰.

Unendlich oft wiederholte Spiele

Zahlreiche Experimente haben gezeigt, dass Endspieleeffekte in den letzten Perioden endlich wiederholter Spiele eine entscheidende Rolle spielen, in der ersten Perioden allerdings von untergeordneter Bedeutung sind (vgl. Axelrod & Hamilton, 1981, S. 1392; bzw. Cooper et al., 1996, S. 205). Aus empirischer Sicht werden die ersten Perioden eines wiederholten Spiels folglich besser durch ein unendlich oft wiederholtes Spiel approximiert, in welchem Endspieleeffekte per Definition keine Rolle spielen. Hierbei wird zunächst angenommen, dass die Spieler ihre Auszahlung mit dem Faktor δ diskontieren, wobei $0 \leq \delta \leq 1$ gilt. Dieser Diskontierungsfaktor kann alternativ auch als Fortsetzungswahrscheinlichkeit interpretiert werden, falls die Spieler nicht wissen, ob das Spiel in der nächsten Runde fortgeführt wird oder nicht. Ein (theoretisch) unendlich oft wiederholtes Stufenspiel mit Diskontierungsfaktor δ wird im Folgenden als $G^\infty(\delta)$ bezeichnet. Die Auszahlungsfunktion eines jeden Spielers i in $G^\infty(\delta)$ ist gegeben durch¹¹:

$$v_i = \sum_{t=1}^{\infty} \delta^{t-1} u_i(a_i^t, a_j^t) \quad (2.1)$$

¹⁰ Da dieser Endspieleeffekt theoretisch mittels Rückwärtsinduktion beginnend von der letzten Periode schrittweise auf alle vorangegangenen Stufen des Spiels übertragen werden kann, ist Kooperation aus Sicht des rationalen Entscheiders im Sinne des *Homo Oeconomicus* zu keiner Zeit sinnvoll.

¹¹ Der Term $u_i(a_i^t, a_j^t)$ steht hierbei für den, in Periode t für Spieler i , realisierten Payoff, dessen Wert von den jeweils getätigten Zügen beider Spieler abhängt.

Bei hinreichend großer Fortsetzungswahrscheinlichkeit δ kann für das unendlich oft wiederholte Gefangenendilemma ein teilspielperfektes Gleichgewicht nachgewiesen werden, in welchem die Spieler, entlang des Gleichgewichtspfades¹², in allen Perioden kooperieren (vgl. Beweis in Appendix A.1 bzw. Riechmann (2014, S. 146–148)). Dies bedeutet jedoch nicht, dass eine reine Kooperations-Strategie in unendlich oft wiederholten Spielen mit stochastischer Abbruchwahrscheinlichkeit zwangsläufig zu optimalen Ergebnissen führt. Axelrod und Hamilton (1981) setzt an dieser Stelle ein automatisiertes Strategieturnier ein, in welchem eine Vielzahl von beliebig komplexen Algorithmen in einem wiederholten Gefangenendilemma gegeneinander antreten. Als empirisch erfolgreichste Strategie konnte dabei die sogenannte „Tit-for-Tat“ Strategie ermittelt werden, in welcher in der aktuellen Runde jeweils die Strategie des Gegenspielers in der letzten Runde imitiert wird¹³.

Bezogen auf den Begriff des Spielmechanismus, geht die Erweiterung des One-Shot-Spiels auf (un)endlich wiederholt modellierte Spiele mit einer deutlichen Annäherung an reale Konflikte einher. Während im One-Shot-Spiel gegnerische Strategien lediglich a-priori antizipiert werden können, kann im wiederholten Spiel aktiv auf das Spielgeschehen reagiert werden. Da reale Konflikte, egal ob ökonomischer, politischer oder militärischer Natur, jedoch selten in Form von diskreten Runden und simultan getroffenen Entscheidungen charakterisiert werden, sind weitere Verallgemeinerungen nötig. Hierzu wird im Folgenden die Modellierung von Spielen in Extensivform vorgestellt, welche die simultane Rundenstruktur des wiederholten Spiels durch eine sequenzielle Zugreihenfolge ersetzt.

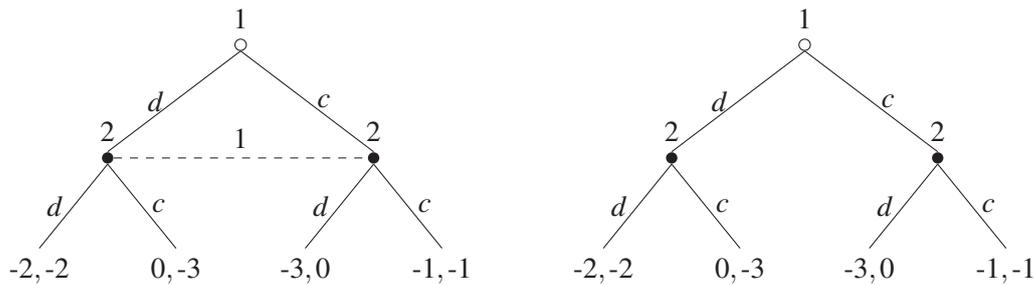
2.1.2.2 Extensivformspiele

Die Extensivform eines Spiels ist in der nicht-kooperativen Spieltheorie eine Darstellungsform von dynamischen Spielen, die im Gegensatz zur soeben beschriebenen Normalform die zeitliche Abfolge von Entscheidungen berücksichtigt und die entsprechenden Entscheidungsknoten mithilfe einer modellhaften Baumdarstellung visualisiert (vgl. hierzu Abbildung 2.3). Grundsätzlich gilt, dass jedes Spiel in extensiver Form in ein Spiel in (reduzierter) Normalform überführt werden kann. Umgekehrt können zu einem Spiel in Normalform jedoch mehrere verschiedene Spiele in extensiver Form existieren (vgl. Kohlberg & Mertens, 1986, S. 1010–1012; K. Arrow et al., 1953, S. 193–195). Der Spielmechanismus, welcher Extensivform-Spielen zugrunde liegt, ist folglich in der Lage eine höhere Reichhaltigkeit an Informationen zu parametrisieren und kann Konflikte spezifischer approximieren. Trotz der gesteigerten Komplexität handelt es

¹² Diese Erkenntnis wird auch als *Folk-Theorem* bezeichnet, welches konkret besagt, dass jeder individuell rationale Auszahlungsvektor eines wiederholten Stufenspiels eine teilspielperfekte Gleichgewichtsauszahlung bilden kann, wenn die Fortsetzungswahrscheinlichkeit δ nahe genug bei 1 liegt. Erreichbarkeit und individuelle Rationalität gelten sowohl als notwendige, als auch als hinreichende Bedingung, damit der Auszahlungsvektor eine Gleichgewichtsauszahlung darstellt (vgl. Abreu et al., 1994, S. 939).

¹³ Da in der ersten Periode keine Informationen über die Vorperiode vorliegen, wird in der ersten Runde Kooperation gespielt (vgl. Axelrod & Hamilton, 1981, S. 1393).

sich bei der Modellierung in Extensivform jedoch weiterhin um eine mathematisch-formale Beschreibung, mit der alle möglichen Spielverläufe vollständig charakterisiert werden können (vgl. Kuhn, 1953). Zur Veranschaulichung beschreibt Abbildung 2.3 einerseits die Überführung des bereits eingeführten, simultanen Gefangenendilemmas in die allgemeine Extensivform, unter Zuhilfenahme einer imperfekten Informationspartition für Spieler 2 (linke Abbildung). Andererseits wird zusätzlich eine Variation des Gefangenendilemmas modelliert, bei welchem die beiden Akteure nacheinander ihre Strategien festlegen (rechte Abbildung). Die Dynamik des Spiels ändert sich durch diese Änderung grundlegend¹⁴ (vgl. Elmes & Reny, 1994).



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2.3: Gefangenendilemma in Extensivform mit simultaner (l) bzw. sequenzieller (r) Zugreihenfolge

Die Formalisierung der Extensivform hat ihren Ursprung in der mathematischen Graphentheorie, wobei die Knoten den Entscheidungspositionen und die Kanten den Handlungsalternativen entsprechen. In Anlehnung an Kuhn (1953) bzw. Berninghaus et al. (2010a) erfolgt die Beschreibung eines verallgemeinerten n -Personen-Spiels in Extensivform mithilfe folgender Bestandteile:

- (i) Eine Menge von handelnden Akteuren $N = \{1, 2, \dots, n\}$.
- (ii) Ein gewurzelter Spielbaum T mit einer Knotenmenge $K \in \mathbb{N}$.
- (iii) Eine Menge von Endknoten $Z \subseteq K$, welche die Ausgänge eines speziellen Spielverlaufs darstellen und eine Menge von Entscheidungsknoten $X \subseteq K$.
- (iv) Eine Zerlegung der Menge der Entscheidungsknoten X in $n + 1$ Teilmengen, bezeichnet als $P^0, P^1, P^2, \dots, P^n$. Dabei ist P^0 eine Menge von Zufallsknoten und P^i stellen Entscheidungsknoten des Spielers i für alle $i \in N$ dar¹⁵.

¹⁴ Bei Betrachtung des abgebildeten, sequenziellen Gefangenendilemmas wird schnell deutlich, dass von einem Dilemma im engeren Sinne keine Rede mehr sein kann. Kooperiert der erste Spieler, ist es für den zweiten Spieler nutzenmaximierend zu defektieren. Wird hingegen im ersten Zug Defektion gespielt, ist lediglich eine korrespondierende Defektionsantwort sinnvoll, um die Höchststrafe zu verhindern. Eine Äquivalenz von Normalform und Extensivform wird daher in der Literatur seit jeher kontrovers diskutiert (vgl. Harsanyi & Selten, 1992).

¹⁵ Eine Zerlegung $P = \{P^1, \dots, P^n\}$ der Menge aller Entscheidungsknoten heißt *Spielerzerlegung*, wenn P^i genau diejenigen Knoten des Spielbaums umfasst, an denen Spieler i am Zug ist (vgl. Berninghaus et al., 2010b, S. 93).

- (v) Eine Verteilung der Eintrittswahrscheinlichkeiten¹⁶ über die ausgehenden Kanten für jeden Zufallsknoten in P^0 (muss sich auf 1 aufsummieren).
- (vi) Eine Zerlegung der Knoten P^i in $u(i)$ Informationsmengen $U_1^i, U_2^i, \dots, U_{u(i)}^i$ für alle $i \in N$. Dabei gilt, dass für alle $j = 1, 2, \dots, u(i)$
- jeder Pfad von der Wurzel zu einem Endknoten die Informationsmenge U_j^i höchstens einmal durchlaufen kann.
 - alle Knoten in U_j^i über die identische Anzahl ausgehender Kanten verfügen.
 - eine vom ziehenden Spieler nicht unterscheidbare Beziehung zwischen den ausgehenden Kanten von zwei beliebigen Knoten in U_j^i existiert (die jeweils die identische Entscheidung repräsentieren).
- (vii) Ein n -dimensionaler Vektor $g(t) = (g^1(t), g^2(t), \dots, g^n(t))$, welcher für jeden Endknoten $t \in Z$ die Payoffs für alle beteiligten Akteure beinhaltet.
- (viii) Die Elemente (i) bis (vii) sind allen Spielern i vor Spielbeginn bekannt¹⁷.

Neben der unterschiedlichen Modellierung und Parametrisierung des Modells bzgl. des Spielmechanismus, unterscheiden sich auch die mathematischen Lösungskonzepte von denen eines wiederholten Spiels (vgl. Seidenfeld, 1994). Die beschriebenen, sequenziellen Strukturen machen hierbei Lösungsansätze erforderlich, die über das Konzept des Nash-Gleichgewichts hinausreichen (vgl. Myerson, 1978, S. 74; van Damme, 1984, S. 9). So können Nash-Gleichgewichte beispielsweise Drohungen enthalten, die sich als unglaublich herausstellen, wenn man die sequenzielle Struktur des Spiels berücksichtigt. Eine Möglichkeit, solche Gleichgewichte auszuschließen, besteht in der Anwendung des Konzepts der *teilspielperfekten Nash-Gleichgewichte*, welche über das Verfahren der *Rückwärtsinduktion* identifiziert werden können.

In Anlehnung an Berninghaus et al. (2010a, S. 108f.) bzw. Selten (1978) ist eine Konfiguration von Strategien ein teilspielperfektes Gleichgewicht, wenn diese auf jedem beliebigen Teilspiel des Gesamtspiels ein Nash-Gleichgewicht induziert. Während das Verfahren der Rückwärtsinduktion einen klar definierten Endpunkt der betrachteten Konflikte als notwendig erscheinen lässt, existieren inzwischen auch Arbeiten die teilspielperfekte Nash-Gleichgewichte in Spielen mit unendlichem Zeithorizont betrachten. Fudenberg und Levine (1983, S. 252) beschreiben in diesem Zusammenhang unendliche Extensivformspiele sogar als geeigneter, um ökonomische Zusammenhänge zu modellieren, als endliche Spiele, auch wenn die Komplexität der mathe-

¹⁶ Die Definition von stochastischen Elementen innerhalb eines Extensivformspiels, welche häufig auch als „Natur“ bezeichnet werden, sind zur wohldefinierten Charakterisierung eines Modells nicht zwangsläufig nötig, erlauben jedoch die Modellierung zufälliger Ereignisse.

¹⁷ Da die Reichhaltigkeit Informationsstruktur eine entscheidende Rolle bei der Charakterisierung des Spielmechanismus spielt und die Realitätsnähe dieser Eigenschaft von Extensivformspielen kontrovers diskutiert wird (vgl. Camerer, 1991, S. 141f.), wird diesem Aspekt in Abschnitt 2.2 ein eigenes Kapitel gewidmet.

matischen Lösungskonzepte erwartungsgemäß stark ansteigt¹⁸. Da sich die vorliegende Arbeit nicht explizit mit mathematischen Lösungskonzepten unendlicher Extensivformspiele beschäftigt, sondern vielmehr empirische Verhaltensunterschiede in Abhängigkeit verschiedener Spielmechanismen untersucht, sei an dieser Stelle auf die zitierte Fachliteratur verwiesen.

Im Vergleich zu (wiederholten) Spielen in Normalform lässt sich festhalten, dass der Kritikpunkt der simultanen Zugreihenfolge im Bezug auf eine realitätsnahe Modellierung durch die Möglichkeit der sequenziellen Reihenfolge in der Extensivform zielgerichtet adressiert wird. Da die allgemeine Extensivform allerdings eine wohldefinierte - und damit vor dem Spiel exogen festgelegte - Definition der Zugreihenfolge benötigt, können reaktive Zugentscheidungen in Spielen mit $n > 2$ Spielern nur begrenzt mithilfe stochastischer Elemente modelliert werden¹⁹. Endogene Entscheidungen über die Zugreihenfolge, welche sich aus dem Spielverlauf und den strategischen Interessen der Spieler ergeben, können auch mithilfe der extensiven Spielform weiterhin nicht abgebildet werden.

2.1.2.3 Multi-Stufen-Spiele

Eine Möglichkeit Zugreihenfolgen zu endogenisieren ist die Konstruktion hybrider Stufenmodelle, welche der grundlegenden Annahme folgen, dass der konkrete Zeitpunkt des Zuges nicht in jeder Situation ein vorgegebener Teil des Spielmechanismus ist, sondern vielmehr ein Teil der Strategie des Spielers selbst. Hamilton & Slutsky erweitern in diesem Zusammenhang traditionelle Modellierungsansätze, indem sie jeden Entscheidungsknoten in ein Vorspiel und ein Basisspiel unterteilen²⁰ (vgl. J. H. Hamilton & Slutsky, 1990; bzw. J. H. Hamilton & Slutsky, 1993). Das Basisspiel lässt sich hierbei mithilfe der allgemeinen Normalform in Form einer 2x2-Matrix darstellen und umfasst einen Zeilenspieler A, welcher zwischen den Optionen oben (O) und unten (U) wählen kann, und einem Spaltenspieler B, welcher zwischen den Optionen links (L) und rechts (R) wählt. Um im nächsten Schritt die Zugreihenfolge zu endogenisieren, wird eine Spielphase am Anfang des Spieles hinzugefügt. In dieser entscheiden die Spieler, ob sie entweder früh (F) oder spät (S) ziehen wollen. Wenn beide Akteure die identische Periode wählen, wird ein simultanes Teilspiel gespielt. Wenn ein Spieler früh zieht und der andere spät, dann kennt der Spieler, der spät zieht, den früheren des Gegenspielers Zug. Je nach Dynamik des Spiels kann es - zum Beispiel aufgrund von strategischem Commitment - allerdings auch

¹⁸ Fudenberg und Levine (1983) sind trotz den höheren Anforderungen an ein unendliches Extensivformspiel in der Lage gleichzeitige Züge, stochastische Einflüsse und gemischte Strategien in ihr Modell miteinzubeziehen. Im Bezug auf die Realitätsnähe ist dieser Ansatz den bereits beschriebenen Modellen daher überlegen (vgl. Fudenberg & Levine, 1983, S. 152ff.).

¹⁹ Selbst bei einer vollkommenen oder bedingt stochastischen Zugreihenfolge, ist eine direkte Reaktion auf vorgegangene Aktionen konkurrierender Spieler nur möglich, wenn das Zugrecht zufällig zum richtigen Zeitpunkt auf den jeweiligen Spieler übergeht.

²⁰ Im Folgenden wird das Modell von J. H. Hamilton und Slutsky (1993) aus Gründen der Anschaulichkeit für den 2-Spieler Fall beschrieben.

sinnvoll sein, einen frühen Zug zu präferieren (vgl. Cvsa & Gilbert, 2002). Tabelle 2.2 zeigt die beiden Teilspiele des hybriden Stufenspiels nochmals gesondert auf:

Tabelle 2.2: Vorspiel und Basisspiel nach J. H. Hamilton und Slutsky (1993)

		Vorspiel				Basisspiel		
		Spieler B				Spieler B		
		F	S			L	R	
Spieler A	F	Sim	Seq	\implies	Spieler A	O	a_1, b_1	a_2, b_2
	S	Seq	Sim			U	a_3, b_3	a_4, b_4

Quelle: Eigene Darstellung nach J. H. Hamilton und Slutsky (1993).

Die Auszahlungen sind im konkreten Modell so strukturiert, dass ordinale Präferenzen vorliegen und eine strikte Rangordnung für die Spielergebnisse existiert ($a_i \neq a_j$ und $b_i \neq b_j \forall i \neq j$). Abhängig von den Auszahlungen kann es ein eindeutiges Gleichgewicht in reinen Strategien, ein eindeutiges Gleichgewicht in gemischten²¹ Strategien oder mehrere Gleichgewichte geben. Das folgende Lemma beschreibt, wann welche Situation eintritt (vgl. J. H. Hamilton & Slutsky, 1993, S. 50).

Lemma 1 (A) *Jedes strikt ordinale 2x2 Bimatrix-Spiel hat ein eindeutiges Gleichgewicht in reinen Strategien, wenn und nur wenn mindestens einer der Spieler eine dominante Strategie besitzt.*

(B) *Jedes strikt ordinale 2x2 Bimatrix-Spiel hat ein eindeutiges Gleichgewicht in gemischten Strategien, wenn und nur wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:*

(i) $a_3 > a_1, b_4 > b_3, a_2 > a_4$ und $b_1 > b_2$

(ii) $b_2 > b_1, a_4 > a_2, b_3 > b_4$ und $a_1 > a_3$

Wenn weder (A) noch (B) erfüllt sind, dann existieren zwei reine Gleichgewichte und ein Gleichgewicht in gemischten Strategien.

Das kombinierte zweistufige Spiel lässt sich wiederum mithilfe der Extensivform darstellen, wodurch die konkreten simultanen und sequenziellen Teilspiele des Modells sichtbar werden.

²¹ Gemischte Strategien zeichnen sich durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die vorhandenen reinen Strategien aus. Die Strategiewahl ist somit nicht mehr eindeutig festgelegt, sondern so gestaltet, dass der Spieler eine der gegebenen, reinen Strategie mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit wählt. Ein Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien besteht aus einer gemischten Strategie für jeden Spieler, mit der Eigenschaft, dass die gemischte Strategie eines jeden Spielers die jeweils beste Antwort auf die gemischten Strategien der übrigen Spieler bildet (vgl. Harsanyi, 1973, S. 1–4).

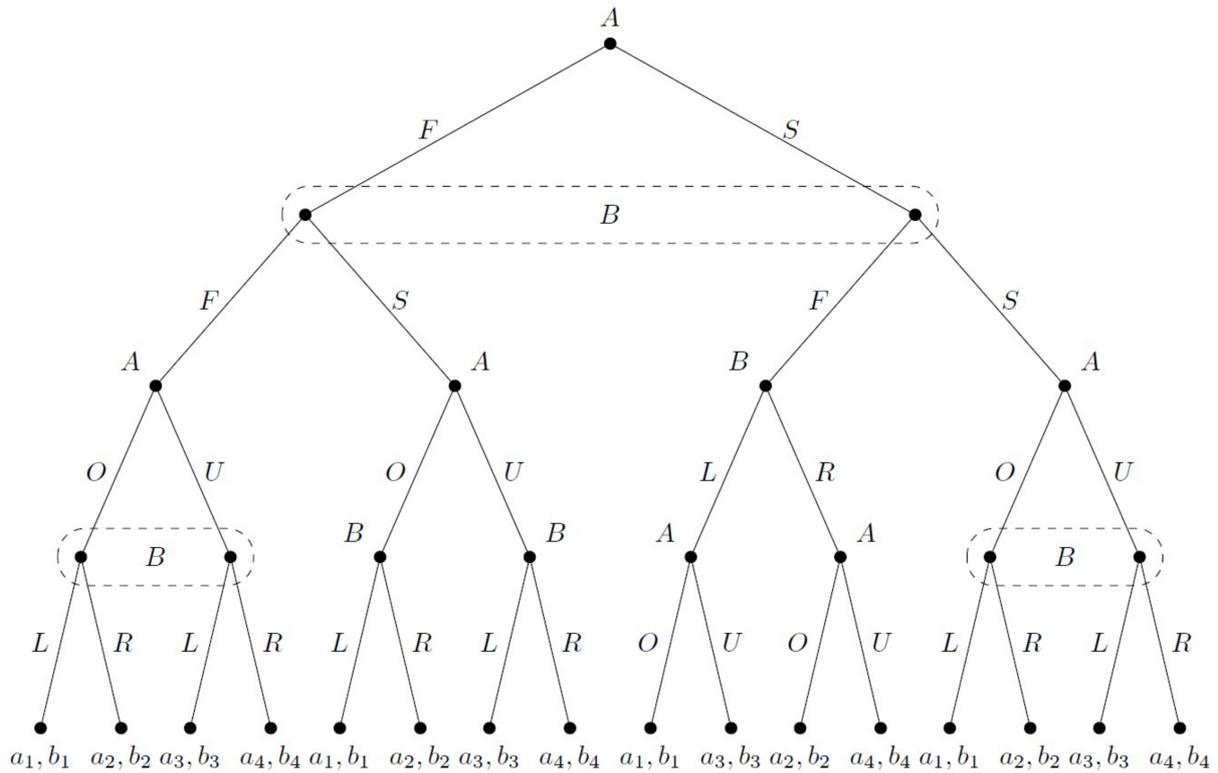


Abbildung 2.4: Extensivform des erweiterten hybriden Stufenspiels in Anlehnung an J. H. Hamilton und Slutsky (1993)

Da die konkrete Zugreihenfolge nicht mehr exogen als Teil des Spielmechanismus vorgegeben wird, sondern endogen als Teil der individuellen Strategie bestimmt werden kann, bietet der mehrstufige Entscheidungsprozess nach J. H. Hamilton und Slutsky (1993) eine erste Approximation an endogenisierte Spiele, ohne dabei die formalen Vorgaben der Extensivform zu verletzen²². Wie am Beispiel des 2-Personen-Spiels deutlich wird, können sämtliche sequenziellen und simultanen Reihenfolgemuster abgebildet werden. Dennoch sind bei einer solchen Modellierung sämtliche Entscheidungsknoten per Definition weiterhin diskret. Individuelle Entscheidungen in stetiger Zeit können mithilfe des Modells zwar in der Theorie, durch einen infinitesimal kleinen Abstand zwischen den einzelnen Entscheidungsrunden angenähert werden, eine empirische Durchführbarkeit ist unter diesen Umständen allerdings fraglich (vgl. J. H. Hamilton & Slutsky, 1993, S. 60). Da die vorliegende Arbeit zur Analyse des Spielerverhaltens, in Abhängigkeit der konkreten Gestaltung des Spielmechanismus, jedoch zwingend eine empirisch umsetzbare Modellierung real-dynamischer Konflikte benötigt, sind weitere konzeptionelle Überlegungen erforderlich.

²² Vgl. hierzu auch die allgemeinen Anforderungen und Modelleigenschaften eines Extensivformspiels in Unterunterabschnitt 2.1.2.2.

2.1.2.4 Ansätze zur Modellierung realer Konflikte

Während die bisher betrachteten Konzepte und Ansätze zur Modellierung von Spielen im Allgemeinen und Konflikten im Speziellen auf einer schrittweisen, mathematischen Komplexitätssteigerung im Sinne einer realitätsnahen Modellierung basieren, existiert mit dem Konzept der *Metaspiele*²³ ein alternativer Zweig der nicht-kooperativen Spieltheorie. Primärer Ausgangspunkt dieser Theorie ist hierbei, dass sich das Verhalten der Akteure in realen Konflikten nur bedingt mit den Mitteln der traditionellen Spieltheorie erklären lässt. Diese Einschätzung wird hierbei zum einen darauf zurückgeführt, dass die traditionelle Spieltheorie aufgrund ihrer strengen, gleichgewichtstheoretischen Anforderungen nicht ausreichend in der Lage ist, realdynamische Konflikte zu modellieren. Zum anderen werden die hohen Anforderungen dieser Konzepte an das Entscheidungsverhalten der Spieler als, zumindest teilweise, unrealistisch eingeschätzt. Entsprechend verfolgt die Theorie der Metaspiele das Ziel, die von einem stark präskriptiven Charakter geprägten, traditionellen spieltheoretischen Methoden um eher deskriptive Alternativen zu ergänzen (vgl. He et al., 2017, S. 684). Der Fokus der Beurteilung liegt in der Konsequenz verstärkt auf Basis empirischer Untersuchungen und ist gerade für Arbeiten mit verhaltensökonomischem Fokus von Vorteil.

Zur Veranschaulichung dieses Unterschiedes sei wiederum auf das, bereits in Unterunterabschnitt 2.1.2.1 eingeführte, Gefangenendilemma verwiesen. Ein wesentlicher Vorteil von Metaspielen besteht darin, dass auch Zustände als Ergebnis erklärt werden können, die auf Basis der klassischen Spieltheorie nicht als Gleichgewichte gelten. Während der traditionelle Lösungsansatz des Nash-Gleichgewichts, lediglich den Zustand bilateraler Defektion als sinnvolle Lösung identifiziert, kann mithilfe einer Zerlegung in Metaspiele auch die für beide Spieler vorteilhafte Kooperationslösung als valides Ergebnis ermittelt werden. Hierbei wird das ursprünglich in Normalform definierte Spiel G zunächst auf ein Metaspiel erster Ordnung (iG) überführt. Die Strategien eines Spielers i werden hierbei auf die (erwartete) Reaktionen der anderen Spieler zurückgeführt. Ein Metaspiel zweiter Ordnung jiG ist entsprechend dieser Definition ein Spiel, in welchem ein Spieler j seine Entscheidungen auf Grundlage der erwarteten Entscheidungen im Spiel iG festlegt. Als Gleichgewichte eines Spiels G werden wiederum alle Gleichgewichte der entsprechend abgeleiteten Metaspiele herangezogen²⁴. Für das konkrete Beispiel des unendlich wiederholten Gefangenendilemmas kann daher der Zustand bilateraler Kooperation genau dann als Gleichgewicht interpretiert werden, wenn davon ausgegangen wird, dass der Gegenspieler auf einen, in der Vorperiode gespielten, Kooperationszug ebenfalls mit Kooperation reagiert. Da es für beide Spieler nutzenmaximierend ist, in den folgenden Runden mit einem Kooperationszug zu reagieren und gleichzeitig vom Gegner aufgrund der Symmetrie des Spiels eine

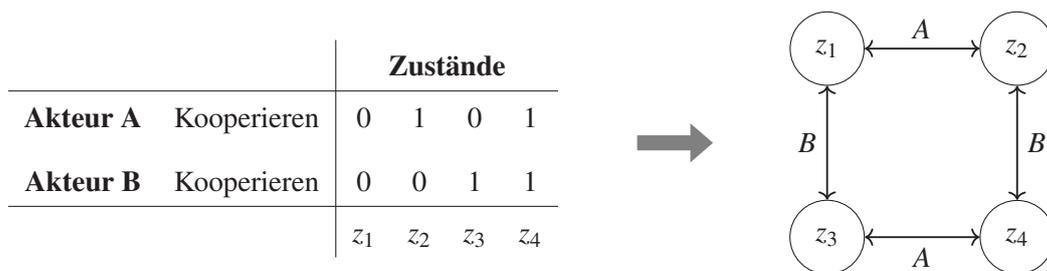
²³ Die Theorie der Metaspiele geht auf die Arbeit „*Paradoxes of Rationality: Theory of Metagames and Political Behavior*“ von N. Howard (1971) zurück.

²⁴ Für eine detailliertere Beschreibung und Herleitung des Konzepts von Metaspielen sei an dieser Stelle auf die Primärliteratur verwiesen (vgl. N. Howard, 1971, S. 49ff.).

identische Strategie erwartet wird, ist die Kooperationslösung in jedem Metaspiel ein metarationales Gleichgewicht²⁵.

Da Reaktionen in sequenziellen Spielen deutlich besser interpretierbar sind, als in wiederholten Spielen, wird die Anwendbarkeit von metarationalen Gleichgewichten auf wiederholte Spiele kontrovers diskutiert, da dies jeweils eine korrekte Vorhersage der Entscheidung der anderen Spieler in der betrachteten Periode voraussetzen würde (vgl. Harris, 1969). Trotzdem sollte die Theorie der Metaspiele nicht als Erweiterung der Extensivformspiele verstanden werden, sondern stellt eine alternative Methodik zur Analyse von Konflikten dar, welche keine vollständigen Informationen bzgl. Zugreihenfolge, Spielende und kardinaler Auszahlungen beinhaltet. Da jeweils die Reaktionen, der am Spiel beteiligten, Spieler, ausgehend von einer initialen Entscheidung (Status Quo), betrachtet werden, ist mithilfe von Metaspielen auch eine spieltheoretische Interpretation von Zuständen möglich, ohne die gesamte Konflikthistorie zu kennen. Analog gilt diese Argumentation auch für das Spielende, welches nicht exogen im Modell festgelegt werden muss, sondern endogen erreicht wird, sobald kein Spieler mehr einen Anreiz hat von der aktuellen Lösung des Spiels, durch eine individuelle Strategieänderung abzuweichen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von *stabilen Zuständen* (vgl. Fraser & Hipel, 1979, S. 807).

Trotz der grundsätzlichen Verschiebung von präskriptiven auf deskriptive Fragestellungen, bietet der, auf der Theorie der *Metaspiele* aufbauende, anwendungsorientierte Forschungszweig der „*Conflict Analysis*“ eine Möglichkeit den (prinzipiell unendlichen) Entscheidungs- und Ergebnisraum eines real-dynamischen Konflikts insofern zu begrenzen, dass eine strukturierte Analyse möglich wird (vgl. Fraser & Hipel, 1979).



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Klopfer (2018).

Abbildung 2.5: Gefangenendilemma mit endogenisierter Zugreihenfolge in Optionsnotation und GMCR-Form

Das von Fang et al. (1993) in diesem Zusammenhang entwickelte *Graph Model for Conflict Resolution (GMCR)* stellt eine Menge von Methoden zur Verfügung, welche die Modellierung

²⁵ Es kann hierbei gezeigt werden, dass jedes Metaspiel über mindestens ein metarationales Gleichgewicht verfügt (vgl. N. Howard, 1971, S. 27).

eines Konflikts in einem Graph mit gerichteten Kanten ermöglichen und hierbei auch eine präzisere und zustandsabhängige Spezifizierung der zulässigen Aktionen je Spieler vorsehen. Hierbei werden alle möglichen Aktionen der Spieler, mithilfe der sogenannten binären *Optionsnotation* erfasst, wobei eine Aktion jeweils ausgeführt (1) oder nicht ausgeführt (0) werden kann (vgl. Abbildung 2.5). Die Gesamtstrategie des Spielers ergibt sich folglich aus der Kombination der eigenen Optionen, während der Spielzustand als Kombination der Optionen aller Spieler verstanden werden kann. Weiterhin verzichtet das GMCR auf die Vorabdefinition kardinaler Präferenzen und fordert stattdessen lediglich eine ordinale Präferenzordnung, wobei die einzelnen Zustände für jeden Spieler in eine präferierte Reihenfolge überführt werden (vgl. Fraser & Hipel, 1979, S. 806ff.). Die Anforderung, a-priori konkrete Auszahlungen für jeden möglichen Endzustand des Spiels zu definieren, entfällt.

Insgesamt eröffnen die, im Rahmen der Conflict Analysis vorgenommenen, Veränderungen bezüglich Zugreihenfolge, Spielende und Auszahlungen eine alternative Herangehensweise an die realitätsnahe Modellierung von Konflikten und bieten zielführende Erweiterungen für empirische Untersuchungen. Im Bezug auf den Spielmechanismus, grenzt sich die Methode mit ihrer Möglichkeit zur Endogenisierung der Zugreihenfolge, sowie der Möglichkeit der Modellierung realer Konflikte in stetiger Zeit, klar von den traditionellen Ansätzen der nicht-kooperativen Spieltheorie ab. Gerade für Studien mit verhaltenswissenschaftlichem Fokus spielt die Kritik von Thrall (1974, S. 671), welche sich im Wesentlichen auf die mathematische Struktur im Bezug auf ordinale Präferenzen bezieht, nur eine untergeordnete Rolle. Für deskriptiv orientierte Fragestellungen hält Thrall (1974) die Methodik für geeignet²⁶.

2.2 Reichhaltigkeit der spielcharakterisierenden Informationsstruktur

Ein zentraler Aspekt im Bezug auf den Spielmechanismus stellt die Informationsstruktur dar, welche die Entscheidungsfindung der Akteure wesentlich beeinflusst und das Spiel in seiner Dynamik charakterisiert (vgl. Rubinstein, 1991, S. 914). Die in Abschnitt 2.1 vorgestellten Modelle unterscheiden sich hierbei untereinander deutlich bezüglich ihrer informationsspezifischen Reichhaltigkeit. Während in der bisherigen Beschreibung die Regeln der Entscheidungsfindung im Fokus standen, beschäftigt sich der folgende Abschnitt dezidiert mit der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, welche durch diese Regeln induziert wird. Hierzu wird zunächst der *Informationsbegriff* im spieltheoretischen Sinne erläutert und anhand der bereits eingeführten Modelle konkretisiert. Den Erkenntnissen von Radner und Rosenthal (1982) folgend wird hierbei angenommen, dass eine unterschiedliche Gestaltung der Zugentscheidungen und der temporale Kontext, in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, wesentlich zur Reich-

²⁶ Thrall (1974) macht deutlich, dass die Theorie anhand ihrer Erfolge auf dem Gebiet der empirischen Forschung gemessen werden sollte, wünscht sich gleichzeitig jedoch auch eine normativ-formalisierte Ausarbeitung.

haltigkeit der Informationsstruktur des Spiels beitragen. Wissenschaftliche Erkenntnisse zum Einfluss von spielmechanischen Variationen bezüglich Zugreihenfolge, temporaler Spielstruktur und Endogenisierung werden dementsprechend erläutert und diskutiert. Übergreifendes Ziel des Abschnittes ist es, ein theoretisches Fundament für die strukturierte Abgrenzung charakteristischer Spielmechanismen zu legen, welche sich bezüglich ihrer Spielmechanismen und ihrer Informationsstruktur unterscheiden, gleichzeitig jedoch eine differenzierende, empirische Analyse erlauben.

2.2.1 Vollständige, vollkommene und perfekte Information

Die klassische Spieltheorie unterteilt die Informationsstruktur eines Spiels in die beiden Teilbereiche der *vollständigen* Information, sowie der *vollkommenen* (bzw. *perfekten*) Information, welche jeweils verschiedene Eigenschaften attribuieren. Da die Definitionen der einzelnen Begriffe, selbst innerhalb der Fachliteratur, voneinander abweichen, wird im folgenden eine einheitliche Einordnung im Sinne dieser Arbeit vorgenommen (vgl. Fudenberg & Tirole, 1991, S. 541ff.):

- **Vollständige Information** liegt hierbei immer genau dann vor, wenn die Akteure eines Spiels Kenntnis über sämtliche Spielregeln des Spiels besitzen, ein gemeinsames Verständnis des Spielmechanismus vorherrscht und alle Spieler die Auszahlungen, für alle möglichen Ausgänge des Spiels, kennen.
- **Vollkommene bzw. perfekte Information** bedeutet hingegen, dass jedem Akteur zum Zeitpunkt einer Entscheidung stets das vorangegangene Spielgeschehen (Spielhistorie), bestehend aus den zuvor getroffenen Entscheidungen seiner Mitspieler, seiner eigenen Entscheidungen, sowie die zuvor getroffenen Zufallsentscheidungen, bekannt ist ²⁷.

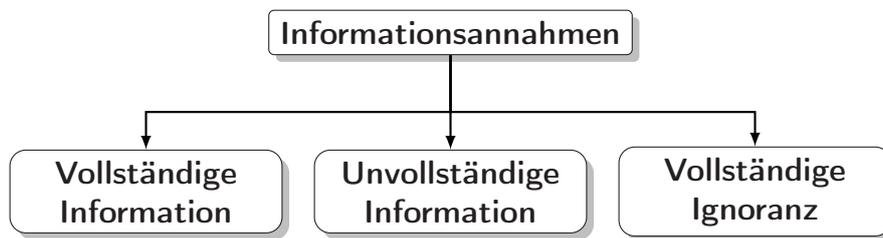
Bezogen auf den Begriff der vollständigen Information, existiert zudem eine Abstufung des Informationsgehalts in vollständige Information, unvollständige Information und vollständige Ignoranz, was mithilfe des sogenannten *Informationsgrades* verdeutlicht werden kann:

$$\text{Informationsgrad} = \frac{\text{vorhandene Informationen}}{\text{vollständige Informationen}} \quad (2.2)$$

Vollständige Information und Ignoranz können als Grenzfälle der unvollständigen Information aufgefasst werden. Da der Informationsgrad nur schwer quantifizierbar ist, ist die Klassifizierung eines Spiels in die drei genannten Kategorien in aller Regel ausreichend. Allerdings existieren in der Entscheidungstheorie zahlreiche Arbeiten, welche Informationen einen konkreten Informationswert zuordnen und entsprechend bewerten (vgl. R. Howard, 1966). Für die tiefer-

²⁷ Beispiele für bekannte Spiele mit perfekter Information sind Schach, Go oder Mühle. Gegenbeispiele sind Spiele mit verdeckten Zügen wie Poker, sowie Spiele mit simultanen Zügen wie „*Schere, Stein, Papier*“.

gehende Analyse der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur eines Spielmechanismus, ist es im Sinne dieser Arbeit vielmehr entscheidend ein klares Verständnis über fehlende Informationen und mögliche Informationsasymmetrien zu entwickeln.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2.6: Klassifizierung vollständiger Information nach Informationsgrad

2.2.1.1 Klassifizierung nach *vollständiger Information*

Klassifiziert man die Abschnitt 2.1 eingeführten Modellierungs-Alternativen entsprechend der oben genannten Definition, so kann für Spiele in Normalform, Extensivform und Multi-Stufen-Modelle jeweils vollständige Information unterstellt werden. Sowohl die Regeln des Spiels bezüglich Zugreihenfolge, als auch die möglichen Auszahlungen sind den Spielern bereits a-priori bekannt. Darüber hinaus ist die Informationsverteilung symmetrisch und die Wahrscheinlichkeitsverteilung von möglichen Zufallsentscheidungen ist „Common Knowledge“²⁸. Bei Modellen, welche nach den Vorgaben der *Conflict Analysis* (bzw. *GMCR*) erstellt werden, gestaltet sich die Frage nach vollständiger Information als differenzierter. Während grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass die Regeln bzw. der Spielmechanismus allen Spielern bekannt ist, bietet die ordinale Präferenzordnung Raum für Interpretation. Selbst wenn die Präferenzordnung a-priori für jeden Spieler festgelegt und kommuniziert wird, folgt nicht zwangsläufig eine kongruente Interpretation durch die Akteure. Soll in einer empirischen Studie unter Anwendung eines *GMCR*-Modells vollständige Information unterstellt werden, ist daher vor dem eigentlichen Spiel ein einheitliches Verständnis der Teilnehmer bzgl. der Präferenzordnung sicherzustellen²⁹.

Im Gesamtkontext dieser Arbeit spielt die Unterscheidung von Spielen, im Hinblick auf vollständige Information, nur eine untergeordnete Rolle, da bei allen, im Rahmen dieser Arbeit entwickelten, Modellen vollständige Information sichergestellt wird. Gerade bei empirischen

²⁸ „Common Knowledge“ bezeichnet in der Spieltheorie diejenigen Informationen, die allen Spielern bekannt sind und von denen alle Spieler wissen, dass diese auch allen anderen Spielern bekannt sind (vgl. Rubinstein, 1991, S. 915).

²⁹ Eine mögliche Lösung des Problems ist die Übersetzung der ordinalen Präferenzordnung in eine kardinale Struktur, welche jedem Spieler in jedem möglichen Zustand eine Auszahlung zuweist. Diese Methodik funktioniert allerdings nur für Konflikte mit überschaubarer Größe und steht zudem im Widerspruch zum eigentlichen Alleinstellungsmerkmal des *GMCR*.

Studien, welche eine vergleichende Analyse von Entscheidungsverhalten anhand von klar definierten Treatments anstreben, ist die unklare Definition und Kommunikation des Spielmechanismus im Allgemeinen und der Spielregeln im Speziellen kontraproduktiv und führt zu unerwünschten Störeffekten (vgl. Friedman & Sunder, 1994; bzw. Friedman et al., 2004).

2.2.1.2 Klassifizierung nach *vollkommener Information*

Im Bezug auf *vollkommene* bzw. *perfekte Information* fallen die strukturellen Unterschiede zwischen den einzelnen Modellierungsansätzen deutlich signifikanter aus. So kann bereits im One-Shot Spiel in **Normalform** keine vollkommene Information angenommen werden. Da der Spielverlauf aus nur einer einzigen Runde besteht und der Spielmechanismus eine simultane Entscheidung der Akteure erfordert, ist eine vollkommene Kenntnis über die Spielhistorie bzw. die Aktionen der Gegner zu keiner Zeit gegeben. Ganz im Gegenteil besteht der Kern von simultanen Spielen - wie man am Beispiel des Gefangenendilemmas unschwer erkennen kann - genau in der Unwissenheit über die Entscheidung des Gegenspielers (vgl. Cooper et al., 1996, S. 189). Die identische Argumentation gilt analog auch für endlich, sowie unendlich wiederholte Normalform-Spiele, bei welchen zwar die Entscheidungen der letzten Runde allen Akteuren bekannt sind, jedoch die aktuelle Entscheidung des Gegners, aufgrund der simultanen Zugreihenfolge, weiterhin unbekannt bleibt. Die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur ist im Bezug auf vollkommene Information daher bei wiederholten Spielen grundsätzlich als gering einzustufen.

Bei Spielen in sequenzieller **Extensivform** kann hingegen vollkommene Information unterstellt werden, solange der Spielmechanismus keine Zerlegung des Spielbaumes in Informationsmengen vorsieht. Liegen hingegen Informationsmengen vor, fordern diese laut Definition eine Entscheidung unter Unwissenheit des vorangegangenen Zuges des Gegners, was aus spieltheoretischer Sicht einer simultanen Entscheidung entspricht³⁰. Aus verhaltensökonomischer Sicht wird diese Einschätzung allerdings kontrovers diskutiert. Cooper et al. (1993) vergleichen in diesem Zusammenhang mittels empirischer Tests simultane und verdeckt-sequenzielle Spiele. Trotz der modelltheoretischen Äquivalenz des Entscheidungsrationals, konnte im „Kampf der Geschlechter“-Spiel ein signifikanter Unterschied im beobachteten Entscheidungsverhalten nachgewiesen werden³¹ (vgl. Cooper et al., 1993, S. 1308ff.). Aus Tabelle 2.3 geht hierbei hervor, dass der Folgespieler B auf einen unbekanntem Zug des Führungsspielers A in 70% der Beobachtungen die für A präferierte Lösung wählt. Im echt-simultanen Spiel wird nur zu 35% auf die Präferenz des Gegenspielers eingegangen. Alleine die Information, dass Spieler A seine Entscheidung vor der Entscheidung von Spieler B getroffen hat, führt demzufolge zu einer klar

³⁰ Da auch das, in Unterunterabschnitt 2.1.2.3 beschriebene, Multi-Stufen-Spiel als Extensivformspiel mit abwechselnden Stufen von simultanen und sequenziellen Spielen beschrieben werden kann, wird an dieser Stelle nicht gesondert auf dessen explizite Informationsstruktur eingegangen.

³¹ Der beschriebene Effekt wird auch als „Timing Effekt“ bezeichnet. Nachfolgende Arbeiten, wie Budescu et al. (1997), beobachten vergleichbare Effekte auch in weiteren Spielen, wie dem Ressourcen-Dilemma.

messbaren Verhaltensänderung, obwohl sich aus dieser Information nicht notwendigerweise gleichgewichtstheoretische Änderungen ergeben.

Tabelle 2.3: Ergebnisse des Experiments von Cooper et al. (in Anlehnung an Cooper et al. (1993, S. 1312))

		Spieler B		simultan	sequenziell
		<i>F</i>	<i>T</i>		
Spieler A	<i>F</i>	600, 200	0, 0	62%	88%
	<i>T</i>	0, 0	200, 600	38%	12%
simultan		35%	65%		
sequenziell		70%	30%		

Fasst man die erläuterten Ergebnisse zusammen, kann folglich sowohl für Extensivformspiele ohne Zerlegung in Informationsmengen, als auch mit Zerlegung in Informationsmengen, eine erhöhte Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, im Vergleich zum simultanen Normalformspiel angenommen werden. Egal ob der erweiterte Spielmechanismus spieltheoretische oder strategische Veränderungen impliziert, liegen den Spielern detailliertere Informationen zum Spielmechanismus vor, welche in das individuelle Entscheidungsrationale mit einbezogen werden (vgl. Dörner, 2002).

Im Bezug auf Spiele, welche nach den Regeln des **Graph Model for Conflict Resolution** modelliert werden, kann vollkommene Information ebenfalls nicht per Definition angenommen werden, sondern erfordert eine tiefergehende Betrachtung. Anders als bei Spielen in Extensivform ist an dieser Stelle jedoch nicht die mögliche Definition von Informationsmengen ausschlaggebend, sondern die Spielhistorie, sowie die Transparenz der getroffenen Entscheidungen. Voraussetzung für vollkommene Information ist einerseits, dass alle am Konflikt beteiligten Akteure gleichzeitig mit dem Spiel beginnen und somit ein identisches Verständnis der Spielhistorie sichergestellt ist. Andererseits muss garantiert werden, dass jede im Spielverlauf getroffene Entscheidungen für alle beteiligten Spieler ohne Verzögerung sichtbar ist³² (vgl. Kilgour & Hipel, 2005, S. 443). Gerade bei empirischen Arbeiten können die erläuterten, kritischen Punkte mit geringem Aufwand gewährleistet werden. Da im Sinne dieser Arbeit eine realitätsnahe Modellierung von Konflikten angestrebt wird, ist zusätzlich zu erwähnen, dass durch den langfristigen Charakter realer, strategischer Entscheidungen, in Verbindung mit einer zunehmenden Transparenz der Märkte, auch in vielen realen Szenarien von einer weitgehend vollkommenen bzw. perfekten Informationsstruktur ausgegangen werden kann. Der technologische Fortschritt im Bereich der Informationstechnik wird hierbei von zahlreichen wissenschaftlichen

³² Verdeckte Züge oder Kooperationen, welche bilateral, ohne Kenntnis der anderen Spieler abgeschlossen werden, sind nicht zugelassen.

Studien als Haupt-Treiber benannt, wobei Acquisti et al. (2015) und weitere Autoren bereits von einem „Zeitalter der Information“ sprechen. Im Vergleich zu den zuvor klassifizierten Modellierungsformen dynamischer (und statischer) Konflikte, kann daher bei einer realitätsnahen Modellierung nach den Regeln des GMCR von einer vergleichsweise hohen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur ausgegangen werden.

2.2.2 Modus und temporale Abfolge von Entscheidungen

Da der Begriff „Reichhaltigkeit der Informationsstruktur“ nur zum Teil mithilfe der Konzepte der vollständigen und vollkommenen Information, sowie der Zugreihenfolge, definiert und vergleichend analysiert werden kann, wird im Folgenden auf weitere relevante Aspekte eingegangen, welche die Kognition und Verarbeitung von Informationen in Konfliktsituationen beeinflussen. So betrachtet der klassische Begriff der Information weder den Modus, der im Verlaufe des Spiels getroffenen Entscheidungen, noch die temporale Struktur des Spiels (vgl. Friedman & Oprea, 2012, S. 337; bzw. Borenstein, 2003, S. 1ff.). Der folgende Abschnitt geht auf diese beiden Aspekte nochmals gesondert ein, um den Begriff „Reichhaltigkeit der Informationsstruktur“ im Sinne dieser Arbeit weiter zu präzisieren.

2.2.2.1 Strukturierte vs. endogene Entscheidungen

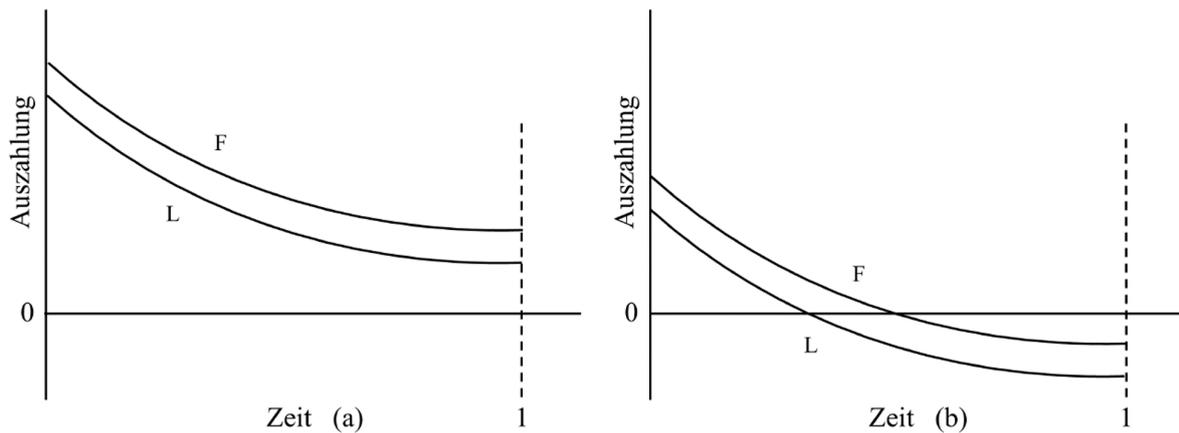
Wie bereits im Abschnitt zur vollständigen Information erläutert wurde, ist die lückenlose Definition des Spielmechanismus und der korrespondierenden Regeln für empirische Studien essentiell. Allerdings entstehen durch die Definition strikter Regeln zwangsläufig Differenzen zwischen Modell und Realität. In einem Großteil der Studien wird die Zugreihenfolge in den Spielregeln exogen festgelegt und folgt einer klaren Struktur, welche häufig den Anforderungen der spieltheoretischen „Fairness“ entsprechen³³. In vielen Situationen ist die Modellierung mit exogener Reihenfolge allerdings ein starker Einschnitt, da eine Diskrepanz zwischen Realität und Modell entsteht, die nicht erwünscht ist. Gerade bei verhaltenswissenschaftlichen Fragestellungen wird deutlich, dass gewisse Aspekte der Realität besser abgebildet werden können, wenn jeder Spieler die Möglichkeit hat, sich aus eigenem Willen und zu einem beliebigen Zeitpunkt zu einem Zug zu entscheiden. Dieser Einschätzung folgend, existieren zahlreiche Arbeiten, welche sich der Modellierung und Analyse von Spielen mit endogenen Zugentscheidungen widmen (vgl. Mailath, 1993). Diese Klasse von Spielen weist hierbei signifikante Unterschiede bezüglich ihrer empirischen Eigenschaften auf, was in den folgenden Studien deutlich wird:

³³ Unter Fairness wird in der Spieltheorie allgemein die Eigenschaft bezeichnet, dass keiner, der am Spiel beteiligten, Spieler einen Nachteil erfährt und generell Chancengleichheit besteht. Da allerdings bereits bei einfachen sequenziellen Spielen in Extensivform zwangsläufig eine exogene Reihenfolge vorgegeben werden muss, wird die Relevanz dieser Eigenschaft in der Wissenschaft kontrovers diskutiert (vgl. Bolton & Ockenfels, 2008; bzw. Schulz et al., 2014)

Friedman und Oprea (2012) untersuchen im Rahmen ihrer Forschung das klassische Gefangenendilemma experimentell für zwei Spieler mit variierter Struktur der Züge in einem 60 Sekunden Intervall. Während sich die Mehrheit der Akteure im One-Shot-Spiel erwartungsgemäß für Defektion entscheidet, steigt bei der schrittweisen Verkürzung der Entscheidungsintervalle, innerhalb der 60-sekündigen Zeitspanne, die Median-Rate gegenseitiger Kooperation linear an. Weiterhin erhöhen Friedman und Oprea (2012) die Anzahl der strukturierten Intervalle bzw. Runden so weit, die einzelnen Runden von den Akteuren nicht mehr als solche wahrgenommen werden. Es erfolgt somit der Übergang von einem strukturierten Spielmechanismus auf einen endogenen Spielmechanismus, wobei allein die individuelle Informationsverarbeitungskapazität der Probanden über die wahrgenommene Charakteristik des Spiels entscheidet. Je nach getesteter Payoff-Struktur konnten für das Gefangenendilemma im maximal endogenisierten Spiel gegenseitige Kooperationsraten zwischen 81% und 93% ermittelt werden (vgl. Friedman & Oprea, 2012, S. 355–357). Obwohl, unabhängig von der genauen Anzahl der Entscheidungsintervalle, die Regeln des Spiels allen Spielern bekannt sind und auch die Spielhistorie (exklusive der aktuell gespielten Runde) als „Common Knowledge“ aufgefasst werden kann, hat die Frequenz der strukturierten Entscheidungen einen signifikanten Einfluss auf das Spielverhalten und die wahrgenommene Reichhaltigkeit der Information.

In der traditionellen Spieltheorie wird endogenes Entscheidungsverhalten in stetiger Zeit zudem mithilfe sogenannter „War of Attrition“-Spielen untersucht, welche erstmals von Maynard Smith (1974) eingeführt und von Hendricks et al. (1988) weiter spezifiziert und empirisch untersucht wurden. „War of Attrition“-Spiele weisen an dieser Stelle eine enge Verwandtschaft zur Klasse der „Preemption“-Spiele auf und unterscheiden sich nur bezüglich der Ausgestaltung der jeweiligen Payoff-Funktionen (vgl. S. T. Anderson et al., 2010). Während in „Preemption“-Spielen von kontinuierlich steigenden Payoffs im Laufe des betrachteten Intervalls ausgegangen wird, sind „War of Attrition“-Spiele durch, im Spielverlauf fallende, Payoffs gekennzeichnet. Man stelle sich in diesem Zusammenhang zwei Technologieunternehmen vor, die beide ein neuartiges, aber vergleichbares, Produkt entwickelt haben. Diese Produkte stehen in direkter Konkurrenz zueinander und beide Firmen wollen das Produkt möglichst schnell auf den Markt bringen, bevor die Technik veraltet ist. Gleichzeitig wollen die betrachteten Unternehmen Preisänderungen vermeiden und bevorzugen daher, dass das Produkt des Konkurrenten früher auf den Markt kommt, da sie ihn somit im Preis unterbieten und mehr Kunden gewinnen können. Übertragen auf das spieltheoretische Modell erhält also derjenige Spieler, welcher sich aktiv für den Markteintritt entscheidet (Leader L), den zum Zeitpunkt der Entscheidung geltenden Payoff P . Der Gegenspieler (Follower F) erhält zeitgleich den präferierten Payoff $P + X$ (vgl. Abbildung 2.7³⁴). Die Auszahlung für die Spieler sinkt mit fortschreitender Dauer des Spiels.

³⁴ In Abbildung 2.7 werden zwei beispielhafte Verläufe für mögliche Auszahlungsfunktionen im „War of Attrition“-Spiel graphisch dargestellt.



Quelle: In Anlehnung an Hendricks et al. (1988).

Abbildung 2.7: Mögliche Verläufe der Auszahlungsfunktionen für Follower und Leader im War of Attrition Spiel

Gleichzeitig realisieren beide Spieler zu jedem Zeitpunkt eine höhere Auszahlung, falls der jeweils andere Spieler sein Produkt zuerst auf den Markt bringt. Nachfolgende Arbeiten, wie Laraki et al. (2005), übertragen diese Eigenschaften auf weitere kontinuierliche Spiele mit unterschiedlichen Symmetrie- und Auszahlungs-Eigenschaften und vollziehen hiermit einen wichtigen Schritt in Richtung einer realitätsnahen Konfliktanalyse.

2.2.2.2 Diskrete vs. stetige Entscheidungszeitpunkte

Eine weitere Möglichkeit, sich der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur anzunähern, besteht in der Betrachtung der temporalen Charakteristik von Konflikten. Borenstein (2003) zeigt in diesem Zusammenhang, anhand des Beispiels der Einführung des weltweit eingesetzten ATPCO³⁵ Systems für Fluggesellschaften, wie die zeitnahe Verfügbarkeit von Preisinformationen das kompetitive Verhalten von Airlines verändert. Konkret konnte nach der Umstellung von täglich bzw. wöchentlich veröffentlichten Tarif-Informationen auf eine Informationsbereitstellung in Echtzeit ein antikompetitiver Effekt auf die Branche festgestellt werden (vgl. Klein, 1998, S. 3). Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Friedman und Oprea (2012) und Bigoni et al. (2015, S. 588), welche vergleichbare Effekt auch in Finanzmärkten, im Hochgeschwindigkeitshandel, im internationalen Energiemarkt, sowie bei der Wahl des individuellen Arbeitseinsatzes in Teams beschreiben. Bigoni et al. (2015, S. 588) vermuten den primären Grund für diese Beobachtungen in der Tatsache, dass in (quasi)-stetigen bzw. kontinuierlichen Situationen schneller auf strategische Kooperationsangebote reagiert werden kann und temporäre Verluste, zum Beispiel durch eine höhere Preissetzung, in der Regel schnell, durch eine korrespondierende Preiserhöhung der Kontrahenten kompensiert werden. In Spielen der klassischen Spieltheorie, in welchen Züge nur zu diskreten Zeitpunkten gespielt werden dürfen, wird die, auf ein solches Angebot folgende Periode niedrigerer Auszahlungen, als schmerzhafter wahrgenommen. Die

³⁵ ATPCO steht für *Airline Tariff Publishing Company*.

Folge ist eine niedrigere Bereitschaft zu kooperativem Verhalten bei diskreten Entscheidungszeitpunkten bzw. Intervallen. Bei direkten Reaktionsmöglichkeiten und asynchronen Zügen ist die Bereitschaft zur Kooperation entsprechend höher (vgl. Bigoni et al., 2015, S. 588f.).

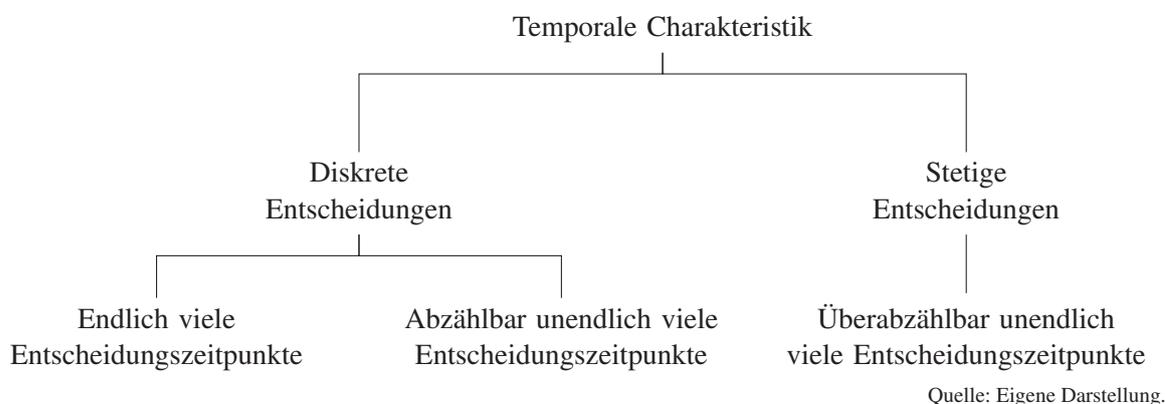


Abbildung 2.8: Temporale Charakteristik diskreter und stetiger Entscheidungszeitpunkte

Während in der Literatur die strukturellen Unterschiede zwischen diskreten und kontinuierlichen Spielen in stetiger Zeit bereits umfassend diskutiert wurden (vgl. Simon & Stinchcombe, 1989), ist die empirische Erforschung von Verhaltensmustern im Bezug auf kontinuierliche Spiele ein vergleichsweise junger Forschungszweig (vgl. Oprea et al., 2014; bzw. Calford & Oprea, 2017). Die Fortschritte im Bereich der computergestützten, verteilten Systeme haben jedoch in den letzten Jahren zu einem Anstieg empirischer Arbeiten mit zeitstetigen Modellen in der Spieltheorie geführt, zu welchen sich auch die vorliegende Arbeit zählt. Gerade im Bereich der kontinuierlichen Modellierung von ursprünglich diskreten Spielen, wie dem wiederholten Gefangenendilemma für zwei Spieler, sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum Teil noch widersprüchlich und werden daher kontrovers diskutiert. So beobachten Bigoni et al. (2015) bei (quasi)-kontinuierlichen Spielen mit deterministischem Spielende eine höhere Kooperationsrate, als bei Spielen mit stochastischem Spielende bei identischer erwarteter Spieldauer. Bó (2005) stellt in einer vergleichbaren Studie einen umgekehrten Effekt fest.

Auch wenn viele Effekte in diesem Zusammenhang noch nicht abschließend geklärt sind, ist sich die Literatur einig, dass der Wechsel von diskreten auf stetig-kontinuierliche Modelle Einfluss auf die Kognition von Spielen und demnach auch auf beobachtbares Zugverhalten nimmt (vgl. Friedman & Oprea, 2012; Oprea et al., 2014; Bigoni et al., 2015). Im Bezug auf die „Reichhaltigkeit der Informationsstruktur“ eines Spiels, herrscht zudem ein weitgehender Konsens darüber, dass Spielmechanismen umso reichhaltiger werden, je mehr sie sich einer realdynamischen, stetigen und somit auch endogenen Modellierung annähern. Die Auswirkungen verschiedener Reichhaltigkeiten der Informationsstruktur auf konkrete, verhaltensökonomische Fragestellungen, sollen im Zuge dieser Arbeit näher beleuchtet werden.

2.3 Systematische Abgrenzung von informationsspezifischen Spielmechanismen

Nachdem der Begriff des Spielmechanismus anhand seiner Regeln, seiner Informationscharakteristik, sowie dem korrespondierenden Modus und der temporalen Abfolge der einzelnen Entscheidungszeitpunkte charakterisiert wurde, sollen im folgenden Abschnitt drei konkrete Mechanismen abgeleitet und diskutiert werden. Jeder dieser Spielmechanismen steht hierbei charakteristisch für eine bestimmte Reichhaltigkeit der spielcharakterisierenden Informationsstruktur und kann folglich in eine ordinale Rangordnung für dieses Kriterium einsortiert werden³⁶. Ziel ist es hierbei, charakteristische und klar gegeneinander abgrenzbare Spielmechanismen zu definieren, welche im empirischen Teil der Arbeit technisch umsetzbar, empirisch analysierbar und bezüglich beobachteter Effekte vergleichbar sind.

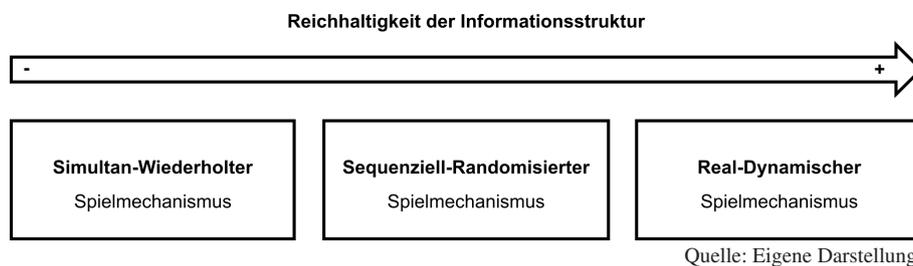


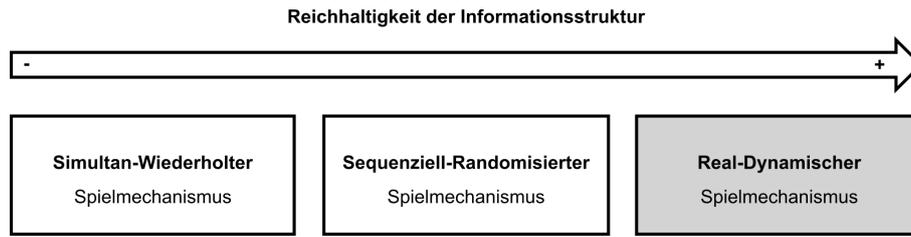
Abbildung 2.9: Die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur nimmt mit zunehmender Realitätsnähe zu

Im Fokus steht hierbei die Charakterisierung eines **real-dynamischen** Spielmechanismus, welcher als möglichst genaue Approximation an reale Konflikte, im Sinne dieser Arbeit, ausgelegt ist und dementsprechend eine vergleichsweise hohe Reichhaltigkeit der zugrunde liegenden Informationsstruktur aufweist. Ausgehend hiervon, werden schrittweise Simplifizierungen vorgenommen, wodurch sich der Spielmechanismus einem traditionell modellierten, sequenziellen Spiel mit randomisierter Zugreihenfolge annähert (vgl. Radner & Rosenthal, 1982). Der sogenannte **sequenziell-randomisierte** Spielmechanismus weist in der Folge eine deutlich niedrigere Reichhaltigkeit der Informationsstruktur auf. Stellt man in einem weiteren Schritt zusätzlich die Zugreihenfolge von einer sequenziellen auf eine simultane Entscheidungsstruktur um, ergibt sich ein **simultan-wiederholter** Spielmechanismus, welcher sich an dem Modell von Friedman und Oprea (2012) orientiert. Analog zur Charakterisierung von (un)endlich wiederholten Spielen in Normalform, liegt diesem Spielmechanismus, im Vergleich zu den beiden zuvor beschriebenen Mechanismen, die geringste Reichhaltigkeit der Informationsstruktur zugrunde³⁷.

³⁶ Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren ist eine kardinale Quantifizierung der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur nicht praktikabel. Durch die Herleitung dreier charakteristischer Spielmechanismen, mit klar gegeneinander abgrenzbaren Eigenschaften, ist eine ordinale Sortierung hingegen vergleichsweise einfach sicherzustellen und für die Untersuchungen im Zuge dieser Arbeit ausreichend.

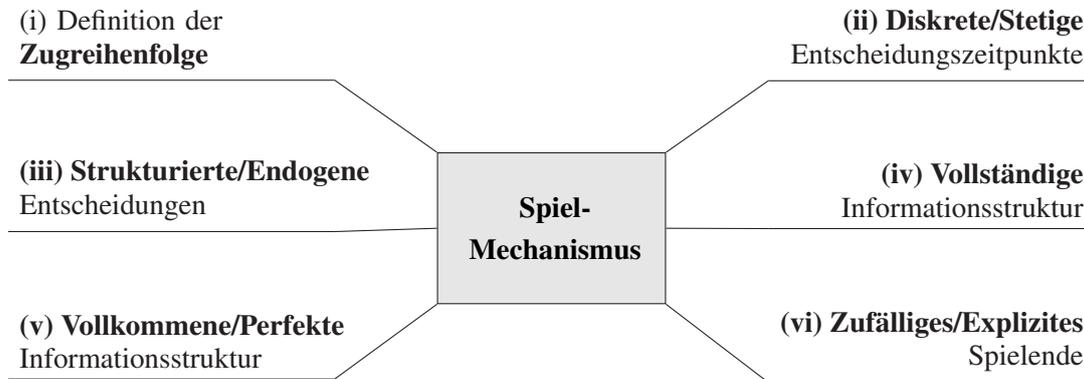
³⁷ Im folgenden Abschnitt wird primär auf die theoretisch-strukturbasierten Eigenschaften der einzelnen Spielmechanismen eingegangen. Für die technisch-modellbasierte Umsetzung sei auf Abschnitt 4.3 verwiesen.

2.3.1 Real-dynamische Spiele in stetiger Zeit



Der Begriff der *real-dynamischen* Modellierung ist in der Literatur nicht eindeutig definiert und wird je nach Autor und Fachgebiet unterschiedlich verwendet und charakterisiert. Fang et al. (1989, S. 2–3) sprechen bei Modellen, welche reale Konflikte approximieren sollen, von „Real-World-Modelling“. Andere Arbeiten, mit eher anwendungsorientiertem Fokus, sprechen zudem häufig von „dynamischer“ Modellierung, um sich von den statischen Modellen der klassischen Spieltheorie abzugrenzen (vgl. Jing et al., 2020). Steht hingegen der stetige bzw. endogene Aspekt von Entscheidungen im Fokus der Untersuchung, wird meist von „kontinuierlicher“ Konflikt-Modellierung gesprochen (vgl. beispielsweise Simon & Stinchcombe, 1989; Friedman & Oprea, 2012; Bigoni et al., 2015; Calford & Oprea, 2017).

Aufgrund der Vielzahl der Begrifflichkeiten und mangelnder Kongruenz bzgl. den konkreten Parametern der einzelnen Modelle, soll im Folgenden der *real-dynamische* Spielmechanismus im Sinne dieser Arbeit anhand von sechs Dimensionen³⁸ beschrieben werden (vgl. Abbildung 2.10).



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2.10: Dimensionen des Spielmechanismus im Bezug auf die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur

³⁸ Die Definition der Zugreihenfolge ist anhand dieser Einteilung nicht zwangsläufig überschneidungsfrei zu der Definition der temporalen Struktur, sowie der Endogenität des Spielmechanismus. Aus Gründen der Kongruenz und zum besseren Verständnis ist der Beschreibung der Zugreihenfolge dennoch ein eigener Unterpunkt gewidmet.

Die Definition bezieht sich hierbei explizit auf die strukturell-theoretischen Eigenschaften des Spielmechanismus. Für eine konkrete Umsetzung des Spielmechanismus, inklusive technischer und modellbasierter Parameter, wie die Anzahl der Spieler, der Payoffs oder der konkreten Zeitintervalle bei diskreten Entscheidungszeitpunkten, sei auf Abschnitt 4.3 verwiesen.

(i) **Definition der Zugreihenfolge**

Entsprechend der Zielsetzung der *real-dynamischen* Modellierung, im Sinne einer realitätsnahen Approximation realer Konflikte, wird auf eine exogene Definition einer konkreten Zugreihenfolge explizit verzichtet. Analog zu der Auffassung von Bigoni et al. (2015, S. 588) wird die Möglichkeit der direkten Reaktion auf jegliche Veränderungen der Spielumwelt als zentrales Kriterium *real-dynamischer* Konfliktmodellierung betrachtet. Daraus folgt, dass jeder, am Konflikt beteiligte, Spieler jederzeit das Recht haben muss, seine Strategie zu ändern. Eine regelbasierte Verpflichtung seine Strategie anzupassen besteht hingegen nicht. Strukturell ist dies nur mithilfe einer kontinuierlichen, temporalen Struktur des Modells zu realisieren.

(ii) **Diskrete/Stetige Entscheidungszeitpunkte**

Eine wesentliche Eigenschaft realer Konflikte besteht in der Tatsache, dass Akteure zu jeder Zeit sowohl aktiv als auch reaktiv ihre Strategie anpassen können und hierbei in Echtzeit über den Spielverlauf informiert werden. Hierbei ist nicht nur die Aktion oder Reaktion an sich (vgl. Strukturierte/Endogene Entscheidungen) als strategische Komponente zu bewerten, sondern darüber hinaus auch der exakte Zeitpunkt der Ausübung. Eine **stetige Modellierung** des *real-dynamischen* Spielmechanismus, sowie eine annähernd stetige experimentelle Umsetzung ist daher erforderlich, um die erwünscht hohe strategische Reichhaltigkeit der Informationsstruktur sicherzustellen.

(iii) **Strukturierte/Endogene Entscheidungen**

Analog zur Anforderung an stetige Modellierung ist auch **vollkommene Endogenität** im Bezug auf die gewählten Züge eine Grundvoraussetzung, um die strategische Reichhaltigkeit realitätsapproximierender Konflikte zu gewährleisten. Im Gegensatz zu strukturierten Entscheidungen steht es Spielern im *real-dynamischen* Spiel grundsätzlich frei, sämtliche zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen unabhängig vom jeweils betrachteten Zustand des Spiels zu nutzen. Die Freiheit des Spielers in seinen Entscheidungen wird zu keinem Zeitpunkt eingeschränkt. Hierzu zählt explizit auch die Option sich nicht am Spiel zu beteiligen oder (objektiv) irrationale Handlungen vorzunehmen. Auch auf eine Runden-Struktur oder regelbasierte Entscheidungssequenzen wird im *real-dynamischen* Spielmechanismus bewusst verzichtet.

(iv) **Vollständige Informationsstruktur**

Im Sinne dieser Arbeit wird für alle hier definierten Spielmechanismen **vollständige und**

symmetrische Information angenommen und muss entsprechend in der experimentellen Umsetzung sichergestellt werden. Ein umfassendes Verständnis der zugrunde liegenden Spielregeln aller, am Spiel beteiligten, Akteure ist hierbei Grundvoraussetzung für eine vergleichende analytische Auswertung³⁹.

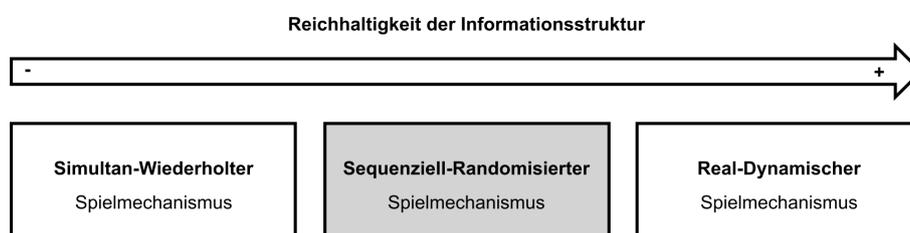
(v) **Vollkommene Informationsstruktur**

Im Zuge des *real-dynamischen* Spielmechanismus wird ein **vollkommen transparenter Markt** unterstellt, in welchem die Entscheidungen eines Akteurs allen anderen Spielern in (annähernd) Echtzeit übermittelt werden. Die Spielhistorie ist als „Common Knowledge“ zu bewerten. Dem Autor ist an dieser Stelle bewusst, dass in realen Konflikten vollständige Information nicht zwangsläufig gegeben ist, aber aufgrund der zunehmenden Transparenz der Märkte auch in realen Märkten in zunehmendem Maß erreicht wird⁴⁰.

(vi) **Zufälliges/Explizites Spielende**

Entsprechend den Erkenntnissen von Bigoni et al. (2015) und Bó (2005) hat die Gestaltung des Spielendes einen signifikanten Einfluss auf das Entscheidensrational der beteiligten Spieler. Um Endspieeffekte zu vermeiden und die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Spielmechanismen sicherzustellen, wird in allen hier beschriebenen Spielmechanismen das Spielende **stochastisch** innerhalb eines festgelegten Intervalls ermittelt⁴¹.

2.3.2 Sequenziell-randomisierte Spiele



In Abgrenzung zum *real-dynamischen* Spielmodus, weist der *sequenziell-randomisierte* Spielmechanismus reduzierte Freiheitsgrade auf und substituiert diese mit strukturierenden Elementen aus der klassischen Spieltheorie (vgl. Radner & Rosenthal, 1982). Ziel ist hierbei eine mittlere Reichhaltigkeit der zugrunde liegenden Informationsstruktur abzubilden, welche zum einen weniger strategische Anhaltspunkte als der *real-dynamische* Mechanismus beinhaltet, gleichzeitig jedoch weiterhin eine höhere Dynamik und mehr individuelle Kontrolle beinhaltet, als *simultan-wiederholte* Spiele. Im Folgenden werden die konkreten Ausgestaltungen der sechs Dimensionen des *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus vorgestellt:

³⁹ Für die konkrete Gestaltung der Payoffs, sowie der Auszahlungsintervalle, sei an dieser Stelle auf Abschnitt 4.3 bzw. Abschnitt 5.1 verwiesen.

⁴⁰ Für eine detaillierte Diskussion dieser Frage sei auf Unterunterabschnitt 2.2.1.2 verwiesen.

⁴¹ Zur technischen Umsetzung des Spielendes im Experiment sei auf Abschnitt 4.2 verwiesen.

(i) Definition der Zugreihenfolge

Entsprechend seiner Bezeichnung beinhaltet der *sequenziell-randomisierte* Spielmechanismus eine sequenziell strukturierte Zugreihenfolge. Hierbei wird einem randomisiert ausgewählten Spieler für ein klar festgelegtes Zeitintervall gestattet seine Strategie anzupassen oder beizubehalten. Hierbei wissen alle Spieler, wer aktuell an der Reihe ist, können jedoch aufgrund der Randomisierung nicht absehen, wer als nächstes am Zug ist. Trotzdem wird sichergestellt und kommuniziert, dass sowohl die Anzahl der Züge pro Spieler, als auch die Frequenz im (quasi)-unendlichen Spiel annähernd fair verteilt ist⁴². Der Mechanismus stellt somit einen Kompromiss aus klassischen, a-priori sequenzierten Spielen und und real-inspirierten Spielen dar, da nicht unmittelbar absehbar ist, welcher Spieler als nächstes auf den aktuellen Zustand reagieren wird (vgl. Radner & Rosenthal, 1982, S. 401f.).

(ii) Diskrete/Stetige Entscheidungszeitpunkte

In Abgrenzung zum real-dynamischen Spielmechanismus setzt sich der sequenziell-randomisierte Mechanismus aus **diskreten Entscheidungszeitpunkten** bzw. Intervallen zusammen, in welchen jeweils einem Spieler das Recht zur Strategieänderung zugesprochen wird. Die Entscheidung wird allen, am Spiel beteiligten, Spielern gleichzeitig am Ende einer jeden Auswahlperiode mitgeteilt.

(iii) Strukturierte/Endogene Entscheidungen

Aufgrund der randomisierten, jedoch gleichzeitig eindeutigen, Zuteilung der Entscheidungszeitpunkte auf die einzelnen Spieler, sind die beteiligten Akteure, in Abgrenzung zum *real-dynamischen* Mechanismus, nicht in der Lage, sich vollkommen endogen zur Anpassung ihrer Strategie zu entscheiden. Der Spielmechanismus gibt eine **strukturierte** Zugreihenfolge auf Basis einer stochastisch ermittelten Verteilung des Zugrechtes vor. Es besteht allerdings nach wie vor keine Pflicht die Strategie im eigenen Auswahlintervall zu verändern, sondern lediglich ein temporäres Recht zur Anpassung.

(iv) Vollständige Informationsstruktur

Analog zum real-dynamischen Spiel ist die Informationsstruktur weiterhin als **vollständig** zu bezeichnen, da die Regeln des Spiels (inkl. der stochastischen Elemente und deren Wahrscheinlichkeitsverteilung) allen Spielern bereits vor dem Spiel vollständig bekannt sind. Zudem ist das Spiel bezüglich seiner Handlungsoptionen und Payoffs weiterhin symmetrisch.

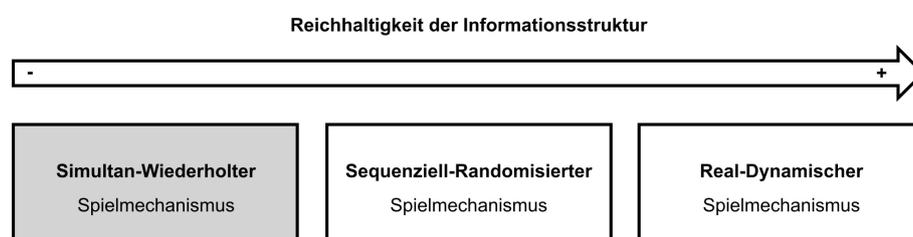
⁴² Für die technische Ausgestaltung der Randomisierung, sowie eine Beschreibung des regelbasierten Algorithmus zur Generierung einer „fairen“ Zugreihenfolge, sei auf den experimentellen Teil der Arbeit in Unterabschnitt 4.3.2 verwiesen.

(v) Vollkommene Informationsstruktur

Im Vergleich zum real-dynamischen Spiel nimmt der in Unterabschnitt 2.2.1 definierte Informationsgrad ab, da die Entscheidung des, am Zug befindlichen, Akteurs erst nach Ablauf seines Entscheidungsintervalls mit den anderen Akteuren geteilt wird. Da die Spieler zum Zeitpunkt ihrer eigenen Züge über jeweils über die gesamte Spielhistorie informiert sind, findet jedoch zumindest die **Zugentscheidung unter vollkommener Information** statt.

(vi) Zufälliges/Explizites Spielende

Um Endspieeffekte zu vermeiden und die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Spielmechanismen sicherzustellen, wird in allen beschriebenen Spielmechanismen das Spielende **stochastisch** innerhalb eines festgelegten Intervalls ermittelt.

2.3.3 Simultan-wiederholte Spiele

Der *simultan-wiederholte* Spielmechanismus bildet, im Vergleich zu den beiden zuvor erläuterten Mechanismen, die geringste Reichhaltigkeit der Informationsstruktur ab. Insbesondere zeichnet er sich durch eine diskret-rundenbasierte Struktur, einen geringen Informationsgrad, sowie den weitgehenden Verzicht auf endogene Entscheidungszeitpunkte aus. Trotz dieser Einschränkungen im Bezug auf die Approximation realer Konflikte stellt diese Klasse von Spielen den empirisch am häufigsten untersuchten Spielmechanismus dar, wie die Arbeiten von Andreoni und Miller (1993), Hauk und Nagel (2001) und Bereby-Meyer und Roth (2006) nahelegen⁴³. Im Folgenden soll der *simultan-wiederholte* Spielmechanismus im Sinne dieser Arbeit anhand der sechs relevanten Dimensionen des Spielmechanismus definiert werden:

(i) Definition der Zugreihenfolge

Die Zugreihenfolge innerhalb des *simultan-wiederholten* Spielmechanismus lässt sich anhand seiner beiden Namensbestandteile „simultan“ und „wiederholt“ definieren. Erstens werden die Strategien von allen am Spiel beteiligten Akteuren, gemäß Unterabschnitt 2.1.2.1, gleichzeitig in jeder Runde festgelegt. Die gewählten Aktionen der Gegenspieler sind hierbei zum Zeitpunkt der Entscheidung unbekannt. Zweitens werden im

⁴³ Alle hier genannten Arbeiten untersuchen, anhand eines wiederholten Spiels mit jeweils 10 Runden, unterschiedliche verhaltensökonomische und spieltheoretische Fragestellungen.

simultan-wiederholten Spielmechanismus mehrere Runden hintereinander mit gleichbleibenden Gegenspielern gespielt, wobei die Ergebnisse der Vorrunden allgemein bekannt sind und entsprechend mit in die Entscheidungsfindung einbezogen werden können (vgl. Friedman & Oprea, 2012). Eine direkte Reaktion auf vorangegangene Züge ist somit prinzipiell möglich, die Interpretation ist, aufgrund der potentiell multiplen strategischen Elemente in jeder Runde, jedoch nicht zwangsläufig eindeutig (vgl. Bigoni et al., 2015).

(ii) **Diskrete/Stetige Entscheidungszeitpunkte**

Aufgrund seiner Charakteristik als (un)endlich wiederholtes Spiel, sind die Entscheidungszeitpunkte per Definition als **diskret** zu betrachten. Jede Runde bildet einen klar abgrenzbaren Abschnitt des Spiels ab, in welchem die Spieler eine Zugentscheidung treffen. Die Rundenergebnisse werden den Spielern am Ende einer jeden Runde gleichzeitig mitgeteilt. Weiterhin wird die Entscheidungsphase einer Runde nicht vorzeitig beendet, sobald sich alle Spieler für ihre Strategie entschieden haben. Durch diese Eigenschaft wird sichergestellt, dass keine strategischen Informationen, welche sich aus einer vorzeitig beendeten Runde ableiten lassen, in das Entscheidungskalkül der Akteure einfließen können⁴⁴.

(iii) **Strukturierte/Endogene Entscheidungen**

Analog zu der diskreten Charakteristik der Entscheidungszeitpunkte ist auch der Modus Entscheidungen als **strukturiert** zu betrachten und weist kaum noch endogene Eigenschaften auf. Die Anzahl der strategischen Freiheitsgrade ist stark begrenzt. Lediglich die Entscheidung über eine Veränderung der eigenen Strategie innerhalb der vorgegebenen Entscheidungssituation bleibt dem Spieler überlassen. Die aktive oder passive Verarbeitung strategischer Informationen, welche aus endogenen Elementen, wie der freiwilligen Zugentscheidung oder kurzfristigen „Signal“-Zügen hervorgehen, wird durch die Struktur des Spiels erschwert (vgl. Friedman & Oprea, 2012, S. 350).

(iv) **Vollständige Informationsstruktur**

Wie schon im *real-dynamischen*, als auch im *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus, sind den Akteuren alle Regeln des Spiels **vollständig** bekannt. Vollständige Information kann daher in allen untersuchten Spielmechanismen angenommen werden.

(v) **Vollkommene Informationsstruktur**

Aufgrund der rundenbasierten Struktur des Spiels, sowie der simultanen und verdeckten Auswahl von Handlungsoptionen, ist der Informationsgrad im *simultan-wiederholten* Spiel, in Abgrenzung zum *real-dynamischen* und *sequenziell-randomisierten* Spielme-

⁴⁴ Während im *sequenziell-randomisierten* Spiel nur Teile der ursprünglich stetigen Spielumwelt durch diskrete Elemente ersetzt wurden, werden im *simultan-wiederholten* Spiel alle stetigen Eigenschaften des Spiels bewusst diskretisiert. Übergeordnetes Ziel bleibt dabei weiterhin die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur soweit einzuschränken, dass eine klare Abgrenzung zu den beiden zuvor behandelten Spielmechanismen möglich wird.

chanismus, als gering einzuschätzen. Es liegt demnach **unvollkommene Information** vor, auch wenn die Ergebnisse der vergangenen Runden weiterhin allen Akteuren als „Common Knowledge“ bekannt sind⁴⁵.

(vi) **Zufälliges/Explizites Spielende**

Auch im *simultan-wiederholten* Spielmechanismus wird das Spielende **stochastisch** ermittelt um unerwünschte Endspieeffekte auszuschließen. Gerade in wiederholten Spielen mit simultanen Zugentscheidungen sind diese Effekte in der Literatur umfassend belegt (vgl. Bó, 2005; bzw. Bigoni et al., 2015).

Nach der detaillierten Betrachtung der drei Spielmechanismen im Bezug auf deren jeweiligen Reichhaltigkeiten der Informationsstruktur, sollen die wesentlichen Unterschiede nochmals zusammengefasst werden. **Erstens** folgt aus der endogenen Struktur des *real-dynamischen* Spielmechanismus, dass dieser im empirischen Zusammenhang nicht als äquivalent zu einem Multi-Stufen-Spiel nach J. H. Hamilton und Slutsky (1993) aufgefasst werden kann. Er repräsentiert vielmehr eine eigenständige Klasse von Spielen, deren strukturelle Auswirkungen im weiteren Verlauf der Arbeit empirisch untersucht werden sollen. **Zweitens** setzt sich der *real-dynamische* Mechanismus aufgrund der Zugauswahl in (annähernd) stetiger Zeit, sowie bezüglich der generell geltenden Freiwilligkeit von Aktionen und Reaktionen, eindeutig vom *simultan-wiederholten* Spielmodus ab. Dieser Unterschied bleibt auch im Vergleich mit dem *sequenziell-randomisierten* Spielmodus vorhanden, welcher trotz vollkommener Informationsstruktur, aufgrund der randomisierten Zuteilung von Zügen, nicht als äquivalent zum vollendogenen Charakter des real-dynamischen Modus aufgefasst werden kann. **Drittens** kann von einem strukturellen Unterschied zwischen dem *simultan-wiederholten* und dem *sequenziell-randomisierten* Mechanismus ausgegangen werden. Durch die Fiktion der Gleichzeitigkeit beim *simultan-wiederholten* Modus, sowie den daraus folgenden, klar definierten Informationsmengen, unterscheidet sich der Spielmodus sowohl auf Modellebene, als auch bezüglich, der zum Zeitpunkt der Entscheidung zur Verfügung stehenden Informationen, vom *sequenziell-randomisierten* Mechanismus. Im weiteren Verlauf der Arbeit sollen diese Unterschiede zwischen den Spielmechanismen empirisch überprüft und vergleichend analysiert werden.

2.4 Einfluss des Spielmechanismus auf das Koordinationsverhalten

Nachdem auf Grundlage des allgemeinen Konfliktbegriffs verschiedenen Konzepte zur Modellierung dynamischer Spiele vorgestellt und auf Grundlage der Reichhaltigkeit ihrer Informationsstruktur klassifiziert wurden, beschäftigt sich der folgende Abschnitt mit den Auswirkungen dieser Spielmechanismen auf das beobachtbare Spielerverhalten. Im Zentrum steht hier-

⁴⁵ Vgl. hierzu auch Unterabschnitt 2.2.1 zum Thema Informationsgehalt und Informationsgrad.

bei der Begriff der Koordination im spieltheoretischen Sinne, sowie das Reaktionsverhalten in Abhängigkeit vom konkret angelegten Spielmechanismus. Der Forschungsbereich, der dem empirischen Zweig⁴⁶ der *Mechanismus-Design-Theorie* zuzuordnen ist, hat gerade nach dem Wirtschaftsnobelpreis an Leonid Hurwicz, Eric Maskin, and Roger Myerson im Jahr 2007 (vgl. Myerson & Satterthwaite, 1983; bzw. Hurwicz, 1978) zu einer deutlichen Steigerung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen auf diesem Gebiet geführt.

2.4.1 Einordnung existierender Untersuchungen

Einen Startpunkt der Analyse der Effekte von Spielmechanismen auf das individuelle Koordinationsverhalten stellt die Arbeit von Simon und Stinchcombe (1989) dar, welche erstmals ein theoretisches Modell für Spiele vorstellt, die in kontinuierlicher bzw. stetiger Zeit gespielt werden. Hierbei werden, ausgehend von einem klassischen Stufenspiel, die Längen der einzelnen Stufen auf dem betrachteten Zeitintervall zunächst so lange verkürzt, bis sie sich einer infinitesimalen Länge nähern. Das Ergebnis ist ein mathematisch wohldefiniertes Spiel in kontinuierlicher Zeit. In der anschließenden, gleichgewichtstheoretischen Untersuchung kann gezeigt werden, dass einige Gleichgewichte des wiederholten Spiels im kontinuierlichen Spiel nicht weiter existieren, wohingegen unter gewissen Voraussetzungen neue Gleichgewichte entstehen. Für das Gefangenendilemma konnte die Strategie „Volle Kooperation“ als einzig stabile Strategie identifiziert werden⁴⁷ (vgl. Simon & Stinchcombe, 1989, S. 1198–1199).

Radner und Rosenthal (1982) setzen an einem vergleichbaren Punkt an, beschäftigen sich allerdings mit der Frage, ab welchem Zeitpunkt in einem n -fach wiederholten, endlichen Gefangenendilemma ein Defektionszug effizient ist, falls von einer sogenannten „Grim-Trigger-Strategie“⁴⁸ des Gegenspielers ausgegangen wird. Zentrales Ergebnis der Untersuchung ist, dass bei einer zunehmenden Anzahl von Runden des Spiels T die Defektions-Option zunehmend ineffizient wird. Da sich das Spiel, nach der Auffassung von Simon und Stinchcombe (1989), mit zunehmender Anzahl der Runden in einem vorab festgelegten Zeitintervall einem kontinuierlichen Spiel annähert, stützt diese Erkenntnisse die Hypothese, dass gegenseitige Kooperation in kontinuierlichen Spielen eine valide Strategie sein kann. Die Herleitung ist an dieser Stelle vergleichbar mit der in Appendix A.1 hergeleiteten Validität der Kooperationsstrategie in unendlich wiederholten Spielen, bezieht sich jedoch konkret auf kontinuierliche Spiele.

⁴⁶ Die klassische, modellbasierte Mechanismus-Design-Theorie beschäftigt sich nicht direkt mit der Frage wie die Spieler ein definiertes Spiel spielen werden, sondern vielmehr wie ein Spiel gestaltet werden muss, um ein gewünschtes Ergebnis zu erhalten. Der empirische Zweig der Mechanismus-Design-Theorie testet die so erarbeiteten Mechanismen hingegen mithilfe von ökonomischen Experimenten und hat die Aufgabe Theorien zu überprüfen oder explorativ unvorhergesehene Effekte von Spielmechanismen zu identifizieren.

⁴⁷ Simon und Stinchcombe (1989) beschränken ihre Analysen an dieser Stelle auf den 2-Spieler-Fall.

⁴⁸ Unter einer *Grim-Trigger-Strategie* wird im verallgemeinerten Spiel eine Strategie verstanden, in welcher der betrachtete Spieler so lange Handlungsoption A spielt, bis der Gegenspieler erstmals Handlungsoption B spielt. Ab diesem Zeitpunkt spielt der Grim-Trigger-Spieler, unabhängig von den weiteren Aktionen seines Gegenspielers, Handlungsoption B.

Nachfolgende Arbeiten von Huberman und Glance (1993) bzw. Bergin und MacLeod (1993) widersprechen diesen Erkenntnissen in gewissen Teilbereichen und prognostizieren abweichende Effekte. So gehen Huberman und Glance (1993) von einer generellen Steigerung der beobachtbaren Koordination in simultan gespielte Versionen des Gefangenendilemmas in diskreten Zeitintervallen im Vergleich zum sequenziell-asynchron gespielten Spiel in (annähernd) stetiger Zeit aus. Bergin und MacLeod (1993) hingegen machen die beobachteten Effekte von der Struktur konkret verwendeten Payoff-Matrix abhängig und bestätigen das Ergebnis des erweiterten Folk-Theorems⁴⁹ wonach alle Spielsequenzen, welche mindestens den bilateralen Defektionspayoff erreichen, als Nash-Gleichgewichte aufgefasst werden können.

Entsprechend der vorgestellten Theorien ergeben sich **drei mögliche Vorhersagen** für empirisch messbares Spielerverhalten im real-dynamischen Gefangenendilemma:

- (I) Die klassische Theorie (endlich) wiederholter Spiele, ohne Diskontierung der Payoffs im Zeitverlauf, sagt bilaterale Defektion als einzig valides Gleichgewicht voraus.
- (II) Simon und Stinchcombe (1989) bzw. Radner und Rosenthal (1982) prognostizieren bilaterale Kooperation mit zunehmender Annäherung an kontinuierliche Modellierung. Auch die Theorie unendlich oft wiederholter Spiele identifiziert die Kooperationslösung als langfristig präferiertes Gleichgewicht⁵⁰ (vgl. Riechmann, 2014, S. 147–148).
- (III) Das erweiterte Folk-Theorem bzw. Bergin und MacLeod (1993) erwartet, dass jede Spielsequenz, welche den individuellen Payoff der bilateralen Defektion im Zeitverlauf schlägt, als valides Ergebnis in Frage kommt.

Friedman und Oprea (2012) widmen dieser Frage eine empirische Studie und vergleichen, anhand eines spieltheoretischen Laborexperiments, die Kooperations-Quoten eines wiederholten Stufen-Spiels mit denen einer kontinuierlichen Implementierung des klassischen 2-Spieler Gefangenendilemmas. Hierbei kann im kontinuierlichen Spiel eine signifikant höhere Kooperations-Quote beobachtet werden. Diese Erkenntnis bestätigt die Prognose von Simon und Stinchcombe (1989) bzw. Radner und Rosenthal (1982), kann allerdings nicht ohne weiteres auf allgemeine Spiele übertragen werden.

Bigoni et al. (2015) untersuchen ebenfalls, anhand einer empirischen Untersuchung, den Einfluss verschiedener Spielmechanismen auf die Koordination, wählen hierbei allerdings nicht wie Friedman und Oprea (2012) die Zugreihenfolge als zentrale Dimension der Untersuchung, sondern den Zeithorizont in diskreten und kontinuierlichen Spielen. Trotz der hohen Relevanz des Themenbereichs merken Bigoni et al. (2015, S. 588) an, dass die Analyse sozialer Dilemmas, mit der Möglichkeit stetiger und endogener Reaktionen und deren Effekte auf das koordinative

⁴⁹ Für eine detaillierte Definition des Folk-Theorems sei auf Unterunterabschnitt 2.1.2.1 verwiesen.

⁵⁰ Vgl. hierzu auch Appendix A.1.

Spielerverhalten, noch weitgehend unerforscht sind. Die vorliegende Arbeit setzt sich auf dieser Grundlage das Ziel einen Beitrag zur Erforschung dieser Fragestellung zu leisten.

2.4.2 Der Koordinationsbegriff im Sinne dieser Arbeit

Während sich die, im vorangegangenen Abschnitt, beschriebenen Arbeiten jeweils primär mit der Frage der „Kooperation“ im klassischen 2-Spieler-Gefangenendilemma auseinandersetzen, ist der Begriff der „Koordination“ noch nicht hinreichend definiert. So treten zahlreiche koordinative Effekte und strategische Konstrukte, wie beispielsweise Bündnisse gegen einzelne Spieler, erst bei Spielen mit mehr als 2 Spielern auf. Im Folgenden sollen die Begriffe Kooperation und Koordination daher voneinander abgegrenzt und im Sinne dieser Arbeit definiert werden. Hierbei wird der allgemeine Konflikt-Begriff als Ausgangspunkt der Diskussion angenommen.

2.4.2.1 Reaktives Koordinationsverhalten

Während sich der Begriff *Kooperation* bei der Untersuchung des Gefangenendilemmas auf die konkrete Handlungsoption bezieht, ist der Begriff der *Koordination* deutlich weiter gefasst und wird je nach betrachtetem Bereich unterschiedlich konnotiert⁵¹. So beschreibt der wirtschaftswissenschaftliche Bereich der Unternehmensführung Koordination vereinfacht ausgedrückt als „Management von Abhängigkeiten“ (vgl. Malone, 1987, S. 1317–1330) und versteht Koordination als Abstimmung der Leistungen der Individuen auf die Ziele der Unternehmung. Die Spieltheorie und die Entscheidungswissenschaften verallgemeinern diese Interpretation von Koordination, indem sie sich auf allgemeine Entscheidungssituationen mit mehreren Akteuren beziehen. Hierbei wird von Koordination gesprochen, wenn sich die einzelnen Akteure in ihren Entscheidungen insofern abstimmen, dass ein übergeordnet präferierter Zustand erreicht werden kann. Besonders hervorzuheben ist hierbei, dass die einzelnen Entscheidungen zum Zeitpunkt der Handlung nicht zwangsläufig individuell optimal sind, aggregiert betrachtet jedoch alle Beteiligten besser stellen (vgl. Boutilier, 1996, S. 196).

Dieses Phänomen lässt sich anschaulich am Beispiel des kontinuierlichen Gefangenendilemmas mit endogener Zugreihenfolge beschreiben. Geht man davon aus, dass sich das Spiel im Zustand gegenseitiger Defektion befindet (vgl. Tabelle 2.4 links), so ist die Strategieänderung eines Spielers auf Kooperation zunächst suboptimal und schmälert den individuellen Payoff signifikant (vgl. Tabelle 2.4 Mitte). Entscheidet sich in der Folge der Gegenspieler nun ebenfalls dazu, seine Strategie auf Kooperation umzustellen, profitieren langfristig beide Spieler vom Zustand gegenseitigen Kooperation (vgl. Tabelle 2.4 rechts). In dieser Situation spricht man auch von „reaktivem Koordinationsverhalten“, da die, bewusst in Kauf genommene, Verschlechterung

⁵¹ Im Folgenden wird der Begriff der *Koordination* nur im wirtschaftswissenschaftlichen Sinne behandelt. Abweichende Definitionen aus dem Bereich der Kinesiologie oder der Sportwissenschaften werden bewusst ausgeklammert.

rung des ersten Spielers glaubwürdig Kooperationsbereitschaft signalisiert, welche vom Gegenspieler im zweiten Schritt erkannt und akzeptiert wurde.

Tabelle 2.4: Reaktive Koordination am Beispiel des 2-Spieler-Gefangenendilemmas

Startpunkt			Koop.-Angebot			Reaktion	
		Sp. B			Sp. B		
		C D			C D		
Sp. A	C	R, R	S, T	Sp. A	C	R, R	S, T
	D	T, S	P, P		D	T, S	P, P

\Rightarrow

		Sp. B			Sp. B		
		C D			C D		
Sp. A	C	R, R	S, T	Sp. A	C	R, R	S, T
	D	T, S	P, P		D	T, S	P, P

\Rightarrow

		Sp. B			Sp. B		
		C D			C D		
Sp. A	C	R, R	S, T	Sp. A	C	R, R	S, T
	D	T, S	P, P		D	T, S	P, P

Quelle: Eigene Darstellung⁵².

Erweitert man die Anzahl der beteiligten Akteure, so vervielfältigt sich die Anzahl koordinativer und strategischer Möglichkeiten überproportional (vgl. Daskalakis & Papadimitriou, 2005). Zudem wird, je nach betrachtetem Spielmechanismus, mit steigender Spieleranzahl die spelerindividuelle Zuordnung von Aktion und Reaktion weniger eindeutig und kann durch diverse Störeffekte überlagert werden. Diese Störeffekte können hier einerseits strategischer Natur sein, oder sich andererseits aus der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur ergeben. Während das in Abschnitt 2.3 beschriebene *simultan-wiederholte* Spiel lediglich unpräzise Reaktionen auf Züge in vorangegangenen Runden zulässt, kann im *sequenziell-randomisierten* Spiel bereits direkter auf vorangegangene Züge der Gegenspieler reagiert werden. Da die Zugreihenfolge hier jedoch weiterhin exogen festgelegt ist, bzw. zufällig erfolgt, können aus dem Zeitpunkt eines Zuges jedoch weiterhin nur unzureichend strategische Intentionen der Mitspieler abgeleitet werden. Erst im *real-dynamischen* Spiel können, aufgrund der Endogenität der Zugzeitpunkte, sinnvolle Aktions-Reaktions-Ketten erfasst und in die individuelle, strategische Entscheidungsfindung integriert werden (vgl. Bigoni et al., 2015, S. 588). Einige Autoren wie Bó (2005, S. 1602), Friedman und Oprea (2012, S. 388ff.) oder vgl. Bigoni et al. (2015, S. 588) stellen in ihren Arbeiten bereits ähnliche Vermutungen auf - eine empirische Untersuchung der konkreten Effekte dieser Spielmechanismen auf das beschriebene Koordinationsverhalten der Akteure steht jedoch noch aus.

2.4.2.2 Temporäre Verschlechterungen als koordinatives Signal

Eine verbreitete Möglichkeit koordinatives Verhalten in spieltheoretischen Konflikten zu analysieren, besteht in der Betrachtung temporärer bzw. strategischer Verschlechterungen. Chin-

⁵² Die Akronyme der einzelnen Payoffs sind den englischen Standardbezeichnungen der Ergebnisse des Gefangenendilemmas entlehnt - „Treasure“ T, „Reward“ R, „Punishment“ P und „Sucker“ S (vgl. Yao & Darwin, 1994, S. 2).

czewski (2019, S. 80) identifiziert hierzu zunächst **drei Struktureigenschaften**, bei welchen eine erhöhte Häufigkeit von bewussten Verschlechterungszügen erwartet werden kann:

- (I) Der *aktuelle Zustand* des Spiels wird vom agierenden Akteur *weniger (oder identisch) präferiert*, als der von ihm im schlechtesten Fall erwartete Konfliktausgang.
- (II) Es existiert eine, vom agierenden Akteur, präferierte Konfliktlösung, die den aktuellen Zustand *pareto-dominiert*.
- (III) Es liegt eine, vom agierenden Akteur präferierte, mittelfristig erreichbare Konfliktlösung vor, welche von ihm *induziert* werden kann.

Ist mindestens eine dieser Eigenschaften erfüllt, geht Chinczewski (2019) von einer gesteigerten subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeit der langfristigen Realisierung des präferierten Konfliktausgangs aus, was die initial notwendige Verschlechterung des betrachteten Akteurs rechtfertigt. Obwohl die Verschlechterungsoption per Definition den agierenden Spieler zunächst schlechter stellt und darüber hinaus mit der Option konkurriert, den aktuellen Zustand beizubehalten, kann diese aus individuell strategischer Perspektive attraktiv sein.

Die Verbindung zum oben beschriebenen Koordinationsbegriff, findet sich in der Tatsache, dass ein Mitspieler den bewusst herbeigeführten, strategischen Verschlechterungszug des betrachteten Spielers zum Anlass nimmt, seine Strategie ebenfalls anzupassen, was zu einem beidseitig präferierten Konfliktausgang führt. An dieser Stelle kann nochmals auf das, in Tabelle 2.4 dargestellte, Beispiel verwiesen werden, in welchem sich beide Spieler kurzfristig schlechter stellen, und sich somit auf eine langfristig nutzenmaximierende Lösung koordinieren⁵³. Da ein Verschlechterungszug nur genau dann als rational aufgefasst werden kann, sofern hiermit eine präferierte Lösung angestrebt wird, eignet sich die Auswertung von Verschlechterungen im Spielverlauf zur Analyse bestimmter Aspekte koordinativen Verhaltens (vgl. Chinczewski, 2019, S. 76).

Der Signal-Effekt, welcher von einer temporären Verschlechterung ausgeht, wird im Bereich der Unternehmensführung und Entscheidungstheorie auch häufig unter dem Begriff „Strategisches Commitment“ aufgeführt. Hierbei legt sich ein Unternehmen (zum Beispiel durch eine hohe Investition) frühzeitig auf eine gewisse Technologie fest. Obwohl die verbliebenen Akteure am Markt unter Umständen eine konkurrierende Technologie bevorzugt hätten, ändert diese initiale, kostenintensive Investition das Spiel insofern, dass die Entwicklung einer zweiten Technologie am Markt für die verbliebenen Spieler unrentabel wird (vgl. Brander & Spencer, 1983, S. 225ff.). Die vom Startspieler präferierte Technologie setzt sich in der Folge durch.

⁵³ Falls mindestens eine der oben genannten Eigenschaften im betrachteten Konflikt erfüllt ist, sollten Verschlechterungszüge nur dann nicht auftreten, wenn der Verschlechterungszug in einen nicht-reversiblen, nicht-präferierten Zustand führt. Da alle, im empirischen Teil dieser Arbeit betrachteten, Handlungsoptionen voll reversibel modelliert werden, kann dieser Spezialfall jedoch hier nicht eintreten.

Im Vergleich zum oben genannten Beispiel des Gefangenendilemmas, stellt die temporäre Verschlechterung langfristig nicht alle am Spiel beteiligten Akteure besser, führt jedoch ebenfalls durch die Signalwirkung zu einer Koordination des Gesamtmarktes (vgl. Ware, 1984, S. 370).

2.4.3 Koordinative Züge als Substitut für verbale Kommunikation

Während verbale Kommunikation in der traditionellen Spieltheorie nur in Ausnahmefällen explizit zugelassen wird, steht gerade in Studien mit verhaltenswissenschaftlichem und psychologischem Hintergrund die Analyse von verbaler Kommunikation oftmals im Fokus des wissenschaftlichen Interesses (vgl. Gerardi, 2004; V. Crawford, 1998). Falls die Erlaubnis zur Kommunikation das betrachtete Spiel unerwünscht beeinflusst, kann die Kognition der Entscheidungsfindung alternativ auch über eine Reflexion der Teilnehmer nach oder während des Spiels erfolgen⁵⁴ (vgl. Burkardt, 2020). Zur Abbildung dynamischer Konflikte mit wirtschaftlichem Realitätsbezug, ist Kommunikation jedoch häufig nicht zielführend, da sich Unternehmen aus kartellrechtlicher Sicht nur unter streng regulierten Rahmenbedingungen zu klar definierten Themen absprechen dürfen (vgl. Levenstein & Suslow, 2006, S. 49).

Unternehmen greifen daher auf alternative Wege zur Kommunikation von Absichten zurück. So kann in Oligopol-Märkten, durch eine einseitige Preissteigerung für ein spezifisches Produkt, ein Signal zur Erhöhung des allgemeinen Preisniveaus an die Konkurrenz gesendet werden. Eine kurzfristige Abwanderung von Kunden wird hierbei billigend in Kauf genommen, da analog zum Beispiel in Tabelle 2.4 beim Koordinationserfolg bzw. einer Kartellbildung ein langfristig präferiertes Preisniveau erreicht werden kann (vgl. Feuerstein, 2005). Falls eine solche implizite Absprache zu Lasten einer dritten Partei (hier: Kunden) getroffen wird, spricht man von *impliziter Kollusion* (vgl. Kopf, 2017, S. 35).

Durch Übertragung dieser Beobachtung auf die Modellierung realer Konflikte im spieltheoretischen Experiment können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- (I) Die Ausführung von Handlungsoptionen kann verbale Kommunikation bis zu einem gewissen Grad substituieren (vgl. Feuerstein, 2005, S. 168).
- (II) Die Interpretation von gegnerischen Zügen ist nicht eindeutig und hängt von der individuellen Kognition und dem individuellen Rational des betrachteten Spielers ab. Ein Zug, welcher als Signal für die Mitspieler gedacht war, führt nicht zwangsläufig zum erwünschten Koordinationseffekt (vgl. E. J. Green & Porter, 1984, S. 88).
- (III) Die Modellierung realer, wirtschaftlicher Konflikte auf Oligopol-Märkten, unter explizitem Ausschluss von Kommunikation, erscheint aufgrund kartellrechtlicher Rahmenbe-

⁵⁴ Burkardt (2020) untersucht die Kognition der Entscheidungsfindung in real-dynamischen Spielen, indem er die Akteure nach jedem Zug eine verbale Reflexion auf ein Diktiergerät aufnehmen lässt.

dingungen sinnvoll (vgl. Levenstein & Suslow, 2006, S. 49; bzw. Fershtman & Pakes, 2000).

Im Sinne dieser Arbeit wird im Folgenden und innerhalb der experimentellen Untersuchung verbale Kommunikation explizit ausgeschlossen. Neben den genannten Kriterien zur möglichst genauen Approximation von realen Konflikten, kommt dieses Vorgehen auch der empirischen Auswertung zugute, da sich die Spieler ausschließlich über klar nachvollziehbare Handlungsoptionen koordinieren können. Durch den Verzicht auf externe Abstimmungen können mögliche Abweichungen zwischen den einzelnen Spielmechanismen klar auf die jeweilige Reichhaltigkeit der zugrundeliegenden Informationsstruktur zurückgeführt werden. Eine störungsfreie, differenzierende Analyse wird gewährleistet.

2.5 Synthese der Forschungsfelder und Ableitung der Forschungsfrage

Die zielgerichtete Analyse der Effekte von Spielmechanismen, auf Grundlage empirischer Untersuchungen, stellt einen vergleichsweise jungen Zweig der angewandten Spieltheorie dar. Gerade bei Fragestellungen, welche Mechanismen mit stetigen, endogenen oder kontinuierlichen Elementen in den Fokus stellen, existiert bislang nur eine geringe Anzahl wissenschaftlicher Studien. Hierfür können im Wesentlichen zwei Aspekte verantwortlich gemacht werden. Zum einen ist die theoretisch-mathematische Modellierung von Spielmechanismen mit real-dynamischen Elementen äußerst komplex. Es existieren zwar erste Ansätze für Lösungskonzepte in diesem Bereich, wie beispielsweise von Simon und Stinchcombe (1989), diese unterliegen allerdings strengen Strukturannahmen⁵⁵. Eine Approximation realer Konflikte ist über ein solches Modell nur sehr bedingt möglich (vgl. Simon & Stinchcombe, 1989, S. 1198). Zum anderen macht die empirische Untersuchung der Effekte von *real-dynamischen* Spielmechanismen eine computergestützte Experimentumgebung erforderlich, welche hohen Anforderungen an zeitliche Synchronität und die Unterstützung von $n > 2$ Spielern erfordert. Erste Arbeiten von Friedman und Oprea (2012) bzw. Bigoni et al. (2015) implementieren zwar empirisch analysierbare Umgebungen für kontinuierliche Spiele mit zwei Akteuren, merken allerdings an, dass eine Erweiterung der technischen Basis, sowie weitere empirische und theoretische Arbeiten auf diesem Gebiet wünschenswert sind.

Obwohl die Definition der untersuchten Spielmechanismen, sowie die Analyse derer Eigenschaften der Spieltheorie zuzurechnen ist, beschäftigen sich die genannten Arbeiten primär mit verhaltensökonomischen Fragestellungen. Besonders der konkrete Einfluss der Spielmechanismen auf das Koordinationsverhalten im Allgemeinen und das Kooperationsverhalten im Spezi-

⁵⁵ Simon und Stinchcombe (1989, S. 1171) modellieren ein kontinuierliches Spiel als ein diskretes Spiel mit unendlich vielen, feinen Entscheidungsintervallen, welche ein kontinuierliches Spiel approximieren.

ellen, wird anhand diverser, experimenteller Studien untersucht. Friedman und Oprea (2012) vergleichen anhand eines spieltheoretischen Laborexperiments die Kooperations-Quoten eines wiederholten Stufen-Spiels mit einer kontinuierlichen Implementierung des klassischen 2-Spieler Gefangenendilemmas. Hierbei kann im kontinuierlichen Spiel eine signifikant höhere Kooperations-Quote beobachtet werden⁵⁶. Bigoni et al. (2015) untersuchen ebenfalls den Einfluss verschiedener Spielmechanismen auf die Koordination, wählen hierbei allerdings nicht wie Friedman und Oprea (2012) die Zugreihenfolge als zentrale Dimension der Untersuchung, sondern vielmehr den Zeithorizont in diskreten und kontinuierlichen Spielen.

Trotz der hohen Relevanz des Themenbereichs für Theorie und Praxis merken Bigoni et al. (2015, S. 588) an, dass die Analyse endogener spieltheoretischer Konflikte in stetiger Zeit, sowie deren Effekte auf das koordinative Reaktionsverhalten noch weitgehend unerforscht sind. Die vorliegende Arbeit setzt sich auf dieser Grundlage dieser Einschätzung das erklärte Ziel einen Beitrag zur Erforschung dieses Gebiets zu leisten. Konkret verfolgt die Arbeit die Absicht, die Variation von strategischem Koordinationsverhalten in Abhängigkeit der drei in Abschnitt 2.3 abgegrenzten Spielmechanismen *Real-Dynamisch*, *Sequenziell-Randomisiert* und *Simultan-Wiederholt* differenziert zu untersuchen. Es wird angenommen, dass die unterschiedliche Gestaltung der Zugentscheidungen und der temporale Kontext, in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, wesentlich zur Reichhaltigkeit der Informationsstruktur des Spiels beiträgt und folglich eine messbare Verhaltensänderung induziert. Hierbei steht neben der Untersuchung der erreichten Spielperformance und der Realisierung koordinativer Zuständen auch eine vergleichende Analyse des koordinativen Reaktionsverhaltens im Fokus.

Als Anknüpfungspunkt an die vorhandene Literatur sollen diese Aspekte zunächst empirisch anhand einer Implementierung des 3-Spieler-Gefangenendilemmas (3PPD), mit der Möglichkeit der real-dynamischen Modellierung in (annähernd) stetiger Zeit, untersucht werden, welches in einem zweiten Schritt um eine zusätzliche, risikolose Nischenoption für die Akteure erweitert wird (3PPD-N). Ziel ist es hierbei, die beobachteten Effekte für verschiedene, real-inspirierte Konfliktsituationen zu überprüfen und vergleichend zu analysieren. Abgerundet wird die Arbeit durch die explorative Untersuchung des offiziellen NATO-Szenarios „East Cerasia“, welches unter anderem in der Führungsakademie der Bundeswehr in der Generalstabsausbildung als Konfliktmodell eingesetzt wird⁵⁷.

⁵⁶ Dies entspricht im Wesentlichen der Prognose von Simon und Stinchcombe (1989) bzw. Radner und Rosenthal (1982).

⁵⁷ Für eine detaillierte Herleitung und Beschreibung der untersuchten Konflikte, sei auf Abschnitt 3.3 im folgenden Kapitel verwiesen.

3 Herleitung der Hypothesen und Spielauswahl

Die fundierte Beantwortung der Forschungsfrage mithilfe adäquater Methoden und Analysen stellt das primäre Ziel dieser Arbeit dar. Um in diesem Zusammenhang einen strukturgebenden und stringenten Rahmen zu schaffen, werden im folgenden Kapitel **vier zentrale Thesen** definiert. Diese nehmen, gemäß den in Kapitel 1 definierten Zielen, eine systematische Untergliederung des Forschungsbereichs vor und beziehen sich zudem auf die, im vorangegangenen Kapitel dargelegte, Literatur. Innerhalb dieser zentralen Thesen werden wiederum korrespondierende Hypothesen in Form überprüfbarer Annahmen abgeleitet, welche einen konkreten Zusammenhang zwischen einzelnen Merkmalsträgern beschreiben und eine statistische Verifizierung bzw. Falsifizierung ermöglichen¹. Auf Grundlage dieser Hypothesen werden daraufhin drei spieltheoretisch valide und experimentell implementierbare Szenarien entwickelt, mit deren Hilfe die benötigten Daten zur Analyse erhoben werden können. Um eine möglichst hohe externe Validität und Reliabilität der Ergebnisse zu gewährleisten, reichen die implementierten Spiele hierbei von klassischen, aus der Literatur entlehnten, Modellen bis hin zu der realitätsnahen Modellierung eines offiziellen NATO-Trainings-Konflikts.

3.1 Koordination in Abhängigkeit des Spielmechanismus als primäres Forschungsziel

Die Formulierung der vier zentralen Thesen dieser Arbeit ist eng mit der inneren Struktur der übergeordneten Forschungsfrage verknüpft. Die einzelnen Thesen bauen zum großen Teil aufeinander auf und folgen einer inhaltlich kohärenten Logik. Bevor auf deren konkrete Ausgestaltung und Unterteilung eingegangen wird, ist es daher hilfreich die zugrunde liegende Forschungsfrage nochmals strukturiert zu erfassen und dabei wesentliche Ansatzpunkte der Hypothesen deutlich zu machen. Entsprechend der in Abschnitt 2.5, unter Berücksichtigung der vorhandenen Literatur, abgeleiteten Forschungslücke, untersucht die vorliegende Arbeit die Variation von strategischem Koordinationsverhalten in Abhängigkeit von drei verschiedenen, reihenfolgespezifischen Spielmechanismen. Es wird angenommen, dass eine unterschiedliche Gestaltung der Zugentscheidungen und der temporale Kontext in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, wesentlich zur Reichhaltigkeit der Informationsstruktur des Spiels

¹ Entsprechend der wissenschaftlichen Praxis beschreibt eine These in diesem Zusammenhang eine Abgrenzung bzw. stellt eine (kontroverse) Behauptung auf, wohingegen eine Hypothese eine überprüfbare Annahme darstellt, welche sowohl falsifizierbar als auch verifizierbar formuliert sein muss.

beitragen (vgl. Kreps et al., 1982; bzw. McKelvey & Palfrey, 1995) und folglich eine messbare Verhaltensänderung induzieren (vgl. Bergemann & Morris, 2016).

Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Spielmechanismen (im Folgenden auch *Treatments* genannt) stellt einen zentralen Teil des empirischen Designs dieser Arbeit dar, weshalb sowohl deren theoretischer Ableitung (vgl. Abschnitt 2.3), als auch deren empirischer Konzeption (vgl. Abschnitt 4.3) ein eigener Abschnitt gewidmet ist. Primäres Forschungsbestreben ist die Auswirkungen dieser *Treatments* auf das individuelle Koordinationsverhalten systematisch und mithilfe statistischer Methoden zu überprüfen. Alle im Rahmen dieser Arbeit abgeleiteten Thesen und Hypothesen betrachten hierbei spezifische Subkategorien und Indikatoren der Koordination und sollen in Summe ein umfassendes, qualitatives und quantitatives Bild der beobachteten Effekte erzeugen. Im Zentrum der Analyse steht dabei der sogenannte „*real-dynamische*“² Spielmechanismus, welcher aufgrund seines endogenen und stetigen Zugfolge-Charakters eine bislang wenig untersuchte Approximation an wirklichkeitsnahe Konflikte darstellt (vgl. Friedman & Oprea, 2012, S. 337 ff.). Weiterhin werden mithilfe des „*simultan-wiederholten*“³ und des „*sequenziell-randomisierten*“⁴ Spielmechanismus auch klassische, spieltheoretische Modellierungen unter sonst identischen Bedingungen implementiert und getestet, wodurch eine differenzierende Analyse der einzelnen Mechanismen und die Beantwortung der Forschungsfrage möglich wird.

3.2 Entwicklung eines Systems von Hypothesen

3.2.1 Quantifizierbare Performance

Die Analyse der Payoff-basierten Performance von Probanden innerhalb eines spieltheoretischen Modells stellt eine zentrale Methode der experimentellen Spieltheorie dar. In der Literatur existieren hierzu zwei Cluster von Forschungsarbeiten, wobei das erste Cluster versucht mathematisch-theoretische Vorhersagen anhand empirischer Daten zu stützen oder zu widerlegen (vgl. u. a. Andreoni & Miller, 1993) und das zweite Cluster explorativen (meist verhaltenswissenschaftlichen) Fragestellungen nachgeht (vgl. u. a. Sabater-Grande & Georgantzis, 2002). Gerade bei mehrperiodigen Spielen und der wiederholten Modellierungen von konflik-tären Szenarien ist der durchschnittlich erreichte Payoff ein erprobter Schätzer für die individuelle Performance eines Probanden. Je nach Fragestellung, Spiel und induzierter Zielfunktion ist die Höhe des erreichten, individuellen Payoffs jedoch nicht zwangsläufig das einzige geeignete Maß für die Qualität einer strategischen Folge von Entscheidungen. Gerade bei der Analyse von

² Vgl. Unterabschnitt 2.3.1.

³ Beim *simultan-wiederholten* Spiel handelt es sich um die Implementierung eines „*Stage-Games*“. Vgl. hierzu auch Unterabschnitt 2.3.3 bzw. Fudenberg und Maskin (1986).

⁴ Beim *sequenziell-randomisierten* Spiel handelt es sich um die Implementierung eines Spiels mit sequenzieller Zugreihenfolge. Vgl. hierzu auch Unterabschnitt 2.3.3, Unterabschnitt 4.3.2 bzw. Prasnikar und Roth (1992).

Koordination steht häufig das Erreichen eines stabilen Kooperations-Zustands im Vordergrund, welcher zwar individuell von aggressiveren Strategien dominiert wird, jedoch aggregiert über das gesamte Spiel hinweg die Gesamtwohlfahrt⁵ maximiert (vgl. Banerjee & Sen, 2007).

Existiert ein solcher Koordinationszustand, ist daher bei wiederholten und kontinuierlichen Spielen nicht der individuelle Payoff, sondern der aggregierte Spielpayoff ein geeigneter Indikator für den Grad der Kooperation innerhalb eines abgeschlossenen Spiels (vgl. Hardin, 1971). Der Schätzer wird hierbei umso präziser, je stärker die Höhe des erreichten, aggregierten Rundenpayoffs mit dem Grad der Koordination korreliert ist. Das bekannteste Beispiel für ein spieltheoretisches Szenario, welches diese Bedingungen erfüllt, ist das Gefangenendilemma, welches erstmals von Albert W. Tucker spieltheoretisch analysiert wurde und auch im Zuge dieser Arbeit in klassischer und erweiterter Form für je drei Spieler untersucht wird⁶ (vgl. Tucker & Straffin Jr., 1983, S. 228). Die erste These bezieht sich auf eben jenen Zusammenhang zwischen aggregierten Payoffs und der damit einhergehenden, positiv korrelierten Kooperation im Spiel und bildet einen ersten Aspekt und Indikator für das generelle Koordinationsverhalten im Spiel ab. Da, entsprechend der Forschungsfrage, ein Einfluss der verschiedenen Spielmechanismen und temporale Ausgestaltung der Zugentscheidungen vermutet wird, wird die erste These wie folgt formuliert:

These I (T.I) \Rightarrow *Der Spielmechanismus, die zugrunde liegende Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die erreichte, durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels.*

Die korrespondierenden Hypothesen grenzen diese Vermutung weiter ein und treffen konkrete Annahmen bezüglich der Richtung der konkreten Auswirkungen in Abhängigkeit von den getesteten Spielmechanismen. In Anlehnung an die Annahme von Huck und Kübler (2000, S. 203 ff.), welche besagt, dass unter Anwendung eines freiwilligen Zugregimes positive Koordinationsbereitschaft effizienter signalisiert werden kann, als im klassisch-wiederholten Spiel, wird daher zunächst folgende Hypothese aufgestellt:

Hypothese I-1 (H.I-1) \Rightarrow *Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen, unter Anwendung des „real-dynamischen“ Spielmechanismus, höher aus, als unter Anwendung des „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.*

⁵ Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Zustand, der die Gesamtwohlfahrt eines Spiels mit einer endlichen Anzahl von Zügen maximiert, nicht zwangsläufig dem Pareto-Optimum entsprechen muss. Während die Gesamtwohlfahrt lediglich die Summe der aggregierten Payoffs beschreibt ist das Pareto-Optimum durch den Punkt beschrieben, in welchem sich kein Spieler durch einseitige Abweichung besser stellen kann, ohne einen anderen Spieler schlechter zu stellen.

⁶ Für eine detaillierte Beschreibung und Diskussion aller im Zuge dieser Arbeit genutzten, spieltheoretischen Modelle und deren Eigenschaften, sei auf Abschnitt 3.3 verwiesen.

Zudem wird angenommen, dass die Möglichkeit der positiven Signalwirkung und der damit einhergehenden zunehmenden Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, bereits (in abgeschwächter Form) im *sequenziell-randomisierten* Spielmodus auftritt. Der von Huck und Kübler (2000) vorhergesagte, positive Effekt auf die erreichten Payoffs sollte daher bereits bei diesem Treatment sichtbar werden⁷. Die entsprechende Hypothese lautet wie folgt:

Hypothese I-2 (H.I-2) \Rightarrow *Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen, unter Anwendung des „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus, höher aus, als unter Anwendung des „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.*

Abschließend sei angemerkt, dass es sich bei der Analyse der Payoffs, im Zuge der Evaluierung genereller Koordinationseffekte, tendenziell um eine einführende These mit Indikator-Charakter handelt. Die hohe Korrelation der erreichbaren Payoffs mit dem generellen Kooperationsgrad in den getesteten Spielen, sowie die in der Literatur vorhandenen Vermutungen eines generellen Zusammenhangs, liefern dennoch ausreichend Rückhalt, um eine dezidierte statistische Analyse zu rechtfertigen. Sollten die zugehörigen Hypothesen statistisch gestützt werden, liefert dies ein Fundament für vertiefende Untersuchungen mit ausgeprägterem Koordinationsbezug.

3.2.2 Realisierte Koordination im endlichen Zustandsraum

Die zweite These betrachtet die übergeordnete Fragestellung aus zustandstheoretischer Perspektive. In der experimentellen Spieltheorie mit begrenztem, endlichen Zustandsraum bildet die Analyse realisierter Zustandsalternativen die methodische Grundlage für einen wesentlichen Teil der vorhandenen Literatur⁸. So nutzen Bonacich et al. (1976) den proportionalen Anteil erreichter Kooperationszustände im n-Spieler Gefangenendilemma zur Analyse von Kooperationsbereitschaft in Abhängigkeit der Spieleranzahl. Dai und Lu (2015) greifen in ihrer Studie ebenfalls auf anteilmäßige Realisationen diverser Spielzustände zur empirischen Untersuchung von Reputationseffekten, unter variierten Defektions-Anreizen, zurück. Analog reiht sich These II in die Tradition dieser Arbeiten ein und analysiert den realisierten Anteil spezifischer Zustände, in Abhängigkeit der einzelnen Spielmechanismen bzw. des temporalen Kontexts der Entscheidungsfindung. Primär werden hierbei zunächst (je nach untersuchtem Spiel) Zustände mit besonders hohen bzw. niedrigen koordinativen Anforderungen systematisch identifiziert und deren tatsächliche Realisation im Spielverlauf differenziert analysiert. Bezogen auf die einzelnen Treatments kann so nicht nur identifiziert werden, welche Spielmechanismen bevorzugt zu ko-

⁷ Siehe hierzu auch die Diskussion der unterschiedlichen Reichhaltigkeiten der Informationsstruktur für die einzelnen Treatments in Abschnitt 2.3.

⁸ Für einen detaillierten Überblick der existierenden Literatur und den etablierten empirischen Methoden sei an dieser Stelle auf Abschnitt 2.1 bzw. Abschnitt 2.3 verwiesen.

ordinierten Ergebnissen führen, sondern auch, welche Spielmechanismen schlecht-koordinierte Kompositionen effizienter verhindern⁹. Die übergeordnete These ergibt sich wie folgt:

These II (T.II) \Rightarrow *Der Spielmechanismus und die zugrunde liegende Zugreihenfolge und Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die anteilig erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination.*

Im Zuge dieser These wurden insgesamt fünf Hypothesen abgeleitet, wovon sich vier direkt auf die erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination beziehen. Hypothese II-1a konzentriert sich hierbei auf die proportionale Realisation desjenigen Zustands, welcher den absolut höchsten Grad an Koordination aufweist. Dies ist sowohl im 3-Spieler Gefangenendilemma, als auch im 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischen-Option genau der Zustand, in welchem alle drei Spieler kooperieren (vgl. Bigoni et al., 2015, S. 610). Friedman und Oprea (2012) wählen an dieser Stelle einen vergleichbaren Ansatz, beschränken sich jedoch bei der Analyse auf den 2-Spieler Fall des Gefangenendilemmas und betrachten lediglich kontinuierliche und wiederholte Spiele innerhalb eines 60-Sekunden Zeitintervalls¹⁰.

Hypothese II-1a (H.II-1a) \Rightarrow *Der Spielzustand mit dem spielspezifisch höchsten Grad an Koordination wird, unter Anwendung von Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, häufiger erreicht, als bei Spielmechanismen mit niedrigerer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur.*

Hypothese II-1b greift diesen Grundgedanken auf und relaxiert die Bedingung insofern, dass nun zusätzlich auch Zustände betrachtet werden, bei welchen mindestens zwei der drei Spieler einen Kooperations-Zug wählen. Die Aussage der Annahme verändert sich hierdurch nur unwesentlich, schafft durch die Erweiterung der betrachteten Zustände jedoch eine zusätzliche Ebene empirischer Validität.

Hypothese II-1b (H.II-1b) \Rightarrow *Spielzustände mit einem hohen Grad an Koordination werden unter Anwendung von Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht, als bei Spielmechanismen mit niedrigerer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur.*

Analog zu den Hypothesen II-1a und II-1b betrachten die beiden folgenden Hypothesen die Umkehrung der initialen Annahme und nehmen an, dass, unter Anwendung von Spielmechanismen

⁹ Die Gestaltung hoch-koordinierter bzw. niedrig-koordinierter Zustände ist eng an die resultierenden Payoffs geknüpft. Sowohl das untersuchte 3-Spieler Gefangenendilemma, als auch das erweiterte Gefangenendilemma mit Nischen-Option wurden hierbei gemäß der *Induced-Value-Theory* so gestaltet, dass der Grad der Koordination positiv mit den Gesamt-Payoffs korreliert ist. Eine inhaltliche Vergleichbarkeit mit These I ist somit möglich.

¹⁰ Im Zuge der vorliegenden Arbeit können die, von Friedman und Oprea (2012) erlangten, Erkenntnisse bzgl. der Zustände vollständiger Kooperation bestätigt und auf den 3-Spieler-Fall erweitert werden. Siehe hierzu auch die empirische Auswertung und Diskussion von Hypothese II-1a in Kapitel 4.

mit hoher Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, schlecht-kordinierte Zustände effizienter vermieden werden können. Hierbei wird analog wieder nur der jeweils der Zustand mit der absolut niedrigsten Koordination betrachtet, welcher im 3-Spieler Gefangenendilemma, durch den Zustand vollständiger Defektion, eindeutig gekennzeichnet ist. Im erweiterten 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption wird ebenfalls der Zustand herangezogen, bei welchem alle Spieler defektieren. Da an dieser Stelle jedoch argumentiert werden kann, dass auch der Zustand, in welchem alle Spieler in die risikolose Nische ausweichen, als nicht-koordinativer Zustand interpretiert werden kann, wird dieser Aspekt in Hypothese II-3 gesondert untersucht.

Hypothese II-2a (H.II-2a) \Rightarrow *Der Spielzustand mit dem spielspezifisch geringsten Grad an Koordination wird, unter Anwendung von Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, häufiger vermieden, als bei Spielmechanismen mit niedrigerer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur.*

Hypothese II-2b relaxiert die oben erläuterte Bedingung wieder insofern, dass nun zusätzlich auch alle Zustände in der Analyse berücksichtigt werden, in welchen mindestens zwei der drei Spieler defektieren. Die Begründung dieser Variation erfolgt analog zu Hypothese II-1b.

Hypothese II-2b (H.II-2b) \Rightarrow *Spielzustände mit einem niedrigen Grad an Koordination werden, unter Anwendung von Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, häufiger vermieden, als bei Spielmechanismen mit niedrigerer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur.*

Hypothese II-3 bezieht sich exklusiv auf das 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischen-Option und analysiert die anteilige Realisation des Zustands, in welchem sich alle Spieler in der Nische befinden. Die Formulierung der Hypothese folgt hierbei einem Ansatz aus der evolutionären Spieltheorie, welcher eine sogenannte Ausweich- bzw. Nischen-Option vorsieht (vgl. Hauert et al., 2002, S. 1129). Die partizipierenden Spieler erhalten hier die Möglichkeit einen geringeren, aber dafür fixen Payoff zu wählen, statt sich aktiv am Spiel zu beteiligen (vgl. Szabó & Hauert, 2002, S. 66). Es ist hierbei anzunehmen, dass die Nischen-Strategie potentiell häufiger in Anspruch genommen wird, falls die Reichhaltigkeit der vorliegenden Informationsstruktur die Koordination zwischen den Spielern erschwert¹¹:

Hypothese II-3 (H.II-3) \Rightarrow *Falls das zugrunde liegende Spiel eine risikolose Ausweich-Option in Form einer Nische enthält, werden, unter Anwendung des „simultan-wiederholten“ Spielmodus, im Vergleich zu den anderen Mechanismen häufiger Zustände erreicht, bei welchen sich alle Spieler in der Nische befinden.*

¹¹ Hauert et al. (2002, S. 1130) machen deutlich, dass die Ausweich- bzw. Nischenstrategie besonders häufig beobachtet wird, wenn die getestete Population von reinen Defekt-Spielern dominiert wird. In diesen Fällen kann die Strategie des risikolosen Ausweichens kooperationswilliger Spieler zu einem verminderten Payoff der Defekt-Spieler führen, was wiederum einen Anreiz für diese schafft, ebenfalls auf eine Kooperations-Strategie zu wechseln.

Hypothese II-3 ist als unterstützende bzw. weiterführende Hypothese innerhalb der Zustands-Analyse zu betrachten.

3.2.3 Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten

Während mithilfe der beiden vorangegangenen Thesen unmittelbare und direkte Zusammenhänge zwischen den drei Treatments und den beiden Merkmalsträgern „Performance“ und „Realisation koordinativer Zustände“ untersucht werden, iteriert These III eine inhaltliche Ebene tiefer und beschäftigt sich mit den verhaltensökonomischen Hintergründen der beobachtbaren Koordination. Konkret soll analysiert werden, inwiefern einzelne Spieler auf Kooperationsangebote anderer Spieler reagieren. Es wird erwartet, dass Kooperationsangebote, unter Anwendung von Spielmechanismen mit einer hohen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, glaubhafter und effizienter kommuniziert werden können. Diese Annahme sollte sich wiederum in der relativen Häufigkeit von kooperativen Antworten auf initiale Kooperationsangebote widerspiegeln. Angelehnt an die Arbeiten von Brams und Wittman (1981) und Kilgour (1984) wird der Gesamtverlauf des Spiels ex-post in Subspiele aufgeteilt, wobei jedes Subspiel aus drei, aufeinander folgenden Zustandsübergängen bzw. zwei konsekutive Züge besteht. Die hieraus entstehenden, 2-gliedrigen Ketten von (myopischen) Aktions-Reaktions-Folgen können in der Folge systematisch auf Unterschiede zwischen den einzelnen Treatments untersucht werden. Die konkrete Länge der betrachteten Reaktionsketten folgt hierbei den Empfehlungen von Camerer et al. (2004, S. 863) bzw. Müller (2018, S. 144), welche empirisch zeigen konnten, dass getroffene Entscheidungen in spieltheoretischen Entscheidungsprozessen primär von der unmittelbar vorangegangenen Periode abhängen¹². Bereits ein Erinnerungshorizont der Tiefe $\tau=2$ konnte aufgrund von „Overfitting“ als eine suboptimale Approximation realen Verhaltens identifiziert werden (vgl. Müller, 2018, S. 144–145). Weiterhin kann die Betrachtung von Reaktionsketten zur Identifikation koordinativer Unterschiede zwischen den einzelnen Spielmechanismen als eine logische Fortführung der Arbeit von Friedman und Oprea (2012) betrachtet werden. Die Annahme, dass in Spielen in stetiger Zeit und mit endogenen Entscheidungs-Zeitpunkten kooperative Zustände signifikant häufiger erreicht werden, wird um die Analyse der Abfolge von Zügen und Reaktionen erweitert. These III leitet sich dementsprechend wie folgt ab:

These III (T.III) \Rightarrow *Der Spielmechanismus und die zugrunde liegende Zugreihenfolge und Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten bei angebotener Kooperation.*

Auf Grundlage dieser These werden im Folgenden drei Hypothesen aufgestellt, welche Annahmen bezüglich der tatsächlich messbaren Unterschiede zwischen den Ausprägungen der

¹² Die exakte Empfehlung von Camerer et al. (2004) liegt hierbei bei einer Erinnerungstiefe von $\tau=1.5$. Müller (2018) überprüft diese Behauptung mithilfe von sogenannter Markov-Strategien im iterativen Gefangenendilemma und identifiziert einen Erinnerungshorizont von $\tau=1$ als validen Schätzer.

drei getesteten Spielmechanismen beschreiben. Entsprechend der Erkenntnisse von Friedman und Oprea (2012) wird erwartet, dass in Spielmechanismen mit einer geringen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, weniger auf vorangegangene Kooperationsangebote eingegangen wird, als bei Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur. Folglich nimmt Hypothese III-1 an, dass im „real-dynamischen“ Spiel Kooperationsangebote häufiger mit einem Kooperationszug beantwortet werden, als im „simultan-wiederholten“ Spiel:

Hypothese III-1 (H.III-1) \Rightarrow *Kooperations-Angebote werden im „real-dynamischen“ Spiel anteilig häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.*

Zusätzlich wird erwartet, dass die Anwendung des „real-dynamischen“ Spielmechanismus auch im direkten Vergleich mit dem „sequenziell-randomisierten“ Spiel zu häufiger beobachtbaren Kooperationszügen als Antwort auf ein entsprechendes Kooperationsangebot führt. Hypothese III-2 ergibt sich daher wie folgt:

Hypothese III-2 (H.III-2) \Rightarrow *Kooperations-Angebote werden im „real-dynamischen“ Spiel anteilig häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.*

Analog folgt Hypothese III-3 aus der verbliebenen Gegenüberstellung des „sequenziell-randomisierten“ und des „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus. Spielbedingt liegt im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus eine direktere Aktions-Reaktions-Zuordnung und somit eine generell höhere Reichhaltigkeit der Informationsstruktur vor. Es wird folglich auch hier erwartet, dass Kooperationsangebote effizienter verarbeitet werden können und folglich zu einer messbaren Steigerung der beobachteten Kooperationsantworten führen¹³:

Hypothese III-3 (H.III-3) \Rightarrow *Kooperations-Angebote werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel anteilig häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.*

In Summe unterstellen die drei abgeleiteten Hypothesen eine Rangfolge bzgl. des Anteils positiv beantworteter Kooperationsangebote zwischen den einzelnen Treatments (*real-dynamisch* > *sequenziell-randomisiert* > *simultan-wiederholt*). Bei steigender Reichhaltigkeit der Informationsstruktur der einzelnen Treatments wird eine Zunahme des beobachtbaren, reaktiven Koordinationsverhaltens erwartet.

¹³ Die Hypothesen III-1, III-2 und III-3 bilden in Ihrer Gesamtheit eine eindeutige, angenommene Reihenfolge zwischen den drei getesteten Treatments ab.

3.2.4 Weiterführende Hypothesen und Verallgemeinerung

Während die drei primären Thesen der Arbeit eine eindeutige Klassifizierung der erlaubten Züge in Kooperations-Züge, Defektions-Züge und Nischen-Züge erfordern und daher nur in verschiedenen Variationen des Gefangenendilemmas überprüfbar sind, wird weiterführend ein Ansatz diskutiert, welcher die Forschungsfrage auf allgemein formulierte Spiele übertragbar macht. Konkret wurde hierfür auf die, von Schelling (1958, S. 221–225) erstmals im Rahmen strategischer Entscheidungen diskutierten, und von Kahneman und Tversky (1979, S. 274 ff.) bestätigten, Eigenschaften von temporären Verschlechterung zurückgegriffen. Diese sagen aus, dass individuelle, temporäre Verschlechterungen in Periode t unter Annahme rationalen Handelns immer genau dann gespielt werden, wenn von diesem Verhalten eine Verbesserung in der Folgeperiode $t + x$ erwartet werden kann (vgl. Unterunterabschnitt 2.4.2.2). Da in allen untersuchten Spielen vollständige Information vorliegt, sind die Probanden jederzeit in der Lage Zustände zu identifizieren, welche von allen Spielern als akzeptable Endzustände akzeptiert werden können. Kahneman und Tversky (1979, S. 274–275) folgern hieraus, dass menschliche Spieler ihre Züge, aufgrund einer subjektiven Wahrscheinlichkeit der Realisierung eines, gegenüber dem Ausgangszustand präferierten, finalen Konfliktausgang treffen. Bezogen auf das Gefangenendilemma stellt ein Kooperationszug den ziehenden Spieler, ausgehend von jedem beliebigen Zustand, initial schlechter. Folgen die anderen Spieler jedoch dieser initialen Kooperation, indem Sie sich ebenfalls mit einem Kooperationszug temporär verschlechtern, führt dies bei Realisation der Kooperationslösung langfristig zu einer höheren Auszahlung für alle beteiligten Probanden¹⁴. Kurzfristig passierte Transitzustände, welche bis zum Erreichen des angestrebten, finalen Zustandes zwangsläufig realisiert werden müssen, sind vor dem Hintergrund der langfristigen Auszahlungs-Maximierung bei dynamischen Spielen sekundär. In Anlehnung an These III, kann daher eine korrespondierende These abgeleitet werden, welche statt der positiven Kooperationsantworten, Folgen von temporären Verschlechterungen untersucht:

These IV (T.IV) \Rightarrow *Mithilfe der Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen kann der Einfluss des Spielmechanismus auf das koordinatives Reaktionsverhalten auf verallgemeinerte Spiele übertragen werden.*

Als zentrales Beispiel und späteres Untersuchungsobjekt sei an dieser Stelle auf den, in Unterunterabschnitt 3.3.2.3 eingeführten, Cerasia-Konflikt verwiesen, welcher aufgrund seiner asymmetrischen Zügeigenschaften, unterschiedlichen Startpositionen und mehreren Teilkonflikten nicht unmittelbar auf kooperatives oder defektierendes Verhalten schließen lässt. Eine Übertragung auf die Metrik der temporären Verschlechterungen bleibt allerdings weiterhin möglich.

¹⁴ Diese Eigenschaft unterscheidet sich von dem, von Camerer (1997, S. 182–183) diskutierten, nicht-nutzenmaximierenden Verhalten, welches unter gewissen Rahmenbedingungen durch individuellen Altruismus hervorgerufen wird.

Bei steigender Reichhaltigkeit der jeweiligen Informationsstruktur der einzelnen Treatments, wird weiterhin eine Zunahme der anteilig beobachtbaren strategischen Züge - in diesem Falle der temporären Verschlechterungen - erwartet. Hypothesen IV-1 bis IV-3 ergeben sich daher in direkter Analogie zu den Hypothesen III-1 bis III-3 wie folgt:

Hypothese IV-1 (H.IV-1) \Rightarrow *Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spiel anteilig häufiger mit einer temporären Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.*

Hypothese IV-2 (H.IV-2) \Rightarrow *Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spiel anteilig häufiger mit einer temporären Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.*

Hypothese IV-3 (H.IV-3) \Rightarrow *Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel anteilig häufiger mit einer temporären Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.*

In allen getesteten Szenarien wird angenommen, dass sich die Probanden von temporären Verschlechterungszügen, welche den oben definierten Kriterien genügen, eine höhere subjektive Eintrittswahrscheinlichkeit, langfristig präferierter Konfliktlösungen versprechen. Weiterhin müssen diese wahrgenommenen Wahrscheinlichkeiten die Eigenschaft besitzen, dass sie gegenüber alternativen Zügen, welche nicht zu einer unmittelbaren Verschlechterung führen, attraktiv erscheinen¹⁵. Eine strategische Verschlechterung konkurriert somit stets mit alternativen, myopischen Verbesserungs-Zügen, sowie mit der validen Strategie des „Nicht-Ziehens“, beziehungsweise der Beibehaltung des Status-Quo. Dennoch sollte eine allgemeine Vermeidung von Verschlechterungszügen nur dann auftreten, falls der entsprechende Zug zu einer Konfliktlösung führt, der die Erreichbarkeit des initial angestrebten Zielzustandes unmöglich macht (vgl. Chinczewski, 2019, S. 80). Dies ist allerdings nur bei unumkehrbaren, nicht-reversiblen Spielzügen möglich, welche für alle, im Rahmen dieser Arbeit untersuchten, Szenarien explizit ausgeschlossen werden.

3.2.5 Zusammenfassung der Hypothesen

Im Sinne der Übersichtlichkeit sind die vier Thesen der Arbeit und die jeweils korrespondierenden Hypothesen in Tabelle 3.1 nochmals zusammengefasst. Zudem werden jeder Hypothese

¹⁵ Da es sich bei den hier beschriebenen Wahrscheinlichkeiten um rein subjektive Beurteilungen der Probanden handelt, ist im empirischen Teil der Studie mit starken Divergenzen bzgl. des Zugverhaltens einzelner Teilnehmer zu rechnen. Durch die aggregierende und vergleichende Charakteristik der Studie, bleiben mögliche Unterschiede dennoch identifizierbar. Eine Auswertung konkreter Zugentscheidungen auf individueller Ebene ist explizit nicht Teil dieser Arbeit.

diejenigen spieltheoretischen Konflikte zugeordnet, welche im empirischen Teil der Arbeit für deren Untersuchung in Frage kommen. Für die detaillierte Beschreibung der einzelnen Konflikte sei an dieser Stelle auf den folgenden Abschnitt 3.3 verwiesen.

Tabelle 3.1: Übersicht der Thesen und Hypothesen

Fokus	Hypothesen	Anwendbarkeit		
		3PPD	3PPD-N	CER
Performance	These I: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die erreichte, durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels.			
	Hypothese I-1: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „real-dynamischen“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓	✓	✗
	Hypothese I-2: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓	✓	✗
Zustände	These II: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die anteilig erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination.			
	Hypothese II-1a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch höchsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓	✓	✗
	Hypothese II-1b: Spielzustände mit einem hohen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓	✓	✗
	Hypothese II-2a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch geringsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓	✓	✗
	Hypothese II-2b: Spielzustände mit einem niedrigen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓	✓	✗
	Hypothese II-3: Falls das zugrunde liegende Spiel eine risikolose Ausweich-Option in Form einer Nische enthält, werden im „simultan-wiederholten“ Spielmodus im Vergleich zu den anderen Mechanismen häufiger Zustände erreicht, bei welchen sich alle Spieler in der Nische befinden.	✗	✓	✗
Reaktionen	These III: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten bei angebotener Kooperation.			
	Hypothese III-1: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓	✓	✗
	Hypothese III-2: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.	✓	✓	✗
	Hypothese III-3: Kooperationen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓	✓	✗
Verschlechterungen	These IV: Mithilfe der Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen kann der Einfluss des Spielmechanismus auf das koordinatives Reaktionsverhalten auf allg. Spiele übertragen werden.			
	Hypothese IV-1: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spielmechanismus häufiger mit einer korrespondierenden, strategischen Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✗	✗	✓
	Hypothese IV-2: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spielmechanismus anteilig häufiger mit einer korrespondierenden, strategischen Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus.	✗	✗	✓
	Hypothese IV-3: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus anteilig häufiger mit einer korrespondierenden, temporären Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✗	✗	✓

3.3 Klassifizierung und Entwicklung geeigneter spieltheoretischer Konflikte

3.3.1 Grundsätzliche Anforderungen an das Spielformat

Um ein möglichst hohes Maß an externer Validität und Reliabilität zu gewährleisten, ist die Generierung einer breiten Datengrundlage mit unterschiedlich parametrisierten Modellen eine wesentliche Anforderung an empirische Studien. Entsprechend den, in Abschnitt 3.2 abgeleiteten, Hypothesen, befasst sich der folgende Abschnitt daher mit der Herleitung dreier konkreter, spieltheoretischer Modelle, welche sich hinsichtlich ihrer Komplexität, Ausgestaltung und Realitätsnähe unterscheiden. Die Modelle reichen hierbei von klassischen, bereits in der Literatur etablierten, Konflikten, wie dem 3-Spieler Gefangenendilemma, über eine erweiterte Form des Gefangenendilemmas mit Nischenoption, bis hin zur realitätsnahen Modellierung eines offiziellen NATO-Trainings-Konflikts. Trotz dieser Unterschiede erfüllten alle, im Laufe dieses Abschnitts hergeleiteten, Modelle grundsätzliche Charakteristiken, welche für eine valide Beantwortung der Hypothesen benötigt werden.

Im Bezug auf die Forschungsfrage und die Beantwortung der Hypothesen werden daher in einem ersten Schritt generelle Anforderungen an die Charakteristik und Parametrisierung von Spielen abgeleitet, welche sich zur empirischen Analyse im Sinne dieser Arbeit eignen:

- (A) **Das Spiel muss einen dauerhaft konfliktären Charakter besitzen** - Ein wesentliches Ziel der Arbeit ist die Analyse von Koordination in konfliktären Situationen. Entgegen der üblichen Nomenklatur, eignen sich für diesen Zweck klassische Koordinationsspiele jedoch nur bedingt für die Beantwortung der Forschungsfrage. Der Grund hierfür liegt in der Definition von Koordinationsspielen, welche stets mehrere strikte Nash-Gleichgewichte umfassen müssen. Primäres Ziel der Probanden ist es hierbei sich durch Koordination auf eines dieser Nash-Gleichgewichte zu einigen. Da die Herausforderung hierbei jedoch nur in der einmaligen Einigung auf eines der gegebenen Nash-Gleichgewichte besteht und nach dessen Erreichen kein weiterer Anreiz mehr besteht, einseitig von der gefunden Lösung abzuweichen, greift dieses Konzept an dieser Stelle zu kurz. Es muss vielmehr eine Koordinationslösung modelliert werden, welche zwar langfristig höhere Payoffs für alle Beteiligten verspricht, jedoch gleichzeitig die Möglichkeit bietet, durch einseitiges Aufkündigen der Kooperation temporär höhere Payoffs zu realisieren. Eine solch dauerhaft konfliktäre Charakteristik findet sich generell in Spielen der nicht-kooperativen Spieltheorie, wie dem oben dargelegten, iterativen Gefangenendilemma¹⁶.

¹⁶ Das Gefangenendilemma kann hierbei als der bekannteste Vertreter aus der spieltheoretischen Klasse der *sozialen Dilemma* aufgefasst werden (vgl. Glance & Huberman, 1994).

- (B) **Koordinative Zustände müssen sich (langfristig) lohnen** - Generell müssen geeignete Spiele über mindestens einen Zustand verfügen, welcher nur mittels gegenseitiger Koordination erreicht werden kann. Um einen geeigneten Anreiz für die Probanden zu erzeugen, muss dieser Zustand, auf die Gesamtdauer des Spiels gesehen, einen höheren Payoff generieren, als alternierende, nicht-koordinative Strategien¹⁷. Essentiell ist hierbei, dass der oder die Koordinationszustände, aus Sicht eines einzelnen Individuums, nicht den besten Payoff des Spiels generieren dürfen. Wäre dies der Fall, so würde es sich bei dem betreffenden Zustand per Definition um ein Nash-Gleichgewicht handeln, was Anforderung (A) widerspricht. Durch diese Definition wird gewährleistet, dass im Verlauf des Spiels nicht nur das Erreichen koordinativer Zustände, sondern auch das Erhalten ebener Zustände getestet werden kann.
- (C) **Koordinationsangebote sind mit initialen Kosten verbunden** - Neben der Gestaltung der Koordinationszustände steht auch der koordinative Prozess, der zu deren Realisierung führt, im Zentrum dieser Arbeit und soll in Abhängigkeit verschiedener Spielmechanismen überprüft werden. Eine wesentliche Eigenschaft von koordinativem Verhalten im Sinne dieser Arbeit ist hierbei, dass Koordination initial mit Kosten verbunden ist, welche im Falle gegenseitigen Kooperation jedoch, durch einen dauerhaft höheren Payoff, überkompensiert werden. Am Beispiel des Gefangenendilemmas wird dies durch die Strategie des reinen Defektierens deutlich, welche im einperiodigen Fall die dominante Strategie darstellt. Erweitert man das Spiel auf ein iteratives Modell, besteht für die Spieler die Möglichkeit, sich ausgehend vom Nash-Gleichgewicht durch einen strategischen „kooperieren“-Zug temporär zu verschlechtern. Folgt der zweite Spieler diesem nonverbalen Kooperations-Angebot, indem er seinerseits kooperiert und sich damit ebenfalls temporär verschlechtert, kann der für beide Spieler dauerhaft bevorzugte Kooperationszustand bzw. Reward-Zustand erreicht werden.
- (D) **Das Spiel muss stetig, sequenziell und wiederholt modellierbar sein** - Im Bezug auf die Forschungsfrage muss gewährleistet werden, dass die Spiele in den drei, in Abschnitt 2.3 hergeleiteten, Spielmechanismen *real-dynamisch*, *sequenziell-randomisiert* und *simultan-wiederholt* getestet werden können¹⁸. Hierzu ist zunächst erforderlich, dass mögliche Szenarien mit theoretisch unbeschränktem Zeithorizont implementierbar sind und Variationen der temporalen Struktur des Spiels möglich sind. Zusätzlich muss gewährleistet werden, dass alle Spielmechanismen logisch konsistent im jeweils betrachteten Szenario funktionieren. Hierfür sind wiederum zwei Bedingungen zu beachten.

¹⁷ Ein Beispiel hierzu findet sich in Gleichung 3.2 des 2-Spieler Gefangenendilemmas. Der Kooperationszustand R erzeugt hierbei einen höheren Payoff als die alternierend-defektierende Strategie $(S + T)/2$.

¹⁸ Für die technische Umsetzung der einzelnen Spielmechanismen sei auf Abschnitt 4.3 verwiesen.

Erstens ist es erforderlich, dass $n \geq 3$ Spieler am Spiel partizipieren¹⁹. Dies bezieht sich primär auf den *sequenziell-randomisierten* Spielmodus, welcher im 2-Spieler-Fall trivial und nicht zielführend ist. Zweitens müssen alle im Spiel implementierten Handlungsoptionen vollständig reversibel sein, um mögliche Sackgassen (engl. Dead-Locks) zu verhindern. Diese Forderung korrespondiert an dieser Stelle mit Anforderung (A).

Basierend auf diesen Anforderungen werden im Folgenden drei spieltheoretische Modelle abgeleitet, welche im analytischen Teil der Arbeit zur empirischen Datenerhebung eingesetzt werden. Die zwei primären Modelle, welche zur Beantwortung der Thesen I-III verwendet werden sollen, basieren hierbei direkt oder indirekt auf dem bereits diskutierten, allgemeinen Gefangenendilemma. Um Störfaktoren, welche die Validität der Daten schmälern, zu verringern, wurde für beide Spiele eine realitätsnahe Übersetzung des theoretischen Modells in eine realitätsnahe, ökonomische Fallstudie entwickelt. Das dritte getestete Modell setzt sich stark von den beiden primären, literaturgetriebenen Modellen ab und modelliert einen realitätsnahen, politisch-militärischen Konflikt auf Grundlage eines offiziellen NATO-Trainings-Szenarios. Trotz der hier verwendeten, ordinalen Präferenzen, binären Handlungsoptionen und multiplen Konfliktausgängen, erfüllt das Szenario zwar alle oben erläuterten Anforderungen, eignet sich aufgrund seiner Charakteristik jedoch ausschließlich für die Beantwortung von These IV. Die einzelnen Spiele sind in Tabelle 3.2, inklusive ihrer zentralen Parameter, zusammengefasst und sollen im Folgenden näher erläutert werden:

Tabelle 3.2: Übersicht der modellierten Spiele für die empirische Untersuchung

Bezeichnung	ID	Empirische Umsetzung	Anzahl Spieler	Anzahl Aktionen	Anzahl Zustände	Symmetrie
Gefangenendilemma	3PPD	Preiskampf	3	6	8	✓
Gefangenendilemma mit Nischen-Option	3PPD-N	Preiskampf mit Nische	3	9	27	✓
Cerasia-Konflikt	CER	Ordinales Präferenzmodell	4	6 ²⁰	64	✗

¹⁹ Die Anforderung nach $n \geq 3$ Spielern ist der primäre Grund, warum das traditionelle 2-Spieler Gefangenendilemma, trotz seiner ansonsten passenden Eigenschaften, im analytischen Teil der Arbeit keine weitere Anwendung findet. Im weiteren Verlauf wird jedoch eine variierte Version des Gefangenendilemmas für drei Spieler abgeleitet, welche die hier genannte Anforderung erfüllt und gleichzeitig die mathematisch-modellhaften Eigenschaften des 2-Spieler Gefangenendilemmas beibehält.

²⁰ Der Cerasia Konflikt wurde mithilfe binärer Handlungsoptionen modelliert, welche jeweils ausgeführt oder nicht ausgeführt werden können. Zudem können in Abgrenzung zum 3PPD und 3PPD-N mehrere eigene Optionen gleichzeitig variiert werden, was die Anzahl erreichbarer Zustände weiter erhöht (vgl. Unterunterabschnitt 3.3.2.3).

3.3.2 Entwicklung geeigneter Spiele zur empirischen Analyse

3.3.2.1 Interaktives Gefangenendilemma für drei Spieler

Die Modellierung des interaktiven Gefangenendilemmas für 3 Spieler baut auf dem Regelwerk des klassischen Gefangenendilemmas für 2 Spieler (siehe Tabelle 3.3) auf. Dieses eignet sich, aufgrund seiner beschränkten Anzahl von Spielern, zwar nur bedingt für die Analyse reihenfolgespezifischer Fragestellungen, stellt aber, aufgrund seiner koordinativen Eigenschaften, den theoretischen Ausgangspunkt für die Modellierung komplexerer Szenarien dar²¹ (vgl. Brosig, 2002, S. 276ff. Rapoport, 1988, S. 457ff.).

Tabelle 3.3: Das verallgemeinerte 2-Spieler Gefangenendilemma in Normalform

		Spieler B	
		<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>
Spieler A	<i>kooperieren</i>	<i>R, R</i>	<i>S, T</i>
	<i>defektieren</i>	<i>T, S</i>	<i>P, P</i>

Abhängig von der eigenen Wahl und der Wahl des Gegners ergeben sich vier individuell mögliche Payoffs - „*Treasure*“ *T*, „*Reward*“ *R*, „*Punishment*“ *P* und „*Sucker*“ *S*. Die tatsächlichen Werte dieser Payoffs, müssen im 2-Spieler Fall zudem der folgenden Bedingung genügen (vgl. Yao & Darwen, 1994, S. 2):

$$T > R > P > S \quad (3.1)$$

Weiterhin muss im iterativen Spiel gewährleistet werden, dass die erfolgreiche Einigung auf bilaterale Kooperation einen langfristig höheren Payoff generiert, als ein alternierender Wechsel zwischen den beiden einseitigen Defektions-Zuständen ([*kooperieren*, *defektieren*] bzw. [*defektieren*, *kooperieren*]). Mathematisch ergibt sich die Bedingung wie folgt (vgl. Yao & Darwen, 1994, S. 2):

$$R > (S + T)/2 \quad (3.2)$$

Das allgemeine Gefangenendilemma ist aufgrund seiner Charakteristik als Nicht-Nullsummen-Spiel geeignet, um Situationen darzustellen, in welchen der Gewinn des einen Spielers nicht zwangsläufig den Verlust eines anderen Spielers bedeutet (vgl. Lave, 1962, S. 425; bzw. Scodel et al., 1959; Sayer Minas et al., 1960). Gleichzeitig gilt, dass das Erreichen des kooperativen

²¹ Eine qualitative Beschreibung des Gefangenendilemmas, mit beispielhaften Payoffs in Form von „Haftjahren“, findet sich hierbei bereits in Unterabschnitt 2.1.2. Eine empirisch anwendbare Übertragung auf n-Spieler, sowie die Erweiterung um eine Ausweichoption, folgt in Unterabschnitt 3.3.2.

Reward-Zustandes initial mit einer temporären Verschlechterung verbunden ist, jedoch bei erfolgreicher Koordination zu einer langfristig höheren Auszahlung führt.

Obwohl das klassische Gefangenendilemma für 2 Spieler bereits seit Jahrzehnten intensiv erforscht wird, existieren zahlreiche realitätsnahe, ökonomische Probleme, welche nicht mithilfe der ursprünglichen Formulierung modelliert werden können (vgl. Colman, 1982, S. 156–159). Davis et al. (1976, 520 f.) diskutieren in diesem Zusammenhang die Erweiterung des Dilemmas auf n Personen und folgern, dass durch die Verallgemeinerung die Generalität und Anwendbarkeit für reale Probleme verbessert wird. Glance und Huberman (1993) bestätigen diese Einschätzung und ergänzen, dass Strategien, welche im 2-Spieler Gefangenendilemma gelten, nicht zwangsläufig auch in größeren Gruppen funktionieren müssen. Das n -Spieler Gefangenendilemma (im folgenden auch *NPPD* genannt) ist demnach qualitativ nicht äquivalent zu der 2-Spieler Variante²² (vgl. Glance & Huberman, 1994, S. 78). Nach Colman (1982, S. 159) kann das n -Spieler Gefangenendilemma mithilfe dreier Eigenschaften charakterisiert werden:

- (I) Jeder Spieler hat die Wahl zwischen den beiden Handlungsoptionen „kooperieren“ (C) und „defektieren“ (D).
- (II) Die Handlungsoption (D) dominiert die Handlungsoption (C) für jeden Spieler, unabhängig davon, wie viele der Mitspieler (C) gewählt haben.
- (III) Die dominante Strategie (D) führt in ein ineffizientes Gleichgewicht. Falls hingegen alle Spieler ihre nicht-dominante Strategie (C) wählen, ist der erreichte Zustand aus der Sicht jedes Spielers dem (D)-Gleichgewicht vorzuziehen. Allerdings ist keiner der Spieler initial motiviert, einseitig von seiner (D)-Strategie abzuweichen.

Die entsprechend verallgemeinerte Matrix für die individuellen Payoffs des n -Spieler Gefangenendilemmas lässt sich modellhaft, in Abhängigkeit der Anzahl der kooperierenden Gegenspieler und der eigenen, gewählten Handlungsoption, darstellen (vgl. Yao & Darwen, 1994, S. 3):

Tabelle 3.4: Payoffmatrix des n -Spieler Gefangenendilemmas in Abhängigkeit der Anzahl der kooperierenden Gegenspieler

		0	1	2	...	$n - 1$
Spieler A	C	C_0	C_1	C_2	...	C_{n-1}
	D	D_0	D_1	D_2	...	D_{n-1}

Quelle: in Anlehnung an Yao und Darwen (1994).

²² Glance und Huberman (1994) beziehen sich hierbei im Speziellen auf das Beispiel der Tit-for-Tat Strategie, welche mit steigender Spielerzahl n nur noch eingeschränkt funktioniert.

Mathematisch lassen sich die notwendigen Bedingungen zur Berechnung der individuellen und symmetrischen Payoffs, in Abhängigkeit der konkreten Anzahl der kooperierenden Gegenspieler $i \in L$, wie folgt ableiten (vgl. Yao & Darwen, 1994, S. 3):

$$L := \{i \in \mathbb{N}; 0 \leq i \leq n - 1\} \tag{3.3}$$

$$D_i > C_i \quad \forall i \in L \tag{3.4}$$

$$D_{i+1} > D_i \quad \text{und} \quad C_{i+1} > C_i \quad \forall i \in L \tag{3.5}$$

$$C_i > (D_i + C_{i-1})/2 \quad \forall i \in L \tag{3.6}$$

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Bedingungen für das n-Spieler Gefangenendilemma, lassen sich nun konkrete Payoff-Matrizen für das angestrebte 3-Spieler-Gefangenendilemma ableiten²³. Im Sinne einer einfachen Interpretierbarkeit wurde ein Payoff-Intervall zwischen 0 und 100 gewählt, wobei 0 den Payoff repräsentiert, bei welchem ausschließlich der betrachtete Spieler kooperiert. Der beste Payoff von 100 wird ausgezahlt, wenn alle Gegenspieler kooperieren und der betrachtete Spieler defektiert. Alle weiteren Payoffs wurden im Rahmen der oben diskutierten Bedingungen symmetrisch festgelegt. Die finale Payoffmatrix mit den Payoffs für alle drei beteiligten Spieler ergibt sich wie folgt:

Tabelle 3.5: Das normierte 3-Spieler Gefangenendilemma (2x2x2-Matrix)

Spieler C »		<i>kooperieren</i>		<i>defektieren</i>	
		<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>	<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>
Spieler B »	<i>kooperieren</i>	80, 80, 80	40, 100, 40	40, 40, 100	0, 60, 60
	<i>defektieren</i>	100, 40, 40	60, 60, 0	60, 0, 60	20, 20, 20

Um während der empirischen Datenerhebung mögliche Priming-Effekte, durch eventuell vorhandenes Vorwissen im Bereich der Spieltheorie im Allgemeinen und im Gefangenendilemma im Speziellen, zu minimieren, wurde zudem ein Szenario entwickelt, welches das theoretischen Modell in einen ökonomischen Kontext einbettet. Konkret wurde hier auf das etablierte Szenario des Preiskampfes zurückgegriffen, welches in der Literatur häufig im Bezug auf das Ge-

²³ Gemäß der beschriebenen Definition existiert eine Vielzahl von möglichen Payoff-Kombinationen, welche die diskutierten Bedingungen erfüllen.

fangenendilemma herangezogen wird (vgl. Lambertini, 1997; Liu & Serfes, 2004). Statt den Handlungsoptionen „kooperieren“ und „defektieren“ haben die Probanden hier die Wahl auf einem nicht näher definierten Markt ein homogenes Produkt zu einem hohen Preis [H] oder einem niedrigen Preis [L] anzubieten. Die anzustrebende Kooperations-Lösung ist in diesem Fall die trilaterale Einigung auf einen hohen Preis (Kartelllösung²⁴). Die gleichgewichtstheoretischen Eigenschaften des Gefangenendilemmas und die korrespondierenden Payoffs bleiben hierbei unverändert. Weiterhin sind alle drei, zu testenden Spielmechanismen implementierbar. Das individuelle Auszahlungsprofil - hier aus Sicht von Spieler A - ergibt sich wie folgt:

Tabelle 3.6: Übertragung des 3PPD auf einen empirisch umsetzbaren Pricing-Kontext (Payoffs für Spieler A)

Spieler C »		[H]		[L]	
		[H]	[L]	[H]	[L]
Spieler B »	[H]	80	40	40	0
	[L]	100	60	60	20

3.3.2.2 Erweitertes 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischen-Option

Das zweite Spiel, welches im Sinne Forschungsfrage zur Überprüfung der Hypothesen herangezogen wird, ist eine Erweiterung des bereits erläuterten 3-Spieler Gefangenendilemmas um eine weitere Handlungsoption für jeden beteiligten Spieler. Hierbei handelt es sich um eine sogenannte Nischen- bzw. Ausweichoption, welche es den individuellen Probanden ermöglicht, sich gegen eine fixe Kompensation (hier in Höhe von 50), aus dem Konflikt zurückzuziehen. Die Implementierung dieser Option stellt, neben der initialen Erweiterung des Szenarios auf 3 Spieler, eine weitere Reaktion auf die Kritik von Colman (1982) dar, welcher die grundsätzliche Eignung des klassischen Gefangenendilemmas für realitätsnahe Konfliktmodellierung in Frage stellt²⁵. Gerade im ökonomischen Kontext sind Kontrahenten nicht zwangsläufig dazu genötigt Konflikte auszutragen, sondern können diesen, z.B. über die Verlagerung auf andere Märkte, strategisch ausweichen. Die erweiterte Modellierung mit Nischenoption erhält nach wie vor alle strukturgebenden Eigenschaften des Gefangenendilemmas und ist aus diesem Grund für die Beantwortung, der in Abschnitt 3.2 aufgestellten, Hypothesen geeignet. Durch die zusätzliche Option ergeben sich zudem erweiterte Hypothesen (vgl. Hypothese II.3), welche in engem Zusammenhang mit den zentralen Koordinationshypothesen stehen. Durch das zusätzliche Angebot einer Nischenoption ist zu erwarten, dass gegenseitige Koordination tendenziell schwieriger

²⁴ Analog zum theoretischen Modell kann sich ein einzelner Spieler temporär besser stellen, indem er das Kartell verlässt und einseitig einen niedrigen Preis anbietet.

²⁵ Die initiale Reaktion auf die Kritik von Colman (1982) stellt die Erweiterung des Gefangenendilemmas auf 3 Spieler dar. Vergleiche hierzu auch Unterunterabschnitt 3.3.2.1.

zu realisieren ist, da statt einer koordinationsfördernden, temporären Verschlechterung auch ein risikoloses Ausweichen in die Nische möglich wird. Das Hinzufügen einer weiteren Option zur bedingt-myopischen Verbesserung verschleiert hierbei das eigentliche Ziel, den langfristig dominanten „Reward“-Zustand trilateraler Kooperation zu erreichen und wirkt somit der Kritik eines möglichen Modellierungs-Bias²⁶ entgegen.

Ein wesentliches Merkmal des 3-Spieler Gefangenendilemmas mit Nischen-Option stellt der dynamische Zerfall des Konflikts in bis zu vier unterschiedliche Partialkonflikte dar, welche sich abhängig von der Anzahl der Nischen-Entscheidungen, innerhalb einer Spielsituation ergeben. Die Kombination dieser Partialkonflikte spannt den Zustandsraum des Spiels vollständig auf und erzeugt die Payoffmatrix. Wählt keiner der drei Probanden die Nische, so folgt der Konflikt den Regeln und Bedingungen bereits hergeleiteten 3-Spieler Gefangenendilemmas²⁷:

Tabelle 3.7: Partialkonflikt für 3 Spieler mit aktiver Konfliktbeteiligung im 3PPD-N

Spieler C »		<i>kooperieren</i>		<i>defektieren</i>	
		<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>	<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>
Spieler B »	<i>kooperieren</i>	60, 60, 60	20, 75, 20	20, 20, 75	0, 35, 35
	<i>defektieren</i>	75, 20, 20	35, 35, 0	35, 0, 35	10, 10, 10

Entschließt sich genau ein Spieler für die Nischen-Option und dem damit einhergehenden konstanten Payoff, berechnen sich die Payoffs der beiden verbliebenen Spieler, gemäß den Regeln des regulären Gefangenendilemmas für zwei Spieler (vgl. Unterabschnitt 3.3.2), wie folgt:

Tabelle 3.8: Partialkonflikt für 2 Spieler mit aktiver Konfliktbeteiligung im 3PPD-N

Spieler C »		<i>Nische</i>	
		<i>kooperieren</i>	<i>defektieren</i>
Spieler B »	<i>kooperieren</i>	65, 65, 50	25, 80, 50
	<i>defektieren</i>	80, 25, 50	40, 40, 50

²⁶ Als Modellierungs-Bias ist an dieser Stelle die wissenschaftstheoretische Kritik an Modellen zu verstehen, welche durch ihre Ausgestaltung die beobachtbaren Effekte im Sinne des Forschenden verzerren. Durch Variation des Modells und multiple Testreihen kann diesem Bias entgegengewirkt werden.

²⁷ Da aufgrund des generell erweiterten Zustandsraums durch die Nischen-Option neue Zustände am oberen Ende der Payoff-Skala entstehen, verschieben sich die Payoffs im Vergleich zum reinen 3PPD aus Gründen der ordinalen Ordnung nach unten. Das Intervall der gültigen Payoffs sei weiterhin mit [0, 100] gegeben.

Der dritte Partialkonflikt ergibt sich analog für den Fall, dass zwei Spieler in einer Spielsituation die Nische wählen und nur ein Spieler eine potentiell konfliktäre Handlungsoption spielt. Da sich in diesem Fall kein Gegenspieler im Partialkonflikt befindet, wird dem besagten Spieler ein Payoff von 90 zugesprochen, falls die Option „defektieren“ gewählt wurde. Wurde hingegen „kooperieren“ gewählt, erhält der Spieler den maximalen Payoff von 100. Eine Differenzierung zwischen den Auszahlungen ist an dieser Stelle sinnvoll und wird anhand der folgenden Übertragung des Gesamt-Spiels auf ein realitätsnahes, empirisch anwendbares Szenarios deutlich. Analog zum regulären 3PPD lässt sich auch das 3PPD-N als Preiskampf auf einem Markt für homogene Güter modellieren, bei welchem die Option „kooperieren“ als Preisstrategie „Hoher Preis“ (H) und die Option „defektieren“ als Preisstrategie „Niedriger Preis“ (L) aufgefasst werden kann. Durch die Nischenoption erhalten die Spieler zusätzlich die Möglichkeit den konfliktären Gesamtmarkt (G) zu verlassen, und stattdessen in einen kleineren, Nischenmarkt (N) auszuweichen, auf welchem sie eine geringere, aber dafür fixe Auszahlung erwarten können. Befindet sich nun, entsprechend der Situation im dritten Partialkonflikt, nur ein Spieler auf dem Gesamtmarkt, ist bei einer Hochpreis-Strategie [G,H] ein höherer Payoff zu erwarten, als bei einer Niedrigpreis-Strategie [G,L].

Der vierte Partialkonflikt, bei welchem sich alle drei Spieler in der Nische befinden ist an dieser Stelle trivial, da alle Probanden einen fixen Payoff von 50 erhalten. Obwohl dieser Zustand wenig konfliktär erscheint, muss an dieser Stelle beachtet werden, dass jeder Spieler durch einseitiges Abweichen seinen Payoff temporär verdoppeln kann. Die trilaterale Einigung auf eine Nischenstrategie ist daher weder stabil und wird darüber hinaus vom Zustand trilateraler Kooperation (Kartelllösung) dominiert. Aus der Kombination der vier diskutierten Partialkonflikte leitet sich die finale und vollständige Payoff-Matrix wie folgt ab²⁸:

Tabelle 3.9: Das modifizierte 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption aus Sicht von Spieler A

Spieler C »		[G,H]			[G,L]			[N]		
		[G,H]			[G,L]			[N]		
Spieler B »	[G,H]	60	20	65	20	0	25	65	25	100
	[G,L]	75	35	80	35	10	40	80	40	90
	[N]	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Spieler A »										

Die bereits im 3PPD aufgezeigte Ordnung zwischen den einzelnen Payoffs, bleibt auch nach der Kombination der einzelnen Partialkonflikte für das Gesamtspiel bestehen.

²⁸ Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in Tabelle 3.9 nur die Payoffs für Spieler A aufgelistet. Die Payoffs für Spieler B und C folgen aufgrund der Symmetrie des Spiels analog.

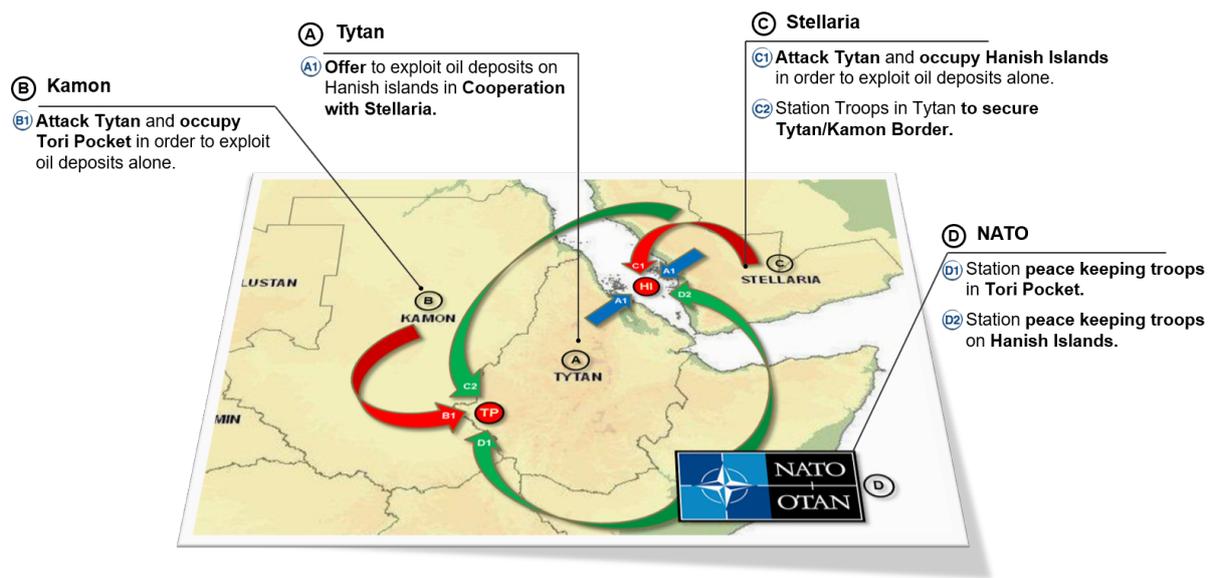
3.3.2.3 Der Cerasia Konflikt: Asymmetrisches NATO-Szenario

Während die ersten beiden Spiele dieser Arbeit, entsprechend der spieltheoretischen Konvention, auf Grundlage der Normalform modelliert wurden, erscheint für die Modellierung realitätsnaher Spiele eine Modellierung gemäß den Regeln des *Graph Model for Conflict Resolution* (GMCR) als besonders geeignet (vgl. Fang et al., 1993). Dieser Modellierungsansatz, der als eine direkte Weiterentwicklung der *Conflict Analysis* zu verstehen ist, ist in der Lage auch größere dynamische Konflikte mit n -Spielern und einer beliebig großen Anzahl von (asymmetrischen) Handlungsoptionen abzubilden (vgl. Fraser & Hipel, 1984). Möglich wird dies durch die Einführung binärer Handlungsoptionen, welche entweder den Status „gespielt“ oder „nicht gespielt“ annehmen können. Im Gegensatz zu der exklusiven Wahl einer einzigen Handlungsoption in den unterschiedlichen Varianten des Gefangenendilemmas, können hier beliebige Konfigurationen der einzelnen, binären Handlungsoptionen gespielt werden, welche in ihrer spielerübergreifenden Gesamtheit einen klar definierten Zustandsraum abbilden. Die Berechnung der Payoffs erfolgt hierbei auf Grundlage einer ordinalen Präferenzordnung aller im Spiel vorhandenen Handlungsoptionen, welche für jeden Spieler individuell festgelegt wird. Dies ist insofern vorteilhaft, da gerade bei realitätsnahen Spielen vollständige, kardinale Nutzenprofile für alle möglichen Zustände nur selten vorhanden sind (vgl. Fraser, 1994, S. 66). Weiterhin ist eine a-priori festzulegende Bestimmung des Spielablaufs, wie er zum Beispiel bei Extensivformspielen der Fall ist nicht, nicht notwendig. Eine freie Modellierung klar definierter Zugreihenfolgen und Informationsstrukturen ist, analog zu den beiden zuvor diskutierten Varianten des Gefangenendilemmas, weiter möglich und erlaubt die Implementierung der drei zentralen Spielmechanismen „*real-dynamisch*“, „*sequenziell-randomisiert*“ und „*simultan-wiederholt*“ (vgl. Kilgour & Hipel, 2005, S. 444–445). Änderungen der Gegnerstrategien sind im Experiment weiterhin klar visualisierbar und können von den Probanden eindeutig nachvollzogen werden²⁹. Entsprechende Reaktionen können, abhängig vom geltenden Spielmechanismus, direkt oder verzögert entwickelt und gespielt werden (vgl. Xu et al., 2018).

Der konkret, im Hinblick auf die Forschungsfrage dieser Arbeit modellierte, Cerasia-Konflikt basiert auf einer offiziell von der NATO entwickelten und für die Öffentlichkeit freigegebenen Fallstudie, welche im gesamten Bündnis-Raum zur strategischen Schulung von militärischen Führungskräften verwendet wird. Innerhalb der deutschen Streitkräfte ist die Studie unter anderem im Rahmen des General-/Admiralstabslehrgangs (LGAN) der Führungsakademie der Bundeswehr (FüAkBw) und dem Studiengang „Militärische Führung und Internationale Sicherheit“ (MFIS) fester Bestandteil des Curriculums. Basierend auf der Geographie des Horns von Afrika wird in der Fallstudie die fiktive Region „East Cerasia“ beschrieben, in welcher diverse Nationen, Ethnien und Institutionen, mit unterschiedlichen Handlungsoptionen und Zielfunktionen,

²⁹ Vergleiche hierzu auch die Beschreibung des visuellen Aufbaus der experimentellen Benutzeroberfläche in Abschnitt 4.3 bzw. Appendix A.3. Trotz der unterschiedlichen Modellierung unterscheiden sich die drei verwendeten Spiele in der Art ihrer Darstellung nur unwesentlich voneinander.

strategisch interagieren. Im Zentrum steht hierbei die geschwächte Demokratie Tytan, welche jeweils an der westlichen und östlichen Grenze des Landes Ölquellen besitzt, die jedoch von den beiden angrenzenden Nationen Kamon und Stellaria beansprucht werden. Kamon agiert hierbei gemäß seiner Staatsdoktrin als Diktatur und erhebt bedingungslosen Anspruch auf die Ölfelder, innerhalb der sogenannten Tori-Pocket, im Westen Tytans. Stellaria wiederum, stellt eine gemäßigte Autokratie dar, welche zwar Anspruch auf die östlichen Ölvorkommen auf den sogenannten Hanish-Islands erhebt, eine kooperative Lösung einer Invasion jedoch vorzieht. Der eigene Machtanspruch und die Stabilität in der Region ohne internationale Einflussnahme wird von Stellaria höher bewertet, als ein gewaltsames Ausbeuten der genannten Ölquelle. Als vierte und letzte Partei ist die NATO zu nennen, welche als Vertreter der internationalen Öffentlichkeit den Frieden in der Region wahren soll³⁰. Hierbei besitzt die NATO die Möglichkeit Friedenstruppen zum Schutze Tytans an die beiden konfliktären Ölquellen zu beordern, zieht allerdings eine friedliche Lösung des Konflikts auf lokaler Ebene einem eigenen Engagement strikt vor. Entsprechend den modelltheoretischen Vorgaben des *GMCR* kann jedem Spieler ein individuelles Set an binären Handlungsoptionen zugeordnet werden³¹:



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 3.1: Spieler und Handlungsoptionen im Cerasia-Konflikt

Neben der eindeutigen Einführung von Spielern und Handlungsoptionen, benötigt das Modell, zur vollständigen Definition des endlichen Zustandsraumes, zusätzlich eine eindeutig definierte,

³⁰ Im ursprünglichen Modell werden insgesamt sieben Spieler genannt. Durch gezielte Fokussierung auf die Schlüsselspieler des Konflikts, kann das Modell jedoch insoweit kondensiert werden, dass alle relevanten Teilkonflikte erhalten bleiben und gleichzeitig die Zugänglichkeit des Szenarios erhöht wird.

³¹ Der binäre Charakter der Handlungsoptionen und die freie Kombination eigener Handlungen vervielfacht die Anzahl möglicher Strategien. Verfügt ein Spieler über zwei binäre Handlungsoptionen, ergeben sich durch deren Kombination insgesamt vier valide Strategien.

ordinale Präferenzordnung. Während die einzelnen Handlungsoptionen lediglich beschreiben, wozu die einzelnen Spieler in der Lage sind, folgt aus der Präferenzordnung die spielerindividuelle Zuordnung von Payoffs zu den einzelnen Zuständen des Spiels. Konkret wird hierzu zunächst für jeden Spieler eine ordinale Rangfolge der eigenen und gegnerischen Handlungsoptionen entwickelt, die die subjektiv wahrgenommene Wichtigkeit der betrachteten Optionen widerspiegelt. Weiterhin muss neben der Priorisierung der einzelnen Optionen auch deren Präferenzrichtung angegeben werden. Im vorliegenden Fall wird eine positive Präferenz für die Ausführung einer gewissen Option mit einem + gekennzeichnet. Eine negative Präferenz wird mit einem – markiert. Zusätzlich können Präferenzen von einer konkreten Bedingung abhängen. In diesem Fall wird die Bedingung durch ein *IFF* eingeleitet und folgt in ihrer Interpretation den Regeln der Aussagen- und Prädikatenlogik. Die Präferenzordnung für den Cerasia-Konflikt wurde analog zu der vorliegenden Fallstudie wie folgt modelliert:

Tabelle 3.10: Priorisierung der Handlungsoptionen und Präferenzen im Cerasia-Konflikt

	(A) Tytan	(B) Kamon	(C) Stellaria	(D) NATO
Zunehmende Priorität	–B1	<i>B1 IFF -C2&-D1</i>	–D2	–B1
	–C1	–D1	+A1	–D1
	+D1	–C2	<i>C1 IFF -D2</i>	–C1
	+D2	–D2	–D1	–D2
	–A1	+C1	–C2	+C2
	<i>C2 IFF -C1&+A1</i>	+A1	–B1	+A1

Auf Grundlage der gegebenen Präferenzstruktur, ist es im Experiment allen Probanden jederzeit möglich die Auswirkungen eigener Handlungen auf die Gegenspieler zu erfassen und dementsprechend strategische Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Kognition und Verarbeitung von strategischen Möglichkeiten erfolgt in diesem Modell nicht mehr über eine Payoffmatrix, sondern direkt über die Analyse der eigenen und gegnerischen Präferenzen³². Koordinative und strategische Züge, ausgedrückt durch temporäre Verschlechterungen, sind weiterhin möglich und von den Teilnehmern des Spiels interpretierbar. Eine empirische Untersuchung im Sinne der Forschungsfrage und der, in Abschnitt 3.2 hergeleiteten, Hypothesen kann analog zu den bereits diskutierten Spielen durchgeführt werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der drei

³² Vgl. hierzu auch Burkardt (2020), welcher mithilfe von verschiedenen GMCR-Modellen die Kognition von strategischen Entscheidungen in komplexen Spielen untersucht. Zudem existieren zahlreiche weitere Arbeiten, welche sich mit der Modellierung realer Konflikte nach den Regeln des GMCR beschäftigen (vgl. hierzu Stokes & Hipel, 1983; Noakes et al., 2003; Li et al., 2004; Sensarma & Okada, 2005; Sheikhmohammady et al., 2011; He et al., 2015; Xiao et al., 2015; Yu et al., 2015; Cullmann et al., 2015)

diskutierten Spiele und Szenarien und im Hinblick auf eine möglichst uniforme, experimentelle Umsetzung, kann aus der Präferenzordnung ein abgeschlossener Zustandsraum abgeleitet werden, welcher jedem Spieler, in jedem möglichen Zustand einen eindeutigen Payoff zuordnet. Der mathematische Zusammenhang ergibt sich wie folgt:

Sei $i \in S$ die Menge aller Spieler und $j \in \{1, \dots, |P|\}$ das Tupel, welches die einzelnen Prioritätsstufen in aufsteigender Reihenfolge abbildet. Abhängig vom aktuellen Zustand des Spiels kann für jede beliebige Präferenz a_{ij} eindeutig bestimmt werden, ob diese erfüllt ist oder nicht:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls Präferenz für Spieler } i \text{ auf Prioritätsstufe } j \text{ erfüllt ist.} \\ 0 & \text{falls Präferenz für Spieler } i \text{ auf Prioritätsstufe } j \text{ nicht erfüllt ist.} \end{cases} \quad (3.7)$$

Zur Berechnung des Gesamtpayoffs eines einzelnen Spielers werden zunächst die Teilpayoffs für jede einzelne Präferenz innerhalb dessen Präferenzordnung berechnet. Je höher die Prioritätsstufe j , auf welcher sich die betrachtete Präferenz befindet, desto höher fällt der potentielle Teilpayoff beim Erfüllen dieser Präferenz für Spieler i aus³³. Teilpayoffs werden nur gewährt, falls die Präferenz im aktuellen Zustand tatsächlich erfüllt ist. Der Gesamtpayoff p_i ergibt sich aus der Addition aller Teilpayoffs:

$$p_i = \sum_{j=1}^{|P|} (2a_{ij})^j \quad \forall i \in S \quad (3.8)$$

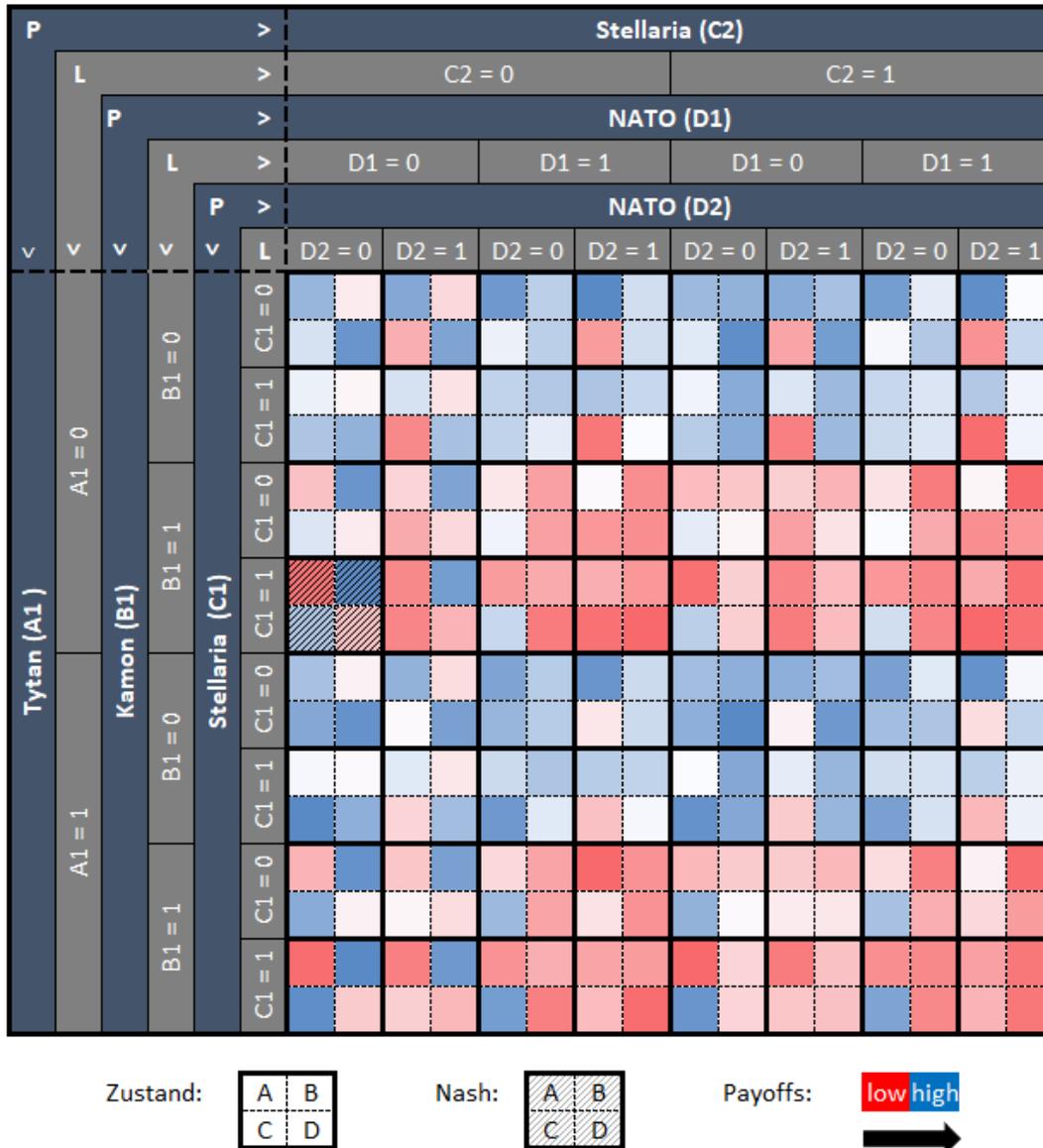
Durch Division durch den maximal möglichen Gesamtpayoff kann zudem der normierte Gesamtpayoff $p_{i, norm}$ auf dem Intervall $[0, 1]$ berechnet werden. Aus Gründen der einfacheren Vergleichbarkeit und Interpretierbarkeit beziehen sich alle folgenden Abschnitte der Arbeit ausschließlich auf den normierten Gesamtpayoff:

$$p_{i, norm} = \frac{\sum_{j=1}^{|P|} (2a_{ij})^j}{\sum_{j=1}^{|P|} 2^j} \quad \forall i \in S \quad (3.9)$$

Entsprechend der binären Logik der betrachteten Handlungsalternativen, ergeben sich für das vorliegende Modell $2^6 = 64$ mögliche Kombinationen von Handlungsoptionen, was gleichzeitig der Anzahl der erreichbaren Zustände des Spiels entspricht. Jedem dieser 64 Zustände können, mithilfe des oben hergeleiteten Zusammenhangs, für jeden Spieler individuelle Payoffs zugeteilt werden. Irreversible Handlungsoptionen oder bedingte Operatoren wurden für das vorliegende

³³ Als Berechnungsgrundlage dient in der vorliegenden Arbeit die j -te Potenz zur Basis 2. Falls eine höhere Gewichtung von Präferenzen auf höheren Prioritätsstufen gewünscht wird, ist dies durch eine Erhöhung der Basiszahl zu erreichen.

Szenario bewusst ausgeschlossen, um auch in stetigen und wiederholten Spiele keine technisch bedingten, strategischen Sackgassen bzw. Deadlocks zu induzieren. Abbildung 3.2 zeigt in diesem Zusammenhang nochmals alle 64 Zustände und die entsprechenden Payoffs der vier Spieler mithilfe einer stetigen Farbskala auf:



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 3.2: Zustände, Gleichgewichte und spielerindividuelle Payoffs im Cerasia-Konflikt

Trotz der hohen Anzahl von Zuständen existiert im gesamten Spiel nur ein einziges Nash Gleichgewicht in reinen Strategien, aus welchem keiner der beteiligten Spieler einen Anreiz hat abzuweichen³⁴. Konkret handelt es sich hierbei um den Zustand, in welchem sowohl Ka-

³⁴ Wie bereits am Beispiel des Gefangenendilemmas dargelegt, ist ein Nash-Gleichgewicht aufgrund seiner myopischen Definition im wiederholten Spiel nicht zwangsläufig ein erstrebenswerter Zustand.

mon als auch Stellaria als Aggressoren auftreten und die Ölquellen besetzt halten. Da die NATO sich durch den Einsatz von Friedenstruppen initial, temporär verschlechtern müsste, genügt dieser Zustand den Anforderungen eines Nash-Gleichgewichts (vgl. Fudenberg & Tirole, 1991). Ob dieses Gleichgewicht in dynamischen Spielen auch empirisch als präferierte Lösung des Konflikts von den Akteuren realisiert wird ist jedoch fraglich, da sowohl Tytan, als auch die NATO durch (geringfügige) strategische Verschlechterungen auf eine stark verbesserte Position im fortlaufenden Spielverlauf hoffen können³⁵.

³⁵ Eine ausführliche, strategische und gleichgewichtstheoretische Analyse der hier beschriebenen Konflikts wurde im Rahmen der Entwicklung vom Autor vorgenommen, soll im Hinblick auf das abweichende Forschungsziel jedoch an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Konkret wurden hierbei, anhand computergestützter Analysen, erweiterte Stabilitätskonzepte und Gleichgewichte untersucht und mögliche Konfliktausgänge qualitativ analysiert. Weiterhin wurde das, im Rahmen dieser Arbeit entwickelte, Szenario bereits mehrfach bei Workshops und Schulungen im Rahmen der Generalstabsausbildung der Führungsakademie der Bundeswehr eingesetzt.

4 Konzeption und Operationalisierung der experimentellen Untersuchung

Zur empirischen Überprüfung der, in Kapitel 3 hergeleiteten, Hypothesen soll im Folgenden die Konzeption und praktische Umsetzung einer Reihe von spezifischen Experimenten vorgestellt werden. Bereits Reinhard Selten, welcher als Pionier der experimentellen Wirtschaftsforschung gilt, nutzte experimentelle Studien zur Untersuchung spieltheoretischer Fragestellungen (vgl. Selten, 1990). Besonders seine Werke zu beschränkter Rationalität trugen maßgeblich zur Etablierung experimenteller Ansätze in der Spieltheorie bei (vgl. Gigerenzer & Selten, 2002). Unabhängig von der Fachrichtung kommt der Konzeption und Operationalisierung des Experiments eine bedeutende Rolle innerhalb der hypothetisch-deduktiven Forschung zu. Um aus einer Hypothese belastbare, empirisch überprüfbare Konsequenzen deduzieren zu können, sind eine Reihe von Voraussetzungen zu erfüllen. So kann eine Hypothese nie isoliert betrachtet werden, sondern benötigt immer einen größeren, theoretischen Kontext, sowie eine detaillierte Definition der äußeren Umstände. Da bereits geringfügige Veränderungen dieser äußeren Parameter zu weitreichenden Abweichungen in den generierten Daten führen können, wird die empirische Datenerhebung in Form eines *kontrollierten Laborexperiments* durchgeführt.

Die methodischen Anforderungen an ein *kontrolliertes Laborexperiment* lassen sich wiederum in zwei übergeordnete Kategorien unterteilen (vgl. Schram, 2005, S. 1):

1. **Interne Validität** - Aus empirischer Forschung gewonnene Erkenntnisse sind nur dann intern valide, wenn man die richtigen Schlussfolgerungen aus der gewählten Methodik ableiten kann. Es muss daher sichergestellt werden, dass die gemessenen Daten das angedachte Forschungsobjekt passend und möglichst frei von Störungen abbilden. Während Friedman et al. (2004) die Qualität der internen Validität primär anhand der Methode zur Auswahl der Probanden, sowie an äußeren Einwirkungen im Experimentverlauf festmacht, existieren in der Literatur zahlreiche weitere relevante Faktoren. So ist unter anderem auch der sogenannte „Testeffekt“¹, sowie das Phänomen der sozial gewünschter Antworten ausschlaggebend für intern valide Ergebnisse. Letzteres ist für konfliktanalytische Studien mit hoher Interaktion zwischen den Probanden besonders zu beachten, da

¹ Der Testeffekt wird in der wissenschaftlichen Praxis anhand zweier Dimensionen beschrieben. Zum einen beschreibt er das psychologische Phänomen, dass sich Probanden in einer Test-Situation anders verhalten, als in einer Situation, welche nicht als Test wahrgenommen wird. Weiterhin beschreibt der Testeffekt auch die Verhaltensänderung, welche durch den Lerneffekt bei Wiederholung von Tests eintreten kann (vgl. Roediger & Butler, 2011, 24 ff.)

soziale Effekte hier stärker in den Vordergrund treten (vgl. Asch, 1955, 32 f.). Ein weiterer Aspekt der internen Validität liegt in der Forderung nach unabhängigen und objektiven Test-Variablen, sowie der Minimierung von möglichen Störfaktoren. Friedman et al. (2004) empfehlen hierzu verzerrende oder konfundierende Effekte frühzeitig zu identifizieren und entsprechende *Kontrollmechanismen* einzuführen. Ist eine Kontrolle aufgrund mangelnder Beobachtbarkeit nicht möglich, kann durch *Randomisierung* ein möglicher, systematischer Fehler minimiert werden (vgl. Friedman et al., 2004, S. 32–33).

2. **Externe Validität** - Eine experimentelle Studie wird immer dann als extern valide bezeichnet, wenn die Laborergebnisse auch auf einen erweiterten Kontext übertragen werden können. Gerade bei quantitativen Experimenten ist daher wichtig zu prüfen, ob die verwendete Stichprobe die Gesamtpopulation hinreichend gut reflektiert (vgl. Schram, 2005, S. 2). Da diese Übertragbarkeit nur bei vergleichbaren Ausgangsbedingungen gegeben sein kann, ist die interne Validität als eine Voraussetzung externer Validität anzuführen. Zusätzlich sollte auch die Reliabilität der Untersuchung sichergestellt sein. Ein experimentelles Design erfüllt hierbei genau dann die Anforderungen an die Reliabilität, wenn sich die Ergebnisse zuverlässig replizieren lassen. Dies setzt voraus, dass sämtliche Daten in einer Art und Weise erhoben werden, welche konsistente Ergebnisse zulässt (vgl. Friedman et al., 2004, S. 19). Da jedes Laborexperiment zwangsläufig nur eine Annäherung an die Realität sein kann, ist vollkommene externe Validität generell nicht erreichbar. Für Schram (2005) ist dies für einen Erkenntnisgewinn jedoch keine unbedingte Notwendigkeit. Bei vielen Fragestellungen mit dezidiert explorativem Charakter geht es nicht primär darum, die Realität möglichst detailliert nachzubilden, sondern die zu untersuchende Hypothese so präzise wie möglich zu implementieren. Je belastbarer die untersuchte Hypothese ist, desto weniger genau muss das Design des Experiments die Wirklichkeit widerspiegeln (vgl. Schram, 2005, S. 3; Friedman & Sunder, 1994, S. 11).

Im folgenden Kapitel wird sowohl auf die interne, als auch auf die externe Validität der vorliegenden, experimentellen Untersuchung, sowie die konkreten Maßnahmen zu deren Sicherstellung spezifisch eingegangen.

4.1 Experimentelles Design und Ausgestaltung der Modellökonomie

Entsprechend den diskutierten Anforderungen an Validität, Reliabilität und Objektivität ist für das konkrete Experiment zunächst eine präzise Spezifikation der verwendeten *Modellökonomie* erforderlich. Die *Modellökonomie* bezeichnet hierbei eine kontrollierte (Spiel-)Umgebung, welche zum einen die *Agenten*² und deren individuellen Ausstattungen, sowie zum anderen die

² Im Folgenden auch *Spieler* genannt.

Institution, welche sowohl das Regelwerk als auch das Entscheidungsumfeld des Spiels definiert, umfasst (vgl. Friedman et al., 2004, S. 25–26). In der vorliegenden Arbeit bilden *Agenten* und *Institution* einen abgeschlossenen und vollständig definierten, mikroökonomischen Entscheidungsraum, welcher eine spieltheoretische Analyse erlaubt. Dies wird erreicht, indem allen *Agenten* eine endliche und wohldefinierte Menge an möglichen Aktionen³ zur Verfügung gestellt wird. Die Gesamtheit der möglichen Kombinationen aller gespielter Aktionen bildet in der Folge den endlichen Zustandsraum des Spiels. Die *Institution* des Spiels ordnet jedem dieser erreichbaren Zustände wiederum klar definierte, individuelle Payoffs zu, welche allen Spielern bekannt sind. Jeder *Agent* ist somit in der Lage, gemäß seiner individuellen Zielfunktion, nutzenoptimierende Strategien zu entwickeln und diese im Rahmen der Spielregeln bzw. des angelegten Spielmechanismus zu verfolgen. Da allen Spielern sowohl die Regeln des Spiels, als auch alle möglichen Aktionen der Gegner bekannt sind, liegt in der vorliegenden Modellökonomie zudem vollständige Information vor⁴. Trotz der getroffenen Annahmen und Bedingungen, bleibt die entwickelte *Modellökonomie* skalierbar bzgl. der konkreten Anzahl der, am Spiel beteiligten, *Agenten*, deren Aktions-Portfolios und der sich ergebenden Zustandskombinationen. Dies erlaubt die variable Implementierung von diversen spieltheoretischen Szenarien und ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung relevanter Konfliktsituationen (vgl. Shubik, 1981).

Entsprechend der Empfehlung von Schram (2005), wird im Zuge dieser Arbeit zunächst ein möglichst kompaktes, simplifiziertes Szenario zur Beantwortung der Forschungsfrage modelliert, dessen wesentliches Ziel die bestmögliche Abbildung der zu untersuchenden Hypothesen darstellt⁵. Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, handelt es sich hierbei um eine 3-Spieler Variante des spieltheoretischen Gefangenendilemmas. In einem zweiten Schritt wird dann, entsprechend der Forderung von Friedman und Sunder (1994, S. 15), nach einer möglichst hohen Realitätstreue des Modells, sowie im Einklang mit den, in Abschnitt 3.3 hergeleiteten, strukturellen Eigenschaften, das Ausgangsszenario um eine weitere Handlungsoption für die *Agenten* erweitert. Die hieraus entstehende Zustandsraumerweiterung bildet reale Konfliktsituationen in einem höheren Detaillierungsgrad ab und trägt somit zur externen Validität des Gesamtmodells bei. Das dritte experimentell untersuchte Modell beschreibt den Versuch, ein möglichst reales, spieltheoretisches Szenario mit vier Spielern zur Überprüfung der, in Kapitel 3 definierten, Forschungsfrage heranzuziehen. Als strukturgebender Ausgangspunkt dient hierfür ein offizielles Konfliktmodell der NATO, welches zu Ausbildungszwecken in der Generalstabsausbildung der Bundeswehr verwendet wird. Während in den beiden Haupt-Szenarien

³ Im Folgenden auch häufig *Züge* oder *Handlungsoptionen* genannt.

⁴ Vollkommene Information ist hierbei nicht zwangsläufig gegeben, da hierzu auch der gesamte Spielverlauf allen beteiligten *Agenten* zu jedem Zeitpunkt bekannt sein muss. Dies ist zum Beispiel in einem simultanwiederholten Spiel nicht der Fall, da hier jeder *Agent* seine Entscheidung unter Unwissenheit bzgl. der gegnerischen Aktionen trifft. Siehe hierzu auch Unterabschnitt 2.2.1.

⁵ Siehe Abschnitt 3.3 für eine detaillierte Beschreibung des hypothesengetriebenen Prozesses zur Auswahl passender, spieltheoretischer Szenarien.

die *Agenten* mit vollständig symmetrischen Aktionsräumen und Payoff-Strukturen ausgestattet sind, handelt es sich hierbei bewusst um ein möglichst realitätsnahes Spiel mit asymmetrischem Charakter. Neben spielerindividuellen Startzuständen und Handlungsoptionen werden auch die Nutzenfunktionen der einzelnen Spieler durch ein ordinales Präferenzmodell in Anlehnung an die *GMCR*-Theorie nach N. Howard (1971) modelliert. Die Änderungen betreffen hierbei jedoch bewusst nur die *Agenten* innerhalb der *Modellökonomie*. Die *Institution* bzw. die Regeln des Spiels, sowie der endliche und wohldefinierte Zustandsraum, bleibt strukturell unverändert⁶. Obwohl sich das so erzeugte Spiel aufgrund der agentenseitig modifizierten Modellökonomie nicht mehr uneingeschränkt zur Überprüfung sämtlicher Hypothesen eignet, bietet es doch einen weitere Ebene externer Validität für die Beantwortung der Forschungsfrage und ist im Gesamtzusammenhang dieser Arbeit als explorative Erweiterung der hypothetisch-deduktiven Grundstruktur zu verstehen.

Die zentraler Zielsetzung dieser Arbeit stellt die differenzierende Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Spielmechanismen, mit jeweils spezifischen Zugreihenfolgen, auf die koordinativen Eigenschaften des jeweils betrachteten Konflikts dar. Hieraus ergibt sich für das Design des Experiments unmittelbar die Forderung, unterschiedlich ausgestaltete Zugreihenfolgen und temporale Strukturen (vgl. Abschnitt 2.3), innerhalb der *Modellökonomie* abbilden zu können. Entsprechend der generellen Vorgehensweise zur Analyse ökonomischer und spieltheoretischer Systeme, muss hierbei gemäß der „Ceteris-Paribus-Annahme“ vorgegangen werden (vgl. Boumans & Morgan, 2001, S. 12). Diese sagt aus, dass in der entwickelten Modellökonomie nur eine einzige, klar definierte Eingangsgröße verändert werden darf, um belastbare Schlussfolgerungen bezüglich einer beobachtbaren Messgröße ziehen zu können. Für das vorliegende experimentelle Design bedeutet das, dass sämtliche, oben definierten Parameter bzgl. der *Agenten* und der *Institution* in jedem evaluierten Spiel - mit Ausnahme des angelegten Spielmechanismus - konstant gehalten werden. Dies gilt sowohl für die modelltheoretischen Parameter, als auch für die visuelle Darstellung der experimentellen Software-Applikation.

4.2 Technische Realisierung der experimentellen Plattform

Neben den methodisch-systematischen Anforderungen an ein valides Experiment-Design, leistet auch die physische Experiment-Umgebung einen wesentlichen Beitrag zur Minimierung von unerwünschten Störfaktoren (vgl. V. P. Crawford, 2002, S. 2). Gerade bei Untersuchungen mit hohem, kognitivem Anspruch, wie die strategische Entscheidungsfindung in Konfliktszenarien, ist ein klares Verständnis des Spielablaufs, des zugrunde liegenden Szenarios, sowie der intuitive Umgang mit der Experiment-Plattform entscheidend für die Qualität der Ergebnisse. Aus

⁶ Diese Struktureigenschaft führt dazu, dass alle drei vorgestellten Szenarien mit der identischen experimentellen Applikation im Laborexperiment getestet werden können. Eine konsistente Datenerhebung ist wiederum Voraussetzung für die interne Validität und Reliabilität der Ergebnisse.

diesem Grund wurde für die vorliegende Arbeit eine individuelle, softwarebasierte Applikation entwickelt, welche die genannten Aspekte dezidiert adressiert.

4.2.1 Programmierung einer spezifischen Applikation zur Datenerhebung

In der ökonomischen und konfliktanalytischen Praxisforschung sind computergestützte Experimente bereits seit den späten 1960er Jahren etabliert und werden gerade innerhalb der Verhaltensforschung, aufgrund ihrer objektiven Eigenschaften, bevorzugt eingesetzt (vgl. Kagel & Roth, 1995, S. 19; bzw. Hoggatt et al., 1969, 202 ff.). Zu den verbreitetsten Softwareumgebungen für wirtschaftswissenschaftliche Untersuchungen gehört hierbei die Experimentplattform *z-Tree*⁷, welche seit 1998 an der Universität Zürich entwickelt wird (vgl. Fischbacher, 2007). Obwohl sich die Software auch für spieltheoretische Anwendungen und interaktionsanalytische Fragestellungen konfigurieren lässt und auch am Lehrstuhl für Unternehmensführung (IBU) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) bereits wiederholt eingesetzt wurde, existieren Limitationen im Bereich der Multiplayer-Synchronisation, sowie der Modellierung von Spielen auf der Grundlage des *GMCR*-Modells (vgl. Fischbacher, 2007, S. 177). Weitere Einschränkungen existieren zudem im Bereich der Abbildung endogener Zugreihenfolgen, sowie der Visualisierung von laufenden Payoffs. Einige dieser Einschränkungen werden in der OpenSource-Software *nodeGame* adressiert, welche sich auf in Echtzeit synchronisierte, verhaltensökonomische Experimente über das Internet spezialisiert hat (vgl. Balietti, 2017, S. 1698–1699). Da die Kernkompetenz des Programms jedoch auf der Realisierung von Experimenten mit hoher Teilnehmerzahl und weniger auf der Gestaltung individueller Oberflächen und spieltheoretischer Szenarien liegt (vgl. Balietti, 2017, S. 1713), wurde schlussendlich die Entscheidung getroffen eine individuelle Experiment-Plattform für die vorliegende Arbeit zu entwickeln⁸.

Diese Plattform basiert hierbei wiederum in Teilen auf einer, am Institut für Unternehmensführung (IBU) entwickelten, Softwareumgebung zur Darstellung komplexer, strategischer Konflikte auf Grundlage des *Graph Model for Conflict Resolution* (vgl. Burkardt, 2020). Insbesondere die Darstellung der Spielzustände als Kombination von möglichen Aktionen konnte in modifizierter Form übernommen werden. Alle weiteren Aspekte der Software, wie die zeitstetige Server-Client-Interaktion, die Spieler-Synchronisation, das Aktions-Tracking und die aktive Spiel-Kontrolle wurden spezifisch für diese Arbeit neu entwickelt. Das folgende Kapitel geht auf diese Spezifikationen und deren Relevanz für das Experiment-Design im Detail ein und erläutert zudem die notwendigen Anpassungen für die Realisierung der drei, in Abschnitt 2.3

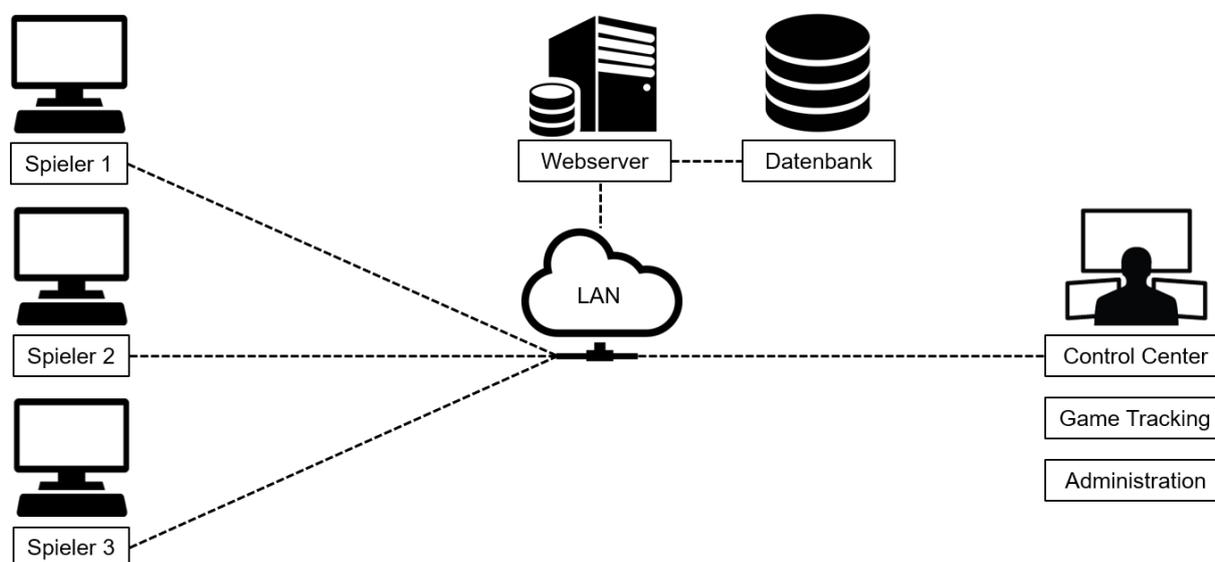
⁷ *z-Tree* steht für „Zurich Toolbox for Readymade Economic Experiments“.

⁸ Neben den genannten Softwareumgebungen existieren noch weitere experimentelle Plattformen, wie beispielsweise *oTree* (vgl. Chen et al., 2016), *ChoiceFlow* (kommerzielle Software) oder *formr* (vgl. Arslan et al., 2020). All diese Plattformen eignen sich generell für spieltheoretische Untersuchungen, weisen jedoch mindestens eine Limitation auf, welche sie von der weiteren Verwendung im Zuge dieser Arbeit ausschließen.

abgeleiteten, Spielmechanismen „*simultan-wiederholt*“, „*sequenziell-randomisiert*“ und „*real-dynamisch*“.

4.2.2 Anforderungen an die Plattform und technische Spezifikation

Primäre Anforderung an die technische Realisierung der Experiment-Plattform ist die möglichst verzerrungsfreie Übersetzung des Experiment-Designs in eine intuitive und stabile Benutzeroberfläche für die Probanden. Sekundäre, technische Anforderungen sind unter anderem ein stabiles Backend zur Sicherstellung einer stabilen Server-Client-Kommunikation, eine Applikation für den Experimentleiter zum synchronisierten Start und Abbruch einzelner Spiele, sowie die Möglichkeit des Trackings aller Züge und relevanter Spielparameter in Echtzeit.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4.1: Client-Server Architektur der Experiment-Plattform inkl. Control-Layer

Entsprechend Abbildung 4.1, wurde die Experimentplattform aufgrund dieser technischen Anforderungen in Form eines *Client-Server-Systems* mit zentralem Datenbankserver realisiert. Dieses folgt im Wesentlichen den Prinzipien einer klassischen Drei-Schichten-Architektur bei verteilten Systemen bestehend aus Präsentationsschicht (*client tier*⁹), Logikschicht (*application-server tier*¹⁰) und Datenhaltungsschicht (*data-server tier*¹¹). Im Vergleich zu einem *Peer-to-Peer* Netzwerk zeichnet sich diese Architektur durch eine höhere Stabilität und eine bessere

⁹ Die Präsentationsschicht wird auch als *Front-End* bezeichnet und bildet die tatsächlich von den Probanden genutzte Benutzeroberfläche ab.

¹⁰ Die Logikschicht wird auch als *Middle-Tier* bezeichnet. Sie beinhaltet die eigentliche Applikation und ist neben der Verwaltung des Spiels auch an der zeitsynchronen und spieler-spezifischen Verteilung relevanter Spieldaten an die einzelnen Clients beteiligt.

¹¹ Die Datenhaltungsschicht wird auch als *Back-End* bezeichnet. Sie enthält alle Daten bezüglich der Spieler, des Spiels und den Verlauf der, in jeder Spielinstanz gespielten, Züge.

Sicherheit der generierten Daten aus und ist daher für das vorliegende Experiment-Design und generell für spieltheoretische Anwendungen, mit mehr als zwei Spielern, vorteilhaft (vgl. Schollmeier, 2002, S. 102; Fischbacher, 2007, S. 172–173). Zusätzlich wurde für die Experimentalsoftware ein dezidiertes *Control-Center* entwickelt, welches den parallelen Start und Betrieb von bis zu fünf individuell parametrisierbaren Spielinstanzen erlaubt. Neben der Überwachung des laufenden Spiels, kann mithilfe des *Control-Centers* auch der Spielverlauf für die spätere Auswertung aufgezeichnet, sowie beliebig konfigurierbare Bots zugeschaltet werden¹².

Entsprechend der Leitfrage dieser Arbeit liegt der Fokus des Experiments auf der präzisen Abbildung interaktiver, strategischer Entscheidungssituationen unter Berücksichtigung der Aspekte *Zeit* (stetig oder diskret), *Modus* (endogen oder strukturiert) und der daraus resultierenden, unterschiedlichen *Reichhaltigkeit der Informationsstruktur*. Neben den bereits erläuterten, technischen Anforderungen an die Plattform, ergibt sich daher zusätzlich eine Reihe von modellgetriebenen Anforderungen an die Applikation, welche sich direkt aus den, in Abschnitt 2.3 definierten, Spielmechanismen und den in Abschnitt 3.3 hergeleiteten Spielen ergeben. Im Sinne einer möglichst redundanzreduzierenden Programmierarbeit wurden zunächst zentrale Aspekte identifiziert, welche eine einfache Konfiguration verschiedener Spielsituationen und reihenfolgespezifischer Mechanismen erlauben, ohne dabei Kompromisse bezüglich der Modelltreue in Kauf nehmen zu müssen. Diese ergeben sich wie folgt:

- **Spieleranzahl** - Die Oberfläche des Spiels wurde derart gestaltet, dass in der Theorie eine beliebig große Anzahl von Spielern modelliert werden kann. In der Praxis ist die Anzahl allerdings durch die individuelle Darstellungskapazität des Endgeräts bzw. des verwendeten Bildschirms limitiert. In der vorliegenden Arbeit wurden Spiele mit entweder drei oder vier Spielern implementiert und untersucht.
- **Aktionen** - Jedem Spieler kann eine beliebige Anzahl von Aktionen bzw. Handlungsoptionen zugewiesen werden¹³. Aktionen können hierbei in *exklusiver* (nur eine Aktion darf gleichzeitig ausgewählt sein) oder *binärer* Form (mehrere Aktionen können unabhängig voneinander gespielt und wieder zurückgenommen werden) definiert werden. Die Darstellung der jeweils gespielten eigenen und fremden Aktionen steht im Zentrum der experimentellen Oberfläche und gibt gleichzeitig den Zustandsraum vor.
- **Spielstart** - Der Spielstart wird exogen vom Experimentleiter vorgegeben, um einen synchronen Beginn und Spielverlauf für alle Akteure zu gewährleisten. Vor dem eigentlichen

¹² Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde die Möglichkeit Bots als Substitut für nicht erschienene Teilnehmer einzusetzen bewusst nicht wahrgenommen. Es wurden ausschließlich Experimente ausgewertet, bei welchen alle notwendigen Akteure durch einen menschlichen Spieler repräsentiert wurden.

¹² Der Autor empfiehlt an dieser Stelle eine maximale Spieleranzahl von sechs Personen.

¹³ Auch bei den Aktionen ist die maximal darstellbare Anzahl nur von der Darstellungskapazität des Bildschirms abhängig.

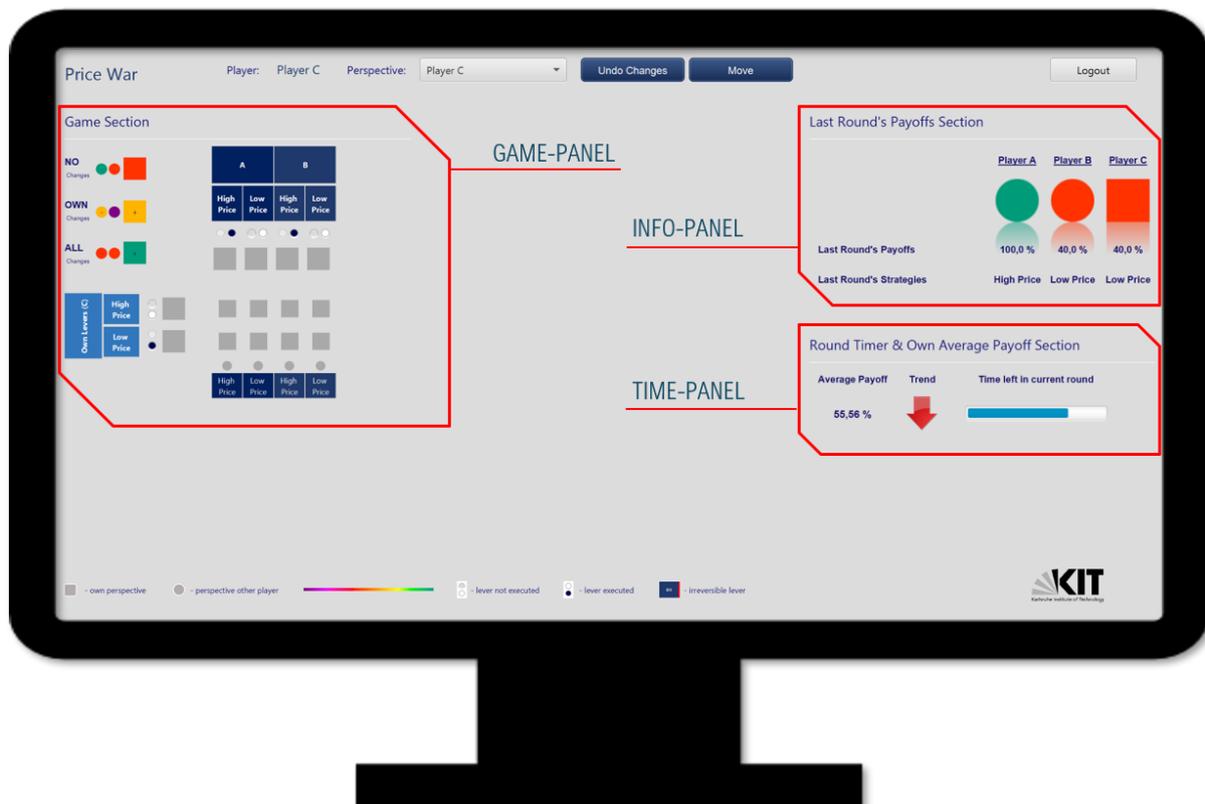
Spielbeginn melden sich die beteiligten Spieler zunächst mit einem individuellen Code für ihre Session an und gelangen daraufhin in einen virtuellen Wartebereich. Erst wenn sich alle Spieler erfolgreich eingeloggt haben, wird das Spiel gestartet. Für Spiele mit endogenen Entscheidungen in stetiger Zeit ist zusätzlich die Option eines offenen, nicht synchronisierten Spiel-Starts vorhanden, im Zuge dieser Arbeit jedoch nicht relevant.

- **Spielabbruch** - Das Spielende kann variabel gestaltet werden und sowohl *exogen* als auch *endogen* erfolgen. Bei einem exogenen Ende erfolgt der Spielabbruch in der Regel nach einer vor Spielstart festgelegten Anzahl von Runden, Zügen oder einer festgelegten Zeitspanne. Es existiert jedoch auch die Möglichkeit das Spiel zufällig innerhalb eines vordefinierten Zeitintervalls abbrechen zu lassen. Ein endogenes Ende (z.B. beim Erreichen eines gewissen Zustandes) ist technisch ebenfalls möglich, ist für die vorliegende Arbeit jedoch nicht von Bedeutung.
- **Payoff-Visualisierung** - Die Performance der einzelnen Spieler kann je nach Konfiguration und gewünschtem Spielmechanismus in Form von aktuellen, laufend-aggregierten oder durchschnittlich erreichten Payoffs dargestellt werden. Zudem besteht die Möglichkeit eine gegebene Payoffmatrix auf eine kontinuierliche Farbskala zu übersetzen, um numerisch induzierte Priming-Effekte zu reduzieren (vgl. Lindemann et al., 2007, S. 1403–1404). Generell sind alle Komponenten der Applikation mit Payoff-Bezug modular realisiert und können in beliebiger Kombination in das Oberflächen-Design integriert werden.
- **Spielmechanismus** - Entsprechend den, in Abschnitt 2.3 definierten, Spielmechanismen erlaubt die Experiment-Applikation drei dezidierte Spielmodi mit unterschiedlich reichhaltiger Informationsstruktur¹⁴: *Real-dynamisch*, *simultan-wiederholt* und *sequenziell-randomisiert*. Aufgrund der zentralen Bedeutung dieser Spielmechanismen für die empirische Datengenerierung, betrachten die folgenden Unterabschnitte 4.3.1, 4.3.2 und 4.3.3 die technischen Umsetzungen und Konfiguration der einzelnen Mechanismen nochmals im Detail.

Trotz der Vielzahl möglicher Spiel-Konfigurationen ist die Oberfläche der Client-Applikation bewusst schlicht gehalten und bildet entsprechend den Empfehlungen von Friedman et al. (2004) nur die unbedingt notwendigen Informationen für den jeweiligen Spielmodus ab. Ziel ist es hierbei, die Aufmerksamkeit der Experimentteilnehmer primär auf die Kognition des Spielgeschehens, sowie die Auswahl geeigneter Strategien und deren Auswirkungen zu konzentrieren. Die zugrunde liegenden Spielmechanismen bzw. Zugreihenfolgen, sollen möglichst unbewusst wahrgenommen werden, um Teilnehmer-Prädispositionseffekte zu minimieren (vgl.

¹⁴ Die einzelnen Mechanismen beziehen sich zwar primär auf die Realisierung einer vorgegebenen Zugreihenfolge, haben jedoch unter Umständen auch Auswirkungen auf die Payoff-Visualisierung und weitere sekundäre Spezifikationen der Oberfläche. Auf diese wird in den folgenden Kapiteln nochmals gesondert eingegangen.

Kirk, 2013, S. 31). Abbildung 4.2 zeigt beispielhaft die Oberfläche der Experiment-Plattform für die simultan-wiederholte Spielkonfiguration im 3PPD. Diese ist wiederum in drei *Panels* unterteilt, auf deren konkrete Ausgestaltung im weiteren Verlauf näher eingegangen wird.



Quelle: Screenshot der Client-Applikation.

Abbildung 4.2: Oberfläche der Experiment-Plattform (hier: Konfiguration für *simultan-wiederholte* Spiele im *iterativen 3-Spieler Gefangenendilemma*)

4.3 Konfiguration und Visualisierung der Spielmechanismen

4.3.1 Spiel-Modus 1: *Simultan-wiederholt*

Der Spielmechanismus des *simultan-wiederholten* Spiels bildet ein klassisches, wiederholtes Spiel ab, in welchem die Agenten Ihre Strategie in jeder Runde gleichzeitig festlegen. Wesentliches Merkmal in Bezug auf die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur ist hierbei der Umstand, dass den einzelnen Spielern während der Auswahlphase einer jeden Runde keine unmittelbaren Informationen bezüglich des Gegnerverhaltens vorliegen. Es liegt daher gemäß der, in Unterabschnitt 2.2.1 aufgezeigten, Definition *vollständige*, jedoch keine *vollkommene* Information vor, da zwar die Spielregeln und der bisherige Spielverlauf allgemein bekannt sind, jedoch Unwissenheit über die, in der aktuellen Runde gespielten, Aktionen der Gegner besteht. Für die Konfiguration der experimentellen Benutzeroberfläche bedeutet dies primär, dass der

Spielverlauf in einzelne Runden aufgeteilt werden muss. In jeder dieser Runden können von allen Probanden beliebige eigene Aktionen gespielt werden. Diese werden für die Mitspieler jedoch erst nach dem Ende der jeweiligen Runde offenbart.

Operativ erfolgt die Zugauswahl hierbei für jeden Spieler über die, in Abbildung 4.2 als „**Game-Panel**“ bezeichneten, Zugauswahl-Sektion der Oberfläche. Die Visualisierung für die konkrete Auswahl von Aktionen unterscheidet sich zwischen den einzelnen, im Zuge dieser Arbeit implementierten, Spielmechanismen nicht. Der einzig relevante Unterschied im *simultan-wiederholten* Spiel besteht darin, dass nach der finalen Bestätigung des gewünschten Zuges die erneute Aktionswahl bis zum Ende der Runde gesperrt wird. Grundsätzlich erfolgt die Auswahl der eigenen Aktionen über die Betätigung der hierfür vorgesehenen Radio-Buttons auf der vertikalen Achse der Auswahlmatrix. Auf der horizontalen Achse werden nach der gleichen Logik die Handlungsoptionen der Gegenspieler, sowie deren aktuelle bzw. in der letzten Runde gewählten Aktionen, angezeigt. Neben der reinen Aktionswahl bietet das Design des „*Game Panels*“ für die Probanden zusätzlich auch die Möglichkeit der freien Simulation von beliebigen Zuständen innerhalb des vorgegebenen Zustandsraums. Technisch wird dies realisiert, indem sowohl die eigenen Aktionen, als auch die Aktionen der Gegner auf der Oberfläche frei selektierbar sind. Je nach selektierter Kombination von Eigen- und Fremddaktionen wird in der linken oberen Ecke des Panels eine Live-Vorschau des simulierten Zustands, in Form von spielerindividuellen Payoffs angezeigt. Diese Vorschau erhält hierbei sowohl Informationen über die Payoffverteilung, falls nur die eigenen Aktionen tatsächlich so gespielt werden würden, als auch Informationen über den Zustand der Welt, falls sowohl Eigen- als auch Fremddaktionen, gemäß der simulierten Auswahl, in Kraft treten würden. Es besteht hierbei jederzeit die Möglichkeit die aktuelle Selektion der Handlungsoptionen über den „*Undo Changes*“-Button wieder auf die aktuell tatsächlich vorliegende Konfiguration zurückzusetzen. Wurde eine eigene Aktion ausgewählt, kann diese, während des Auswahlintervalls der jeweiligen Runde, zu einem beliebigen Zeitpunkt, mithilfe des „*Move*“-Buttons an den Server übergeben werden.

Konkret wurde für das vorliegende *simultan-wiederholte* Experiment und alle getesteten spieltheoretischen Szenarien eine Rundenlänge von 60 Sekunden festgelegt. Dieses Intervall wird zum einen in vergleichbaren, spieltheoretischen Experimenten für wiederholte Spiele empfohlen (vgl. Friedman & Oprea, 2012, S. 337), wurde jedoch auch in mehreren, vor den eigentlichen Experimenten durchgeführten, Vorstudien als zeitlich angemessen identifiziert¹⁵. Als direkte Konsequenz dieser Rundenstruktur erfolgt auch die Auszahlung des jeweiligen Rundenpayoffs jeweils am Ende eines jeden 60-sekündigen Auswahlintervalls. Um den Spielverlauf und die realisierten Zustände jederzeit nachvollziehbar für die Probanden zu visualisieren, existiert innerhalb des sogenannten „**Info-Panels**“ (vgl. Abbildung 4.2) eine eigene Sektion,

¹⁵ Neben einer Intervalllänge von 60 Sekunden wurden auch Intervalle von 30 bzw. 90 Sekunden pro Runde getestet. Nach übereinstimmendem Feedback der Probanden der Vorstudie wurden 30 Sekunden als zu knapp für eine strategische Entscheidung empfunden, wohingegen das 90-Sekunden-Intervall als zu lang aufgefasst wurde.

welche die Ergebnisse der letzten Runde aufzeigt. Konkret werden neben allen gewählten Aktionen und dem sich daraus ergebenden Spielzustand, auch alle in der letzten Runde generierten Payoffs sowohl numerisch als auch über eine schnell erfassbare Farbkodierung für alle Spieler angezeigt¹⁶. Entsprechend der Definition, liegt im Moment der Veröffentlichung der Rundenergebnisse vollkommene Information vor, während in allen weiteren Zeitpunkten, aufgrund der Unsicherheit bzgl. der konkreten gegnerischen Aktionen, von unvollkommener Information ausgegangen werden muss (vgl. Unterabschnitt 2.2.1).

Die dritte Hauptsektion der graphischen Experiment-Plattform ist das sogenannte „**Time-Panel**“ (vgl. Abbildung 4.2). Dieses erfüllt innerhalb der *simultan-wiederholten* Spielkonfiguration drei Funktionen. Erstens wird mithilfe einer animierten Fortschrittsleiste die verbleibende Zeit in der aktuellen Runde angezeigt. Sobald die Zeit abgelaufen ist, ist keine Änderung der Strategie in der aktuellen Runde mehr möglich. Zusätzlich wird nach Ablauf der Rundenzeit das Ergebnis der letzten Runde synchronisiert für alle Spieler veröffentlicht, die erreichten Payoffs angezeigt und vom Server ohne Verzögerung die nächste Runde gestartet. Die Probanden haben dann wieder 60 Sekunden Zeit, um die Ergebnisse der letzten Runde zu analysieren und ihre Strategie bei Bedarf entsprechend anzupassen. Zweitens visualisiert das *Time-Panel* einen zeitgewichteten Mittelwert über alle, im Spielverlauf realisierten, eigenen Payoffs. Diese komprimierte Form des individuellen Performance-Trackings wurde hierbei client-seitig¹⁷ bewusst einem detaillierten Verlaufsprotokoll, wie zum Beispiel bei Friedman und Oprea (2012), vorgezogen. Dies hat zum einen den Grund, dass eine detaillierte Aufzeichnung des Spielverlaufs über mehrere Runden für $n > 2$ Spieler die Aufmerksamkeit der Probanden zu stark von der eigentlichen Strategiefindung und dem aktiven Spielgeschehen ablenkt. Zum anderen trägt eine detaillierte Historie in den vorliegenden Szenarien nur unwesentlich zur Entscheidungsfindung bei und würde zudem den Anforderungen an ein schlankes Experimentdesign mit menschlicher Beteiligung von Kirk (2013) widersprechen. Um den Probanden dennoch einen Hinweis zu geben, inwiefern die individuelle, aktuelle Runden-Performance von der, im Spielverlauf realisierten, Gesamtpformance abweicht, wurde als drittes Element innerhalb des *Time-Panels* ein graphischer Indikator plaziert, welcher die aktuelle Performance in schnell zu erfassender Form visualisiert. Falls der in der vergangenen Runde erreichte Payoff höher als der zeitgewichtete Gesamtpayoff ausfällt, so wird dies durch einen grünen Aufwärtspfeil symbolisiert. Ist der aktuelle Payoff geringer, so erscheint ein roter Abwärtspfeil. Ein gleichbleibender Payoff wird mit einem blauen Gleichheitszeichen allegorisiert. Die Evaluation der eigenen Performance ist somit jederzeit direkt, kompakt und ohne unnötigen Zeit-Aufwand nachvollziehbar.

¹⁶ Von allen drei Haupt-Panels der graphischen Oberfläche weist das *Info-Panel* die höchste Varianz zwischen den einzelnen Spielmechanismen auf. Zwar bezieht es sich inhaltlich immer auf die Visualisierung des aktuellen Spielverlaufs, hat jedoch zusätzlich immer einen spezifischen Bezug zum Spielmodus. Vgl. Appendix A.3.

¹⁷ Dem Experimentleiter steht jederzeit eine detaillierte Historie aller Züge, Rundenergebnisse und Payoffs zur Verfügung.

4.3.2 Spiel-Modus 2: *Sequenziell-randomisiert*

Der *sequenziell-randomisierte* Spielmodus basiert, im Gegensatz zum *simultan-wiederholten* Mechanismus, nicht auf einer gleichzeitigen Aktionswahl der Agenten, sondern sieht eine abwechselnd-exklusive Zugreihenfolge vor. In der nicht-kooperativen, spieltheoretischen Forschung werden unterschiedlich spezifizierte, sequenzielle Zugreihenfolgen sowohl zur Modellierung von Verhandlungssituationen, wie dem Ultimatum-Spiel (vgl. Thaler, 1988, S. 196–198), als auch zur Abbildung komplexer ökonomischen Konfliktsituationen mit Interaktion verwendet (vgl. Prasnikar & Roth, 1992, 881 ff.). Während bei Arbeiten mit $n=2$ Spielern die Reihenfolge der Spielzüge bekannt bzw. trivial durch die Anzahl der Spieler vorgegeben ist, muss bei Modellen mit $n>2$ Spielern der Mechanismus der Zugreihenfolge explizit definiert werden. An dieser Stelle muss wiederum zunächst in endliche und nicht-endliche Spiele unterschieden werden. Während bei endlichen Spielen jedem Entscheidungsknoten *a-priori* ein konkreter Spieler zugeordnet werden kann, ist dieses deterministische Vorgehen für nicht-endliche Spiele nicht anwendbar¹⁸. Um jeden Entscheidungsknoten einer (theoretisch) unendlichen Reihe eindeutig einem spezifischen Spieler zuzuweisen, muss ein mathematischer Zusammenhang definiert werden. Dieser kann von der Definition einer unendlichen Folge oder einem funktionalen Zusammenhang, bis hin zu einer randomisierenden Logik reichen.

Da in der vorliegenden Arbeit die differenzierende Analyse von Koordination, in Abhängigkeit des jeweiligen Spielmechanismus, als primärer Forschungsschwerpunkt definiert wurde, ist eine exogen durch den Experimentleiter vorgegebene, explizite Zugfolge nach Möglichkeit zu vermeiden, um die Vergleichbarkeit mit den anderen Spielmechanismen nicht zu beeinträchtigen. Sowohl im *simultan-wiederholten* als auch im *real-dynamischen* Modus wird lediglich festgelegt, *wann* und *unter welchen Bedingungen* ein Zug durchgeführt werden darf. Eine exogen vorgegebene Vorgabe *wer* ziehen darf existiert jedoch nicht. Da die exklusive Zuordnung der Spieler auf die einzelnen Entscheidungsknoten in einem sequenziellen Spiel jedoch nicht vermeidbar ist, muss die Zuordnung in einer Form erfolgen, welche möglichst unabhängig von äußeren Einflüssen ist. Aus diesem Grunde scheidet die Möglichkeit, die sequenzielle Zugfolge in Form einer unendlichen Folge zu definieren, aus, da Sie eine explizite Zuordnung durch den Experimentleiter erfordert. Der, durch die aktive Auswahl auftretende, „*Experimenter Expectancy Effect*“ (vgl. Kirk, 2013, S. 31–32; bzw. Hazelrigg et al., 1991) würde in diesem Zusammenhang den Anforderungen der Arbeit an die interne Validität und Reliabilität nicht genügen. Das identische Argument gilt auch für die Definition eines funktionalen Zusammenhangs zur eindeutigen Bestimmung der Zugfolge-Sequenz. Folglich kommt für die Bestimmung der Zugreihenfolge nur ein Ansatz in Frage, welcher auf einer randomisierten Zuordnung der Zugrechte beruht. Konkret wurde für den *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus daher ein so ge-

¹⁸ Für eine detaillierte Diskussion der theoretischen Grundlagen des *sequenziell-randomisierten* Spielmodus, sowie einen Überblick über die, für dieses Gebiet relevante, Literatur sei auf Unterabschnitt 2.3.2 verwiesen.

nannter „regelbasiert-randomisierter“ Algorithmus entwickelt. Dieser erzeugt vor dem Start des Spiels eine zufällige Reihenfolge, welche die folgenden drei Bedingungen erfüllen muss:

- (A) **Keine Doppelzüge** - Der Algorithmus verhindert, dass Spielern zwei aufeinander folgende Züge zugeordnet werden.
- (B) **Maximaler Abstand** - Über den Abstandsparameter p wird sichergestellt, dass jeder Spieler spätestens p Züge nach seinem letzten Zug wieder an die Reihe kommt.
- (C) **Faire Zuganzahl** - Die Anzahl der Züge pro Spieler muss in jedem Spiel (annähernd) gleich sein, um ein Mindestmaß an Fairness zu garantieren¹⁹.

Die mithilfe dieser Methodik erzeugten, validen Reihenfolgen λ sind somit frei von einem exogen induzierten Bias des Experimentleiters und relativieren gleichzeitig die suboptimalen Fairness-Eigenschaften eines voll-randomisierten Ansatzes. Algorithmus 1 verdeutlicht die verwendete Logik in Pseudo-Code-Darstellung nochmals in komprimierter Form:

Algorithmus 1 Bestimmung einer regelbasiert-randomisierten Zugreihenfolge vor Spielbeginn

Require: Anzahl Züge $n \in \mathbb{N}$, Anzahl Spieler $s \in \mathbb{N}$, Abstandsparameter p ▷ Inputfaktoren

procedure CREATEVALIDSEQUENCE(n, s, p)

while $valid = false$

$\lambda = \text{GENERATERANDOMMOVEORDER}(n, s)$

 ▷ Generiere randomisierte Sequenz

if $\text{NODOUBLEMOVES}(\lambda) = true$

 ▷ Prüfe, ob Doppelzüge vorhanden

if $\text{MaxDistance} \leq p \forall s, n$

 ▷ Prüfe die Abstandsbedingung

if $\text{FAIRDISTRIBUTION}(\lambda) = true$

 ▷ Prüfe auf Fairness der Zugverteilung

$valid = true$

 ▷ Akzeptiere Sequenz λ als valide

end if

end if

end while

end procedure

Output: Zulässige Zugreihenfolge λ

▷ Valide Sequenz λ wird an Server übergeben.

Bezüglich der Visualisierung der Spieloberfläche ändern sich, trotz der deutlichen methodischen Unterschiede des *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus im Vergleich zum *simultan-wiederholten* Mechanismus, nur Details. Graphisch kann die zentrale Spieloberfläche innerhalb des „Game-Panels“ gänzlich unverändert übernommen werden. Lediglich das Recht zur Veränderung der eigenen Aktionen wird immer nur dem Spieler zugesprochen, welcher vom oben

¹⁹ Falls die Gesamtzahl der möglichen Züge eines Spiels nicht durch die Anzahl der Spieler teilbar ist, ist eine Abweichung von maximal einem Zug als zulässig definiert.

erläuterten Algorithmus für den Zug als aktiver Spieler selektiert wurde. Für die Auswahl seines Zuges hat jeder Spieler genau 30 Sekunden Zeit. Nach Ablauf dieser Zeit wird allen Spielern die Entscheidung mitgeteilt und die Zugkontrolle an den jeweils nächsten Spieler übergeben.

Da den Probanden vor dem Spiel keine Informationen zur konkreten Reihenfolge vorliegen, muss zudem gewährleistet werden, dass allen Spielern jederzeit bewusst ist, welcher Spieler an der Reihe ist. Visuell wird dies durch die Verwendung einer Ampel-Darstellung innerhalb des „*Info-Panels*“ realisiert, welche die binären Zustände „grün“ oder „rot“ annehmen kann (vgl. Appendix A.3). Steht die Ampel auf grün darf der entsprechende Spieler innerhalb von 30 Sekunden seinen Zug wählen. Steht die Ampel auf rot, ist einer der Kontrahenten am Zug²⁰. Analog zum *simultan-wiederholten* Spiel werden zudem weiterhin Informationen zum Ergebnis der jeweils letzten Spielentscheidung, sowie der daraus resultierenden Payoffs angezeigt.

Auch die Inhalte des „*Time-Panels*“ unterscheiden sich visuell nicht von der Oberfläche des *simultan-wiederholten* Spiels. Neben Informationen zur eigenen Performance im Zeitverlauf und dem bekannten Trend-Indikator, zeigt die animierte Fortschrittsleiste jedoch nun die Zeit an, welche dem aktuell spielenden Probanden für seine Entscheidung bleibt. Für eine graphische Veranschaulichung der Oberflächen-Gestaltung siehe auch Abbildung A.4 in Appendix A.3.

4.3.3 Spiel-Modus 3: *Real-dynamisch*

Der *real-dynamische* Spielmodus unterscheidet sich von den beiden zuvor diskutierten Mechanismen primär aufgrund seiner zeitlichen Struktur. Während sich sowohl der *simultan-wiederholte* als auch der *sequenziell-randomisierte* Modus methodisch in diskrete Runden oder spezifische Entscheidungsintervalle zerlegen lässt, ist das Ziel des *real-dynamischen* Mechanismus die Approximation freier Entscheidungen in stetiger Zeit. Dies zeichnet sich wiederum primär dadurch aus, dass alle Spieler, zu jedem beliebigen Punkt auf dem Zeitstrahl, eine endogene Zugentscheidung treffen und realisieren können. Während die mathematische Beschreibung und spieltheoretische Notation bei theoretisch unendlich vielen Kombinationen von Aktionen nicht trivial ist²¹, sind die Regeln des Spiels und somit auch die Visualisierung in Form einer interaktionsbasierten Experiment-Oberfläche, im Vergleich zu den anderen Spielmodi, wenig komplex. Die wesentlichen Herausforderungen besteht bei diesem Mechanismus primär in der Kontrolle technischer Limitationen, wie den Latenzzeiten der Server-Client-Kommunikation, der Synchronisation aller beteiligten Systembestandteile, sowie dem präzisen Tracking aller spielerindividuellen Aktionen. Um den Anforderungen an eine möglichst verzerrungsfreie Implementierung des stetigen, endogenen Entscheidungsprozesses gerecht zu werden, ohne dabei die technischen Grenzen der Plattform zu überschreiten, wurden mithilfe einer Vorstudie stabile

²⁰ Unterhalb der Ampel-Darstellung wird zusätzlich angezeigt, welcher Spieler aktuell am Zug ist. Außerdem werden die Spieler bei jedem Wechsel der Zugkontrolle mithilfe einer Pop-Up-Nachricht benachrichtigt.

²¹ Vgl. Unterabschnitt 2.3.1 für eine detaillierte Diskussion der Charakteristik von Spielen in stetiger Zeit.

Konfigurations-Parameter identifiziert (vgl. hierzu auch Unterabschnitt 4.4.3). Final konnte mit dieser Methode eine technische Umsetzung des Mechanismus realisiert werden, welche von den Probanden als eine hinreichend präzise Annäherung an realitätsnahe Spiele in stetiger Zeit wahrgenommen wurde und gleichzeitig eine stabile Laufzeitumgebung sicherstellt.

Durch den endogenen Charakter der Entscheidungsfindung und die stetige Gestaltung der Umwelt, bildet der *real-dynamische* Spielmechanismus ein realitätsnahes Entscheidungsumfeld ab. Analog zu realen, strategischen Entscheidungen und konträr zu den beiden zuvor erarbeiteten Mechanismen, liegen deshalb trotz des erhöhten strategischen Anspruchs kaum strukturelle Vorgaben vor, was sich auch in der visuellen Gestaltung der Oberfläche widerspiegelt. Graphisch bleibt die Oberfläche des zentralen „*Game-Panels*“ praktisch unverändert. Allerdings ist die Maske zur Auswahl eigener Aktionen während der gesamten Spielzeit frei konfigurierbar. Änderungen der eigenen Strategie können zu jedem beliebigen Zeitpunkt an den Server übermittelt werden. Gegnerische Aktionen werden annähernd in Echtzeit übermittelt und direkt visualisiert. Aufgrund interner Validierungsprozesse des Servers und Latenzen innerhalb der Datenübermittlung, kann es zu Verzögerungen von maximal zwei Sekunden kommen, bis ein gespielter Zug an die Mitspieler übermittelt wird. In der durchgeführten Vorstudie wurde diese technisch-induzierte Verzögerung von den Probanden als „nicht wahrnehmbar“ beschrieben und ist entsprechend Friedman und Oprea (2012, S. 341), für Experimente mit menschlicher Beteiligung, als ausreichend präzise Annäherung an Kontinuität anzunehmen.

Durch die oben beschriebene, weitgehende Abwesenheit von strukturellen Regeln innerhalb des Spielmechanismus, ist auch das „*Info-Panel*“ für den *real-dynamischen* Spielmodus übersichtlich visualisierbar (vgl. Abbildung A.3 in Appendix A.3). Um weiterhin die größtmögliche Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Spielmodi sicherzustellen, zeigt die Sektion einen Überblick über die aktuell realisierten Payoffs aller Spieler, mithilfe der bereits bekannten Farbkodierung²². Diese ist zwar in Teilen redundant zu den Payoff-Indikatoren innerhalb des *Game-Panels*, leistet allerdings einen Beitrag zum vorab definierten Ziel eines uniformen, visuellen Eindrucks der Experiment-Plattform, unabhängig vom gewählten Spielmodus.

Auch die Gestaltung des „*Time-Panels*“ beinhaltet weiterhin Informationen über die zeitgewichtete, eigene Durchschnittsperformance, sowie einen sich hierauf beziehenden Trend-Indikator. Die Berechnung wird hierbei alle 10 Sekunden aktualisiert und erfolgt synchron für alle am Spiel beteiligten Spieler. Auch die serverseitige Aufzeichnung aller spielrelevanter Daten und Parameter für die spätere Auswertung erfolgt in diesen synchronisierten Zeitabständen. Auf eine animierte Fortschrittsleiste zur Visualisierung des Payoff-Intervalls wurde im *real-dynamischen* Spielmodus bewusst verzichtet, da diese der gewünschten Wahrnehmung des Spiels, als Approximation eines stetigen, zeitkontinuierlichen Konflikts abträglich wäre.

²² Der wesentliche Unterschied zur *simultan-wiederholten* und *sequenziell-randomisierten* Applikation ist hierbei die Anzeige des *aktuellen* Payoffs, anstelle des Payoffs der jeweils *letzten* Runde bzw. des *letzten* Zuges.

4.4 Systematische Datenerhebung und Design der Experiment-Sessions

Neben der technischen Realisierung der Experiment-Software, der Gestaltung der zu untersuchenden Treatments und der Visualisierung der interaktiven Oberfläche der Applikation, ist das primäre Ziel eines jeden Experiments die Erhebung empirischer Daten zur Validierung (oder Falsifizierung) der zu Beginn entwickelten Hypothesen. Im Folgenden werden daher die eingeführten Mechanismen im Sinne einer experimentellen Studie zusammengeführt und das makroskopische Design der Datenerhebung erläutert.

4.4.1 Repeated-Measures-Design innerhalb einer Session

Der strukturelle Rahmen des experimentellen Designs ist durch die Ausgestaltung einer einzelnen Session des Experiments festgelegt, an welcher wiederum mehrere Gruppen mit jeweils n -Spielern²³ partizipieren. Diese Gruppen agieren hierbei unabhängig voneinander. Die Zuordnung der einzelnen Spieler zu den Gruppen erfolgt randomisiert und einmalig vor Beginn der Session. Da die Spieler lediglich über die anonymisierte Spielfläche miteinander interagieren, bleibt den Probanden die Zusammensetzung der Gruppen unbekannt. Interaktion zwischen den Gruppen oder eine erneute Durchmischung der Probanden während der Session wird ausgeschlossen. Innerhalb einer jeden Gruppe wird im Verlauf der Session jeder der drei Spielmechanismen (im folgenden auch Treatments genannt) genau einmal gespielt. Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Treatments gespielt werden, ist auch hier randomisiert gestaltet, um im weiteren Verlauf der Studie auf potentiell auftretende Lerneffekte kontrollieren zu können.

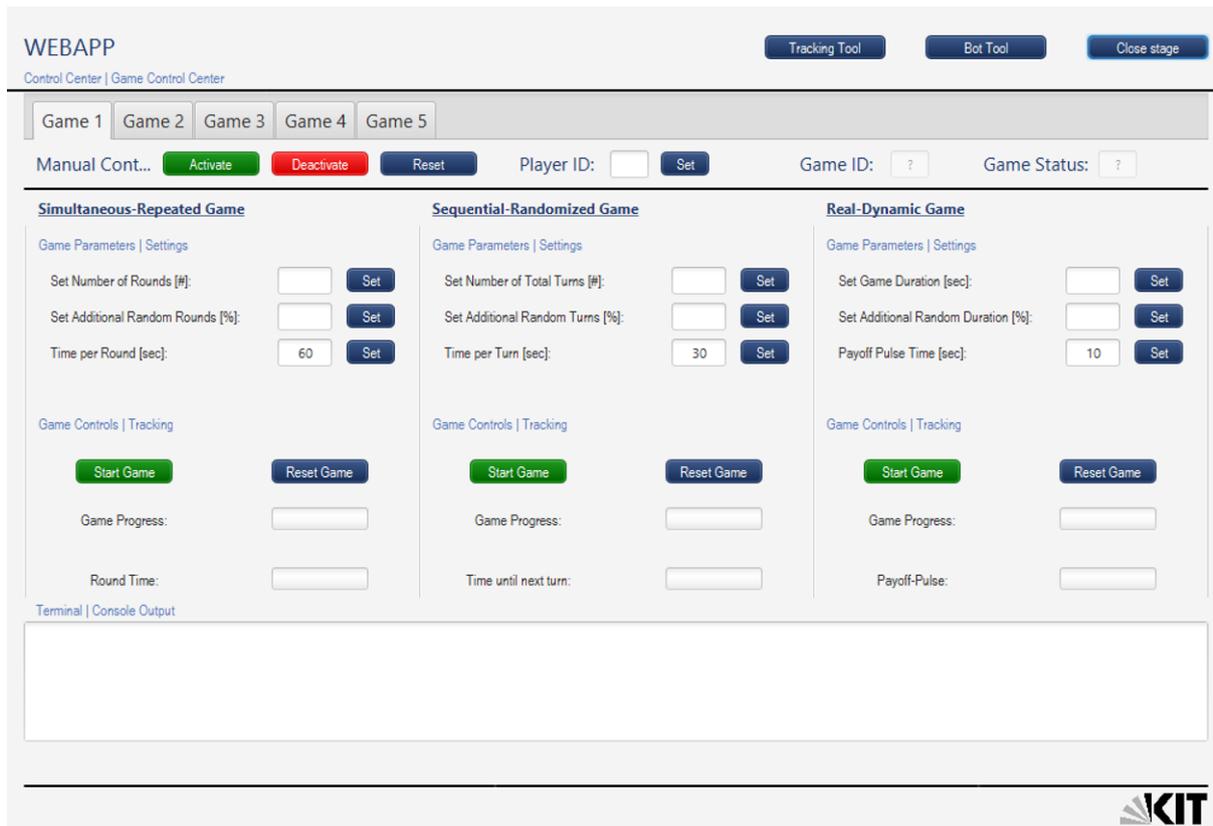
Es handelt sich bei der hier vorliegenden, experimentellen Studie demnach um ein „*Repeated-Measures*“-Design mit mehreren Treatments, wobei die drei Spielmechanismen *real-dynamisch*, *simultan-wiederholt* und *sequenziell-randomisiert* als „*Within-Subject*“-Faktoren zu benennen sind²⁴ (vgl. Mullet & Chasseigne, 2018, S. 1978). Mithilfe dieser übergeordneten Struktur können verschiedene, abhängige Variablen auf Unterschiede bzgl. der angewandten Treatments untersucht werden. Wesentlicher Vorteil eines solchen Designs, im Vergleich zu einem unabhängigen „*Between-Subject*“-Experimentdesign, ist hierbei, dass aufgrund der gleichbleibenden Gruppenstruktur und der somit erzeugten, verbundenen Messwerte der, durch Gruppeneffekte erzeugte, Fehlerterm weniger ins Gewicht fällt. Dies ermöglicht (entsprechende Kontrolle vorausgesetzt) eine präzisere Identifikation relevanter Effekte bei gleichzeitig geringerem Anspruch an die Größe der Stichprobe. Für eine detailliertere Diskussion der Vorteile eines „*Repeated-Measures*“-Ansatzes, sowie die sich hieraus ergebenden konkreten, statistischen Ansätze zur Auswertung der generierten Daten wird an dieser Stelle auf Kapitel 5 verwiesen.

²³ Die Anzahl der Spieler pro Gruppe hängt vom gespielten Spiel ab. Pro durchgeführter Experiment-Session wird immer nur ein konkretes Spiel getestet.

²⁴ Der Begriff „*Subject*“ bezieht sich hier auf die gesamte Gruppe und nicht auf das einzelne Individuum.

4.4.2 Steuerungsapplikation und Spielverlaufs-Tracking

Im Zuge der Konzeptionierung der experimentellen Software-Umgebung wurde, neben den Mechanismus-spezifischen Oberflächen und der zugrundeliegenden Server-Client-Struktur, zusätzlich eine zentrale Steuerungsapplikation entwickelt. Diese dient als Frontend und Server-Interface für den Experimentleiter und erfüllt im operativen Ablauf des Experiments mehrere Funktionen. Diese lassen sich wiederum in die vier Anwendungsbereiche *Spieladministration*, *Spielverlaufskontrolle*, *Datenerhebung* und *Bot-Verwaltung*²⁵. Für die vorliegende Arbeit sind hierbei nur die ersten drei genannten Funktionen von Bedeutung.



Quelle: Screenshot der Steuerungs- und Kontrollapplikation.

Abbildung 4.3: Oberfläche der Applikation zur *Spieladministration*, *Spielverlaufskontrolle* und *Datenerhebung*.

Der **Spieladministration** sind die operativen Funktionen zuzuordnen, welche für einen reibungslos synchronisierten Spielverlauf benötigt werden. Hierzu gehört konkret die synchronisierte Initialisierung des Spiels, die a-priori festgelegte Spiel-Parametrisierung, sowie der zeitgesteuerte oder exogen herbeigerufene Abbruch des Spiels. Als Optionen innerhalb der Spiel-Parametrisierung sind hierbei beispielhaft die Länge einer Runde oder das Intervall der Payoff-Ausschüttung zu nennen. Zudem ist es möglich bis zu fünf Instanzen eines Spiels gleichzeitig zu initialisieren, was der Skalierbarkeit der experimentellen Erhebung zugute kommt.

²⁵ Vergleiche hierzu auch Abbildung 4.1.

Bezüglich der **Spielverlaufskontrolle** stehen dem Anwender jederzeit Informationen zur verbleibenden Dauer des betrachteten Spiels, sowie zur verbleibenden Dauer der aktuellen Runde zur Verfügung²⁶. Falls bereits während der Laufzeit detaillierte Informationen zu den konkret gespielten Aktionen gewünscht werden, können diese über das optionale „*Tracking Tool*“ ein-geblendet werden.

Neben den operativen Steuerungs- und Kontrollfunktionen erstellt die Applikation, zwecks **Datenerhebung**, zu jedem durchgeführten Spiel eine detaillierte Log-Datei. Diese zeichnet, unter Berücksichtigung der eingestellten Parameter, alle vom Server registrierten Aktionen der Spieler auf und ermöglicht eine nachträgliche, statistische Auswertung der Beobachtungen. Neben reinen Daten zum Zugverhalten werden zudem in jedem Datenpunkt Informationen zu aktuellen und durchschnittlichen Payoffs, spieterspezifische Reihenfolgeinformationen und binär codierte Zustands-Kennzeichnungen gespeichert²⁷. Alle für die vorliegende Arbeit erhobenen Daten sind auf diese Weise eindeutig und auf die Millisekunde genau dokumentiert.

4.4.3 Vorstudie: Technische und inhaltliche Validierung des Designs

Entsprechend den Anforderungen an ein valides, ökonomisches Experiment von Friedman et al. (2004, S. 19) bzw. Friedman und Sunder (1994, S. 79) wird die Durchführung einer oder mehrerer Vorstudien zur Evaluierung der Qualität des Experimentdesigns als unverzichtbar angesehen. Gerade bei vergleichsweise komplexen, experimentellen Setups mit $n > 2$ Spielern und hohen Anforderungen an die Stabilität der Experimentumgebung, sind umfangreiche Voruntersuchungen essentiell notwendig. Aus diesem Grund wurde nach Abschluss der Entwicklungsphase der Experiment-Applikation eine **zweistufige Testphase** durchlaufen, um mögliche Störfaktoren zu identifizieren und vor der eigentlichen Studie zu beseitigen. Neben rein technischen Aspekten wie Synchronisation, Laufzeitstabilität und Parallelisierbarkeit wurde auch ein besonderes Augenmerk auf inhaltliche und organisatorische Aspekte, wie Verständlichkeit, intuitive Bedienung und zeitlich angemessene Entscheidungsintervalle gelegt.

Um vermeidbare technische Fehler bereits vor einem Test mit menschlicher Beteiligung möglichst umfassend zu beseitigen bzw. Limitationen der Software aufzudecken, wurde in der **ersten Phase der Vorstudie** eine Reihe von Simulationen und Belastungstests durchgeführt. Hierbei wurde unter anderem ermittelt, dass die Parallelisierung von bis zu fünf verschiedenen Instanzen des Spiels stabil funktioniert. Die gesetzte Zielgröße von maximal 2 Sekunden Verzögerung zwischen dem Absenden, Verarbeiten und Empfangen einer Aktion wurde in keinem Spielmodus überschritten. Die maximale Latenz zwischen Client und Server lag konstant

²⁶ Falls der eingestellte Spielmechanismus über keine Rundenstruktur verfügt, wird an dieser Stelle die Zeit bis zur nächsten Payoff-Ausschüttung angezeigt.

²⁷ Die genaue Gestaltung des erzeugten Datensatzes hängt hierbei sowohl von der gewählten Parametrisierung, als auch vom konkret eingestellten Spielmechanismus ab.

bei unter 50 ms. Lediglich bei der Berechnung und Bereitstellung spielerindividueller Payoffs traten bei kleinen Aktualisierungsintervallen serverseitige Überlastungserscheinungen auf. Als kleinstes, stabiles Intervall zur Payoff-Berechnung und Aufzeichnung wurde im Zuge dessen ein Intervall von 10 Sekunden identifiziert, welches im Folgenden für die Payoff-Aufzeichnung aller Spiele im *real-dynamischem* Spielmodus verwendet wurde. Bei den *simultan-wiederholten* und *sequenziell-randomisierten* Spielmodi wurden keine technischen Limitationen festgestellt.

Die **zweite Phase der Vorstudie** ist durch menschliche Beteiligung charakterisiert und dient primär der Validierung des Experimentdesigns unter Laborbedingungen. Da verschiedene Einschränkungen, wie beispielsweise das herrschende Kommunikationsverbot, im Zuge einer direkteren Feedbackverarbeitung relaxiert wurde, fließen die erzeugten Daten jedoch nicht in die finale Auswertung mit ein. Konkret wurden für den Probelauf neun Probanden eingeladen, welche unter Aufsicht des Experimentleiters in drei Gruppen aufgeteilt wurden. Die zu Beginn des Spiels erläuterten Instruktionen wurden vollständig verstanden, was über die anschließende Diskussion und korrekt beantwortete, inhaltliche Fragen durch den Experimentleiter validiert werden konnte. Außerdem wurde die, unter Abschnitt 4.3 beschriebenen, Spieloberflächen und deren individuellen Module als intuitiv und im Kontext der gegebenen Aufgabenstellung als hilfreich identifiziert. Bezüglich der Gestaltung der einzelnen Spielmodi wurden mithilfe einer strukturierten Diskussion mehrere kritische Parameter erfasst und bei Bedarf angepasst. Im *simultan-wiederholten* Spiel wurde die Rundenzeit auf 60 Sekunden erhöht, da 30 Sekunden aufgrund der schwierigeren Erfassung der Spielsituation nach dem Ende einer jeden Runde als zu kurz empfunden wurde. Im *sequenziell-randomisieren* Spiel reichen 30 Sekunden pro Zug jedoch aus, da nach dem Wechsel der Zugkontrolle jeweils maximal ein gegnerischer Zug interpretiert werden muss. Weiterhin wurde in diesem Modus von den Probanden des Probelaufs angemerkt, dass die Verteilung der Zugrechte im Spielverlauf ungleich verteilt sei und somit als unfair wahrgenommen wurde. Aus diesem Grund wurde die in Unterabschnitt 4.3.2 erläuterte Regel eingeführt, dass jeder Spieler spätestens nach 5 gegnerischen Zügen wieder an die Reihe kommt²⁸. Im *real-dynamischen* Spielmodus wurde zudem die, anfangs noch vorhandene, Fortschrittsleiste entfernt, welche die Zeit bis zur nächsten Payoff-Ausschüttung visualisiert. Da diese dem zeitkontinuierlichen Charakter des Spielmodus schmälert und gleichzeitig die Spieler dazu motiviert unmittelbar vor der Payoffausschüttung aggressive Aktionen zu spielen, konnte durch diese Änderung eine verbesserte Approximation des erwünschten, zeitstetigen Settings erreicht werden. Weitere, vom Spielmodus unabhängige, Anpassungen der Oberfläche, wie die Einführung einer Farbskala mit höherem Blau-Anteil zur vereinfachten Interpretation für Probanden mit Rot-Grün-Schwäche (Deuteranopie bzw. Protanopie) wurden vorgenommen, sollen an dieser Stelle jedoch nicht weiter im Detail diskutiert werden.

²⁸ In einer ersten Version des regelbasiert-randomisierten Algorithmus zur Bestimmung der Zugreihenfolge wurde lediglich auf Doppelzüge und Fairness der Gesamtverteilung geprüft.

4.5 Operative Durchführung der empirischen Studie

Neben dem grundlegenden Design des Experiments leistet auch dessen konkrete Operationalisierung einen essentiellen Beitrag zur Eliminierung unerwünschter Störfaktoren (vgl. Friedman et al., 2004, 65 ff.). Aus diesem Grund widmet sich der nächste Abschnitt im Detail dem systematisch-reproduzierbaren Ablauf des Experiments, den räumlichen Rahmenbedingungen, sowie der Teilnehmerauswahl und dem verwendeten Anreizsystem.

4.5.1 Experimentablauf im spieltheoretischen Labor

Jede, im Zuge dieser Arbeit durchgeführte, experimentelle Session folgt unabhängig vom tatsächlich getesteten, spieltheoretischen Szenario immer der identischen Struktur. Neben einer effizienten Nutzung der gegebenen Zeit, ist eine starke Systematisierung des spieltheoretischen Labors auch eine generelle Anforderung an ökonomische Experimente (vgl. Kirk, 2013, S. 24; und Friedman et al., 2004, 72 ff.). Nur durch die Gewährleistung einer möglichst exakten Replikation kann eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Sessions und den untersuchten Treatments angenommen werden.

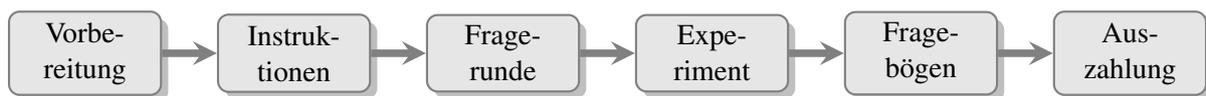


Abbildung 4.4: Schrittweiser Ablauf des spieltheoretischen Experiments

In der vorliegenden Arbeit kann der Ablauf einer Session des spieltheoretischen Labors in insgesamt sechs chronologische Abschnitte aufgeteilt werden, welche im Folgenden beschrieben werden sollen. Pro experimenteller Session wurde ein Zeitfenster von 90 Minuten festgelegt²⁹, in welchem maximal 12 Probanden partizipieren. Innerhalb einer Session wird jeweils zunächst ein konkretes Spiel vorgestellt, welches dann von jeder Gruppe in allen drei vorgestellten Spielmechanismen/Treatments gespielt wird (siehe hierzu auch Abschnitt 4.4). Abbildung 4.4 skizziert den Ablauf und die einzelnen Schritte nochmals in übersichtlicher Form.

1. **Vorbereitung** (5 min) - Die primäre Aufgabe des Vorbereitungsintervalls ist die Aufteilung der teilnehmenden Probanden auf die vorhandenen Laborplätze, sowie die, für die Probanden unbekannt, Gruppenzuteilung. Der Einlass in die Räumlichkeiten des spieltheoretischen Labors erfolgte pünktlich zum offiziellen Beginn des Experiments, um mögliche Gespräche bzgl. des Aufbaus zwischen den Teilnehmern zu vermeiden. Das herrschende Verbot verbaler und nicht-verbaler Kommunikation während des gesamten Experiments wurde bereits vor dem Einlass kommuniziert. Die Einteilung der Teilnehmer

²⁹ Im Regelfall werden nur 85 Minuten pro Session benötigt. Da jedoch mehrere Sessions in kurzer Abfolge hintereinander abgehalten wurden, dienen die zusätzlich angesetzten 5 Minuten als Puffer-Intervall.

in Gruppen, welche zu Beginn einmalig erfolgt, wurde vor Beginn des Experiments durch die randomisierte Gruppierung einzelner Platznummern festgelegt. Bei der randomisierten Zuteilung der Platznummern wurde auf einen möglichst großen räumlichen Abstand zwischen den Mitgliedern einer Gruppe geachtet³⁰. Da die einzelnen Laborplätze uniform gestaltet wurden, ist den Probanden zu keiner Zeit bewusst, welche der anwesenden Teilnehmer der eigenen Gruppe zugeordnet sind. Im Falle des unentschuldigtem Nichterscheins einzelner Probanden wurden unvollständige Gruppen durch einen anwesenden Assistenten substituiert. Die Datensätze unvollständiger bzw. substituierter Gruppen wurden für die weitere Analysen nicht berücksichtigt. Gerade zu Beginn der Experiment-Reihe konnte mit diesem Verfahren jedoch eine weitere qualitative Validierung des operativen Ablaufs erreicht werden³¹

2. **Instruktionen** (15 min) - Nach Abschluss der Vorbereitungen wurden vom Experimentleiter die, für das Experiment notwendigen, Instruktionen verlesen. Diese gliedern sich wiederum in die drei Kategorien „*Einführung des Spiels*“, „*Vorstellung der Experiment-Plattform*“ und „*Erklärung der Spielmodi*“³². Entsprechend den Vorgaben an ein verhaltensökonomisches Experiment (vgl. Friedman et al., 2004, S. 76), wurden die Instruktionen möglichst kurz, prägnant und unter Zuhilfenahme von schematischen Abbildungen entworfen. Parallel zur vorgetragenen Einführung wurden den Teilnehmern die Instruktionen und ein individualisierter Experiment-Verlaufsplan mit den benötigten Login-Daten in Papierform ausgehändigt. Die konkrete Ausgestaltung der Unterlagen wurde bereits in der durchgeführten Vorstudie (vgl. Unterabschnitt 4.4.3) von den Probanden evaluiert und als einfach verständlich wahrgenommen. Die Instruktionen, inkl. einem beispielhaften Ablaufplan, finden sich in ihrer Gesamtheit in Appendix A.5.
3. **Fragerunde** (5 min) - Da das Verständnis der Instruktionen für eine erfolgreiche und zielführende experimentelle Untersuchung elementar ist, wurde nach der initialen Vorstellung vom Experimentleiter eine offene Fragerunde initiiert. Die zulässigen Inhalte dieser Fragen beschränkten sich hierbei auf die, in den Instruktionen angesprochenen, Rahmenbedingungen und den operativen Ablauf. Fragen zu möglichen Strategien, Lösungsansätzen und weiteren kritischen Fokusthemen wurden explizit nicht zugelassen, um eine exogene Beeinflussung von Zugentscheidungen und Strategien zu vermeiden. Nach Abschluss der Fragerunde wurde darauf hingewiesen, dass keine weiteren, inhalt-

³⁰ Ziel dieses Vorgehen ist es, jegliche, außerhalb der Experimentplattform stattfindende, Kommunikation zu unterbinden.

³¹ Alternativ zum gewählten Vorgehen hätte auch eine vorzeitige Auszahlung überschüssiger Teilnehmer stattfinden können. Eine weitere Schicht inhaltlicher und prozeduraler Validitätskontrolle wurde an dieser Stelle jedoch einem geringeren, operativen Aufwand vorgezogen.

³² Die Unterlagen bzw. Handouts für die einzelnen Experimente finden sich in Appendix A.5.

lichen Fragen während des Spiels beantwortet werden³³. Hiervon ausdrücklich ausgenommen waren Fragen, welche sich ausschließlich auf technische Aspekte beziehen - insbesondere bei Login-Problemen oder bei (vermeintlichen) Abstürzen der Applikation.

4. **Experiment** (45 min) - Die eigentliche Durchführung des Experiment stellt den wichtigsten operativen Schritt innerhalb der empirischen Datenerhebung dar. Entsprechend dem, in Abschnitt 4.4 beschriebenen, Vorgehen, spielt jede Gruppe im Verlauf der Session jeweils drei Durchläufe des vorgestellten Spiels, wobei bei jedem Durchlauf ein anderer Spielmechanismus getestet wird. Jeder Spieler spielt demnach jedes Treatment genau einmal. Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Treatments getestet werden, ist hierbei, auch innerhalb den verschiedenen Gruppen einer Session, randomisiert, um bei der Auswertung der Daten auf potentiell auftretenden Lerneffekte kontrollieren zu können. Jedes Spiel wurde nach erfolgreicher Anmeldung aller Teilnehmer synchronisiert vom Experimentleiter gestartet. Die Länge der einzelnen Spiele l wird hierbei teil-randomisiert zum Spielstart vom Server anhand der unten gegebenen Formel bestimmt. Ziel ist es, das Spiel innerhalb einer bestimmten Intervalls randomisiert abbrechen zu lassen, ohne hierbei eine vorab definierte Mindestlaufzeit von 12 Minuten zu unterschreiten (vgl. hierzu auch die Erläuterungen zur Ausgestaltung des Spielendes in Abschnitt 2.3):

$$\text{Länge des Spiels } l = \underbrace{12 \text{ min}}_{\text{Minstdauer}} \cdot \underbrace{\text{random}(0, 0.25) \cdot 12 \text{ min}}_{\text{Randomisiertes Intervall}} \quad (4.1)$$

Die Bestimmung der Spiellänge für Spiele mit rundenbasierter Struktur erfolgt analog, wobei die Minstdauer des Spiels in der Formel durch die jeweils gültige Mindestanzahl an Runden ersetzt wird. Alle getesteten Spielmodi werden hierbei so parametrisiert, dass das Spieldauer minimal 12 min und maximal 15 min beträgt. Den Probanden wird im Laufe der Einführung erläutert, dass das Spiel randomisiert abgebrochen wird. Die exakte Dauer des Spiels wird jedoch nicht bekannt gegeben, um Endspieeffekte auszuschließen. Falls ein Spiel aufgrund technischer Schwierigkeiten - z.B. bei Verlust der Netzwerkverbindung - innerhalb der ersten 2 Minuten abgebrochen werden musste, wurde das betroffene Spiel neu gestartet. Im Falle eines später auftretenden Fehlers wurden die betroffenen Spieler gebeten, bis zum Start der nächsten Runde zu warten, um eine Gesamtverzögerung des Experiments zu vermeiden³⁴.

³³ Eine nachträgliche, individuelle Beantwortung von Fragen hätte unter Umständen eine unerwünschte, asymmetrische Informationsverteilung zwischen den Probanden zur Folge.

³⁴ Von den insgesamt 159 im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Spielen, mussten insgesamt nur 4 Spiele aufgrund spät auftretenden, technischen Probleme verworfen werden. Vgl. hierzu auch Unterunterabschnitt 4.5.1.2.

5. **Fragebögen** (10 min) - Direkt im Anschluss an die drei Spieldurchläufe wurden die Teilnehmer gebeten einen kurzen Fragebogen auszufüllen. Dieser dient hierbei in erster Linie der Erfassung demographischer Merkmale wie Alter oder Bildungsstand. Zusätzlich wurden auch der vorhandene Grad an spieltheoretischer Vorbildung (Selbsteinschätzung) und die Vertrautheit mit ökonomischen Laborexperimenten abgefragt. Die Ergebnisse der Befragung finden sich in Unterunterabschnitt 4.5.2.2 bzw. Tabelle 4.2. Die Auswertung der Fragebögen steht an dieser Stelle jedoch explizit nicht im Vordergrund der empirischen Untersuchung und ist daher weniger als Teil des hypothetisch-deduktiven Ansatzes zu sehen, sondern dient in erster Linie der angemessenen Dokumentation der Stichprobe. Der konkrete, im Rahmen der Experimente verwendete, Fragebogen findet sich für den interessierten Leser im Anhang dieser Arbeit in Appendix A.6.
6. **Auszahlung** (5 min) - Die Auszahlung und Verabschiedung der Probanden markiert den letzten Schritt im strukturierten Ablauf einer Session. Entsprechend den Empfehlungen von Friedman et al. (2004, S. 18) und Kagel und Roth (1995, S. 27 bzw. Fußnote S.92) wurde, aufgrund des verhaltensökonomischen Charakters der Forschungsfrage, eine fixe Vergütung gewählt. Diese stellt laut Friedman et al. (2004) die bevorzugte Gestaltung der Kompensation dar, falls das Verhalten der Probanden nicht durch eine monetär induzierte Zielfunktion beeinflusst werden soll. Kagel und Roth (1995) bestätigen diese Einschätzung und empfehlen sogar anhand des konkreten Gefangenendilemma-Beispiels, dass die durch die Auszahlung entstehenden Incentivierungen der Aussagekraft des Experiments eher schaden als nutzen³⁵. Da es sich bei allen Probanden des Experiments um Bachelor- und Masterstudierende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) handelt, erfolgte die Auszahlung nicht monetär, sondern in Form von „Extra Credit“ im Rahmen einer Lehrveranstaltung³⁶. Nach Bonner und Sprinkle (2002, S. 327) und van Herpen et al. (2005, S. 312) können auch mithilfe nicht-monetärer Kompensationen vergleichbare Anreize geschaffen werden³⁷. Nach Bestätigung der erfolgreichen Teilnahme durch eine Unterschrift beim Experimentleiter wurden den Probanden der entsprechende Bonus gewährt und die Session beendet.

³⁵ Für eine ausführliche Diskussion der Gestaltung der Incentivierung unter Einbeziehung der „*Induced-Value-Theory*“ siehe auch Unterunterabschnitt 4.5.2.1.

³⁶ Im konkreten Fall wurden Bonuspunkte für die Abschlussklausur innerhalb eines Moduls des Instituts für Unternehmensführung (IBU) gewährt. Da Teile des Experiments in nur leicht variiert Form als dezidierte Lehrinhalte bei der strategischen Generalstabsausbildung der Bundeswehr zum Einsatz kommen, scheint die Datenerhebung im Zuge von Lehrveranstaltungen vertretbar.

³⁷ Aufgrund der hohen Relevanz der Vergütung für den empirischen Erfolg der Untersuchung, widmet sich Unterunterabschnitt 4.5.2.1 nochmals gesondert dem verwendeten Anreizsystem.

4.5.1.1 Räumliche Aufteilung und Laborumgebung

Unter dem Begriff „Laborumgebung“ sind sowohl die physische Umgebung des Experiments, als auch die Regeln, die innerhalb dieser Umgebung gelten, zusammengefasst. Die Gestaltung dieser Umwelt soll hierbei sowohl unerwünschte Störfaktoren minimieren, als auch den reibungslosen Ablauf der experimentellen Sessions unterstützen.

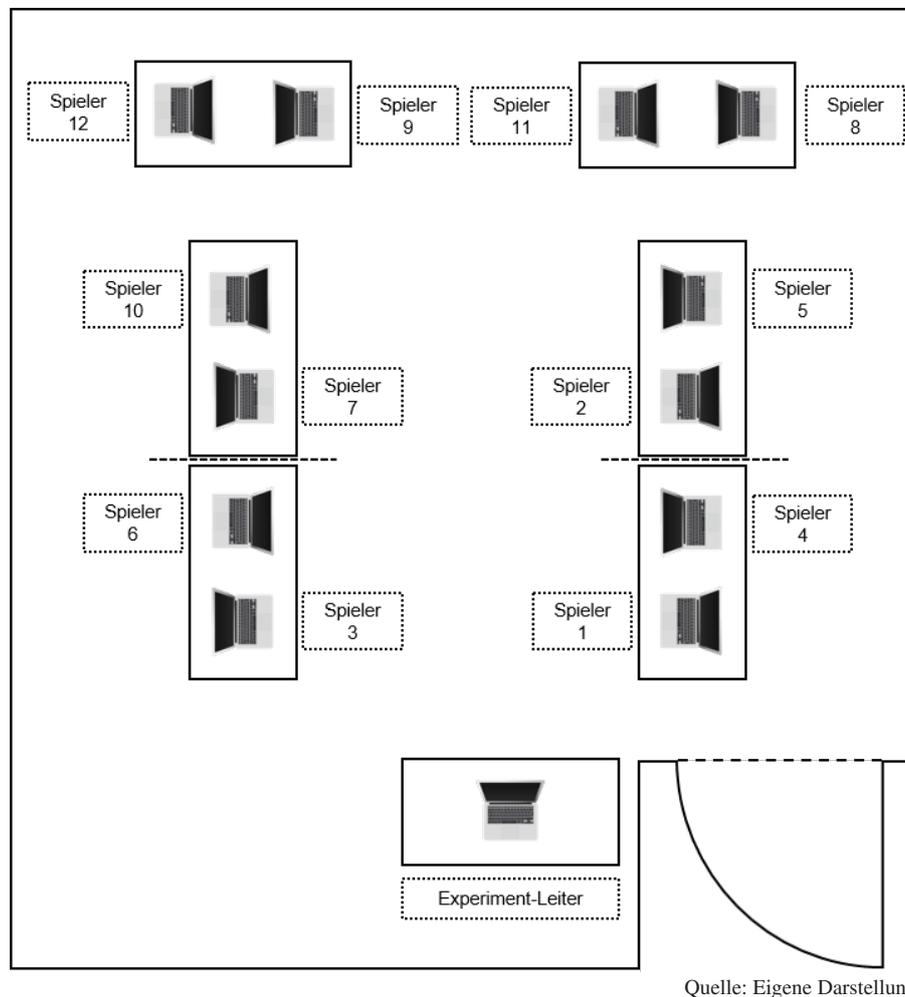


Abbildung 4.5: Räumliche Positionierung der Teilnehmer im spieltheoretischen Labor

Abbildung 4.5 visualisiert die räumliche Sitzplatzverteilung der Experiment-Teilnehmer mithilfe einer orthogonalen Projektion des Labors. Als wesentliche Anforderung bei der Anordnung der Laborplätze ist die visuelle Abschirmung der Spieloberflächen vor den Blicken der Mitspieler zu nennen. Dies wurde zum einen durch alternierend-entgegengesetzte Blickrichtungen der Probanden, als auch durch den Einsatz von Trennwänden erreicht. Zudem wurde jeder Laborplatz mit einem individuellen Sichtschutz ausgestattet, auf welchem auch die jeweilige Platznummer vermerkt war. Der Experimentleiter wurde weiterhin so positioniert, dass alle Probanden zu jeder Zeit im Sichtfeld lagen. Im Falle von technischen Problemen konnte auf diese Weise schnell Hilfe geleistet werden, ohne den Raum verlassen zu müssen.

Bezüglich der Regeln, welche innerhalb der Laborumgebung gelten, ist insbesondere das herrschende, verbale und non-verbale Kommunikationsverbot außerhalb der Experimentplattform zu nennen. Dieses hat das primäre Ziel, die, für die Teilnehmer unbekannte, Gruppenzusammensetzung nicht zu offenbaren und bilaterale Absprachen zu vermeiden³⁸. Jegliche Form der Koordination muss somit innerhalb der kontrollierten Umgebung der Experiment-Plattform, mit den dort vorhandenen Instrumenten, realisiert werden. Diese sind im Gegensatz zu verbaler Kommunikation für den Experimentleiter messbar und nachvollziehbar. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass alle Probanden während des gesamten Experiments und auch über die einzelnen Sessions hinaus über identische Informationen verfügen. Anweisungen und Regeln wurden in stark strukturierter Form vermittelt, um asymmetrische Informationsverteilung zwischen den Probanden zu vermeiden. Um den Effekt potentieller Gespräche zwischen den Teilnehmern verschiedener Experiment-Sessions zu beschränken, wurden Platzzuteilungen und Reihenfolgen der angewendeten Treatments auch zwischen den einzelnen Sessions randomisiert. Zudem wurden die Probanden beim Verlassen des Labors gebeten, Unterhaltungen mit den Teilnehmern der folgenden Session zu unterlassen.

4.5.1.2 Übersicht der durchgeführten Sessions

Im Zuge der experimentellen Datenerhebung wurden über einen Zeitraum von sechs Monaten, zwischen dem 01. Juni 2019 und dem 13. Dezember 2019, insgesamt 16 experimentelle Sessions durchgeführt³⁹. Hiervon entfallen wiederum je sieben Sessions auf die Experimente 1 und 2, sowie zwei Sessions auf das Experiment 3. Primärer Unterschied zwischen den Experimenten ist hierbei das jeweils verwendete spieltheoretische Szenario. In Experiment 1 wurde das in Kapitel 3.3.2.1 hergeleitete „3-Spieler Gefangenendilemma“ (3PPD) getestet. Experiment 2 erweitert dieses Szenario um eine zusätzlich selektierbare Option für die Probanden und testet das „3-Spieler Gefangenendilemmas mit Nischen-Option“⁴⁰ (3PPD-N). Das dritte Experiment überträgt die experimentelle Methodik auf den „Cerasia-Konflikt“⁴¹ (CER) und erweitert damit den Fokus auf ein praxisorientiertes, asymmetrisches Szenario. Im Bezug auf die Gesamtstruktur der experimentellen Erhebung können die Experimente 1 & 2 im Folgenden als Hauptstudie verstanden werden, wohingegen Experiment 3 einen deutlich explorativeren Charakter aufweist. Die innerhalb der drei verschiedenen Experimente getesteten Treatments bzw. Spielmechanismen unterscheiden sich inhaltlich und methodisch nicht voneinander.

³⁸ Durch stichprobenartige Nachfrage konnte bestätigt werden, dass die Probanden ihre Mitspieler im Verlauf der Session nicht identifizieren konnten.

³⁹ Die zu Beginn des experimentellen Erhebungszeitraumes durchgeführte Vorstudie wird hier nicht hinzugezählt, da keine belastbare Datensätze generiert wurden. Vgl. auch Unterabschnitt 4.4.3.

⁴⁰ Für eine detaillierte Herleitung und Diskussion des „3-Spieler Gefangenendilemmas mit Nischen-Option“ siehe auch Unterunterabschnitt 3.3.2.2.

⁴¹ Der „Cerasia-Konflikt“ beruht auf einem offiziellen und öffentlich zugänglichen NATO Trainings-Case und wird dort unter anderem in der strategischen Generalstabsausbildung genutzt. Für eine detaillierte Herleitung und Diskussion siehe auch Unterunterabschnitt 3.3.2.3.

Tabelle 4.1 veranschaulicht alle, im Verlauf der empirischen Datenerhebung durchgeführten, Sessions, sowie die hierbei getesteten Spiele und Treatments nochmals in übersichtlicher Form.

Tabelle 4.1: Tabellarische Übersicht der durchgeführten Sessions

Session ID	Getestete Spiele	Treatments	
Pretest 1	Alle Spiele	Verschiedene Tests	} Vorstudie
Session 1	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	} Experiment 1
Session 2	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	
Session 3	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	
Session 4	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	
Session 5	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	
Session 6	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	
Session 7	3-Spieler Gefangenendilemma	Alle Treatments	
Session 8	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	} Experiment 2
Session 9	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	
Session 10	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	
Session 11	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	
Session 12	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	
Session 13	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	
Session 14	3-Spieler Gefangenendilemma + Nische	Alle Treatments	
Session 15	CERASIA-Konflikt	Alle Treatments	} Experiment 3
Session 16	CERASIA-Konflikt	Alle Treatments	

Insgesamt partizipierten 168 Probanden in 53 individuellen Gruppen an den verschiedenen Experimenten. In Summe konnten somit 159 Spiel-Datensätze erzeugt werden, von welchen insgesamt 147 für die weiteren Untersuchungen verwendet werden konnten⁴². Dies entspricht einer Übernahme-Quote von 92,5%. Zeitlich betrachtet, wurden ca. 238,5 Stunden spielerindividuelle Spielzeit aufgezeichnet. Detailliertere Informationen zu der erhobenen Datengrundlage und eine Diskussion qualitativen Kriterien, die zum Ausschluss einzelner Datensätze führten, finden sich zu Beginn des Analyse-Teils dieser Arbeit in Kapitel 5.

⁴² Zusätzlich zu den 168 hier genannten Experiment-Teilnehmern wurden 9 weitere Probanden für die Vorstudie rekrutiert.

4.5.2 Teilnehmerauswahl und Charakterisierung der Stichprobe

In der empirischen Wirtschaftsforschung kommt der Selektion der Probanden eine entscheidende Rolle zu. Aus Gründen der externen Validität sollte die untersuchte Stichprobe die übergeordnete Population möglichst treffend charakterisieren und gleichzeitig eine Reihe von begünstigenden Eigenschaften aufweisen. Als wichtigste Vorbedingungen für ein qualitativ hochwertiges und valides Ergebnis führen Friedman et al. (2004, S. 30) daher geringe Opportunitätskosten bei den Probanden, sowie eine steile Lernkurve an. Diese erwünschten Eigenschaften treten in besonders hohem Maße bei Studierenden auf, was sich auch in der hohen Anzahl von veröffentlichten Experimenten mit studentischer Beteiligung zeigt. Besonders die Eignung von Bachelor-Studierenden bzw. „Undergraduates“ wird von Friedman et al. (2004) besonders betont, da durch die hier besonders hohe intrinsische Motivation, bei gleichzeitig niedrigen Opportunitätskosten, qualitativ hochwertige Ergebnisse erwartet werden können. Obwohl die grundsätzliche Eignung von rein studentischen Stichproben in der Literatur weiterhin kontrovers diskutiert wird (vgl. Greiner, 2015, S. 116), gibt es bisher kaum Belege, dass studentische Stichproben unzureichend repräsentativ sind (vgl. Holt, 1995, 5 f.).

4.5.2.1 Auswahlprozess und Anreizsystem

Die Teilnehmer für die, im Zuge dieser Arbeit durchgeführten, Experimente wurden gemäß den Empfehlungen von Friedman et al. (2004, S. 30) aus einem studentischen Teilnehmer-Pool mit einem hohen Anteil von Bachelor Studierenden rekrutiert. Im konkreten Fall handelte es sich hierbei um die Teilnehmer der beiden wirtschaftswissenschaftlichen Lehr-Module „*Strategie und Organisation*“, sowie „*Strategie und Management: Fortgeschrittene Themen*“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Aggregiert beinhalteten die beide Module, zur Zeit der Rekrutierung, 471 individuelle Studierende⁴³. Beide Module standen hierbei, zum Zeitpunkt der Erhebung, allen am am KIT angebotenen Fachrichtungen offen und enthielten somit neben Studierenden mit wirtschaftswissenschaftlichem Fokus auch Naturwissenschaftler, Ingenieure und Informatiker. Die somit entstehende Heterogenität bezüglich vorhandener Vorkenntnisse und die generell erhöhte Diversität der Stichprobe, ist laut Slonim et al. (2013, S. 43) vorteilhaft, um einen möglichen Homogenitäts-Bias zu vermeiden. Die oben beschriebenen Vorteile der geringen Opportunitätskosten, sowie der steilen Lernkurve (vgl. Friedman et al., 2004, S. 30), bleiben indes unberührt. Ein weiterer Vorteil des Teilnehmer-Pools besteht aus den generell vorhandenen Deutsch- und Englisch-Kenntnissen, welche bereits vor den Anmeldung für eines der Module nachgewiesen werden mussten. Eine Überprüfung der, für das Experiment benötigten, Sprachkenntnisse entfällt somit.

⁴³ Der Großteil der Teilnehmer entfällt hierbei auf das Modul „Strategie und Organisation“ (431 Teilnehmer), welches sich primär an Bachelor-Studierende richtet. Auf das Modul „Strategie und Management: Fortgeschrittene Themen“ entfallen insgesamt 40 Teilnehmer.

Operativ erfolgte die Rekrutierung der Probanden mithilfe des ILIAS-Systems des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), welches primär als Lern- und Verwaltungsplattform dient, jedoch auch flexible Planungs-Tools zur Organisation von individuellen Veranstaltungen und Experimenten bereitstellt. Konkret wurden alle 471 Studierende sowohl online auf der ILIAS-Plattform, als auch persönlich per Mail zur freiwilligen Teilnahme an einem - nicht näher spezifizierten, ökonomischen Experiment - eingeladen. Bei Interesse konnten sich die einzelnen Teilnehmer für eine der, auf ILIAS bereitgestellten, Sessions anmelden⁴⁴. Die Verteilung erfolgte hierbei nach dem „*First-Come-First-Serve*“-Prinzip. Weiterhin wurde die Anmeldemaske so konfiguriert, dass bei der Anmeldung lediglich die Anzahl verbleibender Plätze angezeigt wurde. Klarnamen konnten nur vom Experimentleiter eingesehen werden, um ein möglichst hohes Maß an Anonymität zu gewährleisten. Insgesamt registrierten sich 185 Probanden für die Teilnahme, was einer Zusagequote von 39,3% entspricht. Von den 185 angemeldeten Teilnehmern fehlten über alle Sessions hinweg 17 unentschuldigt, womit insgesamt 168 Probanden an den Experimenten partizipierten.

Bezüglich des verwendeten Anreizsystems wurde unter Berücksichtigung der „*Induced-Value-Theory*“ (vgl. Smith, 1976) ein Kompensationssystem entwickelt, welches zum einen extrinsisch induzierte Motivation erzeugt und zum anderen die Präferenzen der Probanden mit den Präferenzen der Spielstruktur in Einklang bringt. Da in der vorliegenden Arbeit jedoch die individuelle Bereitschaft zur Koordination in Abhängigkeit des angelegten Spielmechanismus untersucht wird, ist eine direkte Kopplung der Vergütung an die individuelle Performance nicht zwangsläufig zielführend. Eine systematische Beeinflussung der Probanden zu vermehrt egoistischen, myopisch payoffmaximierenden Entscheidungen kann in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden. Auch eine Bindung der Vergütung an ein koordinatives Gruppenergebnis ist wenig sinnvoll, da dies die Bereitschaft zur Kooperation, dieses mal im positiven Sinne, verzerren würde. Entsprechend den Empfehlungen von Friedman et al. (2004, S. 18) und Kagel und Roth (1995, S. 27 bzw. Fußnote S.92) für verhaltensökonomische Experimente wurde daher eine fixe Vergütung als Anreizsystem gewählt. Diese Variante ist laut Friedman et al. (2004) die bevorzugte Gestaltung der Incentivierung, falls das natürliche Verhalten der Experiment-Teilnehmer nicht durch einen künstlich induzierten Anreiz verzerrt werden soll. Diese Einschätzung teilen auch Kagel und Roth (1995) und verdeutlichen anhand eines konkreten Gefangenendilemma-Beispiels, dass für gewisse Fragestellungen eine eng-definierte Incentivierung der Aussagekraft des Experiments eher schadet als nützt. Weiterhin ist es, nach Bonner und Sprinkle (2002, S. 327) und van Herpen et al. (2005, S. 312), möglich, monetäre Kompensation durch geeignete Substitute zu ersetzen. Dies führt zu einer reduzierten Fokussierung der individuellen Motivation auf die Auszahlung am Ende des Experiments, ohne dabei gänzlich auf eine Incentivierung zu

⁴⁴ Da es sich bei der ILIAS-Plattform um eine universitätsinterne Software handelt, werden bei der Anmeldung individuelle Erkennungsmerkmale wie Name und Matrikelnummer automatisch hinterlegt. Gleichzeitig wird durch die eindeutige Nutzer-ID die Anmeldung für mehr als eine Session ausgeschlossen.

verzichten. Da es sich bei allen Probanden des Experiments um eingeschriebene Studierende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) handelte, erfolgte die Auszahlung daher nicht monetär, sondern in Form von „Extra Credit“ (vgl. auch Unterabschnitt 4.5.1). Konkret wurden Bonuspunkte im Rahmen der bereits vorhandenen Incentivierungs-Konzepte der genannten Lehr-Module gewährt. Nach Bestätigung der erfolgreichen Teilnahme durch den Experimentleiter wurde den Probanden der entsprechende Bonus gutgeschrieben.

4.5.2.2 Demographische Eigenschaften der Stichprobe

Tabelle 4.2 beschreibt, in aggregierter Form, wesentliche demographischen Merkmale und deren Ausprägungen für die insgesamt 168 Probanden. Neben der Auswertung der Grundgesamtheit, findet sich hier auch eine separate Betrachtung der drei individuellen Experimente.

Tabelle 4.2: Struktur der Teilnehmer-Population auf Basis demographischer Merkmale

		3PPD		3PPD-N		CER		Gesamt	
		Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.
Geschlecht	männlich	44	67%	46	70%	27	75%	117	70%
	weiblich	22	33%	20	30%	9	25%	51	30%
Alter	18-21	31	47%	35	53%	0	0%	66	39%
	22-25	31	47%	27	41%	33	92%	91	54%
	>25	4	6%	4	6%	3	8%	11	7%
Höchster Bildungsabschluss	Abitur	33	50%	40	61%	0	0%	73	43%
	Ausbildung	3	5%	1	2%	0	0%	4	3%
	Bachelor	29	44%	23	34%	30	83%	82	49%
	Master	1	1%	2	3%	6	17%	9	5%
Fachgebiet ⁴⁵	Wirt.-Wiss.	45	68%	42	64%	28	78%	115	68%
	Ing.-Wiss.	11	17%	13	20%	7	19%	31	18%
	Natur-Wiss.	5	8%	5	8%	0	0%	10	6%
	Informatik	5	8%	6	9%	1	3%	12	7%
Spieltheoretische Vorkenntnisse	Keine	7	11%	6	9%	2	6%	15	9%
	Gering	15	23%	17	26%	6	17%	38	23%
	Grundlegend	23	35%	25	38%	12	33%	60	36%
	Erweitert	19	29%	16	24%	13	36%	48	29%
	Sehr gut	2	3%	2	3%	3	8%	7	4%
Erfahrung mit Labor-experimenten	Keine	12	18%	41	62%	9	25%	62	37%
	1-3	45	68%	15	23%	22	61%	82	49%
	4-9	8	12%	8	12%	5	14%	21	13%
	>10	1	2%	2	3%	0	0%	3	2%

⁴⁵ Am Karlsruher Institut für Technologie existieren zahlreiche Hybridstudiengänge wie z.B. Wirtschaftsingenieurwesen oder Informationswirtschaft. Die Teilnehmer wurden in diesen Fällen gebeten als Studiengebiet ihren fachlichen Studienschwerpunkt anzugeben.

5 Auswertung und Diskussion der experimentellen Untersuchung

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln zunächst die Forschungsfrage, die korrespondierenden Hypothesen und das hierauf basierende Design der experimentellen Untersuchung abgeleitet wurde, sollen im Folgenden die konkreten Ergebnisse der empirischen Studie vorgestellt werden. Hierzu werden zunächst die Struktureigenschaften der erhobenen Daten, in Abhängigkeit der getesteten Spielmechanismen, besprochen. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen, werden deskriptive Untersuchungen durchgeführt, welche in der differenzierten Herleitung des primären Analyseansatzes münden. Konkret handelt es sich hierbei um Paneldaten-Regressionsmodelle, welchen je nach Beschaffenheit der untersuchten Daten *fixed effects*, *random effects* oder *TOBIT* Schätzfunktionen zugrunde liegen. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der beiden primären Experimente *3PPD* und *3PPD-N* vorgestellt, sowie die erlangten Erkenntnisse im aggregierten Modell verifiziert. Abschließend erfolgt mithilfe der statistischen Auswertung der Ergebnisse des Cerasia-Konflikts eine Erweiterung der Untersuchung auf realitätsnahe Spiele, sowie eine integrierte Diskussion und Einordnung des Gesamtergebnisses, im Bezug auf die Forschungsfrage.

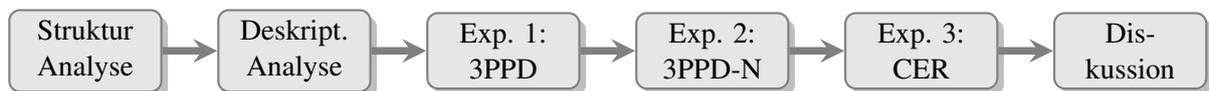


Abbildung 5.1: Vereinfachter Ablauf der empirischen Analyse

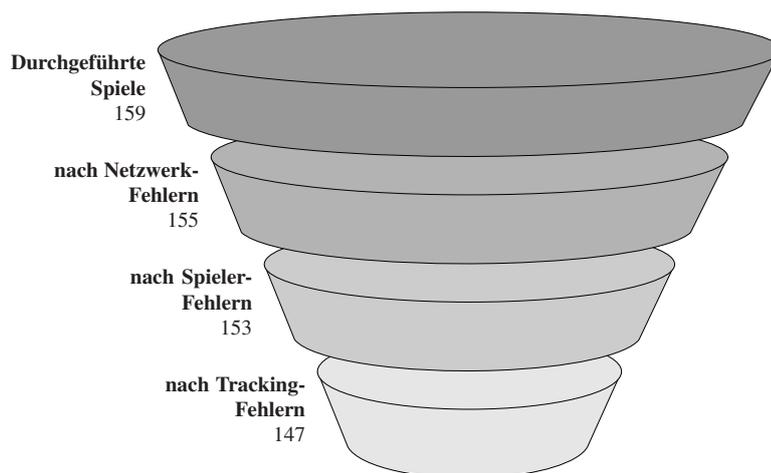
5.1 Deskriptive Voranalysen und Ableitung statistischer Verfahren

Zu Beginn der Analyse wird in Unterabschnitt 5.1.1 zunächst die Struktur der erhobenen Daten vorgestellt und, entsprechend der beiden Dimensionen „Treatment“ und „Spiel“, dezidiert analysiert. Unterabschnitt 5.1.2 baut auf dieser Grundlage auf und erarbeitet, mithilfe deskriptiver Verfahren, erste Erkenntnisse im Bezug auf die Forschungsfrage. Diese werden in Unterabschnitt 5.1.3 genutzt, um, unter Berücksichtigung der empirischen Rahmenbedingungen, geeignete multivariate Regressionsmodelle zu entwickeln, welche sich zur Beantwortung der Hypothesen eignen.

5.1.1 Struktureigenschaften und Vergleichbarkeit der empirischen Daten

5.1.1.1 Makro- und Mikro-Struktur der Datenbasis

Die Struktur und Vergleichbarkeit der erhobenen Daten nimmt gerade bei der vorliegenden Arbeit, welche sich die differenzierende Analyse verschiedener Spielmechanismen und deren Auswirkungen auf das Koordinationsverhalten zur Aufgabe macht, eine bedeutende Rolle ein. Um eine möglichst verzerrungsfreie Analyse der Daten zu gewährleisten, wurde bereits während der Gestaltung des experimentellen Designs großer Wert auf die konsistente Gestaltung der Rohdaten-Generierung gelegt. Betrachtet man zunächst die **Makrostruktur** der erhobenen Daten, wurden unabhängig vom konkreten Spielmechanismus und unabhängig vom getesteten Spiel jeweils identische Messgrößen und Kontrollvariablen verarbeitet und aufgezeichnet. Ein einzelner Datensatz umfasst hierbei jeweils sämtliche Informationen, welche innerhalb eines einzelnen, abgeschlossenen Spiels erhoben wurden. Innerhalb eines jeden Spiel-Datensatzes können bei Bedarf wiederum detaillierte Informationen bzgl. einzelner Spieler abgeleitet werden, die am betrachteten Spiel partizipiert haben. Zur Beantwortung der Hypothesen wird jedoch im weiteren Verlauf jeweils das Gesamt-Spiel als zentraler Bezugspunkt verwendet.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 5.2: Nach Bereinigung des Datensatzes um netzwerktechnische, spielerbedingte und datenbankbedingte Fehler verbleiben 147 Spiele zur statistischen Analyse

Im Verlauf der gesamten Experimentreihe, konnten, unter Partizipation von 168 Probanden, insgesamt 159 Spiele aufgezeichnet werden. Aufgrund von Netzwerkproblemen, spieler-spezifischem Fehlverhalten¹, sowie Datenbank-Fehlern mussten hiervon insgesamt 12 Spiele in Nach-

¹ Spielerspezifisches Fehlverhalten wurde im gesamten Experiment-Verlauf nur zwei mal festgestellt. In beiden Fällen weigerte sich der Proband trotz mehrfacher Aufforderung sich am Spiel zu beteiligen und nutzte stattdessen intensiv sein/ihr Mobiltelefon.

gang verworfen werden². Insgesamt konnten 147 Datensätze und somit 92,5% der erhobenen Daten für die weiterführende Analyse übernommen werden. Die Verteilung der erhobenen Datensätze auf die einzelnen Spiele und die getesteten Spielmechanismen ergibt sich wie folgt:

Tabelle 5.1: Verteilung der erhobenen Datensätze auf die getesteten Spiele und Treatments

		3PPD			3PPD-N			CER			Σ
		RD	Seq	Sim	RD	Seq	Sim	RD	Seq	Sim	
Verteilung	abs.	18	22	18	21	20	21	9	9	9	147
	rel.	12%	16%	12%	14%	14%	14%	6%	6%	6%	100%

Das zentrale Ziel dieser Arbeit stellt die differenzierende Analyse der drei implementierten Spielmechanismen und deren Auswirkungen auf das Koordinationsverhalten, innerhalb verschiedener spieltheoretischer Rahmenbedingungen dar. Ein wesentlicher Aspekt des Spielmechanismus ist hierbei die Gestaltung der Zugreihenfolge, welche messbaren Änderungen der Zustandskonfiguration, durch individuelle Züge zu klar definierten, aber unterschiedlichen Zeitpunkten zulässt. Diese Eigenschaft hat wiederum einen direkten Einfluss auf die **Mikrostruktur** der Datenbasis, welche sich bezüglich der Intervalle, in welchen Spielinformationen aufgezeichnet werden, unterscheidet. Je nach Spielmechanismus wird entweder alle 10 Sekunden (*real-dynamisch*), alle 30 Sekunden (*sequenziell-randomisiert*) oder alle 60 Sekunden (*simultan-wiederholt*) ein Datenbankeintrag generiert³:

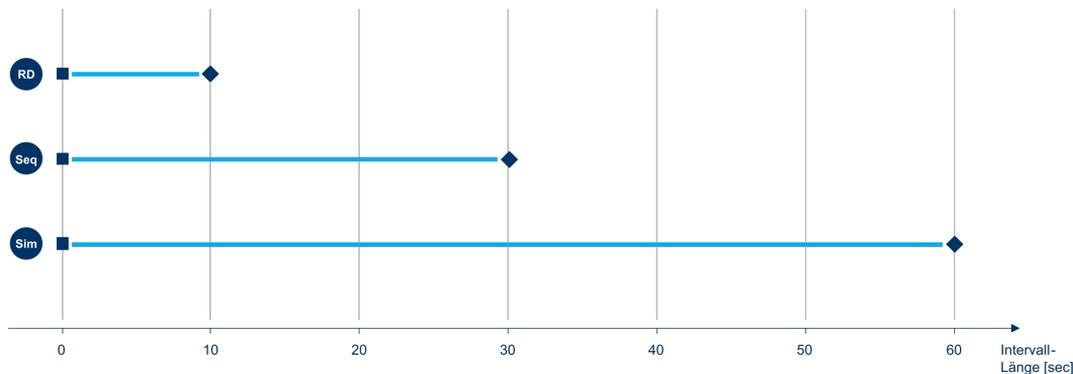


Abbildung 5.3: Intervall-Länge der Datenpunkt-Generierung in Abhängigkeit vom Spielmechanismus

Der Unterschied ist hierbei allerdings nur zeitlicher Natur. Die Art der aufgezeichneten Messgrößen und Kontrollvariablen unterscheidet sich nicht zwischen den einzelnen Spielmechanis-

² Insgesamt sechs der verlorenen Datensätze gehen auf einen technischen Fehler in der Datenbank zurück, welcher nur bei einem ungeplanten Neustart des Spiels auftrat. Der Fehler konnte nach dem ersten Experimenttag identifiziert und erfolgreich behoben werden.

³ Die Länge der einzelnen Payoff-Intervalle sind primär inhaltlicher Natur und werden in Abschnitt 2.3 detailliert hergeleitet. Das Intervall für den *real-dynamischen* Spielmechanismus unterliegt zudem einer technischen Begrenzung, welche in Unterabschnitt 4.3.3 näher diskutiert wird.

men. Die Struktur der Datensätze ist identisch. Da die Intervalle der Datengenerierung unmittelbar aus den, zu untersuchenden, Spielmechanismen folgen, ist eine vergleichende Analyse einzelner Koordinations-Aspekte nur über eine einheitliche Normierung der erhobenen Messgrößen über den gesamten Spielverlauf möglich. Der folgende Abschnitt widmet sich daher im Detail der, für die Analyse erhobenen, Messgrößen und den hieraus abgeleiteten Variablen.

5.1.1.2 Charakteristik der Messgrößen und der abgeleiteten Variablen

Basis einer konsistenten und eindeutigen Interpretation empirischer Untersuchungen, ist die präzise Definition der Variablen, welche das Grundgerüst einer jeden statistischen Auswertung bilden. Sofern für die statistische Auswertung multivariate Regressionsmodelle verwendet werden, lassen sich die benötigten Variablen in drei Kategorien unterteilen (vgl. Das, 2019, S. 40):

1. **Abhängige Variablen** (endogene Variablen) - Die abhängigen Variablen werden im Rahmen der statistischen Analyse erklärt. In der vorliegenden Arbeit werden insgesamt acht abhängige Variablen in den übergeordneten Bereichen Payoffs, Zustände, Reaktionen und Verschlechterungen untersucht (vgl. Tabelle 5.2).
2. **Unabhängige Variablen** (exogene Variablen) - Unabhängige Variablen bilden die Einflussfaktoren ab, welche die konkreten Ausprägungen der abhängigen Variablen erklären sollen. Im vorliegenden Fall stellen die drei unterschiedlichen Spielmechanismen (Treatments) „*real-dynamisch*“, „*simultan-wiederholt*“ und „*sequenziell-randomisiert*“, die zentralen Einflussfaktoren dar, anhand derer Variationen innerhalb der abhängigen Variablen erklärt werden sollen.
3. **Kontrollvariablen** (Moderatorvariablen) - Kontrollvariablen moderieren ebenfalls die endogenen Variablen, stehen jedoch nicht im Mittelpunkt der Analyse. Selektive Inklusion von Kontrollvariablen kann jedoch die Modellgüte verbessern und kausale Zusammenhänge können eindeutiger identifiziert werden⁴. Als relevante Gruppen von Kontrollvariablen für die folgende Analyse sind an dieser Stelle Variablen zur Kontrolle von Lerneffekten, Spieleffekten und Gruppeneffekten zu nennen.

Im Zentrum einer jeden experimentellen Studie steht die Generierung einer umfassenden Datenbasis, aus welcher die zu untersuchenden, endogenen Variablen hervorgehen. Zur Beantwortung der, in Kapitel 3 abgeleiteten, Hypothesen, werden daher im Folgenden zunächst die acht abhängigen Variablen vorgestellt, welche sich alle direkt oder indirekt aus den vorliegenden, spielbasierten Datensätzen ergeben. Um eine verbesserte Vergleichbarkeit und Lesbarkeit zu

⁴ Werden zu viele externe Einflüsse kontrolliert, kann die Generalisierbarkeit des Gesamtmodells leiden und die Modellgüte nimmt ab. Im Sinne der externen Validität ist daher eine Beschränkung auf die eine kleine Anzahl von bewusst selektierten Kontrollvariablen empfehlenswert (vgl. Gordon, 1968).

gewährleisten, wurden in diesem Sinne alle, aus dem Primärdatensatz abgeleiteten, Kenngrößen und Variablen initial auf einem stetigen Intervall zwischen 0 und 100 normiert⁵. Die einzelnen, endogenen Variablen, die hierzu korrespondierenden Hypothesen, sowie die Spiele, in welchen die Messgrößen konkret analysiert werden sollen, finden sich in Tabelle 5.2 in übersichtlicher Form zusammengefasst und sollen im Folgenden näher beschrieben werden:

Tabelle 5.2: Übersicht der erhobenen Messgrößen und abgeleiteten Variablen zur Beantwortung der Hypothesen

Abhängige Variable	Skala	Analysierte Spiele			Korr. Hypothesen
		3PPD	3PPD-N	CER	
Zeitgewichteter Spielpayoff	[0, 100]	✓	✓	✗	H.I-1, I-2
Anteil realisierter [CCC]-Zustände	[0, 100]	✓	✓	✗	H.II-1a
Anteil realisierter [CCX]-Zustände	[0, 100]	✓	✓	✗	H.II-1b
Anteil realisierter [DDD]-Zustände	[0, 100]	✓	✓	✗	H.II-2a
Anteil realisierter [DDX]-Zustände	[0, 100]	✓	✓	✗	H.II-2b
Anteil realisierter [NNN]-Zustände	[0, 100]	✓	✗	✗	H.II-3
Anteil Kooperations-Ketten	[0, 100]	✓	✓	✗	H.III-1, III-2, III-3
Anteil Verschlechterungs-Ketten	[0, 100]	✗	✗	✓	H.IV-1, IV-2, IV-3

Die erste, in diesem Zusammenhang betrachtete, Variable, welche zur Beantwortung der Forschungsfrage herangezogen werden soll, bildet den zeitgewichteten, durchschnittlichen **Gesamt-Payoff pro Spiel** ab. Entsprechend der beschriebenen Mikrostruktur der Daten, bietet sich an dieser Stelle eine Normierung auf Basis der Zeitintervalle an, in welchen sich das betrachtete Spiel in den jeweiligen, auszahlungsgenerierenden Zuständen befindet. Ein paarweiser Vergleich der Variable zwischen den einzelnen Spielmechanismen wird somit möglich. Da jedes untersuchte Spiel über mindestens 12 Minuten aufgezeichnete Spielzeit verfügt, wird in einem ersten Schritt zunächst das zeitgewichtete Integral über die einzelnen Intervalle für für die gesamte Dauer des Spiels berechnet⁶. Da es sich durch die Aufteilung der Spielzeit in diskrete und gleichlange Intervalle nicht um eine stetige Funktion, sondern eine (reelle) Treppenfunktion handelt, lässt sich die Berechnung des Integrals wie folgt vereinfachen:

⁵ Da es sich bei einem großen Teil der Messgrößen um prozentuale Anteile an einer Grundgesamtheit handelt, welche nativ im Intervall [0, 100] abgebildet werden, entfällt in diesen Fällen die Normierung. Weiterhin sei angemerkt, dass aufgrund der, in Abschnitt 4.3 beschriebenen, Messverfahren und der endlichen Anzahl von Zuständen und Payoffkombinationen, nicht jeder beliebige Punkt auf der stetigen Skala erreicht werden kann.

⁶ Um eine bessere Vergleichbarkeit der Daten über die einzelnen Spiele hinweg zu gewährleisten, wurde für jedes aufgezeichnete Intervall zunächst der durchschnittliche Gesamtpayoff ermittelt, welcher sich aus dem Durchschnitt der Intervall-Payoffs aller am Spiel beteiligten Probanden ergibt.

$$\int_a^b f(x)dx = \sum_{i=1}^n c_i l(I_i) \quad (5.1)$$

c_i bezeichnet hierbei den Wert von f auf dem Intervall $I_i = (t_{i-1}, t_i)$ und $l(I_i)$ die Länge des Intervalls, welche im vorliegenden Fall durch den Spielmechanismus a-priori festgelegt wird. In einem zweiten Schritt wird das Integral durch die Anzahl der jeweiligen Periodenanzahl n dividiert, um eine vergleichbare, normierte Kenngröße zu erhalten. Da in den relevanten Spielen *3PPD* und *3PPD-N* die durchschnittlichen Gesamtpayoffs des Spiels bereits auf einer Skala von 0 bis 100 normiert sind, gilt diese Skala auf für die erzeugte Kenngröße. Mathematisch erfolgt die Berechnung des zeitgewichteten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs des Spiels \bar{P} wie folgt:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i l(I_i)}{n} \quad (5.2)$$

Abbildung 5.4 visualisiert die Berechnung des Integrals der Treppenfunktion für das 3-Spieler-Gefangenendilemma über einen Zeitraum von 60 Sekunden im *real-dynamischen* Spielmodus:

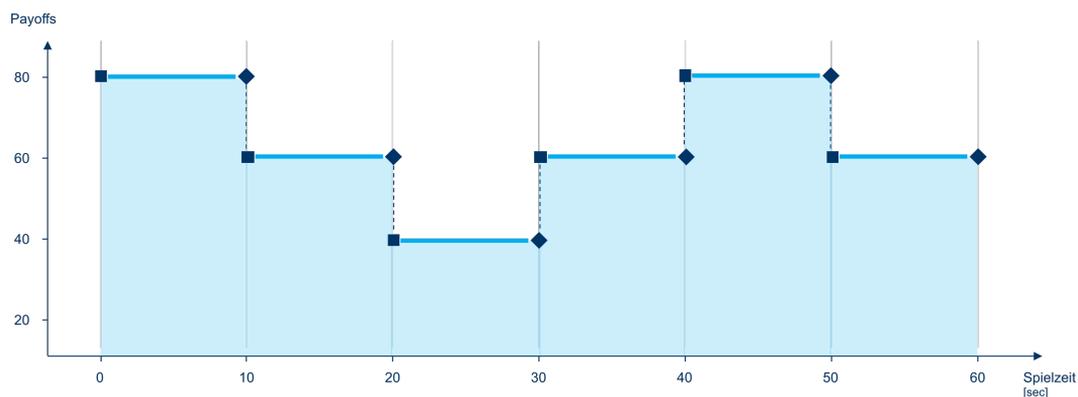


Abbildung 5.4: Beispielhafte Visualisierung des Treppenfunktions-Integrals für das 3PPD im *real-dynamischen* Spielmodus über einen Zeitraum von 60 Sekunden

Da alle untersuchten Spiele aus einem identischen Startzustand heraus starten, wurden zudem bei der Berechnung der tatsächlich untersuchten Kenngrößen die ersten 120 Sekunden eines jeden Spiels ignoriert (hinreichend eingeschwungenes System). Hiermit wird erstens verhindert, dass Spielmechanismen mit langen Intervallen, aufgrund des längeren Lock-ins in den Startzustand, benachteiligt werden. Zweitens wird durch diese Methode sichergestellt, dass jeder Spieler mindestens einmal die Möglichkeit hatte seine Strategie anzupassen⁷. Gerade bei der Analyse von Payoffs und relativen Zustandshäufigkeiten, kann so gewährleistet werden, dass nur endogen durch die Probanden induzierte Zustände in die finale Bewertung mit einfließen.

⁷ Diese Einschränkung ist primär für Spielmechanismen mit vergleichsweise langen Spiel-Intervallen vorteilhaft, da diese, durch den initialen Zustand, überproportional lange im Startzustand verweilen müssen.

Analog zur Generierung der Payoff-Variablen kann auch die anteilig berechnete **Realisierung von Fokus-Zuständen** über die verschiedenen Spielmechanismen hinweg vergleichbar gemacht werden. Statt dem Integral, wird hierbei für jedes untersuchte Spiel, der prozentuale Anteil der Zeit ermittelt, in welcher sich das Spiel in einem bestimmten Fokus-Zustand befunden hat (vgl. Gleichung 5.3). Der Spielmechanismus gibt hierbei lediglich vor, wie oft Zustandskonfigurationen, durch Strategieänderungen der Spieler gewechselt werden können, hat aber keine unmittelbare Auswirkung auf die tatsächlich realisierten Zustände. Die Zeit, welche im Verhältnis zur Gesamtdauer des Spiels in einem spezifischen Zustand z verbracht wird, ist daher über alle Spielmechanismen hinweg vergleichbar. Im Sinne der Forschungsfrage beschränkt sich die Zustandsanalyse auf Zustände, welche Aussagen über koordinative Eigenschaften des Spiels erlauben⁸. Wie schon bei der Berechnung der Payoff-Variable, werden auch bei der Betrachtung der Zustandshäufigkeiten die ersten 120 Sekunden eines jeden Spiels ignoriert, um Einflüsse exogener Faktoren, wie den initial vorgegebenen Startzustand zu minimieren. Die Berechnung aller sechs, im Laufe dieser Arbeit untersuchten, Variablen mit direktem Zustands-Bezug, erfolgt methodisch jeweils analog und unterscheidet sich nur anhand des jeweils betrachteten Zustands z .

$$\text{Anteil realisierter } z\text{-Zustände} = \frac{\sum \text{Zeit im Zustand } z}{\text{Gesamtdauer des Spiels}} \quad (5.3)$$

Einen wesentlichen Beitrag zur Untersuchung von Koordination, in Abhängigkeit der angewendeten Spielmechanismen, stellt im Zuge dieser Arbeit die **Analyse von spezifischen Reaktionsfolgen** im Spielablauf dar. Besonders der Anteil von Reaktionsfolgen, bei welchen ein Kooperationszug eines Spielers, in unmittelbarer Folge, durch einen korrespondierenden Kooperationszug eines Mitspielers beantwortet wird, liefert im direkten Vergleich Hinweise, ob ein Spielmechanismus koordinatives Verhalten begünstigt oder erschwert. Die Ableitung einer statistisch verwertbaren Messgröße, basiert hierbei auf der Unterteilung aller beobachteten Züge eines Spiels in 2-gliedrige Reaktionsketten. Die somit entstehende Folge aus geordneten Zugpaaren (auch *2-Tupel* oder *Dupel* genannt), kann im folgenden weiter analysiert werden⁹. Abbildung 5.5 zeigt in diesem Zusammenhang beispielhaft die Erzeugung einer Folge von 2-gliedrigen Reaktionsketten für das 3-Spieler Gefangenendilemma im real-dynamischen Spielmodus auf:

⁸ Entsprechend der Diskussion der Hypothesen in Abschnitt 3.2, sind dies primär Zustände vollständiger/trilateraler Kooperation oder Zustände, in welchen keinerlei koordinatives Verhalten vorliegt (trilaterale Defektion).

⁹ Die Nutzung eines 2-Tupels zur Analyse koordinativer Reaktionseigenschaften folgt hierbei Müller (2018, S. 144), welcher für das wiederholte 2-Spieler Gefangenendilemma empirisch zeigen konnten, dass getroffene Entscheidungen in spieltheoretischen Entscheidungsprozessen primär von der unmittelbar vorangegangenen Periode abhängen. Vgl. hierzu auch Unterabschnitt 3.2.3.

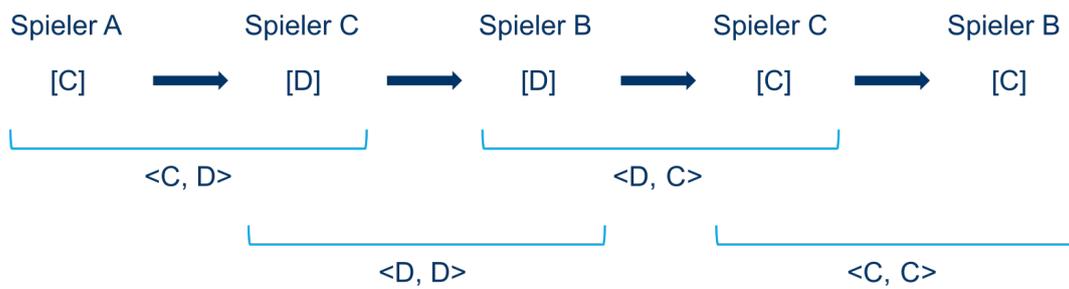


Abbildung 5.5: Beispielhafte Veranschaulichung von 2-gliedrigen Reaktionsketten (2-Tupel) für das 3-Spieler Gefangenendilemma ([C] = kooperieren, [D] = defektieren)

Im Gegensatz zu der Auswertung von einzelnen Zustandshäufigkeiten kann eine Auswertung anhand der oben dargestellten 2-Tupel nicht direkt erfolgen. Je nach untersuchtem Spiel und angewendetem Spielmechanismus ergeben sich spezifische Besonderheiten, welche in der weiteren Analyse und zur Definition der finalen Kenngröße beachtet werden müssen. Auf der Spiel-Ebene ist zunächst zu berücksichtigen, dass bei einer Erhöhung der Anzahl der Handlungsmöglichkeiten, die Anzahl der möglichen 2-Tupel überproportional ansteigt. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, aus welchen Zuständen heraus die entsprechenden Züge erfolgen. Dies ist erforderlich, um Reaktionen auszuschließen, welche aufgrund der Struktur des Spiels nur eine zensierte Auswahl von Reaktionen zulässt. So können beispielsweise im 3-Spieler Gefangenendilemma, ausgehend vom Zustand trilateraler Defektion, nur Kooperationszüge gespielt werden. Da dies jedoch nicht als bewusste Entscheidung des Spielers gewertet werden kann, dürfen diese Züge nicht in die finale Kenngröße mit einfließen. Technisch gesehen, reicht daher die initial vorgestellte Betrachtung der reinen Zugabfolgen nicht aus, um Reaktionen eindeutig zu klassifizieren. Eine Lösung stellt an dieser Stelle die Interpretation von einzelnen Zügen als Zustandstransitionen mit einem eindeutigen Start- und Endzustand dar¹⁰. Eine Zugabfolge lässt sich, dieser Notation folgend, als eine Abfolge zweier Zustandstransitionen eindeutig darstellen:

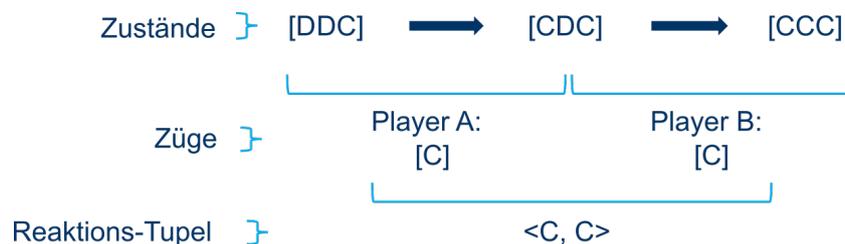


Abbildung 5.6: Beispiel einer kombinierten Zustandstransition als alternative Darstellungsform einer 2-gliedrigen Reaktions-Kette

¹⁰ Ein Zustand wird im Folgenden als Kombination der Hebelbezeichnungen dargestellt, welche die Spieler im einzelnen gewählt haben. Die erste Position steht hierbei für Spieler A, die zweite Position für Spieler B, etc.

Entsprechend den Gesetzen der Kombinatorik und unter Berücksichtigung aller Ausgangszustände und Spieler, ergeben sich für das 3-Spieler-Gefangenendilemma 512 Kombinationen von Zustandstransitionen. Erweitert man das Spiel um eine zusätzliche Nischenoption für alle 3 Spieler (3PPD-N) erhöht sich diese Anzahl bereits auf 19.683 kombinierte Zustandstransitionen. Um, unter Berücksichtigung der vorhandenen Datenbasis, statistische Aussagen treffen zu können, ist eine Konsolidierung bzw. Clusterung der einzelnen Reaktionsfolgen unumgänglich. Im Folgenden sind die einzelnen Schritte dieses Konsolidierungsprozesses beschrieben¹¹:

- (I) **Symmetrische Zustandsprofile** - Beide, im Rahmen der Reaktionsanalyse untersuchten, Spiele verfügen über eine symmetrische Verteilung von Handlungsoptionen. Für die Beantwortung der Forschungsfrage ist es daher unerheblich, ob eine Reaktion von Gegenspieler A oder Gegenspieler B erfolgt. Entscheidend ist nur die Art der Reaktion auf einen vorausgegangen Zug. Allein durch diese Vereinfachung sinkt die Anzahl kombinierter Zustandstransitionen auf 64 (3PPD) bzw. 1000 (3PPD-N).
- (II) **Transitionen ohne Zustandsänderung** - In allen untersuchten Spielmechanismen ist das Nicht-Ziehen eine valide Option. Da für die Beantwortung der Hypothesen nur aktive Reaktionen relevant sind und längere Perioden der kognitiven Reflexion ohne aktive Züge als Teil des dynamischen Spielverlaufs zu verstehen sind, werden Intervalle ohne aktive Züge bei der Generierung der Transitionsprofile übersprungen.
- (III) **Überspringen von Doppelzügen** - Abhängig vom Spielmodus kann es vorkommen, dass ein Spieler mehrmals hintereinander seine Strategie anpasst, ohne dass ein anderer Spieler darauf reagiert. Da dieses Verhalten nicht als Reaktion im Sinne dieser Arbeit zu verstehen ist, werden Doppelzüge bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt bzw. in den Reaktionsketten übersprungen.
- (IV) **Cluster artverwandter Reaktionen** - Abhängig vom Spielmechanismus ist es möglich, dass mehrere Spieler gleichzeitig ziehen. Hierbei können wiederum zwei Fälle unterschieden werden. Falls die betreffenden Spieler einen identischen Zug, z.B. kooperieren, gewählt haben, kann dies insgesamt als eine kooperative Antwort auf den vorangegangenen Zug aufgefasst werden. Eine kooperative Antwort wird daher nicht mehr auf einen einzelnen Spieler bezogen, sondern beschreibt eine generelle und eindeutige Verschiebung des Spielgeschehens in Richtung „Kooperation“. Falls die parallelen Züge jedoch in ihrer Ausprägung divergieren, kann keine eindeutige Reaktion bzw. keine eindeutige Verschiebung des übergeordneten Spielgeschehens abgeleitet werden. Eine Clusterung dieser nicht-eindeutigen Reaktionen führt zu einer weiteren Reduktion unterscheidbarer Kombinationen von Zustandstransitionen.

¹¹ Weitere Details zur Konsolidierung, welche sich auf spielbedingte Besonderheiten in der Datenstruktur beziehen, finden sich zudem im Auswertungsteil dieser Arbeit ab Abschnitt 5.2.

- (V) **Eingeschränkte Reaktionsmöglichkeiten** - Sämtliche Zustände, welche aufgrund der Struktur des Spiels nur eine zensierte Auswahl von Reaktionen zulassen, werden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. So können, beispielsweise im 3-Spieler Gefangenendilemma, ausgehend vom Zustand trilateraler Defektion ausschließlich Kooperationszüge gespielt werden¹². Da dies jedoch nicht als bewusste Reaktions-Entscheidung des Spielers gewertet werden kann, dürfen diese Transitionen nicht als Ausgangspunkt einer Transitionsfolge betrachtet werden.

Nach erfolgter Clusterung lassen sich die anteilig erreichten, 2-gliedrigen Reaktionsfolgen für die beiden Spiele 3PPD und 3PPD-N jeweils aggregiert und individuell für jedes getestete Spiel mithilfe einer Transitionsmatrix darstellen (vgl. hierzu Tabelle 5.5 bzw. Tabelle 5.6 im deskriptiven Teil der Arbeit in Unterabschnitt 5.1.2). Eine statistische Auswertung auf Basis der erhobenen Datengrundlage wird somit möglich.

Die letzte, im Zuge dieser Arbeit abgeleitete, abhängige Variable stellt der **relative Anteil aufgezeichneter Ketten von Verschlechterungen** dar, welcher im Verlauf des Gesamtspiels realisiert wurden. Hierzu wird zunächst für alle Spieler und für jeden Zug individuell ermittelt, ob es sich bei diesem Zug um eine myopische Verbesserung oder Verschlechterung handelt. Der Referenzpunkt, anhand welchem entschieden wird, ob es sich bei einem Zug um eine Verbesserung oder Verschlechterung handelt, ist immer der jeweils letzte, vor dem Zug aufgezeichnete Zustand¹³. Analog zu den, bereits beschriebenen, Reaktions-Variablen wird in einem zweiten Schritt eine spielübergreifende Kannzahl zur weiteren statistischen Auswertung ermittelt. Konkret werden im vorliegenden Fall spielerübergreifend alle beobachteten, 2-gliedrigen Ketten von temporären Verschlechterungen eines Spiels aufsummiert und durch Division durch die Gesamtanzahl der aufgezeichneten Reaktions-Ketten in eine vergleichbare Variable v überführt.

$$v_i = \frac{\text{Anzahl aufgezeichneter Verschlechterungs-Ketten in Spiel } i}{\text{Gesamtanzahl aufgezeichneter Reaktionsketten in Spiel } i} \quad (5.4)$$

Da es sich bei der Untersuchung temporärer bzw. strategischer Verschlechterungen, wie in Unterabschnitt 3.2.4 beschrieben, um einen Versuch handelt die Reaktionsketten-These auf allgemeine Spiele zu übertragen, welche nicht über eine klare Zuteilung ihrer Handlungsoptionen in kooperative und nicht-kooperative Züge verfügt, wird die Verschlechterungs-Variable im Zuge der Analyse ausschließlich zur Untersuchung des Cerasia-Konflikts herangezogen.

¹² Diese Form der strukturell bedingten Einschränkung von Reaktionsmöglichkeiten kann nur im 3-Spieler Gefangenendilemma auftreten. Im 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption existieren aufgrund der erhöhten Anzahl von Handlungsoptionen keine Zustände, mit nur einer Reaktionsalternative.

¹³ Die Wahl des Referenzpunktes beruht hierbei auf der Erkenntnis von Müller (2018), welche besagt, dass Spieler im wiederholten 3-Spieler Gefangenendilemma ihre Züge primär von den Ergebnissen der unmittelbar vorangegangenen Runde abhängig machen.

5.1.2 Deskriptive Auswertung der experimentellen Datenbasis

Zu Beginn des analytischen Teils dieser Arbeit soll, mithilfe einer deskriptiven Auswertung, ein erster Überblick über die erhobene Datenbasis erfolgen. Neben der reinen Betrachtung der Rohdaten wird hierbei auch direkt Bezug auf die vier, in Abschnitt 3.2 erläuterten, Thesen genommen, welche, anhand ihrer korrespondierenden Gruppen von Fokusvariablen, näher beleuchtet werden. Zentrales Ziel der deskriptiven Analyse ist hierbei ein übergreifendes Verständnis der Datenbasis zu erhalten und die darauf folgende Regressionsanalyse datengetrieben und fundiert vorzubereiten. Für statistisch belastbare Analysen auf Basis multivariater Verfahren sei an dieser Stelle auf die nachfolgenden Abschnitte verwiesen, in welchen eine detaillierte Analyse aller durchgeführten Experimente erfolgt.

Deskriptive Analyse der Payoffs

Um ein prinzipielles Verständnis der Dynamik der untersuchten Spiele zu erhalten, bietet sich eine genaue Betrachtung der erreichten Payoffs in Abhängigkeit der drei getesteten Spielmechanismen *real-dynamisch*, *sequenziell-randomisiert* und *simultan-wiederholt* als erster Schritt, innerhalb der deskriptiven Analyse an. Entsprechend der Intention der korrespondierenden These I, kann in Spielen, in welchen der Grad der gegenseitigen Kooperation positiv mit dem aggregierten Gesamtpayoff des Spiel verknüpft ist, eine differenzierende Betrachtung der erreichten Payoffs erste Erkenntnisse zu den koordinativen Eigenschaften der einzelnen Spielmechanismen liefern¹⁴.

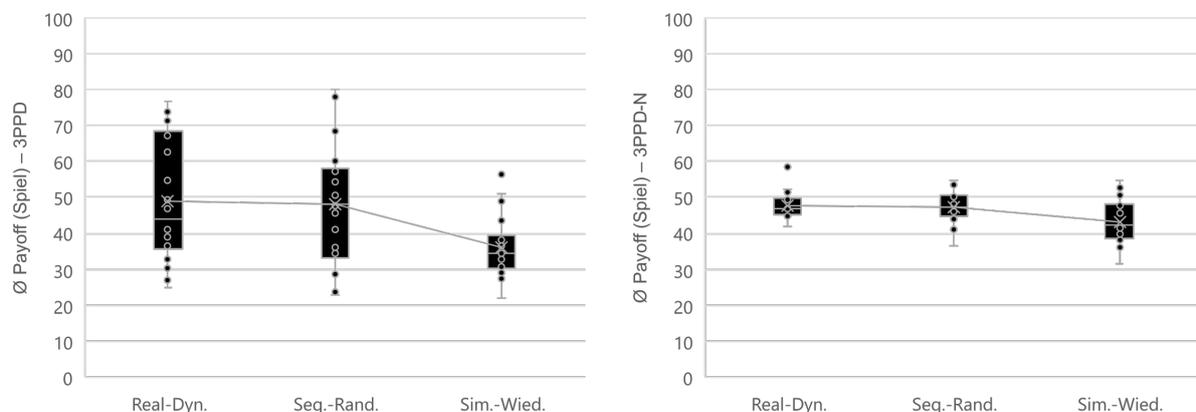


Abbildung 5.7: Verteilung der durchschnittlich erreichten Spielpayoffs pro Spiel nach Spielmechanismus

Abbildung 5.7 zeigt in diesem Zusammenhang die Verteilung der durchschnittlichen Spielpayoffs in den beiden getesteten Spielen 3PPD (rechts) und 3PPD-N (links). Besonders prägnant fällt an dieser Stelle die unterschiedliche Varianz der Messwerte, innerhalb der beiden

¹⁴ Im Bezug auf die Forschungsfrage, bietet These I einen ersten Ansatzpunkt zur differenzierten Analyse möglicher Divergenzen in den koordinativen Eigenschaften der Spielmechanismen, welche in den folgenden drei Thesen mit zunehmender Präzision vertieft wird.

getesteten Spiele, auf. Während im 3PPD, in annähernd allen Bereichen der zugrunde liegenden Skala, Datenpunkte vorhanden sind, ergibt sich im Falle des 3PPD-N eine deutlich gestauchtere Verteilung der Messwerte¹⁵. Eine mögliche Erklärung der geringeren Varianz im 3PPD-N, liegt in der zusätzlichen Nischenoption, welche es Spielern innerhalb der Regeln des Spielmechanismus erlaubt, einen risikolosen Payoff in Höhe von 50 zu realisieren. Unvorteilhafte Situationen müssen demzufolge nicht zwangsläufig, durch multilaterale Kooperationsanstrengungen, gelöst werden, sondern können unilateral, durch einen Ausweich-Zug, beseitigt werden. Die Folge dieser zusätzlichen Möglichkeit ist eine deutliche Reduktion der beobachteten Extremzustände der Verteilung und eine erhöhte Konzentration von Messwerten im mittleren Bereich der Payoff-Skala.

Tabelle 5.3: Payoff-spezifische Auswertung der Datenbasis unterteilt nach Spiel und Spielmechanismus

Spiel	Spiel-Mechanismus	Quantil-Analyse					Arith. Mittel
		Min.	25% Quant.	Median	75% Quant.	Max.	
3PPD	Real-dyn.	24.92	35.49	43.93	68.28	76.72	48.94
	Seq.-rand.	22.86	33.10	48.10	57.86	80.00	48.01
	Sim.-wied.	21.82	30.45	34.55	39.55	56.36	36.06
3PPD-N	Real-dyn.	42.05	45.05	46.83	49.82	58.66	47.77
	Seq.-rand.	36.35	44.78	47.22	50.60	54.92	47.46
	Sim.-wied.	31.52	38.56	42.27	48.03	54.70	43.24

Während die Minimalwerte und Maximalwerte, sowie die 25% und 75% Quantile nach den obigen Erläuterung stark zwischen den beiden Spielen variieren, weicht die Position der Median-Stellen nur unwesentlich voneinander ab, sofern man den jeweils betrachteten Spielmechanismus konstant hält. Diese Erkenntnis spiegelt sich auch in der Ausprägung der arithmetischen Mittel wieder. Unabhängig vom Spiel unterscheiden sich die Mittelwerte zwischen dem *real-dynamischen* und *sequenziell-randomisierten* Spielmodus kaum¹⁶. Der Mittelwert des *simultan-wiederholten* Spielmechanismus liegt jedoch jeweils deutlich unter den Vergleichswerten. Teilt man zudem die Grundgesamtheit der Spiele in zwei Kategorien auf, wobei die erste Kategorie Spiele enthält, welche einen Durchschnittspayoff von größer 45 erreichen konnten und die zweite Kategorie Spiele mit einem durchschnittlichen Payoff von kleiner 45 enthält, wird der Unterschied zwischen den Spielmechanismen besonders deutlich (vgl. Abbildung 5.8).

¹⁵ In Abbildung 5.7 wurden die abgebildeten Quantile exklusive der jeweiligen Median-Werte berechnet, da ein Großteil des Datensätze eine gerade Anzahl an Beobachtungen enthält.

¹⁶ Ordnet man die Spielmechanismen nach der Größe der erreichten durchschnittlichen Payoffs, ergibt sich in beiden Spielen die Reihenfolge: *real-dynamisch* > *sequenziell-randomisiert* > *simultan-wiederholt*.



Abbildung 5.8: Anteil von Spielausgängen mit durchschnittlich erreichten Payoffs > 45 im Vergleich zwischen den einzelnen Spielmechanismen

Es liegt daher nahe, dass sich zumindest der *simultan-wiederholte* Spielmodus im Bezug auf die Payoffs von den anderen Mechanismen unterscheidet. An dieser Stelle bedarf es weiterer differenzierender Analysen, welche ab Abschnitt 5.2 näher beschrieben werden.

Deskriptive Analyse der Zustandsverteilung

Bei der deskriptiven Betrachtung der erreichten Zustände und deren Verteilungen ist eine Vergleichbarkeit zwischen den Spielen aufgrund des stark unterschiedlichen Zustandsraums nur bedingt möglich. Obwohl sich das 3PPD und das 3PPD-N nur durch eine einzige Handlungsoption pro Spieler voneinander unterscheiden, erhöht sich die Anzahl von Spieler-indifferenten Zustandsklassen bei einer zusätzlichen Nischen-Option bereits von vier auf zehn¹⁷. Die Zustände vollkommener Kooperation [CCC] und vollkommener Defektion [DDD] bleiben in ihrer Charakteristik jedoch weiterhin bei beiden Spielen erhalten und lassen sich unabhängig voneinander, unter Berücksichtigung der jeweils angewandten Spielmechanismen, vergleichen.

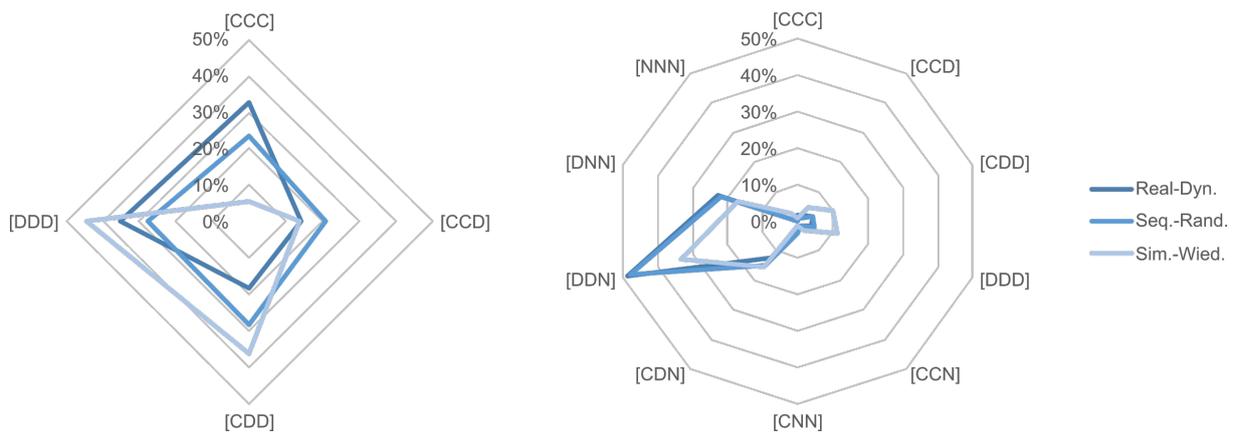


Abbildung 5.9: Anteilige Verteilung der Zustände nach Spielmechanismus - 3PPD (links), 3PPD-N (rechts)

¹⁷ Vgl. hierzu auch Abschnitt 3.3.

Abbildung 5.9 zeigt in diesem Zusammenhang die anteilige Verteilung der realisierten Zustände für beide Spiele. Betrachtet man zunächst nur die Zustände trilateraler Kooperation innerhalb des regulären 3-Spieler Gefangenendilemmas und vergleicht die jeweils realisierten Anteile zwischen den drei getesteten Spielmechanismen, fällt auf, dass im *real-dynamischen* Spielmodus mit 32,88% der höchste Anteil an vollkommener Kooperation erreicht wurde. An zweiter Stelle folgt der *sequenziell-randomisierte* Spielmodus mit 23,59%. Der Spielmechanismus, in welchem sich die Probanden am wenigsten auf einen Zustand trilateraler Kooperation einigen konnten, ist der *simultan-Wiederholte* Modus mit lediglich 5,56% (vgl. hierzu auch Tabelle 5.4). Folgt man der hypothesengetriebenen¹⁸ Struktur der Arbeit und untersucht konsequent, in welchen Spielmechanismen trilaterale Defektionszustände vermieden werden konnte, ergibt sich ein analoges Bild. Während sich die Spiele im *real-dynamischen* Modus in 18,03% der beobachteten Zustände in einem Zustand vollkommener Defektion befanden, steigt dieser Wert im *sequenziell-randomisierten* Spiel bereits auf 28,14% und erreicht ein Maximum im *simultan-wiederholten* Spiel mit 36,36%.

Tabelle 5.4: Auswertung der anteiligen Realisierung relevanter Fokus-Zustände

Spiel	Mechanismus	Kooperation		Defektion	
		[CCC]	[CCX]	[DDD]	[DDX]
3PPD	Real-dyn.	32.88%	46.90%	18.03%	53.10%
	Seq.-rand.	23.59%	44.16%	28.14%	55.84%
	Sim.-wied.	5.56%	19.19%	36.36%	80.81%
3PPD-N	Real-dyn.	1.64%	5.46%	4.06%	56.10%
	Seq.-rand.	0.24%	2.86%	4.76%	56.90%
	Sim.-wied.	0.87%	8.66%	11.26%	54.55%

Im 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption (3PPD-N) ändert sich die, bereits im 3PPD beschriebene, Reihenfolge zwischen den einzelnen Merkmalsausprägungen kaum, erfährt jedoch, durch die Erhöhung der möglichen Zustände, eine deutliche Reduktion, was die Anzahl der Beobachtungen betrifft. Zudem fallen die Unterschiede zwischen dem *real-dynamischen* und dem *sequenziell-randomisierten* Mechanismus kleiner aus, während der *simultan-wiederholte* Mechanismus weiterhin ein klar abgrenzbares Zustandsprofil aufweist. Neben der Erhöhung der Anzahl möglicher Zustände, hat auch die Charakteristik der risikolosen Nischenoption einen Einfluss auf die Anzahl realisierter Extrem-Lösungen. Die Erklärung erfolgt hierbei analog zu der, bereits bei der Analyse der Payoffs beschriebenen, Argumentation. Im Fall der

¹⁸ Die Analyse anteiliger Zustandsausprägungen fällt hierbei in den Bereich von These II, welche koordinative Unterschiede zwischen den Spielmechanismen, auf Grundlage der Charakteristik erreichter Zustandsklassen, untersucht.

trilateralen Kooperation steht der *real-dynamische* Spielmodus mit insgesamt 1.64% der Beobachtungen weiterhin an erster Stelle. Die *simultan-wiederholten* und *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismen folgen mit 0.87% bzw. 0.24%¹⁹. Im Fall der trilateralen Defektion entspricht die Reihenfolge wieder der, bereits im 3PPD beobachteten, Ausprägung, wobei der [DDD]-Zustand im *real-dynamischen* Modus, mit einem Anteil von 4.06%, am effizientesten vermieden werden konnte. Die *sequenziell-randomisierten* bzw. *simultan-wiederholten* Mechanismen folgen mit 4.76% bzw. 35.36% realisierter [DDD]-Zustände.

Im Sinne der Robustheit wurde in einem zweiten Schritt der Analyse eine zweite Kenngröße entwickelt, welche, neben den absoluten Ausprägungen trilateraler Kooperation [CCC] bzw. Defektion [DDD], zusätzlich die Abweichung genau eines Spielers auf eine beliebige Alternativstrategie erlaubt. Diese Mengen von Zustände seien im folgenden entsprechend mit [CCX] bzw. [DDX] bezeichnet. Die beobachteten, anteiligen Ausprägungen finden sich ebenfalls in Tabelle 5.4. Während, durch die Erweiterung der betrachteten Zustände, die wesentlichen Aussagen im 3PPD erhalten bleiben, erlaubt die resultierende Verteilung im 3PPD-N keine unmittelbare Interpretation. An dieser Stelle sind weitere multivariate Analysen erforderlich.

Deskriptive Analyse der Reaktionsketten

Ausgehend von der Zustandsanalyse geht die Reaktionsanalyse einen Schritt weiter und betrachtet nicht nur den Anteil erreichter Kooperationszustände, sondern beschreibt den Prozess der Kooperations-Findung anhand der Analyse beobachtbarer Reaktionen. Als Kenngröße wird hierbei, wie in Unterabschnitt 5.1.1 im Detail erläutert, der Anteil der Reaktionen herangezogen, bei welchen eine vorangegangene, eindeutige Zunahme der Kooperation durch den Zug mindestens eines Spielers, in unmittelbarer Folge durch eine weitere, eindeutige Zunahme der Kooperation, durch den Zug mindestens eines weiteren Spielers, beobachtet werden kann²⁰. Die differenzierende Analyse der erreichten, durchschnittlichen Anteile für alle Spielmechanismen erlaubt folglich eine Aussage über die koordinativen Eigenschaften der, den jeweiligen Spielmechanismen zugrunde liegenden, Informationsstrukturen²¹. Auf deskriptiver Ebene lassen sich die anteilig erreichten Reaktionsmuster, für die beiden Spiele 3PPD und 3PPD-N, jeweils aggregiert und individuell für jedes getestete Spiel, mithilfe einer gerichteten Transitionsmatrix, darstellen. Nicht-eindeutige Zustands-Transitionen werden hierbei in einer Kategorie zusammengefasst, welche im Folgenden mit \sim gekennzeichnet wird. Die entsprechenden Ergebnisse für das 3-Spieler Gefangenendilemma sind hierbei in Tabelle 5.5 gegeben.

¹⁹ Die Reihenfolge zwischen *simultan-wiederholtem* und *sequenziell-randomisierten* Modus dreht sich an dieser Stelle, im Vergleich zum 3PPD, um. Aufgrund der niedrigen absoluten Anzahl beobachteter Ausprägungen, ist eine Interpretation an dieser Stelle allerdings nur bedingt zielführend.

²⁰ Um eine aussagekräftige Kenngröße zu erhalten und verzerrende Einflüsse wie Doppelzüge, Transitionen ohne Zustandsänderung, etc. zu eliminieren, wurde der Datensatz vor der Analyse bereinigt. Eine detaillierte Beschreibung zur Ableitung der finalen Variablen aus dem Rohdatensatz findet sich in Unterabschnitt 5.1.1.

²¹ Die vorliegende Arbeit beschränkt sich bei der multivariaten Analyse der einzelnen Reaktionsmuster auf diejenigen Transitionen, welche in einem direkten Zusammenhang zu der gestellten Forschungsfrage stehen.

Tabelle 5.5: Übersicht der anteilig erreichten Reaktionsketten im 3PPD nach Spielmechanismus

3PPD Gesamt				3PPD Real-Dyn.			
	C ↑	D ↑	~		C ↑	D ↑	~
C ↑	24.1%	13.2%	4.2%	C ↑	33.3%	11.4%	2.6%
D ↑	8.0%	37.9%	3.6%	D ↑	7.2%	35.9%	3.6%
~	1.9%	5.2%	1.8%	~	2.3%	3.3%	1.0%

3PPD Seq.-Rand.				3PPD Sim.-Wied.			
	C ↑	D ↑	~		C ↑	D ↑	~
C ↑	26.7%	12.5%	0.0%	C ↑	12.4%	15.7%	10.1%
D ↑	10.0%	50.8%	0.0%	D ↑	6.7%	27.0%	7.9%
~	0.0%	0.0%	0.0%	~	3.4%	12.4%	4.5%

Analog zu den Ergebnissen der Zustandsanalyse, liegt der Anteil der Reaktionen, bei welchen Kooperation mit Kooperation beantwortet wurde, im *real-dynamischen* Spielmodus, mit 33.3% aller beobachteten Reaktion, sichtbar über den beiden anderen Spielmechanismen. Die initiale These, wonach Spiele, welche unter den Regeln und der Informationsstruktur des *real-dynamischen* Spielmechanismus modelliert werden, tendenziell zu einem höheren Koordinationserfolg führen, wird durch diese Beobachtung gestützt. An zweiter Stelle folgt der *sequenziell-randomisierte* Spielmodus, bei welchem, mit 26.7% kooperativ beantworteter Kooperationsangebote, bereits ein deutlich geringerer Anteil erfolgreicher Koordinations-Reaktionen beobachtet werden kann. Im *simultan-wiederholten* Spielmodus beträgt der Anteil erfolgreicher Kooperations-Reaktionen nur noch 12.4%. Besonders auffallend ist in diesem Spielmodus der verhältnismäßig hohe Anteil an nicht eindeutig zuordenbaren Transitionen, bei welchen die Probanden mit entgegengesetzte Reaktionen auf eine zuvor erfolgte Zustandsveränderung antworten. Dies kann als weiterer Hinweis interpretiert werden, dass die simultane Wahl von Zügen eine eindeutige Reaktion auf mögliche Kooperationsangebote, in dynamischen, wiederholten Spielen, erschwert²². Direkte und unmittelbare Reaktionen sind schwieriger realisierbar, da jederzeit die Möglichkeit besteht, dass ein Spieler, der zunächst Kooperation anbietet, in der folgenden Runde unbeobachtet seine Strategie ändert. Gegenspieler können somit nie mit Gewissheit annehmen, dass die eigene Reaktion, sofern sie auf der Grundlage der letzten Runde

²² Im *sequenziell-randomisierten* Spiel verhindert die zugrundeliegende Zugreihenfolge gleichzeitige und entgegengesetzte Züge mehrerer Probanden. Die Anzahl möglicher Reaktionsmuster ist daher in diesem Modus eingeschränkt. Um für den geringeren Zustandsraum, und die damit einhergehende Verzerrung der Kenngröße, zu kontrollieren, werden im multivariaten Teil der Arbeit verschiedene Modelle berechnet, welche diese strukturelle Eigenschaft adressieren.

basiert, zu dem geplanten Ergebnis führt. Missverständnisse und Fehler in der bi- und multilateralen Koordination werden begünstigt.

Tabelle 5.6: Übersicht der anteilig erreichten Reaktionsketten im 3PPD-N nach Spielmechanismus

3PPD-N Gesamt					3PPD-N Real-Dyn.				
	$C \uparrow$	$D \uparrow$	$N \uparrow$	\sim		$C \uparrow$	$D \uparrow$	$N \uparrow$	\sim
$C \uparrow$	2.9%	11.9%	3.4%	1.4%	$C \uparrow$	5.1%	12.3%	3.4%	0.3%
$D \uparrow$	5.5%	11.7%	20.7%	2.3%	$D \uparrow$	5.9%	11.6%	21.0%	2.2%
$N \uparrow$	8.6%	14.2%	6.5%	1.7%	$D \uparrow$	11.5%	15.6%	6.5%	1.0%
\sim	1.6%	3.3%	3.4%	1.1%	\sim	0.7%	1.3%	1.6%	0.0%

3PPD-N Seq.-Rand.					3PPD-N Sim.-Wied.				
	$C \uparrow$	$D \uparrow$	$N \uparrow$	\sim		$C \uparrow$	$D \uparrow$	$N \uparrow$	\sim
$C \uparrow$	1.8%	15.0%	3.1%	0.0%	$C \uparrow$	1.6%	8.7%	3.8%	3.8%
$D \uparrow$	4.4%	18.6%	25.7%	0.0%	$D \uparrow$	6.0%	5.5%	15.8%	4.4%
$N \uparrow$	8.8%	15.0%	7.5%	0.0%	$D \uparrow$	5.5%	12.0%	5.5%	3.8%
\sim	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	\sim	3.8%	8.2%	8.2%	3.3%

Tabelle 5.6 zeigt, analog zum 3PPD, die Ergebnisse der Verteilung der Reaktionsmuster für die getesteten Spielmechanismen im 3PPD-N. Gemäß dessen Definition, erweitert sich der Raum möglicher Zustände um eine Nischen-Option, was wiederum Auswirkungen auf die Anzahl beobachtbarer Reaktionsmuster hat. Konkret werden im 3PPD-N zusätzlich auch Reaktionen gesondert aufgeführt, welche auf einer eindeutigen Erhöhung der Anzahl der beobachteten Nischenzustände beruhen ($N \uparrow$). Analog zum 3PPD, kann auch im 3PPD-N innerhalb des *real-dynamischen* Spielmechanismus mit 5.1% der höchste prozentuale Anteil kooperativ beantworteter Kooperationsangebote beobachtet werden²³. Es folgen analog der *sequenziell-randomisierte* (1.8%) und *simultan-wiederholte* (1.6%) Modus, wobei hier der absolute und relative Unterschied zwischen den beiden Mechanismen geringer ausfällt, als im 3PPD.

Deskriptive Analyse temporärer Verschlechterungen (Cerasia-Konflikt)

Die Analyse von Folgen temporärer Verschlechterung verallgemeinert den Ansatz der Reaktions-These und macht diese für reale und asymmetrische Konflikte anwendbar²⁴. Eine exakte Definition von koordinativen und nicht-koordinativen Zügen ist nicht mehr zwingend erforder-

²³ Aufgrund der erhöhten Anzahl an möglichen Reaktionen, liegt der absolut gemessene Anteil kooperativ beantworteter Kooperationsangebote strukturell weit unter dem, im 3PPD gemessenen, Anteil.

²⁴ Für eine detaillierte Definition des Analyseansatzes siehe Unterabschnitt 3.2.4.

lich. In der vorliegenden Arbeit wird anhand des, in Unterunterabschnitt 3.3.2.3 beschriebenen, Cerasia-Konflikts überprüft, ob die Unterschiede zwischen den drei getesteten Spielmechanismen, welche mithilfe der Modell-basierten Spiele ermittelt werden konnten, auch in realitätsnahen Szenarien beobachtet werden können. Die Betrachtung von relativen Anteilen von Ketten temporärer Verschlechterungen ist hierbei zwar weniger präzise, als die Analyse konkreter Kooperationszüge, ist dafür jedoch universell einsetzbar und unabhängig von der Anzahl möglicher Strategiekombinationen (vgl. Chinczewski, 2019). Abbildung 5.10 zeigt in diesem Zusammenhang die Verteilung der Anteile beobachteter Verschlechterungsketten nach Spielmechanismen und vergleicht die resultierenden, arithmetischen Mittelwerte.

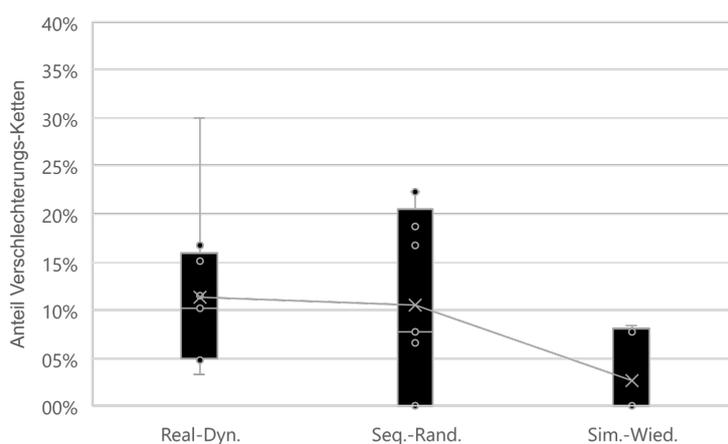


Abbildung 5.10: Beobachteter Anteil von Ketten temporärer Verschlechterungen im Cerasia-Konflikt

Analog zu den vorangegangenen Analysen, lässt sich auch auf Grundlage der verallgemeinerten Kenngröße beim *real-dynamischen* Spielmodus ein höherer Anteil von Verschlechterungen beobachten, welche in direkter Folge mit einer weiteren Verschlechterung beantwortet werden. Die Probanden sind, unter Anwendung dieses Spielmechanismus, demnach tendenziell eher bereit temporäre Verschlechterungen einzugehen und als Reaktion auf entsprechende, koordinative Angebote der Gegenspieler ebenfalls eine temporäre Verschlechterung in Kauf zu nehmen.

Tabelle 5.7: Deskriptive Auswertung der Verteilung von Folgen temporärer Verschlechterungen (CER)

Spiel	Spiel-Mechanismus	Quantil-Analyse					Arith. Mittel
		Min.	25% Quant.	Median	75% Quant.	Max.	
CER	Real-dyn.	3.33%	4.92%	10.14%	15.91%	30.00%	11.34%
	Seq.-rand.	0.00%	0.00%	7.69%	20.49%	22.22%	10.47%
	Sim.-wied.	0.00%	0.00%	0.00%	8.01%	8.33%	2.71%

Im Gegensatz dazu, kann beim *simultan-wiederholten* Spielmodus nur in 33.3% der Spiele eine kooperative Kette von Verschlechterungen beobachtet werden. Betrachtet man den *sequenziell-randomisierten* Spielmodus, weicht der Mittelwert nur unwesentlich von dem, im *real-dynamischen* Spiel beobachtet, Mittelwert ab, weist jedoch eine höhere Varianz in der Verteilung auf. In 66.6% der durchgeführten Spiele im *sequenziell-randomisierten* Spielmodus konnte mindestens eine Kette von Verschlechterungen beobachtet werden. Insgesamt decken sich die Beobachtungen sowohl strukturell, als auch inhaltlich mit den vorangegangenen Analysen. Eine Übertragung des verallgemeinerten Analyseansatzes scheint auf Basis der deskriptiven Hinweise möglich und zielführend. Eine multivariate Analyse bleibt dennoch notwendig, um die gemachten Beobachtungen und Schlussfolgerungen statistisch signifikant zu stützen.

5.1.3 Auswahl und Abgrenzung geeigneter multivariater Methoden

Nach dem initialen, deskriptiven Überblick über die experimentelle Datenbasis, widmet sich der folgende Abschnitt der Herleitung konkreter, multivariater Methoden zur Validierung der, in Abschnitt 3.2 abgeleiteten, Hypothesen. Im Zentrum steht hierbei die differenzierende Analyse der drei getesteten Spielmechanismen, im Bezug auf deren individuelle Auswirkungen auf das Koordinationsverhalten der Probanden. Während im deskriptiven Teil lediglich die endogenen Variablen und deren Ausprägungen betrachtet wurden, erlauben multivariate Verfahren zusätzlich die Integration von Kontrollvariablen und erlauben statistisch signifikante Aussagen über die bereits beobachteten Unterschiede zwischen den drei Treatments. In diesem Zusammenhang werden im Folgenden zunächst generelle Anforderungen an die benötigte Modellspezifikation erörtert und mögliche Verfahren eingegrenzt. In einem zweiten Schritt wird, abhängig von der Skalierung und den vorliegenden Eigenschaften jeder untersuchten endogenen Variablen, ein System zur Auswahl passender Verfahren vorgestellt.

5.1.3.1 Generelle Anforderungen an die Modellspezifikation

Zur Aufdeckung statistischer Zusammenhänge zwischen einer endogenen Variablen und (mehreren) exogenen Variablen bietet die Verfahrensklasse der **multivariaten Regression** eine umfassende und zielführende Auswahl an Werkzeugen zur spezifischen Analyse an. Neben der reinen Identifikation von Zusammenhängen oder Unterschieden, kann mithilfe von Regressionsverfahren auch die Stärke der beobachteten Effekte und die Richtung ermittelt werden, in welche sich die endogene Variable, bei einer Veränderung einer exogenen Variablen bewegt. In der vorliegenden Arbeit steht allerdings nicht die exakte Prognose von Spielergebnissen, in Abhängigkeit der getesteten Spielmechanismen, im Vordergrund, sondern vielmehr die generelle Identifikation von strukturellen Unterschieden zwischen den einzelnen Treatments. Unter Berücksichtigung des hypothetisch-deduktiven Forschungsansatzes dieser Arbeit, ist daher auch explizit nicht die Maximierung des Bestimmtheitsmaßes R^2 oberste Maxime bei der Konstruk-

tion der Regressionsmodelle, sondern vielmehr die Überprüfung der, in Kapitel 3 hergeleiteten, Hypothesen.

Die Auswahl eines geeigneten Regressionsmodells, welches zur Beantwortung der gestellten Hypothesen herangezogen werden kann, hängt eng mit der zugrundeliegenden Charakteristik der Datenbasis zusammen. Je nach Skalierung und Eigenschaften der Daten eignen sich verschiedene Schätzfunktionen (kurz: Schätzer), um auf Grundlage der empirischen Daten einer Stichprobe einen Schätzwert zu ermitteln und hiermit Informationen über die Grundgesamtheit abzuleiten. Unabhängig von der Art des Schätzers existieren drei übergeordnete Gütekriterien, welche für jeden Schätzer erfüllt sein sollten (vgl. Das, 2019, S. 116):

1. **Erwartungstreue** - Ein Schätzer ist erwartungstreu, wenn der Erwartungswert $E(g_n)$ dem wahren Parameter γ entspricht²⁵.
2. **Konsistenz** - Eine Schätzfunktion ist konsistent, wenn sie sich mit steigendem n immer mehr dem wahren Wert des Parameters γ annähert. Damit dies erfüllt sein kann, muss sich die Funktion mindestens asymptotisch erwartungstreu verhalten.
3. **Effizienz** - Ein Schätzer ist genau dann effizient, wenn er von allen, in Frage kommenden, Schätzfunktionen die kleinste Varianz aufweist.

Die Wahl eines effizienten Schätzers hängt von der Struktur der experimentellen Daten, sowie der Skalierung der betrachteten Variablen ab. Wie bereits in Unterabschnitt 5.1.1 diskutiert, handelt es sich bei allen, im Zuge dieser Studie ausgewerteten, endogenen Variablen um stetige Messgrößen auf dem Intervall $[0, 1]$. Die exogenen Variablen (Treatments) und Kontrollvariablen (Lerneffekte, etc.) sind hingegen dichotom²⁶ skaliert. Statistisch betrachtet, handelt es sich bei der vorliegenden Datenstruktur um Paneldaten. Paneldaten werden immer genau dann erzeugt, wenn für mehrere Merkmalsträger zu verschiedenen Zeitpunkten (bzw. unter dem Einfluss verschiedener Treatments) Daten erhoben werden. Der Vorteil von Paneldaten besteht hierbei in der Tatsache, dass sowohl Unterschiede zwischen den einzelnen Merkmalsträgern, als auch die Dynamik, welche innerhalb eines Merkmalsträgers über die verschiedenen Messungen hinweg beobachtet werden kann, statistisch ausgewertet bzw. kontrolliert werden kann (vgl. Das, 2019, S. 457). Im vorliegenden Experiment werden Paneldaten auf Grundlage der Betrachtung verschiedener Gruppen (Merkmalsträger) erzeugt, welche zu festgelegten Zeitpunkten drei unterschiedliche Treatments des gleichen Spiels spielen. Die Panels basieren zudem nicht auf absoluten Zeitpunkten, sondern bilden die relative Reihenfolge ab, in welcher die einzelnen Spiele innerhalb einer Session gespielt wurden. Die Kontrolle von Lerneffekte wird

²⁵ In empirischen Studien mit tendenziell kleinen Stichproben ist in der Regel ein asymptotisch erwartungstreuer Schätzer ausreichend, welcher sich mit steigendem n dem wahren Parameter γ annähert.

²⁶ Eine dichotome Menge bezeichnet eine Struktur aus zwei Teilen, die einander ohne Schnittmenge gegenüberstehen.

somit möglich. Gemäß der Definition von Das (2019, S. 460) handelt es sich bei dem vorliegenden Panel zudem um ein sog. *Mikro-Panel*, da die Anzahl der beobachteten Merkmalsträger N die Anzahl der betrachteten Zeitpunkte bzw. Treatments T weit übersteigt ($N \gg T$)²⁷.

Zur differenzierenden Analyse der experimentellen Daten werden Verfahren aus der übergeordneten Klasse der Paneldaten-Regressionsmodelle verwendet. Verfahren zur Varianzanalyse (ANOVA) oder parametrische Tests (z.B. *t-Test*) eignen sich zwar grundsätzlich auch zur Beantwortung der Forschungsfrage, bieten jedoch, aufgrund der Panelstruktur der Daten, nur unzureichende Werkzeuge zur Kontrolle exogener Effekte und werden in der Folge nicht näher betrachtet. Je nach Verteilung der endogenen Variablen, der zugrunde liegenden Skala, sowie der Korrelation der Fehlerterme, existieren jedoch unterschiedliche Methoden und Schätzfunktionen, welche im folgenden Abschnitt näher erläutert werden. Ziel ist es hierbei, einen einheitlichen Prozess zur Bestimmung valider Regressionsverfahren für jede endogene Variable zu entwickeln und hierbei die Charakteristika der jeweiligen Datenstrukturen zu berücksichtigen.

5.1.3.2 Differenzierte Herleitung des Analyseansatzes

Das mathematische Standardverfahren zur Schätzung von linearen Regressionsparametern ist die *Methode der kleinsten Quadrate*, welche in der Literatur meist als OLS-Methode (engl. *ordinary least squares*) aufgeführt wird. Die hierbei angewendete Ausgleichsrechnung ist eine statistische Optimierungsmethode, mit deren Hilfe, für eine Reihe von Messdaten, die unbekannten Parameter einer vorgegebenen Regressions-Funktion geschätzt werden können (vgl. Weisberg, 2005, S. 21 ff.). Ein OLS-Schätzer $\hat{\beta}$ kann hierbei als bester, linearer, unverzerrter Schätzer²⁸ bezeichnet werden, wenn die sogenannten Gauß-Markov-Kriterien erfüllt sind (vgl. Das, 2019, S. 66ff.). Die Erfüllung dieser Kriterien soll im Folgenden, unter Berücksichtigung der Datenstruktur, systematisch untersucht werden. Bei Verletzung einzelner Kriterien werden alternative Methoden und Korrekturfaktoren vorgestellt. Die Voraussetzungen, welche sich aus den Gauß-Markov-Annahmen ergeben, lauten wie folgt (vgl. Wooldridge, 2013, S. 79ff.):

- (I) **Linearität** - Das Regressions-Modell lässt sich als Kombination linearer Parameter darstellen.
- (II) **Exogenität** - Bei einer exogenen Variable in einem OLS-Modell ist der bedingte Erwartungswert des Störterms der Regressionsbeziehung, gegeben der jeweils betrachteten Beobachtung der erklärenden Variable, null. Aus der Exogenität folgt wiederum die Unkorreliertheit des Regressors mit dem Störterm.

²⁷ Der Gegenentwurf zu einem *Mikro-Panel* wird als *Makro-Panel* bezeichnet und zeichnet sich durch eine geringe Anzahl von Merkmalsträgern T , im Vergleich zu der Anzahl der beobachteten Zeitpunkte T , aus ($N \ll T$). Die Art der Panels hat wiederum Einfluss auf die Wahl geeigneter Regressionsmethoden und Schätzfunktionen, was in Unterunterabschnitt 5.1.3.2 nochmals gesondert erläutert wird.

²⁸ Im englischen Sprachgebrauch werden Schätzer, welche den Gauß-Markov-Kriterien genügen, häufig als *BLUE* bezeichnet (*best linear unbiased estimator*).

- (III) **Homoskedastizität** - Wenn die Varianz der Störterme (und somit die Varianz der erklärten Variablen selbst) für alle Ausprägungen der exogenen Variablen nicht signifikant unterschiedlich ist, spricht man von Homoskedastizität.
- (IV) **Ausschluss perfekter Multikollinearität** - Keine der im Modell verwendeten unabhängigen Variablen darf konstant sein. Weiterhin besteht kein exakter, linearer Zusammenhang zwischen den exogenen Variablen.

Neben den Gauß-Markov-Kriterien existieren noch weitere, strukturelle Anforderungen an OLS-Regressionsmodelle, welche bei der Auswahl einer geeigneten Schätzmethode berücksichtigt werden müssen. Diese beziehen sich u.a. direkt auf die Methode der Datenerhebung und sind daher, unter Berücksichtigung der vorliegenden Paneldaten-Struktur der experimentellen Daten, als besonders kritisch zu betrachten:

- (V) **Zufälligkeit der Stichprobe** - Die einzelnen Beobachtungen basieren aus einer zufällig ausgewählten Stichprobe und sind unabhängig voneinander.
- (VI) **Ausschluss von Autokorrelation** - Verschiedene Beobachtungen einer Variable dürfen untereinander nicht korreliert sein.

Während die Anforderungen der Gauß-Markov-Kriterien einer genaueren Prüfung bedürfen, lässt sich bereits aus der grundlegenden Struktur der vorliegenden Paneldaten ablesen, dass, aufgrund der mehrfach durchgeführten Messungen pro Merkmalsträger, die Anforderung an die Zufälligkeit der Stichprobe verletzt ist. Die OLS-Methode ist daher in ihrer Standard-Variante nur für Querschnittsdaten geeignet und muss für Paneldaten entsprechend angepasst werden²⁹. Zusätzlich kann aus dem gleichen Grund Autokorrelation zwischen den einzelnen Messpunkten einer statistischen Einheit nicht ausgeschlossen werden. Eine Interpretation zusammenhängender Messwerte ist in der beschriebenen Methodik, aufgrund der Unabhängigkeitsannahme, nicht vorgesehen (vgl. Das, 2019, S. 71). Damit wiederholte Messungen sinnvoll ausgewertet und kontrolliert werden können, muss die Reihenfolge der Beobachtungen einer logischen Ordnung gehorchen, wie dies zum Beispiel bei Zeitreihen oder der eindeutig gekennzeichneten Anwendung verschiedener Treatments der Fall ist.

Fixed-Effects & Random-Effects Modelle für Paneldaten mit stetigen Regressanden

Durch den Einsatz sogenannter *Fixed-Effects*- und *Random-Effects-Modelle* kann die Struktur der Paneldaten zielführend im Sinne der Forschungsfrage genutzt werden. Die beiden Verfahren unterscheiden sich hierbei in ihrem Umgang mit unbeobachteter Heterogenität im Modell. Bei Anwendung des Fixed-Effects-Modells wird nicht erklärte Heterogenität explizit berück-

²⁹ Die OLS-Methode geht von unabhängigen Datenpunkten aus. Beim hier vorliegenden „Repeated-Measures,-Ansatz würde die Regression wiederholte Messungen als unabhängig betrachten, was zwangsläufig zu Inkonsistenzen im Modell führt

sichtigt, wobei von einer Korrelation der unbeobachteten Effekte mit den exogenen Variablen ausgegangen wird. Zeitinvariante³⁰ Effekte werden folglich zwischen den einzelnen Gruppen als konstant angenommen und sind im Modell „fixiert,“. Diese Vereinfachung führt allerdings zu einem Verlust an Freiheitsgraden im Modell, sowie zum Verlust der Fähigkeit den Einfluss von zeitinvarianten, exogenen Variablen schätzen zu können. Im Random-Effekts-Modell wird die nicht beobachtete Heterogenität hingegen als unkorreliert zu der exogenen Variablen aufgefasst. Individuenspezifische Effekte werden als stochastisch bzw. zufällig interpretiert. Vor allem für die Analyse von Mikro-Panels, bei welchen das betrachtete Sample deutlich kleiner als die zugrundeliegende Population ist, bieten sich Random-Effects Modelle an (vgl. Das, 2019, S. 487). Im Gegensatz zum Fixed-Effects-Modell, wird im Random-Effects Modell auf einen sogenannten GLS-Schätzer (generalized least squares) zurückgegriffen, welcher auf einer matrixgewichteten, durchschnittlichen Berechnung von sowohl Within-Effekten, als auch Between-Effekte, aufsetzt (vgl. Das, 2019, S. 116–117). Im Gegensatz zum Fixed-Effects-Modell werden hierbei die Effekte nicht individuell für jede Gruppe einzeln bestimmt, sondern mithilfe von partiellem Pooling³¹ auch Effekte zwischen den Gruppen mit in die Berechnung der Koeffizienten mit einbezogen. Partielles Pooling kann hierbei als Kompromiss zwischen einer reinen Pool-Regression, welche bestehende Unterschiede zwischen den Gruppen nicht explizit untersucht, und einer Regression auf individueller Basis verstanden werden, welche gerade für geringe Sample-Größen unzureichende Ergebnisse liefert (vgl. B. F. Green & Tukey, 1960, S. 131).

Wendet man die beschriebenen Erkenntnisse und Einschränkungen auf die vorliegende Untersuchung an, ist aufgrund der zeitinvarianten Natur der getesteten Treatments (hier: Spielmechanismen) eine Fixed-Effects-Regression nicht empfehlenswert. Auch die Struktur der Daten, welche eine im Vergleich zu den Merkmalsträgern geringe Anzahl an Treatments untersucht (Mikro-Panel), spricht für die Anwendung eines Random-Effects-Modells (vgl. Das, 2019, S. 508). Neben der rein qualitativen Beurteilung existieren jedoch auch statistische Tests, welche, auf Grundlage der Korrelation zwischen der unbeobachteten Heterogenität und den exogenen Variablen des Modells, eine Modellempfehlung erlauben. Im folgenden wird hierzu der Panel-robuste Hausman-Test herangezogen und dessen Empfehlungen bei der Auswahl geeigneter Modelle zur Beantwortung der Hypothesen entsprechend berücksichtigt (vgl. Das, 2019, S. 507–508).

Tobit-Modelle für Paneldaten-Regressionen mit rechts-zensierten Daten

Von zensierten Daten wird im statistischen Sinne immer dann gesprochen, wenn zwar für die aggregierte Stichprobe Informationen über die konkreten Werte der exogenen Variablen vorliegen,

³⁰ Die Zeitinvarianz ist in der Systemtheorie die Eigenschaft eines Systems, zu jeder Zeit das gleiche Verhalten bei gleicher Eingabe zu generieren.

³¹ Unter dem Begriff „Pooling,“ wird die Bündelung einzelner, unabhängiger Datenpunkte, ohne Berücksichtigung der zeitlichen Struktur, bezeichnet. Der Vorteil ist hierbei eine Erhöhung der Anzahl vergleichbarer Datenpunkten, was robustere Ergebnisse erwarten lässt. Durch die Bündelung kann es allerdings auch zu einer Überlagerung relevanter Effekte kommen, welche sich aus der Zeitreihe oder den getesteten Gruppen ergeben (vgl. Das, 2019, S.16 bzw. S.518).

auf individueller Ebene jedoch nicht für alle Datenpunkte ein valider Wert für die untersuchte Variable ermittelt werden kann (vgl. Das, 2019, S. 191). Im vorliegenden Fall kann es zum Beispiel vorkommen, dass umfangreiche Informationen zur anteiligen Realisierung eines gewissen Spiel-Zustandes im getesteten Treatments vorliegen, der spezifische Zustand jedoch in einigen Spielen nie erreicht wurde. In solchen Fällen spricht man von einer rechts-zensierten Verteilung, da sich ein Teil der Daten auf einen Randwert der verwendeten Skala (hier: 0%) konzentriert. Zensierte Modelle eignen sich grundsätzlich nicht für die Anwendung eines OLS-Schätzers³² und bedürfen einer alternativen Methode zur Schätzung der Parameter.

Eine Methode zum Umgang mit rechts-zensierten Daten in Regressionsmodellen wurde erstmals von Tobin (1958, S. 24–36) vorgeschlagen, welche als Tobit's probit bzw. Tobit-Modell bezeichnet wird. Zentraler Unterschied zu den bereits beschriebenen Fixed-Effects und Random-Effects Modellen stellt hierbei die Schätzung der Regressionsparameter mithilfe eines Maximum-Likelihood Schätzers (ML) dar (vgl. W. Greene, 2004; bzw. W. H. Greene, 1981). Die einzelnen Schritte zur Berechnung des Schätzers gleichen hierbei denen des Logit bzw. Probit-Modells, können jedoch auch auf nicht-dichotome, endogene Variablen angewendet werden. Unter Berücksichtigung der natürlichen unteren und oberen Schranken der zugrunde liegenden Skala, können mit dieser Methode, trotz zensierter Daten, effiziente Schätzer für die einzelnen Koeffizienten der Regression ermittelt werden. Für eine detaillierte Herleitung der Schätzfunktion sei auf die statistische Fachliteratur verwiesen (z.B. Das (2019, S. 192–193)).

Ableitung eines strukturierten Prozesses zur Auswahl geeigneter Modelle

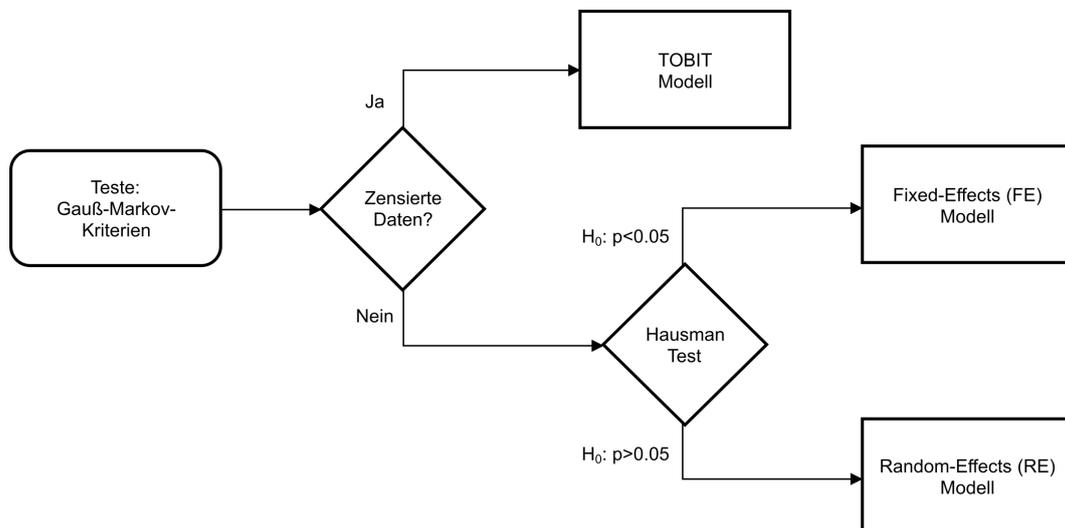


Abbildung 5.11: Strukturierter Prozess zur Auswahl geeigneter Regressions-Verfahren und Schätzfunktionen

³² Modelle mit rechts-zensierten Daten eignen sich nicht für das OLS-Verfahren, da der Erwartungswert des Fehlerterms ε nicht null beträgt (vgl. Das, 2019, S. 192).

Entsprechend dem übergeordneten Ziel einen strukturierten Prozess zur Auswahl passender Verfahren für die einzelnen, zu testenden Modelle zu identifizieren, muss zunächst zu Beginn einer jeden Analyse getestet werden, ob die Annahmen der Gauß-Markov-Kriterien erfüllt sind und sich die Datenbasis grundsätzlich für eine Regressionsanalyse eignet. Die oben beschriebenen Verletzungen einzelner Bedingungen aufgrund der Panel-Struktur der Daten, wird hierbei bereits beachtet und in den folgenden Schritten adressiert. In einem zweiten Schritt wird ermittelt, ob für die betrachtete endogene Variable zensierte Daten vorliegen. Liegen zensierte Daten vor, wird, unter Angabe der identifizierten Schranken, ein Tobit-Modell berechnet. Falls der Test negativ ausfällt, wird in einem zweiten Schritt, unter Berücksichtigung des panel-robusten Hausman-Tests, geprüft, ob ein Fixed-Effects oder Random-Effects Modell konsistentere Ergebnisse erwarten lässt (vgl. Hausman, 1978). Abbildung 5.11 veranschaulicht die einzelnen Schritte des Auswahl-Prozesses grafisch. Falls sich mehrere Verfahren für eine spezifische Analyse eignen, werden diese in einem nachgelagerten Schritt, im Zuge einer Robustheitsanalyse, ebenfalls statistisch untersucht und diskutiert.

Die Überprüfung der grundlegenden Annahmen der Regressionsmodelle, auf Grundlage der Gauß-Markov-Kriterien, wird im Folgenden zentral für alle endogenen Variablen überprüft. Die detaillierte Herleitung der konkreten Regressionsmodelle und Schätzfunktionen zur Hypothesenüberprüfung erfolgt jeweils separat zu Beginn eines jeden analytischen Kapitels.

Überprüfung der Gauß-Markov-Annahmen für die vorliegende Datenbasis

Anhand der sechs Anforderungen an lineare Regressionsmodelle, welche sich direkt oder indirekt aus dem Gauß-Markov-Theorem ergeben und zu Beginn des Abschnitts bereits allgemein eingeführt wurden, sollen im Folgenden die vorliegenden experimentellen Daten evaluiert werden³³. Der Fokus liegt hierbei auf der Identifikation von Verletzungen der Annahmen, sowie der Vorstellung von Maßnahmen und Methoden, um konsistente Modelle zu gewährleisten:

- (I) **Linearität** - Die Anforderung an lineare Zusammenhänge zwischen endogenen und exogenen Variablen des Modells ist in der vorliegenden Untersuchung per Definition gegeben, da es sich bei allen Regressanden um kategorisch skalierte Variablen (Treatments) handelt, welche in der Regression nur die binären Werte 0 und 1 annehmen können (vgl. Hardy, 2007). Da die Verbindung zweier Punkte per Definition linear ist, kann an dieser Stelle der ansonsten empfohlene Test auf *Pearson-Produkt-Moment-Korrelation*, oder eine alternative Mediationsanalyse zur optischen Identifikation von Linearität zwischen metrisch skalierten Variablen entfallen³⁴ (vgl. Weisberg, 2005, S. 2–9). Die identische

³³ Wie bereits diskutiert wurde, gibt das Gauß-Markov-Theorem an, unter welchen Bedingungen ein OLS-Schätzer als *BLUE* (*best linear unbiased estimator*) angenommen werden kann. Für Paneldaten-Modelle und GLS-Schätzer gelten einige Annahmen nur bedingt oder werden durch erweiterte Verfahren kompensiert. Auf diese Ausnahmen wird an entsprechender Stelle dezidiert eingegangen.

³⁴ Die optische Identifikation von Linearität kann mithilfe des *LOWESS-Verfahren* (*locally weighted scatterplot smoothing*) vereinfacht werden.

Argumentation gilt für die verwendeten Kontrollvariablen „Erfahrung„ und „Spieltyp“, welche ebenfalls als Dummy-Variablen in das Regressionsmodell eingehen.

- (II) **Exogenität** - Um eine möglichst geringe Korrelation des Regressors mit dem Störterm und somit eine möglichst geringe Endogenität zu realisieren, muss eine Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Hierzu zählen neben Messfehlern und nicht erfassten exogenen Variablen, auch endogene Variablen, welche erst mit zeitlicher Verzögerung auf exogene Einflüsse reagieren. Die Vermeidung von Messfehlern wurde für die vorliegende Untersuchung bereits ausführlich in Kapitel 4 diskutiert. Bestand dennoch der Verdacht auf korrumpierte Daten, wurden diese vorsorglich aus dem Datensatz entfernt. Exogene Variablen, welche nicht im Zentrum der Analyse stehen, aber dennoch einen Einfluss auf die endogene Variable erwarten lassen, wurden als Kontrollvariablen im Modell berücksichtigt. Die Gefahr einer möglichen Verzögerung der Effekte ist ebenfalls als minimal zu bewerten, da die einzelnen Treatments bzw. angewendeten Spielmechanismen eine Reaktion in Echtzeit durch die Probanden erfordern. Zudem wird in allen berechneten Modelle auf Lerneffekte kontrolliert, um für eine eventuelle Beeinflussung des individuellen Verhaltens, aufgrund von vorausgegangenen Spielen, zu kontrollieren.
- (III) **Homoskedastizität** - Wenn die Varianz der Störterme für alle Ausprägungen der exogenen Variablen unterschiedlich ist, spricht man von Heteroskedastizität. Mögliche Ursachen für Heteroskedastizität sind vielfältig und vergleichbar mit den bereits beschriebenen Ursachen von Endogenität, gehen jedoch primär von einem fehlspezifizierten Modell aus (vgl. Weisberg, 2005, S. 11). Da der lineare Zusammenhang in den vorliegenden Untersuchung eindeutig gegeben ist (vgl. Annahme (I) Linearität), liegt ein vergleichsweise geringer Grad an Heteroskedastizität vor. Dennoch wird in den folgenden Analysen mögliche Heteroskedastizität mithilfe der Verwendung von heteroskedastie-robusten Standardfehlern adressiert.
- (IV) **Ausschluss perfekter Multikollinearität** - Grundsätzlich stellt die Existenz von Multikollinearität keine Verletzung des Gauß-Markov-Theorems dar, schmälert allerdings die Modellgüte und Kohärenz des Modells durch die Verwendung stark korrelierender, exogener Variablen. Lediglich perfekte Multikollinearität stellt eine Verletzung der Voraussetzungen dar, wird von modernen Statistik-Programmen (hier: *STATA* und *SPSS*) jedoch automatisch abgefangen. Zusätzlich kann mithilfe des sogenannten Varianzinflationsfaktors (VIF) auf Basis der Korrelationsmatrix der am Modell beteiligten Variablen ein Test auf Multikollinearität erfolgen³⁵. Durchschnittliche VIF-Werte unterhalb von 10 gelten

³⁵ Aufgrund der vergleichbaren Aussagen der Korrelationsmatrix und des Varianzinflationsfaktors, wird in den folgenden Analysen nur letzterer aufgeführt. Im Zuge der Überprüfung der Gauß-Markov-Kriterien, wurden jedoch auch die Korrelationsmatrizen für alle Modelle berechnet und auf mögliche Verstöße überprüft.

als unproblematisch und werden im folgenden für alle berechneten Modelle gesondert aufgeführt (vgl. Wooldridge, 2013, S. 94).

- (V) **Zufälligkeit und Unabhängigkeit der Stichprobe** - Wie bereits bei der Einführung der einzelnen, in Frage kommenden Schätzfunktionen und Verfahren erläutert wurde, sind Paneldaten per Definition, aufgrund wiederholter Messungen für ein und das selbe Individuum, weder zufällig noch unabhängig. Fixed-Effect, Random-Effects und Tobit-Modelle nutzen diese Einschränkung jedoch gezielt aus, um sowohl Within-, als auch Between-Effekte zu identifizieren und konsistente Koeffizienten zu erzeugen³⁶. Für die zielführende Analyse des Einflusses der einzelnen Treatments, auf Grundlage wiederholter Messungen, ist die Verwendung kontrolliert abhängiger Messwerte daher unvermeidbar und notwendig.
- (VI) **Ausschluss von Autokorrelation** - Analog zur Annahme der Unabhängigkeit der Beobachtungen muss bei der vorliegenden Datenbasis von experimentell bedingter Autokorrelation, zwischen verbundenen Beobachtungen, ausgegangen werden. Durch den Einsatz von Random-Effects Modellen und der korrespondierenden GLS-Schätzer, kann diese experimentell bedingte Autokorrelation jedoch erfasst und modellintern korrigiert werden (vgl. Das, 2019, S. 109 ff.). Zudem kann das Auftreten von Autokorrelation durch die Vernachlässigung relevanter, exogener Variablen im Modell begünstigt werden. In allen, im Rahmen dieser Arbeit getesteten, Modellen wurden daher Kontrollvariablen integriert, welche nicht-adressierte Heterogenität erklären und erwartete Nebeneffekte kontrollieren. Aus dem identischen Grund wurden beim Einsatz von Fixed-Effects Modellen geclusterte Standardfehler³⁷ eingesetzt, welche Autokorrelation berücksichtigen (vgl. White, 1980, S. 817 ff.).

Nach Überprüfung der Annahmen und der Adressierung von möglichen Schwachstellen durch adäquate statistische Verfahren und Gegenmaßnahmen, widmet sich der kommende Abschnitt der konkreten Anwendung des hergeleiteten Prozesses zur Identifikation geeigneter Regressionsverfahren auf Grundlage der individuellen Datenstruktur. Hierbei werden zunächst die beiden zentralen Experimente, in welchen das 3-Spieler Gefangenendilemma und das erweiterte 3-Spieler Gefangenendilemma untersucht wurden, systematisch und dem hypothetisch-deduktiven Ansatz dieser Arbeit folgend, analysiert. Die Ergebnisse aus der Einzelanalyse der beiden Experimente werden zudem nachfolgend in einem aggregierten Modell überprüft, wobei auch der Einfluss des jeweils betrachteten Spiels auf die Hypothesen gesondert betrachtet wird. Auf dieser Grundlage werden, mithilfe einer explorativen Analyse, zentrale Annahmen und

³⁶ Bei Fixed-Effects Modellen werden ausschließlich Within-Effekte geschätzt, während bei Random-Effects Modellen bewusst auch Effekte zwischen den einzelnen Gruppen berücksichtigt werden.

³⁷ Konkret wurde an dieser Stelle der „Huber-White Sandwich Estimator“, auch bekannt als „Huber-White Standardfehler“ eingesetzt (vgl. White, 1980, S. 817 ff.).

Hypothesen der Forschungsfrage auf reale, asymmetrische Spiele übertragen und analog auf statistische Signifikanz getestet. Als Rahmen dieser Untersuchung dient der in Abschnitt 3.3 vorgestellte Cerasia-Konflikt.

5.2 Experiment I: Interaktives 3-Spieler-Gefangenendilemma

5.2.1 Analyseansatz und Modellüberblick

Das 3-Spieler-Gefangenendilemma (3PPD) lässt, aufgrund seines übersichtlichen Zustandsraumes und der auf die Forschungsfrage zugeschnittenen Spielstruktur, eine fokussierte Überprüfung der in Kapitel 3 definierten Hypothesen zu. Entsprechend des, in Abbildung 5.11 dargestellten, Prozesses zur Auswahl geeigneter Regressions-Verfahren, werden zunächst effiziente Modelle identifiziert und in Tabelle 5.8 aufgelistet. Jedes Regressionsmodell adressiert hierbei eine oder mehrere Hypothesen, welche in der Folge statistisch verifiziert oder falsifiziert werden sollen.

Tabelle 5.8: Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für das 3PPD

Regressions-Modell	Korrespondierende Hypothesen	Zensierte Daten	Panel-robuster Hausman-Tests	Empfohlenes Modell
3PPD.1	H.I-1, H.I-2	✗	$\chi^2(3) = 7.48, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD.2	H.II-1a	✓	-	→ TOBIT
3PPD.3	H.II-1b	✗	$\chi^2(3) = 7.27, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD.4	H.II-2a	✗	$\chi^2(3) = 4.86, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD.5	H.II-2b	✗	$\chi^2(3) = 7.27, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD.6a	H.III-1, H.III-2, H.III-3	✓	-	→ TOBIT
3PPD.6b	H.III-1, H.III-2, H.III-3	✓	-	→ TOBIT

Die einzelnen Analysen lassen sich für das 3PPD zudem in insgesamt drei „Fokusgruppen“ unterteilen, welche jeweils unterschiedliche Aspekte des koordinativen Verhaltens, in Abhängigkeit des Spielmechanismus, beleuchten und zu einer umfassenden Beantwortung der Forschungsfrage beitragen. Im einzelnen handelt es sich hierbei um die Fokusgruppen „Spiel-Performance“ (3PPD.1), „Realisierte Koordinationszustände“ (3PPD.2, 3PPD.3, 3PPD.4 und 3PPD.5) und „Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten“ (3PPD.6a und 3PPD.6b). Die Regressionsergebnisse der einzelnen Analysen werden im Folgenden für jede Fokusgruppe gesondert ausgewiesen und anschließend, im Bezug auf die korrespondierenden Hypothesen, diskutiert.

5.2.2 Statistische Analysen zur Überprüfung der Hypothesen

5.2.2.1 Spiel-Performance

Die Analyse der durchschnittlichen Spiel-Performance hat die Überprüfung von These I zur Aufgabe, welche einen Einfluss des Spielmechanismus und der zugrunde liegenden Informationsstruktur auf die durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels unterstellt.

Tabelle 5.9: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der erreichten \emptyset -Payoffs im 3PPD

Fokusgruppe		Realisierte \emptyset -Payoffs				
Bereich	Modell	3PPD.1				
	Endogene Variable	[\emptyset -Payoffs]				
Nr.	Exogene Variablen	Koeff.	Std.-Fehler	z-Wert	p-Wert	Sig.
Treat.	Treatments					
	1 Sim.-Wied. (Ref.)	-	-	-	-	-
	2 Real-Dyn.	0,118	0,05	2,50	0,010	**
3 Seq.-Rand.	0,112	0,04	2,51	0,010	**	
Lern.	Lerneffekte					
	4 Anzahl Spiele	0,007	0,02	0,30	0,760	
Konstante		0,353	0,06	6,01	0,000	***
Modell-Klasse		Random-Effects				
Cluster-Standardfehler		χ				
Anzahl Beobachtungen		58				
Anzahl Gruppen		22				
R^2_{within}		0,138				
$R^2_{between}$		0,461				
$R^2_{overall}$		0,131				
Wald $\chi^2(3)$		8,30				
Signifikanz ($Prob > \chi^2$)		0,040				
\emptyset -VIF		1,25				
Wald-Test		2>3	0,898			

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Aus **Modell 3PPD.1** geht hervor, dass sowohl im *real-dynamischen* Spielmodus, als auch im *sequenziell-randomisierten* Spielmodus signifikant höhere Durchschnitts-Payoffs erzielt werden, als im *simultan-wiederholten* Spiel. Die simultane Zugauswahl und die damit einhergehende, geringere Reichhaltigkeit der Informationsstruktur dieses Spielmechanismus wirkt sich im 3PPD somit negativ auf die Gesamt-Performance des Spiels aus. Die Annahmen der beiden Hypothesen H.I-1 und H.I-2 können daher im 3PPD gestützt werden. Der Lerneffekt, auf welchen innerhalb der Regression kontrolliert wurde, hat entgegen der initialen Vermutung keinen signifikanten Einfluss auf die erreichten Payoffs.

5.2.2.2 Realisierte Koordinationszustände

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt bereits signifikante Unterschiede zwischen den realisierten Payoffs, in Abhängigkeit des Spielmechanismus, identifiziert werden konnten, geht die Analyse im Folgenden einen Schritt weiter und nimmt eine zustandsorientierte Perspektive ein. Korrespondierend zu These II, soll abhängig vom Spielmechanismus, der Zugreihenfolge und der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur der Einfluss auf anteilig erreichte Zustände hoher bzw. niedriger Koordination im 3PPD untersucht werden.

Tabelle 5.10: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der realisierten Zustände im 3PPD

Bereich	Fokusgruppe		Anteilig realisierte Zustände							
	Modell	Endogene Var.	3PPD.2		3PPD.3		3PPD.4		3PPD.5	
	Nr.	Exogene Var.	[CCC]		[CCX]		[DDD]		[DDX]	
			Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.
			(p-Wert)		(p-Wert)		(p-Wert)		(p-Wert)	
Treat.	Treatments									
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-		-		-		-	
	2	Real-Dyn.	0,565 (0,000)	***	0,256 (0,003)	**	-0,074 (0,364)		-0,256 (0,003)	**
3	Seq.-Rand.	0,411 (0,003)	**	0,236 (0,004)	**	-0,161 (0,037)	*	-0,236 (0,004)	**	
Lern.	Lerneffekte									
	4	Anzahl Spiele	0,084 (0,177)		0,018 (0,671)		0,017 (0,670)		-0,018 (0,671)	
Konstante			-0,441 (0,026)	*	0,168 (0,117)		0,403 (0,000)	***	0,832 (0,000)	***
Modell-Klasse			TOBIT		RE		RE		RE	
Cluster-Standardfehler			X		X		X		X	
Anzahl Beobachtungen			58		58		58		58	
Anzahl Gruppen			22		22		22		22	
R^2_{within}			n.a.		0,195		0,093		0,195	
$R^2_{between}$			n.a.		0,460		0,183		0,460	
$R^2_{overall}$			n.a.		0,168		0,071		0,168	
Wald $\chi^2(3)$			15,58		11,46		4,53		11,46	
Signifikanz ($Prob > \chi^2$)			0,000	***	< 0,001	***	0,210		< 0,001	***
Ø-VIF			1,26		1,26		1,26		1,26	
Wald-Tests			2>3	0,151	2>3	0,803	2>3	0,260	2>3	0,803

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Primär werden hierbei Zustände mit besonders hohen bzw. niedrigen koordinativen Anforderungen systematisch identifiziert und deren tatsächliche Realisation differenziert analysiert. Be-

zogen auf die einzelnen Treatments kann so nicht nur identifiziert werden, welche Spielmechanismen im Spielverlauf bevorzugt zu koordinierten Ergebnissen führen, sondern auch welche Mechanismen schlecht-koordinierte Kompositionen effizienter verhindern.

Modell 3PPD.2 analysiert in diesem Zusammenhang zunächst den Zustand trilateraler Kooperation [CCC] und vergleicht die anteilig erreichte Zustandshäufigkeit zwischen den drei Spielmechanismen. Analog zu den Ergebnissen der Payoff-Analyse einigen sich die Spieler unter dem Diktat des *real-dynamischen* Spielmechanismus signifikant häufiger auf trilaterale Kooperation, als im *simultan-wiederholten* Spielmechanismus. Auch im *sequenziell-randomisierten* Modus wird der Zustand höchster Kooperation häufiger erreicht, als im *simultan-wiederholten* Spiel. Hypothese II-1a kann damit gestützt werden.

Modell 3PPD.3 relaxiert die Bedingung von Modell 3PPP.2 und betrachtet, neben dem reinen Zustand trilateraler Kooperation, auch alle Zustände, in welchen maximal ein Spieler nicht kooperiert ([CCX]). Im 3-Spieler-Gefangenendilemma verändert diese Robustheitsanalyse die Aussage der primären Analyse nur unwesentlich. Sowohl der *real-dynamische*, als auch der *sequenziell-randomisierte* Spielmechanismus führen weiterhin zu einer signifikant höheren Realisation koordinativer Zustände. Hypothese II-1b kann daher ebenfalls gestützt werden.

Modell 3PPD.4 verfolgt den inversen Analyseansatz und betrachtet die anteilige Häufigkeit des Zustands geringster Kooperation, welcher dem Zustand trilateraler Defektion [DDD] entspricht. Entsprechend Hypothese II-2b soll untersucht werden, ob Spielmechanismen mit einer hohen Reichhaltigkeit der zugrundeliegenden Informationsstruktur (*Real-Dyn.* und *Seq.-Rand.*) in der Lage sind, ineffiziente, niedrig-kooperative Zustände besser zu verhindern, als Mechanismen mit einer vergleichsweise geringen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur (*Sim.-Wied.*). Obwohl sowohl im *real-dynamischen*, als auch im *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus durchschnittlich weniger trilaterale Defektionszustände erreicht werden, als im *simultan-wiederholten* Modus, kann diese Vermutung durch das betrachtete Modell nicht signifikant bestätigt werden³⁸. Hypothese II-2a muss für das 3PPD folglich verworfen werden.

Modell 3PPD.5 relaxiert die Bedingung trilateraler Defektion analog zu Modell 3PPD.3 und betrachtet zusätzlich auch Zustände, in welchen maximal ein Spieler von der Defektionslösung abweicht ([DDX]). Im Gegensatz zu Modell 3PPD.4 kann hier ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Zustände, mit vergleichsweise hoher Reichhaltigkeit der zugrunde liegenden Informationsstruktur (*real.-dyn.* und *seq.rand.*), vermeiden Zustände niedriger Kooperation signifikant besser, als Zustände mit niedriger Reichhaltigkeit der Informationsstruktur (*sim.-wied.*). Hypothese II-2b kann daher im 3PPD bestätigt werden. Da durch isolierte Betrachtung des 3-Spieler-Gefangenendilemmas (3PPD) kein eindeutiges Urteil über die Vermeidungsei-

³⁸ Der *sequenziell-randomisierte* Spielmechanismus unterscheidet sich hierbei bei der Zustandshäufigkeit trilateraler Defektion zwar signifikant zum 5%-Niveau vom *simultan-wiederholten* Spiel, eine Bestätigung der Hypothese II-2a lässt sich hieraus aber nicht eindeutig folgern.

genschaften nicht-kooperativer Zustände abgeleitet werden konnte, werden die hier diskutierten Hypothesen im weiteren Verlauf der Arbeit nochmals für das erweiterte 3PPD-N überprüft.

5.2.2.3 Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten

Während mithilfe der beiden vorangegangenen Analysen bereits erste Koordinative Unterschiede zwischen den Spielmechanismen aufgedeckt wurden, iteriert die dritte Fokusgruppe eine weitere inhaltliche Ebene tiefer und beschäftigt sich mit den verhaltensökonomischen Hintergründen der beobachteten Koordination. Konkret soll analysiert werden, inwiefern einzelne Spieler auf Kooperationsangebote anderer Spieler reagieren.

Tabelle 5.11: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse koordinativen Reaktionsverhaltens im 3PPD

Bereich	Fokusgruppe		Koordinative Reaktionsanalyse			
	Modell	Endogene Var.	3PPD.6a		3PPD.6b	
	Nr.		Exogene Var.	Anteil Koop.-Ketten (gesamt)		Anteil Koop.-Ketten (bereinigt)
			Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.
			(p-Wert)		(p-Wert)	
Treat.	Treatments					
	1	Real-Dyn. (Ref.)	-		-	
	2	Seq.-Rand.	-0,180 (0,002)	**	-0,210 (0,000)	***
3	Sim.-Wied.	-0,323 (0,000)	***	-0,307 (0,000)	***	
Lern.	Lerneffekte					
	4	Anzahl Spiele	-0,008 (0,786)		-0,016 (0,601)	
Konstante			0,381 (0,000)	***	0,424 (0,000)	***
Modell-Klasse			TOBIT		TOBIT	
Cluster-Standardfehler			X		X	
Anzahl Beobachtungen			58		58	
Anzahl Gruppen			22		22	
R^2_{within}			n.a.		n.a.	
$R^2_{between}$			n.a.		n.a.	
$R^2_{overall}$			n.a.		n.a.	
Wald $\chi^2(3)$			27,09		25,97	
Signifikanz ($Prob > \chi^2$)			0,000		0,000	
Ø-VIF			1,24		1,24	
Wald-Tests			2>3		2>3	
			0,019 *		0,117	

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Gemäß These III wird erwartet, dass Kooperationsangebote, unter Anwendung von Spielmechanismen mit einer hohen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, glaubhafter und effizienter kommuniziert werden können. Diese Annahme sollte sich wiederum in der relativen Häufigkeit von kooperativen Antworten auf initiale Kooperationsangebote widerspiegeln. Wie in Unterabschnitt 5.1.1 dargelegt wurde, kann der relative Anteil der zu untersuchenden Reaktionsketten jeweils mit (Modell 3PPD.6a) und ohne (Modell 3PPD.6b) Berücksichtigung von nicht klar interpretierbaren Zustandstransitionen erfolgen³⁹. Aus diesem Grund wird die Analyse im 3PPD und allen folgenden Spielen jeweils für beide Varianten durchgeführt und qualitativ diskutiert.

Modell 3PPD.6a stützt die initiale These und bestätigt alle in diesem Bereich aufgestellten Hypothesen. So werden im *real-dynamischen* Spielmechanismus signifikant mehr Kooperationsangebote mit einem korrespondierenden Kooperationszug, als im *simultan-wiederholten* Mechanismus beantwortet (vgl. Hypothese III-1). Auch im direkten Vergleich mit dem *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus, können im *real-dynamischen* Modus signifikant mehr 2-gliedrige Ketten von Kooperationszügen beobachtet werden (vgl. Hypothese III-2). Gleichzeitig weist der *sequenziell-randomisierte* Mechanismus einen signifikant höheren Anteil an Kooperationsketten, als der *simultan-wiederholte* Modus auf⁴⁰ (vgl. Hypothese III-3). Insgesamt ergibt sich zwischen den drei getesteten Spielmechanismen eine eindeutige und statistisch signifikante Reihenfolge bzgl. der Realisierung positiv beantworteter Kooperationsangebote. Der Spielmechanismus mit der höchsten Reichhaltigkeit der Informationsstruktur (*real-dynamisch*) erreicht hierbei den höchsten Grad positiv beantworteter Kooperationsangebote, gefolgt vom *sequenziell-randomisierten* Mechanismus, welchen eine geringere Reichhaltigkeit der Informationsstruktur auszeichnet. Mit großem Abstand folgt an letzter Stelle der *simultan-wiederholte* Mechanismus, welcher aufgrund seiner Informationsstruktur kaum koordinierende Züge zuzulassen scheint.

Modell 3PPD.6b unterscheidet sich nur unwesentlich von den, in in Modell 3PPD.6a gemachten, Beobachtungen. Die qualitative Reihenfolge zwischen den untersuchten Mechanismen bleibt bestehen, wobei im bilateralen Vergleich zwischen *sequenziell-randomisiertem* Mechanismus und *simultan-wiederholtem* Mechanismus die höhere Affinität des *sequenziell-randomisierten* Modus zu kooperativen Reaktionen noch signifikanter hervortritt. Umgekehrt kann im direkten Vergleich zwischen dem *real-dynamischen* und *sequenziell-randomisierten* Modus - trotz gleichbleibender Reihenfolge - kein eindeutig signifikanter Unterschied mehr festgestellt werden. Zusammengefasst können mithilfe der Robustheitsanalyse somit die Hypothesen III-1 und III-2 bestätigt werden. Hypothese III-3 konnte im 3PPD nicht zweifelsfrei bestätigt werden und bedarf weiterer Analysen.

³⁹ Die Analyse, welche auf dem bereinigten Datensatz basiert, welcher um nicht eindeutig interpretierbare Züge bereinigt wurde, kann hierbei als Robustheitsanalyse aufgefasst werden.

⁴⁰ Vgl. hierzu den Wald-Test ($2 > 3$), welcher einen signifikanten Unterschied zwischen dem *sequenziell-randomisierten* (Treatment-ID: 2) und dem *simultan-wiederholten* (Treatment-ID: 3) Treatment aufzeigt.

5.2.3 Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD

Durch die Analyse der Ergebnisse des 3-Spieler-Gefangenendilemmas konnte der Großteil der initial gestellten Hypothesen bestätigt werden. Eine Übersicht der Ergebnisse für das 3PPD findet sich in Tabelle 5.12.

Tabelle 5.12: Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD

Fokus	Hypothesen	Hypothesenüberprüfung
		3PPD
Performance	These I: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die erreichte, durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels.	
	Hypothese I-1: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „real-dynamischen“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
	Hypothese I-2: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
Zustände	These II: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die anteilig erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination.	
	Hypothese II-1a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch höchsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓
	Hypothese II-1b: Spielzustände mit einem hohen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓
	Hypothese II-2a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch geringsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✗
	Hypothese II-2b: Spielzustände mit einem niedrigen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓
Reaktionen	These III: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten bei angebotener Kooperation.	
	Hypothese III-1: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓
	Hypothese III-2: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.	✓
	Hypothese III-3: Kooperationen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	(✓)

5.3 Experiment II: Erweitertes 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischenoption

5.3.1 Implikation und Konzeption der Erweiterung

Zur Unterstützung der gemachten Erkenntnisse und Adressierung von Unklarheiten, soll im weiteren Verlauf der Arbeit der analytisch-hypothesengetriebene Ansatz auf ein erweitertes, spieltheoretisches Szenario übertragen werden. Konkret wird hierbei das bereits analysierte 3-Spieler Gefangenendilemma, um eine weitere Handlungsoption für jeden beteiligten Spieler ergänzt. Die sogenannte Nischen- bzw. Ausweichoption, ermöglicht es den individuellen Probanden, sich gegen eine fixe Kompensation temporär aus dem Konflikt zurückzuziehen. Die

Implementierung dieser Option stellt hierbei primär eine Reaktion auf die Kritik von Colman (1982) dar, welcher die grundsätzliche Eignung des klassischen Gefangenendilemmas für realitätsnahe Konfliktmodellierung in Frage stellt⁴¹. Für eine detaillierte qualitative Diskussion der Erweiterung und eine quantitative Analyse der spieltheoretischen Rahmenbedingungen, sei an dieser Stelle zudem auf Unterabschnitt 3.3.2 verwiesen.

5.3.2 Analyseansatz und Modellüberblick

Analog zur Analyse des 3-Spieler-Gefangenendilemmas (3PPD), folgt auch die Analyse des erweiterten 3-Spieler Gefangenendilemmas mit Nischenoption (3PPD-N) dem, in Abbildung 5.11 dargelegten, Prozess zur Auswahl geeigneter Regressionsverfahren. Ziel der Analysen ist hierbei zum einen die Überprüfung aller, bereits im 3PPD getesteten, Hypothesen anhand eines zweiten, vom ersten Spiel vollkommen unabhängigen, Datensatzes. Zum anderen eröffnen sich durch das geänderte Szenario neue Fragestellungen und begleitende Hypothesen, welche in den folgenden Regressions-Analysen zusätzlich adressiert werden sollen.

Tabelle 5.13: Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für das 3-Spieler-Gefangenendilemma mit Nischenoption (3PPD-N)

Regressions-Modell	Korrespondierende Hypothesen	Zensierte Daten	Panel-robuster Hausman-Tests	Empfohlenes Modell
3PPD-N.1	H.I-1, H.I-2	✗	$\chi^2(3) = 2.45, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD-N.2	H.II-1a	✓	-	→ TOBIT
3PPD-N.3	H.II-1b	✓	-	→ TOBIT
3PPD-N.4	H.II-2a	✗	$\chi^2(3) = 7.9, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD-N.5	H.II-2b	✗	$\chi^2(3) = 0.8, p > 0.05$	→ Random effects
3PPD-N.6	H.II-3	✓	-	→ TOBIT
3PPD-N.7a	H.III-1, H.III-2, H.III-3	✓	-	→ TOBIT
3PPD-N.7b	H.III-1, H.III-2, H.III-3	✓	-	→ TOBIT

⁴¹ Die initiale Reaktion auf die Kritik von Colman (1982) stellt die Erweiterung des Gefangenendilemmas auf 3 Spieler im Zuge der Entwicklung des 3PPD dar.

5.3.3 Statistische Analysen zur Überprüfung der Hypothesen

5.3.3.1 Spiel-Performance

Analog zur Analyse des 3PPD werden zunächst die durchschnittlich erreichten Gesamtpayoffs vergleichend analysiert, um grundlegende Unterschiede zwischen den einzelnen Spielmechanismen zu identifizieren.

Tabelle 5.14: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der erreichten \emptyset -Payoffs im 3PPD-N

Bereich	Fokusgruppe		Realisierte \emptyset -Payoffs				
	Nr.	Exogene Variablen	Koeff.	Std.-Fehler	z-Wert	p-Wert	Sig.
Treat.	Treatments						
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-	-	-	-	-
	2	Real-Dyn.	0,044	0,02	2,89	0,004	**
	3	Seq.-Rand.	0,042	0,02	2,69	0,007	**
Lern.	Lerneffekte						
	4	Anzahl Spiele	-0,003	0,01	-0,32	0,746	
	Konstante		0,437	0,02	21,98	0,000	***
	Modell-Klasse		Random-Effects				
	Cluster-Standardfehler		χ				
	Anzahl Beobachtungen		62				
	Anzahl Gruppen		22				
	R^2_{within}		0,202				
	$R^2_{between}$		0,124				
	$R^2_{overall}$		0,161				
	Wald $\chi^2(3)$		11,14				
	Signifikanz ($Prob > \chi^2$)		0,010				
	\emptyset -VIF		1,26				
	Wald-Test		2>3	0,852			

*, **, *** = Signifikanz zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Durch Interpretation der Koeffizienten in **Modell 3PPD-N.1** können die Hypothesen I.1 und I.2 erneut bestätigt werden, da, sowohl im *real-dynamischen*, als auch im *sequenziell-randomisierten* Spiel, signifikant höhere Durchschnittspayoffs als im *simultan-wiederholten* Spielmechanismus nachgewiesen werden können⁴². Aufgrund dieser grundsätzlich vorhandenen Differenzen zwischen den Spielmechanismen, wird eine tiefergehende Analyse bezüglich der Zustände und des koordinativen Reaktionsverhaltens, auch für das vorliegende Spiel, als zielführend angesehen.

⁴² Für einen integrierten Vergleich des 3PPD und des 3PPD-N sei auf Abschnitt 5.4 verwiesen, in welchen explizit auf den Einfluss des Spiels innerhalb der Hypothesenüberprüfung kontrolliert wird.

5.3.3.2 Realisierte Koordinationszustände

Im 3PPD-N bleibt der Zustand trilateraler Kooperation [CCC], inklusive seiner koordinativen Eigenschaften, trotz der namensgebenden Erweiterung um eine Nischenoption, erhalten. Selbiges gilt analog für den Zustand trilateraler Defektion [DDD], welcher gemäß der Annahme in Hypothese II.2a (bzw. II.2b) von Spielmechanismen mit hoher Reichhaltigkeit der Informationsstruktur effizienter vermieden werden sollte.

Tabelle 5.15: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der realisierten Zustände im 3PPD-N

Bereich	Fokusgruppe		Anteilig realisierte Zustände							
	Modell	Endogene Var.	3PPD-N.2		3PPD-N.3		3PPD-N.4		3PPD-N.5	
	Nr.	Exogene Var.	[CCC]		[CCX]		[DDD]		[DDX]	
			Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.
			(p-Wert)		(p-Wert)		(p-Wert)		(p-Wert)	
Treat.	Treatments									
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-		-		-		-	
	2	Real-Dyn.	0,067 (0,493)		-0,016 (0,692)		-0,081 (0,000)	***	0,034 (0,472)	
3	Seq.-Rand.	-0,061 (0,604)		-0,130 (0,005)	**	-0,068 (0,006)	**	0,038 (0,429)		
Lern.	Lerneffekte									
	4	Anzahl Spiele	0,036 (0,491)		0,034 (0,114)		-0,012 (0,345)		0,041 (0,094)	
	Konstante		-0,330 (0,062)		-0,037 (0,535)		0,138 (0,000)	***	0,459 (0,000)	***
	Modell-Klasse		TOBIT		TOBIT		RE		RE	
	Cluster-Standardfehler		χ		χ		χ		χ	
	Anzahl Beobachtungen		62		62		62		62	
	Anzahl Gruppen		22		22		22		22	
	R^2_{within}		n.a.		n.a.		0,208		0,081	
	$R^2_{between}$		n.a.		n.a.		0,300		0,004	
	$R^2_{overall}$		n.a.		n.a.		0,177		0,027	
	Wald $\chi^2(3)$		1,57		11,09		12,48		3,15	
	Signifikanz ($Prob > \chi^2$)		0,666		0,010	**	0,006	**	0,369	
	Ø-VIF		1,25		1,25		1,25		1,25	
	Wald-Tests		2>3	0,265	2>3	0,015 *	2>3	0,603	2>3	0,936

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Modell 3PPD-N.4 bestätigt diese Hypothese und zeigt, dass sowohl im *real-dynamischen* als auch im *sequenziell-randomisierten* Spiel anteilig signifikant weniger Zustände trilateraler Defektion beobachtet werden können, als im simultan-wiederholten Spiel. Relaxiert man die Be-

dingung trilateraler Defektion auf mindestens bilaterale Defektion, können keine signifikanten Unterschiede mehr aufgezeigt werden. Ein Grund für diese Beobachtung in **Modell 3PPD-N.5** liegt in dem sprunghaften Anstieg der, im Zuge der Relaxierung betrachteten, Zustände. Im Vergleich zum 3PPD steigt die Zahl der analysierten Zustände nicht von 1 auf 4, sondern von 1 auf 7, was die Präzision der Robustheitsanalyse beschränkt (vgl. hierzu auch Tabelle 5.4 im deskriptiven Teil der Arbeit). Aus Gründen der Konsistenz wurden die Robustheitsanalysen dennoch auch im 3PPD-N berücksichtigt, sind jedoch aufgrund der oben genannten Gründen jedoch nur noch bedingt aussagekräftig.

Modell 3PPD-N.2, welches die anteilig erreichten Zustände trilateraler Kooperation im 3PPD-N analysiert, kann im Gegensatz zu der Analyse im 3PPD keine Unterschiede bezüglich der drei getesteten Spielmechanismen nachweisen. Obwohl der *real-dynamische* Spielmechanismus in der deskriptiven Analyse (vgl. Tabelle 5.4) prozentual häufiger zu einer Kooperationslösung führt, ist die generell gemessene Häufigkeit des betrachteten Zustands, mit weniger als 5% in allen drei Spielmechanismen, zu gering, um gesicherte Aussagen über potentielle Unterschiede treffen zu können. Ein Grund für diese Beobachtung liegt wiederum in der Einführung der Nischenoption, welche durch die Bereitstellung einer risikolosen - aber gleichzeitig suboptimalen - Alternative, den Anreiz zur Kooperation verringert. Auch die Relaxierung der betrachteten Zustände in **Modell 3PPD-N.3** führt nicht zu einem signifikanten Unterschied zwischen den betrachteten Spielmechanismen. Die beiden Hypothesen II-1a und II-1b können daher für das 3PPD-N nicht erneut bestätigt werden.

Modell 3PPD-N.6 (vgl. Tabelle 5.16) adressiert dezidiert die anteilige Realisierung des trilateralen Nischenzustands [NNN] im 3PPD-N und vergleicht die konkreten Ausprägungen zwischen den einzelnen Treatments. Die Analyse korrespondiert an dieser Stelle mit Hypothese II-3, welche besagt, dass falls das zugrunde liegende Spiel eine risikolose Ausweich-Option in Form einer Nische enthält, im *simultan-wiederholten* Spielmechanismus vergleichsweise häufiger Zustände erreicht werden, bei welchen sich alle Spieler in der Nische befinden. Dieser Zustand ist hierbei als grundsätzlich ineffizient zu bewerten, da eine einseitige Abweichung eines jeden Spielers von diesem Zustand den eigenen Payoff unabhängig vom gewählten Alternativ-Zug erhöht, ohne dabei den konstanten Nischen-Payoff der Mitspieler zu reduzieren⁴³. Da der *simultan-wiederholte* Spielmechanismus, aufgrund seiner vergleichsweise geringen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, als anfälliger gegenüber koordinative Fehler angenommen wird, wird eine erhöhte Realisierung des [NNN]-Zustands erwartet. Modell 3PPD-N.6 bestätigt diese Annahme und zeigt signifikante Unterschiede zwischen dem *simultan-wiederholten* Spielmodus und dem *real-dynamischen* bzw. *sequenziell-randomisierten* Spielmodus auf. Die begleitende Hypothese II-3 kann somit bestätigt werden.

⁴³ Für eine detaillierte Diskussion der spieltheoretischen Eigenschaften des 3PPD-N, sei an dieser Stelle auf Unterunterabschnitt 3.3.2.2 verwiesen.

Tabelle 5.16: Regressionsergebnisse anteilig erreichter [NNN]-Zustände im 3PPD-N

Bereich		Fokusgruppe		Analyse des Ausweich- bzw. Nischen-Verhaltens				
		Modell	Endogene Variable	3PPD-N.6				
Nr.	Exogene Variablen	Anteilig erreichte [NNN]-Zustände						
		Koeff.	Std.-Fehler	z-Wert	p-Wert	Sig.		
Treat.	Treatments							
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-	-	-	-	-	
	2	Real-Dyn.	-0,120	0,04	-2,41	0,010	**	
3	Seq.-Rand.	-0,175	0,07	-2,47	0,010	**		
Lern.	Lerneffekte							
	4	Anzahl Spiele	-0,054	0,03	-1,65	0,099		
Konstante			0,032	0,07	0,44	0,658		
Modell-Klasse			TOBIT					
Cluster-Standardfehler			X					
Anzahl Beobachtungen			62					
Anzahl Gruppen			22					
Wald $\chi^2(3)$			7,78					
Signifikanz ($Prob > \chi^2$)			0,050 *					
Ø-VIF			1,25					
Wald-Test			2>3	0,359				

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

5.3.3.3 Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten

Die Analyse des koordinativen Zugverhaltens, anhand der anteiligen Häufigkeit kooperativ beantworteter Kooperationsangebote, kann im 3PPD-N analog zu der Untersuchung des 3PPD erfolgen. Trotz des erweiterten Zustandsraums bleibt die Dynamik der Koordination auf einen langfristig, für alle Spieler, vorteilhaften und fairen Kooperationszustand bestehen⁴⁴. Durch die erneute Überprüfung von These III soll überprüft werden, ob Kooperationsangebote, unter Anwendung von Spielmechanismen mit einer hohen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, auch in komplexeren Spielen glaubhafter und effizienter kommuniziert werden können. Die drei korrespondierenden Hypothesen III.1, III.2 und III.3, sowie deren Überprüfung mit und ohne Berücksichtigung von nicht-eindeutigen Zustandstransitionen, erfolgt ebenfalls wie, bereits im vorangegangenen Abschnitt, beschrieben. Ein Vergleich der Resultate im 3PPD und erweiterten 3PPD-N wird somit möglich und lässt fundierte Schlussfolgerungen im Bezug auf die Forschungsfrage zu.

⁴⁴ Diese Aussage bezieht sich hierbei nur auf die langfristige Perspektive. Kurzfristig sind durch einseitiges Abweichen von der Kooperationslösung höhere Auszahlungen möglich (vgl. Unterunterabschnitt 3.3.2.2).

Tabelle 5.17: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse koordinativen Reaktionsverhaltens im 3PPD-N

Bereich	Fokusgruppe		Koordinative Reaktionsanalyse			
	Modell	Endogene Var.	3PPD-N.7a		3PPD-N.7b	
	Nr.		Exogene Var.	Anteil Koop.-Ketten (gesamt)		Anteil Koop.-Ketten (bereinigt)
			Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.
			(p-Wert)		(p-Wert)	
Treat.	Treatments					
	1	Real-Dyn. (Ref.)	-		-	
	2	Seq.-Rand.	-0,102 (0,000)	***	-0,125 (0,000)	***
3	Sim.-Wied.	-0,107 (0,000)	***	-0,113 (0,002)	**	
Lern.	Lerneffekte					
	4	Anzahl Spiele	0,025 (0,063)		-0,028 (0,109)	
	Konstante		0,381 (0,000)	***	-0,012 (0,759)	
	Modell-Klasse		TOBIT		TOBIT	
	Cluster-Standardfehler		X		X	
	Anzahl Beobachtungen		58		58	
	Anzahl Gruppen		22		22	
	Wald $\chi^2(3)$		19,30		15,22	
	Signifikanz ($Prob > \chi^2$)		0,000		0,001	
	Ø-VIF		1,24		1,24	
	Wald-Tests		2>3		2>3	
			0,860		0,762	

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Modell 3PPD-N.7a bestätigt in weiten Teilen die, bereits im 3PPD gezogenen, Schlussfolgerungen bezüglich realisierter Kooperationsketten in Abhängigkeit der getesteten Spielmechanismen. Es kann erneut signifikant gezeigt werden, dass sowohl im *sequenziell-randomisierten*, als auch im *simultan-wiederholten* Spielmechanismus anteilig weniger 2-gliedrige Ketten von aufeinander folgender Kooperation realisiert werden, als im *real-dynamischen* Modus. Hypothesen III-1 und III.2 können gestützt werden. Beim direkten Vergleich der relativen Häufigkeit von Kooperationsketten zwischen dem *sequenziell-randomisierten* und dem *simultan-wiederholten* Mechanismus, konnte im Gegensatz zur Analyse des 3PPD allerdings kein signifikanter Unterschied mehr nachgewiesen werden⁴⁵. Hypothese III.3 kann nicht erneut bestätigt werden. Trotz

⁴⁵ Vgl. hierzu das Ergebnis des Wald-Tests zwischen dem sequenziell-randomisierten Spielmechanismus und dem simultan-wiederholten Spielmechanismus in Tabelle 5.17.

dieser Einschränkung stützen diese Ergebnisse im Wesentlichen die, in These III formulierte, Vermutung, wonach die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur eines Spielmechanismus einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten der Spieler hat. Der *real-dynamische* Mechanismus hebt sich, im Bezug auf reaktives Koordinationsverhalten, signifikant ab.

Modell 3PPD-N.7b unterscheidet sich trotz der Bereinigung um nicht eindeutig interpretierbare Zustände nur marginal von dem soeben diskutierten Modell. Im *real-dynamischen* Spielmechanismus kann auch anhand des variierten Regressionsmodells ein signifikant höherer Anteil an Kooperationsketten identifiziert werden, als in den beiden Spielmechanismen mit niedrigerer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus und dem *simultan-wiederholten* Spielmechanismus kann jedoch auch hier nicht nachgewiesen werden.

5.3.4 Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD-N

Tabelle 5.18 fasst die Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD-N zusammen:

Tabelle 5.18: Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das 3PPD-N

Fokus	Hypothesen	Hypothesenüberprüfung
		3PPD-N
Performance	These I: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die erreichte, durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels.	
	Hypothese I-1: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „real-dynamischen“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
	Hypothese I-2: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
Zustände	These II: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die anteilig erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination.	
	Hypothese II-1a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch höchsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✗
	Hypothese II-1b: Spielzustände mit einem hohen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✗
	Hypothese II-2a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch geringsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓
	Hypothese II-2b: Spielzustände mit einem niedrigen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✗
	Hypothese II-3: Falls das zugrunde liegende Spiel eine risikolose Ausweich-Option in Form einer Nische enthält, werden im „simultan-wiederholten“ Spielmodus im Vergleich zu den anderen Mechanismen häufiger Zustände erreicht, bei welchen sich alle Spieler in der Nische befinden.	✓
Reaktionen	These III: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten bei angebotener Kooperation.	
	Hypothese III-1: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓
	Hypothese III-2: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.	✓
	Hypothese III-3: Kooperationen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✗

5.4 Aggregierte statistische Betrachtung von Experiment I und II

5.4.1 Multivariate Überprüfung der Hypothesen im Gesamtmodell

Nachdem sowohl die Ergebnisse von Experiment I (3PPD), als auch von Experiment II (3PPD-N) unabhängig voneinander, im Bezug auf die Forschungsfrage, untersucht wurden, aggregiert der folgende Abschnitt die beiden unabhängigen Datensätze zu einem Gesamtmodell. Ziel ist hierbei die Identifikation von möglichen Verzerrungen des Verhaltens, welche durch den Charakter des jeweils betrachteten Spiels entstehen. Hierfür wird eine weitere Kontrollvariable eingeführt, welche den Einfluss des Spiels auf die betrachteten, endogenen Variablen beschreibt. Neben der Aufdeckung grundsätzlicher Unterschiede wird ein besonderes Augenmerk auf diejenigen Hypothesen gelegt, welche in nur jeweils einem der beiden untersuchten Spiele statistisch signifikant gestützt werden konnten. Eine Übersicht der einzelnen Regressionsmodelle, welche hierfür konkret berechnet wurden, findet sich in in Tabelle 5.19.

Tabelle 5.19: Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für den aggregierten Datensatz

Regressions-Modell	Korrespondierende Hypothesen	Zensierte Daten	Panel-robuster Hausman-Tests	Empfohlenes Modell
AGG.1	H.I-1, H.I-2	✗	$\chi^2(3) = 11.34, p > 0.05$	→ Random effects
AGG.2	H.II-1a	✓	-	→ TOBIT
AGG.3	H.II-1b	✓	-	→ TOBIT
AGG.4	H.II-2a	✓	-	→ TOBIT
AGG.5	H.II-2b	✗	$\chi^2(3) = 7.47, p > 0.05$	→ Random effects
AGG.6a	H.III-1, H.III-2, H.III-3	✓	-	→ TOBIT
AGG.6b	H.III-1, H.III-2, H.III-3	✓	-	→ TOBIT

5.4.1.1 Spiel-Performance

Bezüglich der durchschnittlichen Spielperformance konnten bereits bei der unabhängigen Betrachtung von 3PPD und 3PPD-N alle, zu Beginn erarbeiteten, Hypothesen bestätigt werden. Entsprechend Abschnitt 3.3 sind die Auszahlungen in beiden Spielen sowohl symmetrisch, als auch auf dem Intervall $[0, 100]$ normiert. Eine differenzierende Analyse der beobachteten Effekten mittels einer erweiterten Regressionsanalyse ist somit grundsätzlich realisierbar⁴⁶.

⁴⁶ Die, in der Regression berechneten, Koeffizienten sind in den folgenden Analysen primär bzgl. ihrer Richtung zu bewerten. Die durch das Spiel induzierten Unterschiede, lassen sich anhand der Kontrollvariable für Spieleffekte (Var. 5) interpretieren.

Tabelle 5.20: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der erreichten \emptyset -Payoffs (3PPD & 3PPD-N)

		Fokusgruppe		Realisierte \emptyset -Payoffs				
Bereich	Modell	Endogene Variable		AGG.1				
		Nr.	Exogene Variablen	Koeff.	Std.-Fehler	z-Wert	p-Wert	Sig.
Treat.	Treatments							
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-	-	-	-	-	
	2	Real-Dyn.	0,077	0,02	3,35	0,001	***	
3	Seq.-Rand.	0,075	0,02	3,32	0,001	***		
Lern.	Lerneffekte							
	4	Anzahl Spiele	0,003	0,01	0,31	0,753		
Spiel.	Spieeffekte							
	5	3PPD-N	0,016	0,02	0,66	0,507		
Konstante			0,371	0,05	7,67	0,000	***	
Modell-Klasse			Random-Effects					
Cluster-Standardfehler			χ					
Anzahl Beobachtungen			120					
Anzahl Gruppen			44					
R^2_{within}			0,127					
$R^2_{between}$			0,271					
$R^2_{overall}$			0,112					
Wald $\chi^2(4)$			15,02					
Signifikanz ($Prob > \chi^2$)			0,004 **					
\emptyset -VIF			1,19					
Wald-Test			2>3		0,911			

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Auch im aggregierten Modell kann bestätigt werden, dass der *real-dynamische* und der *sequenziell-randomisierte* Spielmodus zu signifikant höheren, durchschnittlichen Gesamtauszahlungen im Spielverlauf führt. Ein spezifischer Effekt des Spiels auf das Ergebnis kann nicht festgestellt werden. Diese Beobachtungen können in Summe als eine weitere Bestätigung der in These I formulierten Annahmen aufgefasst werden.

5.4.1.2 Realisierte Koordinationszustände

Während bei der individuellen Analyse der Performance-Eigenschaften der beiden Spiele ein konsistentes Ergebnis bei der Hypothesenüberprüfung erzielt werden konnte, zeigten sich bei der darauf folgenden Analyse der realisierten Zustandsklassen an einigen Stellen Unterschiede zwischen den Spielen. Während im 3PPD für Spielmechanismen mit hoher Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, sowohl ein größerer Anteil an hoch-koordinativen, als auch eine effizien-

tere Vermeidung niedrig-koodinativer Zustände beobachtet werden konnte, konnte im 3PPD-N lediglich die Vermeidungshypothese signifikant bestätigt werden. Die aggregierte Analyse beider Spiele liefert im Folgenden eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung und führt diese auf die spieltheoretischen Eigenschaften der durchgeführten Spiele zurück.

Tabelle 5.21: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse der realisierten Zustände (3PPD & 3PPD-N)

Bereich	Fokusgruppe		Anteilig realisierte Zustände							
	Modell	Endogene Var.	AGG.2		AGG.3		AGG.4		AGG.5	
	Nr.	Exogene Var.	[CCC]		[CCX]		[DDD]		[DDX]	
		Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	Koeff.	Sig.	
		(p-Wert)		(p-Wert)		(p-Wert)		(p-Wert)		
Treat.	Treatments									
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-		-		-		-	
	2	Real-Dyn.	0,424 (0,000)	***	0,143 (0,021)	*	-0,072 (0,100)	†	-0,100 (0,044)	*
	3	Seq.-Rand.	0,270 (0,018)	*	0,063 (0,309)		-0,131 (0,008)	**	-0,097 (0,046)	*
Lern.	Lerneffekte									
	4	Anzahl Spiele	0,076 (0,153)		0,041 (0,186)		-0,008 (0,746)		0,004 (0,865)	
Spiel.	Spieleffekte									
	5	3PPD-N	-0,616 (0,000)	***	-0,445 (0,000)	***	-0,345 (0,000)	***	-0,066 (0,239)	
Konstante			0,309 (0,146)		0,654 (0,000)	***	0,777 (0,000)	***	0,750 (0,000)	***
Modell-Klasse			TOBIT		TOBIT		TOBIT		RE	
Cluster-Standardfehler			X		X		X		X	
Anzahl Beobachtungen			120		120		120		120	
Anzahl Gruppen			44		44		44		44	
R^2_{within}			n.a.		n.a.		n.a.		0,046	
$R^2_{between}$			n.a.		n.a.		n.a.		0,092	
$R^2_{overall}$			n.a.		n.a.		n.a.		0,061	
Wald $\chi^2(4)$			34,71		48,32		58,18		6,74	
Signifikanz ($Prob > \chi^2$)			0,000	***	0,000	***	0,000	***	0,151	
Ø-VIF			1,19		1,19		1,19		1,19	
Wald-Tests			2>3	0,100 †	2>3	0,191	2>3	0,230	2>3	0,895

†, *, **, *** = Signifikanzen zum 10%-, 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Betrachtet man zunächst die Analyse der anteilig realisierten [CCC]-Zustände in **Modell AGG.2**, kann im 3PPD-N eine signifikant geringere, anteilige Realisierung dieser Zustände beobachtet

werden. Es besteht demnach ein signifikanter Einfluss des Spiels. Der beobachtete Spieleffekt lässt sich, durch die generell höhere Anzahl möglicher Zustände im 3PPD-N, als auch durch den, im Vergleich zum 3PPD, geringeren Druck zur trilateralen Kooperation erklären⁴⁷. Trotz des signifikanten Einflusses des Spieleffekts auf die endogene Variable, kann die grundlegende Hypothese, wonach Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur zu einem höheren Grad trilateraler Koordination führen, auch im Gesamtmodell bestätigt werden.

Ein vergleichbares Bild ergibt sich auch für die anteilig realisierten [DDD]-Zustände in **Modell AGG.4**, wobei ebenfalls ein signifikanter Effekt des Spiels beobachtet werden kann. Da auch in diesem Fall der relative Anteil erreichter Zustände trilateraler Defektion im 3PPD-N signifikant geringer ausfällt, deuten die Ergebnisse auf eine generell geringere Ausprägung von koordinativen „Extremzuständen“ im 3PPD-N hin. Die der Analyse zugrunde liegende Hypothese, wonach in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur Zustände trilateraler Defektion effizienter vermieden werden können, kann insgesamt unterstützt werden. Ein statistisch signifikanter Unterschied im direkten Vergleich des real-dynamischen und simultan-wiederholten Spielmechanismus kann allerdings erst durch die Relaxierung der Zustandsbedingung in **Modell AGG.5** beobachtet werden.

5.4.1.3 Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten

Die Erforschung des koordinativen Zugverhaltens der Spieler, unter Betrachtung verschiedener Spielmechanismen, stellt den Kern der vorliegenden Arbeit dar. Durch Analyse der anteiligen Häufigkeiten kooperativ beantworteter Kooperationsangebote, konnten hierbei, sowohl für das 3PPD, als auch für das 3PPD-N, signifikante Zusammenhänge zwischen Koordinationsverhalten und Spielmechanismus nachgewiesen werden. Als zusätzliche Robustheitsprüfung werden in Tabelle 5.22 im Folgenden die korrespondierenden Hypothesen, anhand des aggregierten Gesamtmodells der beiden Spiele, überprüft. Zudem wird der Einfluss des Spiels auf das Koordinationsverhalten untersucht.

Modell.6a, welches alle beobachteten Reaktionen in die Kalkulation der endogenen Variable einfließen lässt, bestätigt die, zu These III korrespondierenden, Hypothesen vollumfänglich. Im *real-dynamischen* Spielmechanismus, welcher formal die höchste Reichhaltigkeit der Informationsstruktur beinhaltet, kann erneut ein signifikant höherer Anteil an erfolgreichen Kooperationsantworten beobachtet werden, als bei den beiden weniger reichhaltigen Spielmodi. Hypothese III-1 und III-2 können erneut bestätigt werden. Zusätzlich kann auch im bilateralen Vergleich des *sequenziell-randomisierten* und *simultan-sequenziellen* Spielmodus, für den reichhaltigeren *sequenziell-randomisierten* Mechanismus ein höherer Grad erfolgreich beantworteter Kooperationsangebote beobachtet werden (vgl. Hypothese III-3).

⁴⁷ Im 3PPD-N existieren im Gegensatz zum 3PPD risikolose Nischenstrategien, welche zwar nicht zwangsläufig auszahlungsmaximierend sind, jedoch eine risikolose Alternative zur trilateralen Kooperationslösung darstellen. Vgl. hierzu auch Unterunterabschnitt 5.3.3.2.

Tabelle 5.22: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse des koord. Reaktionsverhaltens (3PPD & 3PPD-N)

Bereich	Fokusgruppe		Koordinative Reaktionsanalyse			
	Modell	Endogene Var.	AGG.6a		AGG.6b	
	Nr.		Exogene Var.	Anteil Koop.-Ketten (gesamt)		Anteil Koop.-Ketten (bereinigt)
			Koeff. (p-Wert)	Sig.	Koeff. (p-Wert)	Sig.
Treat.	1	Treatments Real-Dyn. (Ref.)	-		-	
	2	Seq.-Rand.	-0,171 (0,000)	***	-0,195 (0,000)	***
	3	Sim.-Wied.	-0,264 (0,000)	***	-0,251 (0,000)	***
Lern.	4	Lerneffekte Anzahl Spiele	0,014 (0,469)		-0,009 (0,653)	
	5	Spieleffekte 3PPD-N	-0,313 (0,000)	***	-0,336 (0,000)	***
		Konstante	0,636 (0,000)	***	0,694 (0,000)	***
		Modell-Klasse	TOBIT		TOBIT	
		Cluster-Standardfehler	X		X	
		Anzahl Beobachtungen	120		120	
		Anzahl Gruppen	44		44	
		Wald $\chi^2(4)$	85,85		81,53	
		Signifikanz ($Prob > \chi^2$)	0,000 ***		0,000 ***	
		Ø-VIF	1,19		1,19	
		Wald-Tests	2>3	0,025 *	2>3	0,203

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Modell.6b führt die identische Analyse, mit den, um nicht eindeutig interpretierbaren Reaktionen⁴⁸ bereinigten Variablen, erneut durch und bestätigt im Wesentlichen die oben beschriebenen Beobachtungen. Lediglich beim bilateralen Vergleich des *sequenziell-randomisierten* und des *simultan-wiederholten* Spielmodus lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Modi mehr nachweisen. Der *real-dynamische* Mechanismus hebt sich jedoch weiterhin, signifikant von den übrigen Modi ab, und kann sich als eigenständiger Mechanismus, mit echt unterschiedlichen, koordinativen Eigenschaften abgrenzen.

⁴⁸ Für eine Definition der „nicht eindeutig interpretierbaren Reaktionen“ und deren Auftreten in Abhängigkeit der betrachteten Treatments, sei auf Unterabschnitt 5.1.1 und Unterabschnitt 5.1.2 verwiesen.

Zudem lässt sich in beiden Modellen ein signifikanter Einfluss des Spiels auf die Ausprägung des beobachteten koordinativen Zugverhaltens beobachten. Erwartungsgemäß bleibt im 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption der Anteil positiv beantworteter Kooperationsangebote hinter dem Niveau des klassischen 3-Spieler Gefangenendilemmas zurück. Durch die zusätzliche Nischenoption sind die Spieler im 3PPD-N weniger gezwungen koordinative Allianzen zu schließen, um subjektiv zufriedenstellende Auszahlungen zu generieren. Das, durch die kooperativen Reaktionsketten beschriebene, Koordinations-Niveau, sinkt im Vergleich zum 3PPD. Die identifizierten, relativen Unterschiede zwischen den einzelnen Spielmechanismen sind von diesem Effekt allerdings nicht betroffen und sowohl in der Einzelbetrachtung der Spiele, als auch im aggregierten Modell signifikant.

5.4.2 Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das aggregierte Datenset

Die Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung im aggregierten Datenset sind in Tabelle 5.23 zusammengefasst:

Tabelle 5.23: Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für das aggregierte Datenset

Fokus	Hypothesen	Hypothesenüberprüfung
		Agg. Datenset
Performance	These I: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die erreichte, durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels.	
	Hypothese I-1: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „real-dynamischen“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
	Hypothese I-2: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
Zustände	These II: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die anteilig erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination.	
	Hypothese II-1a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch höchsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓
	Hypothese II-1b: Spielzustände mit einem hohen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	(✓)
	Hypothese II-2a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch geringsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓
	Hypothese II-2b: Spielzustände mit einem niedrigen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓
Reaktionen	These III: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten bei angebotener Kooperation.	
	Hypothese III-1: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓
	Hypothese III-2: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.	✓
	Hypothese III-3: Kooperationen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	(✓)

5.4.3 Diskussion des Einflusses des Spiels

Neben der generellen Überprüfung der, im Zuge der Forschungsfrage aufgestellten, Hypothesen, anhand des aggregierten Datensatzes, wurde für jede der drei Fokusgruppen „Spiel-Performance“, „Realisierte Koordinationszustände“, sowie „Koordinatives Zugverhalten und Reaktionsketten“ der spezifische Einfluss des jeweils betrachteten Spiels analysiert. Die dezidierte Betrachtung des Spieleffekts liefert in diesem Zusammenhang in erster Linie Erklärungsansätze für beobachtete Differenzen bei der spielspezifischen Hypothesenüberprüfung.

Der Einfluss des Spieles auf die Spiel-Performance

Bei der Überprüfung der Fokusgruppe „Spiel-Performance“ konnte kein signifikanter Einfluss des Spiels auf die Ausprägung der durchschnittlich erreichten Gesamt-Payoffs festgestellt werden. Diese Beobachtung deckt sich mit den, in der deskriptiven Analyse visualisierten, Durchschnittspayoffs der beiden Spiele, welche sich zwar deutlich in ihrer Varianz, jedoch kaum bezüglich ihres Mittelwerts unterscheiden (vgl. Unterabschnitt 5.1.2).

Der Einfluss des Spieles auf die realisierten Koordinationszustände

Bei der Untersuchung des Einflusses der einzelnen Spielmechanismen auf die relative Realisierung koordinativer bzw. wenig-koordinativer Zustände kann hingegen ein signifikanter Einfluss des jeweils betrachteten Spiels auf das Ergebnis nachgewiesen werden. Obwohl die Richtungen der beobachteten Effekte der Spielmechanismen in beiden Spielen vergleichbar sind, werden im 3PPD-N signifikant weniger koordinative „Extremzustände“ erreicht⁴⁹. Besonders der Zustand trilateraler Kooperation [CCC] macht im 3PPD-N, über aller Spielmechanismen hinweg betrachtet, nur noch in ca. 1% der insgesamt aufgezeichneten Zustände aus (vgl. hierzu auch Tabelle 5.4 in Unterabschnitt 5.1.2. Trotz bewusstem Einsatz des TOBIT-Verfahrens, welches die Effekte solcher zensierter Verteilungen explizit berücksichtigt, ist die Identifikation eines signifikanten Zusammenhangs nur unter Einschränkungen möglich. Eine mögliche Erklärung für diesen Umstand liegt in der Charakteristik der zusätzlich eingeführten Nischenstrategie, welche eine, im Vergleich zur vollständigen Kooperationslösung, geringere, dafür jedoch risikofreie Auszahlung ermöglicht. Der Anreiz, durch gegenseitige Koordination eine für alle Beteiligten vorteilhafte Kooperationslösung anzustreben, ist somit im Vergleich zum 3PPD geringer. Analog hierzu macht im 3PPD-N auch der Extremzustand trilateraler Defektion [DDD] einen geringeren Anteil an allen realisierten Zuständen aus. Es konnten hierbei jedoch genügend Realisationen beobachtet werden, um die hierzu korrespondierenden Hypothesen zu stützen und die, im 3PPD gemachten, Erkenntnisse zu bestätigen.

Der Einfluss des Spieles auf das koordinative Reaktionsverhalten

Bezüglich des koordinativen Reaktionsverhaltens lässt sich zwar ein signifikanter Einfluss des

⁴⁹ Der Begriff „koordinativer Extremzustand“ steht hierbei stellvertretend für den Zustand trilateraler Kooperation [CCC], sowie den Zustand trilateraler Defektion [DDD].

Spiels auf die betrachteten, endogenen Variablen feststellen, diese führen allerdings nicht zu einer sichtbaren Verzerrung der, im Bezug auf die Spielmechanismen untersuchten, Hypothesen. Sowohl bei der isolierten Betrachtung des 3PPD und des 3PPD-N, als auch bei der Analyse des aggregierten Datensatzes, konnten die formulierten Hypothesen signifikant gestützt werden. Vergleicht man die mittleren Ausprägungen der endogenen Variablen der beiden Spiele unabhängig von den einzelnen Spielmechanismen, so ergibt sich erwartungsgemäß ein signifikanter Unterschied. Dieser hat jedoch keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse der paarweisen Wald-Tests zwischen den einzelnen Spielmechanismen und die Richtung der beobachteten Effekte. Die Zusammenhänge sind über alle Analysen hinweg stabil und unterstützen die korrespondierende These.

5.5 Experiment III: Explorative Analyse des Cerasia-Konflikts

5.5.1 Übertragung der Reaktions-These auf komplexe Spiele

Wie bereits in Unterabschnitt 3.2.4 detailliert erörtert wurde, erfordert die Überprüfung der primären Thesen dieser Arbeit eine eindeutige Klassifizierung der erlaubten Züge und Zustände, bezüglich ihres Grades an koordinativen Eigenschaften. Während die Messbarkeit und Vergleichbarkeit des beobachteten Verhaltens der Spieler im 3PPD und 3PPD-N, aufgrund der eindeutigen Aufteilung in Kooperations-Züge, Defektions-Züge und Nischen-Züge grundsätzlich gegeben ist, trifft dies auf einen Großteil realer, strategischer Konflikte nicht zu. Die im Zuge der Forschungsfrage aufgestellte Vermutung, wonach Spielmechanismen, welche sich anhand der Ausgestaltung ihrer Zugmodalitäten und damit einhergehenden Reichhaltigkeit ihrer Informationsstruktur unterscheiden, einen Einfluss auf das beobachtete Koordinationsverhalten haben, sollte jedoch grundsätzlich auch in „realen“ Spielen bestätigt werden können.

Aus diesem Grund wurde in Unterabschnitt 3.2.4 eine Methodik entwickelt, welche die, in These III verwendete, Logik reaktiver Kooperations-Ketten auf die allgemeingültige Logik strategischer Verschlechterungen überträgt. Die von Schelling (1958) bzw. Kahneman und Tversky (1979) diskutierten Eigenschaften temporärer Verschlechterungen werden in ihrer strategischen Dimension und koordinativen Wirkung als größtenteils äquivalent zu den bisher untersuchten Kooperations-Zügen angenommen und sollen im Folgenden, mithilfe eines realitätsnahen Spiels überprüft werden. Da die Trennschärfe durch diese verallgemeinerte Methodik, im Vergleich zu den speziell auf die Forschungsfrage zugeschnittenen Eigenschaften der Handlungsoptionen im 3PPD und 3PPD-N, abnimmt, ist die folgende Analyse als explorative Erweiterung der Arbeit zu betrachten und entsprechend einzuordnen.

Als konkretes Szenario für die Untersuchung wird im Folgenden auf den, bei der NATO zu Ausbildungszwecken eingesetzten, Cerasia-Konflikt zurückgegriffen, welcher im Zuge dieser

Arbeit, auf Grundlage des Graph Model for Conflict Resolution (GMCR), modelliert wurde⁵⁰ (vgl. Fang et al., 1993). Durch seinen asymmetrischen Charakter, vier individuell ausgestattete Spieler und multiple Teilkonflikte, gestaltet sich dieses Szenario deutlich realitätsnäher als die literaturbasierten Modelle des 3PPD bzw. 3PPD-N. Eine Übersicht der durchgeführten Analysen, der überprüften Hypothesen, sowie der statistischen Ausgestaltung der korrespondierenden Paneldaten-Regressionsmodelle findet sich in Tabelle 5.24.

Tabelle 5.24: Ermittlung valider Paneldaten-Regressionsmodelle für den Cerasia-Konflikt

Regressions-Modell	Korrespondierende Hypothesen	Zensierte Daten	Panel-robuster Hausman-Tests	Empfohlenes Modell
CER.1	H.IV-1, H.IV-2, H.IV-3	✓	-	→ TOBIT
CER.2	H.IV-1, H.IV-2, H.IV-3	✓	-	→ TOBIT

5.5.2 Explorative Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen

Analog zur Analyse des koordinativen Reaktionsverhaltens, anhand anteilig beobachteten Ketten von Kooperationszügen im 3PPD bzw. 3PPD-N, werden im Folgenden anteilig beobachtete Ketten von strategischen Verschlechterungen im Regressionsmodell betrachtet. Die drei Spielmechanismen *real-dynamisch*, *sequenziell-randomisiert* und *simultan-wiederholt* können, aufgrund der unverändert übernommenen Paneldaten-Struktur der experimentellen Datenerhebung, erneut auf deren individuellen Effekte untersucht werden. Aus Robustheitsgründen werden wiederum zwei Modelle berechnet, welche sich in der Definition der endogenen Variablen unterscheiden. Während Modell CER.1 alle beobachteten Züge in die anteilige Berechnung der Häufigkeit von Ketten strategischer Verschlechterungen mit aufnimmt, berücksichtigt Modell CER.2 nur eindeutig interpretierbare Zustandstransitionen⁵¹. Die Ergebnisse und berechneten Koeffizienten unterscheiden sich bei beiden Methoden nur marginal.

Modell CER.1 kann die, in These IV formulierte, Vermutung, dass Ketten temporärer Verschlechterungen bei Spielmechanismen mit hoher Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger auftreten, als bei Spielmechanismen mit niedriger Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, im Wesentlichen bestätigen. Sowohl der *real-dynamischen* Mechanismus, als auch der *sequenziell-randomisierte* Mechanismus weisen einen signifikant höheren Anteil an Ketten

⁵⁰ Für eine detaillierte Beschreibung des Cerasia Konflikts, inklusive Spieler, Handlungsoptionen und Präferenzmodell sei auf Unterunterabschnitt 3.3.2.3 verwiesen.

⁵¹ Da in einigen der getesteten Spielmodi die Möglichkeit besteht, dass mehrere Spieler gleichzeitig agieren, kann es zu entgegengesetzten Zügen in einem einzelnen Beobachtungsintervall kommen. Da diese mehrdeutigen Doppelzüge per Definition nicht als eindeutige Reaktion interpretiert werden können, wird die Analyse aus Robustheitsgründen einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung dieser Transitionen durchgeführt.

temporärer Verschlechterungen auf, als der *simultan-wiederholte* Spielmechanismus. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem *real-dynamischen* und dem *sequenziell-randomisierten* Mechanismus kann hingegen nicht festgestellt werden (vgl. hierzu den entsprechenden Wald-Test in Tabelle 5.25). In **Modell CER.2** können die soeben beschriebenen Ergebnisse mit nur minimal veränderten Koeffizienten bestätigt werden.

Tabelle 5.25: Integrierte Regressionsergebnisse zur Analyse koordinativen Verschlechterungsverhaltens (CER)

Bereich	Fokusgruppe		Koordinative Verschlechterungsanalyse			
	Modell	Endogene Var.	CER.1		CER.2	
	Nr.	Exogene Var.	Anteil Verschl.-Ketten (gesamt)		Anteil Verschl.-Ketten (bereinigt)	
			Koeff. (p-Wert)	Sig.	Koeff. (p-Wert)	Sig.
Treat.	Treatments					
	1	Sim.-Wied. (Ref.)	-		-	
	2	Real-Dyn.	0,148 (0,003)	**	0,145 (0,008)	**
3	Seq.-Rand.	0,116 (0,023)	*	0,106 (0,050)	*	
Lern.	Lerneffekte					
	4	Anzahl Spiele	0,014 (0,556)		0,011 (0,668)	
	Konstante		-0,061 (0,313)		-0,046 (0,478)	
	Modell-Klasse		TOBIT		TOBIT	
	Cluster-Standardfehler		✗		✗	
	Anzahl Beobachtungen		27		27	
	Anzahl Gruppen		9		9	
	Wald $\chi^2(3)$		9,83		7,65	
	Signifikanz ($Prob > \chi^2$)		0,020 *		0,050 *	
	Ø-VIF		1,25		1,25	
	Wald-Tests		2>3 0,480		2>3 0,438	

*, **, *** = Signifikanzen zum 5%-, 1%- und 0,1%-Niveau

Obwohl die Beobachtungen die Erkenntnisse aus der Analyse koordinativer Reaktionsmuster im 3PPD und 3PPD-N stützen, fällt die Signifikanz der gemessenen Effekte geringer aus. Der, bedingt durch den explorativen Charakter dieser Studie, eher geringen Umfang des Datensatzes, sowie die geringere Präzision der endogenen Variable, liefert eine mögliche Erklärung für diese Einschränkung. Eine weitere wissenschaftliche Vertiefung des Ansatzes scheint aufgrund der positiven Tendenz der explorativen Untersuchung an dieser Stelle jedoch vielversprechend.

5.5.3 Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für den Cerasia-Konflikt

Die Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung anhand der explorativen Untersuchung des Cerasia-Konflikts sind in Tabelle 5.26 nochmals zusammengefasst:

Tabelle 5.26: Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung für den Cerasia-Konflikt

Fokus	Hypothesen	Hypothesenüberprüfung Cerasia (CER)
Verschlechterungen	These IV: Mithilfe der Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen kann der Einfluss des Spielmechanismus auf das koordinatives Reaktionsverhalten auf allg. Spiele übertragen werden.	
	Hypothese IV-1: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spielmechanismus häufiger mit einer korrespondierenden, strategischen Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓
	Hypothese IV-2: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spielmechanismus häufiger mit einer korrespondierenden, strategischen Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus.	✗
	Hypothese IV-3: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus anteilig häufiger mit einer korrespondierenden, temporären Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓

5.6 Integrierte Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

Nachdem die vier zentralen Thesen der Arbeit, anhand verschiedener Sub-Hypothesen für jedes der drei Experimente isoliert beantwortet wurden, soll das folgende Kapitel die Erkenntnisse integriert zusammenfassen und die Implikationen für den Fachbereich erörtern⁵². Übergeordnet betrachtet unterstützen die Untersuchungen und Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung alle vier, zu Beginn abgeleiteten, Thesen, wobei der Grad der Unterstützung zwischen den einzelnen Thesen leicht variiert. Varianzen in den Ergebnissen verschiedener Experimente lassen sich allerdings in der Regel aufgrund der Charakteristik der unterschiedlichen Spiele erklären, sollen im Folgenden jedoch nochmals detailliert adressiert werden.

These I der Arbeit beschäftigt sich mit der Gesamtperformance des Spiels, welche sich aus dem gemittelten Gesamtpayoff über die Zeit ergibt und vergleicht deren Ausprägungen zwischen den drei getesteten Spielmechanismen. Die Ausgangsvermutung, wonach der Spielmechanismus und die darin festgelegte Zugreihenfolge und Reichhaltigkeit der Informationsstruktur einen Einfluss auf die erreichte Performance hat, konnte hierbei sowohl im 3PPD als auch im 3PPD-N vollumfänglich gestützt werden. Entsprechend der Vorhersage von Friedman und Oprea (2012) konnten sowohl im *sequenziell-randomisierten*, als auch im *real-dynamischen* Spielmechanismus signifikant höhere Durchschnittspayoffs realisiert werden, als im *simultan-wiederholten* Spiel. Obwohl diese Erkenntnis noch keine eindeutige Interpretation, im Bezug

⁵² Eine tabellarische Übersicht der Ergebnisse dieser Arbeit findet sich zudem am Ende dieses Abschnitts in Tabelle 5.27.

auf die Koordination zwischen den Spielern, zulässt, kann das Ergebnis als erster Hinweis für weitere Effekte aufgefasst werden, welche in den darauf folgenden Thesen zunehmend spezifischer adressiert werden.

These II widmet sich in diesem Zusammenhang der Frage, ob, abhängig von den untersuchten Spielmechanismen, ein Einfluss auf die Realisierungshäufigkeit hoch- bzw. niedrigkoordinativer Zustände nachgewiesen werden kann. Besonders der Einfluss der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur auf die Realisierung trilateraler Kooperationszustände ([CCC]) im 3PPD und 3PPD-N steht hierbei im Fokus. Betrachtet man den aggregierten Datensatz, kann im *real-dynamischen* Spielmechanismus, welcher die höchste Reichhaltigkeit der Informationsstruktur aufweist, die höchste anteilige Realisierung von trilateralen Kooperationszuständen im betrachteten Zeitintervall beobachtet werden. Analog hierzu weist der *real-dynamische* Spielmechanismus die niedrigste Quote an vollständiger Defektion auf, woraus die Vermutung abgeleitet werden kann, dass dieser, langfristig suboptimale, Zustand effizienter vermieden wird. Diese Beobachtungen stehen zum einen im Einklang mit der in These II abgeleiteten Vermutung und finden sich zum anderen auch in vergleichbaren Studien zum traditionellen Gefangenendilemma mit zwei Spielern wieder (Radner & Rosenthal, 1982; Simon & Stinchcombe, 1989; Friedman & Oprea, 2012). Der Vollständigkeit halber muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die soeben beschriebenen Effekte auf der Ebene der Einzelexperimente leicht variieren. Während im 3PPD der Kooperationszustände in Mechanismen mit hoher Reichhaltigkeit der Informationsstruktur signifikant häufiger erreicht werden, kann im erweiterten 3PPD-N lediglich die effizientere Vermeidung von Zuständen trilateraler Defektion signifikant nachgewiesen werden. Eine mögliche Erklärung dieser Beobachtung findet sich in der zusätzlichen, risikolosen Nischenoption, durch welche eine (koordinativ aufwendige) Einigung auf einen Zustand vollständiger Kooperation weniger erstrebenswert erscheint. Der Zustand vollkommener Kooperation kann zwar auch im 3PPD-N im *real-dynamischen* Mechanismus vergleichsweise häufiger beobachtet werden⁵³, die Menge der Beobachtungen reicht an dieser Stelle jedoch nicht für eine statistisch signifikante Unterstützung der Hypothese aus. Eine speziell auf diesen Aspekt zugeschnittene Folge-Studie mit variierten Auszahlungs-Matrizen scheint an dieser Stelle vielversprechend.

Begleitende und weiterführende Untersuchungen, im Bezug auf die Zustandsausprägungen im 3PPD-N, haben zudem ergeben, dass Akteure in Spielen mit einer geringen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, vermehrt zur Wahl der risikolosen Nischenoption tendieren. Da die Koordination und die Möglichkeit zur Reaktion im *simultan-wiederholten* Spiel als vergleichsweise gering angenommen wird, kann in der Folge eine steigende Bereitschaft zur suboptimalen, aber dafür sicheren, Lösung [NNN] beobachtet werden. Diese Beobachtung kann im Bezug auf These II als weiterer Hinweis darauf interpretiert werden, dass die Anwendung des *simultan-*

⁵³ Vgl. hierzu auch Tabelle 5.4 in Unterabschnitt 5.1.2.

wiederholten Spielmechanismus zu einer signifikant verminderten Koordinationsbereitschaft unter den Spielern führt.

These III stellt die zentrale These dieser Arbeit dar und baut auf den positiven Ergebnissen der vorangegangenen Hypothesenüberprüfungen auf. Während, mithilfe der beiden vorangegangenen Analysen, bereits auf Zustandsebene koordinative Unterschiede zwischen den Spielmechanismen aufgedeckt werden konnten, präzisiert These III die Forschungsfrage weiter und beschäftigt sich mit den verhaltensökonomischen Hintergründen der beobachteten Koordinations-Effekte, in Abhängigkeit der einzelnen Spielmechanismen. Konkret wurde analysiert, inwiefern einzelne Spieler auf Kooperationsangebote anderer Spieler reagieren. Analog zur Erwartung, deuten die Ergebnisse der Regressionsanalyse darauf hin, dass Kooperationsangebote unter Anwendung von Spielmechanismen mit einer hohen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur glaubhafter und effizienter signalisiert werden können, was sich aus der relativen Häufigkeit von kooperativen Antworten auf initiale Kooperationsangebote ableiten lässt. Erstens werden im *real-dynamischen* Spielmechanismus signifikant mehr Kooperationsangebote mit einem korrespondierenden Kooperationszug beantwortet, als im *simultan-wiederholten* Mechanismus. Zweitens können auch im direkten Vergleich mit dem *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus im *real-dynamischen* Modus signifikant mehr koordinative Ketten von Kooperationszügen beobachtet werden. Drittens weist im aggregierten Datensatz und im regulären 3-Spieler-Gefangenendilemma (3PPD) der *sequenziell-randomisierten* Mechanismus zusätzlich einen signifikant höheren Anteil an Kooperationsketten auf, als der *simultan-wiederholte* Spielmodus. Lediglich im 3-Spieler Gefangenendilemma mit Nischenoption (3PPD-N), kann dieser konkrete Zusammenhang nicht im angestrebten Konfidenzintervall nachgewiesen werden.

Übergreifend betrachtet, deuten die Ergebnisse auf eine eindeutige Reihenfolge bzgl. der Realisierung positiv beantworteter Kooperationsangebote zwischen den drei getesteten Spielmechanismen hin. Der Spielmechanismus mit der höchsten Reichhaltigkeit der Informationsstruktur (*real-dynamisch*) erreicht hierbei in alle berechneten Regressionsmodellen und korrespondierenden Sensitivitätsanalysen den höchsten Grad an positiv beantworteten Kooperationsangeboten. An zweiter Stelle folgt der *sequenziell-randomisierte* Spielmechanismus, welchen eine mittlere Reichhaltigkeit der Informationsstruktur auszeichnet. Mit großem Abstand folgt an letzter Stelle der *simultan-wiederholte* Mechanismus, in welchem, aufgrund seiner undurchsichtigen Informationsstruktur, kaum noch erfolgreich koordinierende Zugfolgen beobachtet werden können.

Während die Messbarkeit und Vergleichbarkeit des beobachteten Spielverhaltens im Zuge der Experimente im 3PPD und 3PPD-N, aufgrund der eindeutigen Aufteilung in Kooperationszüge, Defektionszüge und Nischenzüge, grundsätzlich gegeben ist, trifft dies auf einen Großteil real-strategischer Konflikte nicht zu. Die im Zuge der ersten drei Thesen überprüfte Annahme, wonach Spielmechanismen, welche sich anhand der Ausgestaltung ihrer Zugmodalitäten

und der damit einhergehenden Reichhaltigkeit ihrer Informationsstruktur unterscheiden, einen Einfluss auf das beobachtete Koordinationsverhalten haben, sollte jedoch grundsätzlich auch für realitätsnahe Konflikte gelten.

These IV überträgt aus diesem Grund die Logik reaktiver Kooperations-Ketten auf das allgemein anwendbare Konzept der strategischen bzw. temporären Verschlechterungen, welches vergleichbare, charakteristische Eigenschaften⁵⁴ aufweist (vgl. Unterunterabschnitt 2.4.2.2). Da die Trennschärfe durch diese verallgemeinerte Methodik, im Vergleich zu der speziell auf die Forschungsfrage zugeschnittenen Eigenschaften der Handlungsoptionen im 3PPD und 3PPD-N, abnimmt, ist die folgende Analyse als explorative Erweiterung der Arbeit zu betrachten und entsprechend einzuordnen. Als konkretes Szenario für die Untersuchung dieser These wurde auf den, bei der NATO zu Schulungszwecken eingesetzten, Cerasia-Konflikt⁵⁵ zurückgegriffen, welcher im Zuge dieser Arbeit auf Grundlage des Graph Model for Conflict Resolution (GMCR) modelliert wurde⁵⁶ (vgl. Fang et al., 1993). Hierbei konnte analog zu den Ergebnissen der Reaktionsketten-Analyse für den *real-dynamischen* Spielmechanismus ein höherer, relativer Anteil aufeinander folgender, strategischer Verschlechterungen ermittelt werden, als in den beiden Spielmechanismen mit niedrigerer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur.

Obwohl diese Beobachtung die Erkenntnisse aus der Analyse koordinativer Reaktionsmuster im 3PPD und 3PPD-N stützen, fällt die Signifikanz der gemessenen Effekte geringer aus. Der bedingt durch den explorativen Charakter dieser Studie eher geringen Umfang des Datensatzes, sowie die geringere Präzision der endogenen Variable, liefert eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung. Eine weitere wissenschaftliche Vertiefung des Ansatzes scheint aufgrund der positiven Tendenz der explorativen Untersuchung an dieser Stelle jedoch vielversprechend.

Im Bezug auf die Beantwortung der Forschungsfrage kann durch differenzierende Analysen die Annahme gestützt werden, dass die untersuchten Spielmechanismen zur Reichhaltigkeit der Informationsstruktur des Spiels beitragen und messbare Verhaltensänderungen induzieren. Neben der erreichten Spielperformance und der Realisierung (nicht)-koordinativer Zustände, konnten auch im reaktiven Koordinationsverhalten der Akteure signifikante Unterschiede beobachtet werden. Besonders der, im Zuge dieser Arbeit entwickelte, *real-dynamische* Spielmechanismus, steht im Einklang mit der Vermutung von Bigoni et al. (2015, S. 588), wonach in kontinuierlichen Spielen gesteigerte Interpretations- und Reaktionsmöglichkeiten vorherrschen, welche reale Konflikte passender approximieren und koordinatives Verhalten erleichtern. Die

⁵⁴ Die von Schelling (1958) bzw. Kahneman und Tversky (1979) diskutierten Eigenschaften temporärer Verschlechterungen werden in ihrer strategischen Dimension und koordinativen Wirkung als größtenteils äquivalent zu den bisher untersuchten Kooperations-Zügen angenommen.

⁵⁵ Für eine detaillierte Beschreibung des Cerasia Konflikts, inklusive Spieler, Handlungsoptionen und Präferenzmodell sei auf Unterunterabschnitt 3.3.2.3 verwiesen.

⁵⁶ Durch seinen asymmetrischen Charakter, vier individuell ausgestattete Spieler und multiple Teilkonflikte gestaltet sich der Cerasia-Konflikt deutlich realitätsnäher als die literaturbasierten Modelle des 3PPD bzw. 3PPD-N, ist aufgrund dieser Eigenschaften allerdings nur bedingt auf Zustandsebene analysierbar.

Gestaltung der Zugentscheidungen, sowie der temporale Kontext in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, verändern den Charakter des Spiels umfassend.

Tabelle 5.27: Gesamtübersicht der Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung

Fokus	Hypothesen	Hypothesenüberprüfung		
		3PPD	3PPD-N	AGG
Performance	These I: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die erreichte, durchschnittliche Gesamt-Performance eines Spiels.			
	Hypothese I-1: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „real-dynamischen“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓	✓	✓
	Hypothese I-2: Die erreichten, durchschnittlichen Gesamt-Payoffs fallen im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus höher aus, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.	✓	✓	✓
Zustände	These II: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf die anteilig erreichten Zustände hoher bzw. niedriger Koordination.			
	Hypothese II-1a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch höchsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓	✗	✓
	Hypothese II-1b: Spielzustände mit einem hohen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger erreicht.	✓	✗	(✓)
	Hypothese II-2a: Der Spielzustand mit dem spielspezifisch geringsten Grad an Koordination wird in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✗	✓	✓
	Hypothese II-2b: Spielzustände mit einem niedrigen Grad an Koordination werden in Spielmechanismen mit höherer Reichhaltigkeit der Informationsstruktur häufiger vermieden.	✓	✗	✓
Reaktionen	Hypothese II-3: Falls das zugrunde liegende Spiel eine risikolose Ausweich-Option in Form einer Nische enthält, werden im „simultan-wiederholten“ Spielmodus im Vergleich zu den anderen Mechanismen häufiger Zustände erreicht, bei welchen sich alle Spieler in der Nische befinden.	-	✓	-
	These III: Der Spielmechanismus, die Zugreihenfolge und die Reichhaltigkeit der Informationsstruktur hat einen Einfluss auf das koordinative Reaktionsverhalten bei angebotener Kooperation.			
	Hypothese III-1: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	✓	✓	✓
	Hypothese III-2: Kooperationen werden im „real-dynamischen“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spiel.	✓	✓	✓
	Hypothese III-3: Kooperationen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spiel häufiger mit einem korrespondierenden Kooperations-Zug beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.	(✓)	✗	(✓)
Fokus	Hypothesen	Hypothesenüberprüfung		
		Cerasia (CER)		
Verschlechterungen	These IV: Mithilfe der Analyse von Ketten temporärer Verschlechterungen kann der Einfluss des Spielmechanismus auf das koordinatives Reaktionsverhalten auf allg. Spiele übertragen werden.			
	Hypothese IV-1: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spielmechanismus häufiger mit einer korrespondierenden, strategischen Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spielmechanismus.		✓	
	Hypothese IV-2: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „real-dynamischen“ Spielmechanismus anteilig häufiger mit einer korrespondierenden, strategischen Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus.		✗	
	Hypothese IV-3: Strategische, temporäre Verschlechterungen werden im „sequenziell-randomisierten“ Spielmechanismus anteilig häufiger mit einer korrespondierenden, temporären Verschlechterung eines Mitspielers beantwortet, als im „simultan-wiederholten“ Spiel.		✓	

Die vorliegende Arbeit kann aufgrund der vielfältigen Dimensionen dieser Veränderungen nur einen Teilbereich der beobachteten Effekte empirisch aufarbeiten und konzentriert sich daher vorerst auf das Teilgebiet des reaktiven Koordinationsverhaltens. Weiterführende Arbeiten auf

diesem Gebiet, welche beispielsweise das individuelle Rational, sowie die Kognition der Akteure im Spielverlauf adressieren oder sich mit verwandten koordinativen Themen, wie dem Auftreten von Kollusion in Abhängigkeit vom Spielmechanismus beschäftigen, sind daher wünschenswert.

6 Abschließende Überlegungen und Ausblick

6.1 Zusammenfassung und Zielabgleich

Der vorliegenden Arbeit liegt die grundlegende Annahme zugrunde, dass Spielmechanismen, welche sich bezüglich ihrer Zugreihenfolge und temporaler Struktur unterscheiden, eine grundsätzlich unterschiedliche Reichhaltigkeit der Informationsstruktur beinhalten und folglich messbare Verhaltensänderungen bei den Akteuren induzieren. Im Zentrum steht hierbei die Analyse koordinativen Verhaltens, wobei wiederum ein besonderes Augenmerk auf die Effizienz von koordinativen Reaktionen gelegt wurde.

Als Ausgangspunkt der Untersuchung wurden zunächst spiel- und konfliktanalytische Spielmechanismen in der Literatur identifiziert und eine umfassende Übersicht klassischer und moderner Modellierungsformen erstellt. Auf dieser Grundlage wurden wiederum drei charakteristische Spielmechanismen abgeleitet, welche jeweils eine bestimmte und abgrenzbare Reichhaltigkeit der korrespondierenden Informationsstruktur abbilden. Während sich die Kernelemente des *simultan-wiederholten* und *sequenziell-randomisierten* Spielmechanismus aus traditionellen Stufenspielen bzw. Spielen in Extensivform ableiten, ist der *real-dynamische* Spielmechanismus als Approximation an reale Konflikt-Bedingungen zu verstehen. Hierzu gehört, neben dem kontinuierlichen Charakter und der stetigen Struktur der Entscheidungszeitpunkte, primär der endogene Charakter der Züge und Reaktionen. Basierend auf der übergeordneten Forschungsfrage wurde zudem ein System aus vier primären Thesen und zahlreichen korrespondierenden Sub-Hypothesen entwickelt, an welcher sich die vergleichende Analyse der drei entwickelten Spielmechanismen im weiteren Verlauf der Arbeit orientiert. Die vier Thesen fassen hierbei zentrale Annahmen bezüglich der *Spiel-Performance*, der *realisierten Koordinationszustände*, dem *koordinativen Zugverhalten und Reaktionsketten*, sowie den beobachtbaren *strategischen und temporären Verschlechterungen* zusammen, welche im weiteren Verlauf der Arbeit systematisch überprüft werden¹.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage und der vier korrespondierenden Haupt-Thesen der Arbeit wurde im nächsten Schritt eine umfassende computergestützte Experimentplattform entwickelt, welche die drei Spielmechanismen für verschiedene Spiele und Konfliktszenarien empirisch untersuchbar macht. Die, auf der Server-Client-Architektur basierende, Applikation mit

¹ Für eine umfassende Übersicht über alle Thesen und Hypothesen der Arbeit sei an dieser Stelle auf Tabelle 3.1 verwiesen.

zugehörigem Kontrollzentrum erlaubt hierbei die Datenerhebung bei bis zu fünf parallel stattfindenden Experimenten mit variabel parametrisierbaren Experimentumgebungen. Das Design der einzelnen Experimente wurde gemäß eines „Repeated-Measures-Ansatzes“ mit multiplen Treatments strukturiert, wobei alle drei Spielmechanismen in gleichbleibenden Gruppen, aber wechselnden Reihenfolgen getestet wurden. Lerneffekte², Spieleffekte und weitere Störeffekte wurden bei der konsekutiven Auswertung der Daten entsprechend berücksichtigt.

Im Hinblick auf die externe Validität der Ergebnisse wurden insgesamt drei Experimente mit identischer Methodik³, jedoch unterschiedlichen Spielen durchgeführt. In Anlehnung an die Arbeiten von Friedman und Oprea (2012) bzw. Bigoni et al. (2015) wurde zunächst eine Implementierung des Gefangenendilemmas getestet, wobei im vorliegenden Spiel die Anzahl der Spieler von zwei auf drei erhöht wurde. Ziel war hierbei zum einen die Überprüfung der vorhandenen Erkenntnisse aus der Literatur, sowie zum anderen die spezifische Adressierung zusätzlicher Effekte, welche sich aus der Erhöhung der Spieleranzahl ergeben. Im zweiten Experiment wurde das 3-Spieler Gefangenendilemma zusätzlich um eine Nischenoption erweitert, welche es den Akteuren erlaubt, sich gegen eine fixe Auszahlung temporär aus dem Konflikt zurückzuziehen. Obwohl koordinative Strategien durch diese Erweiterung als tendenziell unwahrscheinlicher angenommen wurden, konnten im zweiten Experiment vergleichbare Effekte und Unterschiede zwischen den einzelnen Spielmechanismen beobachtet werden. Das dritte Experiment, mit bewusst explorativem Charakter, beruht auf dem offiziellen NATO-Szenario „East-Cerasia“, welches unter anderem in der Generalstabsausbildung der Führungsakademie der Bundeswehr eingesetzt wird⁴. Durch seinen asymmetrischen Charakter, vier individuell ausgestattete Spieler und multiple Teilkonflikte gestaltet sich der Cerasia-Konflikt realitätsnäher, als die literaturbasierten Modelle der zuvor beschriebenen Szenarien, ist aufgrund dieser Eigenschaften allerdings gleichzeitig nur bedingt auf Zustandsebene analysierbar. Durch die Verallgemeinerung der Reaktionshypothese auf temporäre bzw. strategische Ketten von Verschlechterungen im Spielverlauf konnte dennoch ein, zu den Voruntersuchungen konsistentes, Gesamtergebnis abgeleitet werden, welches weitere Forschungsanstrengungen auf diesem Gebiet motiviert.

Nach der Durchführung multivariater Regressionsanalysen und der Überprüfung der vier Hauptthesen, kann die Annahme gestützt werden, dass die untersuchten Spielmechanismen zur Reichhaltigkeit der Informationsstruktur des Spiels beitragen und messbare Verhaltensände-

² Obwohl Lerneffekte bei Repeated-Measures-Designs besonders häufig zu beobachten sind, konnten über die gesamte Studie hinweg nur sehr vereinzelt Lerneffekte nachgewiesen werden. Dennoch wurde in allen durchgeführten Regressionen auf Lerneffekte kontrolliert.

³ Alle getesteten Spiele wurden unter Anwendung der drei zentralen Spielmechanismen experimentell untersucht und nutzten hierbei die identische Experiment-Plattform.

⁴ Im Zuge dieser Arbeit wurde der Cerasia-Konflikt zunächst auf vier Spieler mit insgesamt sechs binären Handlungsoptionen reduziert, ohne dabei die einzelnen Teilkonflikte und die Reichhaltigkeit des Konflikts wesentlich zu beschneiden. Das Gesamtmodell, inklusive korrespondierender Präferenzordnungen, wurde daraufhin auf Grundlage des Graph Model for Conflict Resolution (GMCR) modelliert.

rungen induzieren. Neben der erreichten Spielperformance und der Realisierung koordinativer Zustände, konnten in allen Experimenten signifikante Unterschiede im reaktiven Koordinationsverhalten beobachtet werden. Besonders der, im Zuge dieser Arbeit entwickelte, *real-dynamische* Spielmechanismus, steht im Einklang mit der Vermutung von Bigoni et al. (2015, S. 588), wonach in kontinuierlichen Spielen gesteigerte Interpretations- und Reaktionsmöglichkeiten vorherrschen, welche reale Konflikte passender approximieren und koordinatives Verhalten begünstigen. Im Umkehrschluss können die Ergebnisse auch als Hinweis darauf interpretiert werden, dass sich Spielmechanismen, mit vergleichsweise niedriger Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, nur bedingt zur Modellierung realitätsnaher Konflikte eignen, da der temporal beschränkende Spielmodus, in Kombination mit fehlender Endogenität, die Realisierung koordinativer Prozesse hemmt. Besonders deutlich wird dies bei der Auswertung des *simultan-wiederholten* Spielmechanismus, bei welchem bezüglich der Spiel-Performance, der realisierten Koordinationszustände, sowie der koordinativen Reaktionsketten signifikant weniger koordinative Beobachtungen als im *real-dynamischen* Modus registriert werden konnten.

Der *sequenziell-randomisierte* Mechanismus, welcher eine mittlere Reichhaltigkeit der Informationsstruktur aufweist, gliedert sich im Bezug auf seine koordinativen Eigenschaften erwartungsgemäß zwischen den beiden zuvor genannten Mechanismen ein, wobei die koordinativen Unterschiede zum *simultan-wiederholten* Modus ebenfalls signifikant ausfallen. Im direkten Vergleich zum reichhaltigeren, *real-dynamischen* Mechanismus gestaltet sich die Unterscheidung komplexer. Während im Bezug auf die Spiel-Performance und die realisierten Koordinationszustände, trotz des grundsätzlich geringeren Koordinations-Niveaus im *sequenziell-randomisierten* Modus, keine signifikanten Unterschiede nachweisbar sind, zeigt sich für die zentrale These bzgl. der beobachteten koordinativen Reaktionsketten erneut ein signifikanter Vorsprung des *real-dynamischen* Spielmechanismus. Insgesamt verändert die Gestaltung der Zugentscheidungen, sowie der temporale Kontext, in welchem strategische Entscheidungen getroffen werden, den Charakter des Spiels umfassend. Besonders der *real-dynamische* Mechanismus hebt sich, im Bezug auf seine koordinations-fördernden Eigenschaften, von den übrigen Spielmechanismen ab, und kann sich als eigenständiger Mechanismus, mit signifikant unterschiedlichen Eigenschaften abgrenzen.

Weiterhin können die Erkenntnisse, bezüglich der höheren Häufigkeit von kooperativen Ergebnissen im Gefangenendilemma, unter Anwendung kontinuierlicher Spielmechanismen, von Friedman und Oprea (2012), sowie die Prognosen von Radner und Rosenthal (1982) und Simon und Stinchcombe (1989), im Zuge dieser Arbeit bestätigt und erweitert werden. Während sich Friedman und Oprea (2012) auf die Analyse des 2-Spieler Gefangenendilemmas konzentriert, können durch die hier vorliegende Erweiterung auf drei Spieler, zusätzliche, koordinative Aspekte untersucht werden. So wird beispielsweise im Zuge dieser Arbeit der *sequenziell-randomisierte* Spielmechanismus eingeführt, welcher bezüglich seiner Reichhaltigkeit der In-

formationsstruktur zwischen dem *real-dynamischen* und *simultan-wiederholten* Spiel einzuordnen ist⁵. Weiterhin erlaubt die Erweiterung auf drei Spieler nicht nur die Analyse der erreichten Zustände, sondern auch die Identifikation von reaktiven Kooperations-Ketten, welche ein präziseres Maß für gegenseitige Anpassung und strategisch-koordinatives Verhalten darstellen. Das zentrale Ergebnis der Arbeit, wonach sich alle drei getesteten Spielmechanismen signifikant bezüglich des beobachteten, reaktiven Koordinationsverhaltens unterscheiden und koordinative Aktions-Ketten vermehrt in Mechanismen mit einer hohen Reichhaltigkeit der Informationsstruktur auftreten, stützt hierbei die initiale These. Begleitende Hypothesen, wie die Untersuchung der subjektiven Attraktivität der Nischenoption im 3PPD-N in Abhängigkeit des Spielmechanismus, runden die Analyse ab und liefern ergänzende Aspekte zur umfassenden Beantwortung der Forschungsfrage.

Übergreifend lässt sich somit erstens festhalten, dass die im Zuge dieser Arbeit durchgeführte experimentelle Studie die angenommene und in der Literatur prognostizierte Verhaltensanpassung, in Abhängigkeit des Spielmechanismus bestätigt. Zweitens konnten die beobachteten Effekte, durch eine Reihe zunehmend präzisierender Untersuchungen, mit der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur des jeweiligen Spielmechanismus in Verbindung gebracht werden. Die Tatsache, dass spielübergreifend vergleichbare Effekte, im Bezug auf das koordinative Verhalten der beobachteten Akteure, ermittelt werden konnten, stützt diese Annahme und trägt wesentlich zur externen Validität der Studie bei. Drittens deuten die Ergebnisse der empirisch-explorativen Analyse des Cerasia-Konflikts eine Übertragbarkeit der identifizierten Effekte auf „realitätsnahe“ Konflikte an. Die Implikationen dieser Arbeit für die weitere Forschung und die daraus resultierenden, ergänzenden Fragestellungen werden im folgenden Abschnitt, gemeinsam mit den Limitierungen der durchgeführten experimentellen Untersuchungen, nochmals dezidiert adressiert und diskutiert.

6.2 Kritische Diskussion und Ausblick

Die empirische Analyse von Spielmechanismen und deren Auswirkungen auf das Entscheidungsverhalten in spieltheoretischen Entscheidungssituationen ist in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus des wissenschaftlichen Interesses gerückt. Neben weitreichenden Fortschritten auf dem Gebiet des computergestützten Experiment-Designs, welches die empirische Verfolgung von Konflikten in (quasi)-stetiger Zeit erlaubt, sind auch die Erfolge auf dem Gebiet des „Game-Mechanism-Designs“ (vgl. Myerson & Satterthwaite, 1983; bzw. Hurwicz, 1978) als primäre Gründe für diese Entwicklung anzuführen. Der im Zuge dieser Arbeit abgeleitete Forschungsbereich setzt in diesem Zusammenhang einem interdisziplinären Schwerpunkt an der Schnittstelle zwischen Spieltheorie und empirischer Verhaltensforschung, wobei die Ef-

⁵ Für eine detaillierte Herleitung der einzelnen Spielmechanismen, sowie der jeweiligen Klassifizierung der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur anhand klar festgelegter Dimensionen sei auf Abschnitt 2.3 verwiesen.

fekte klar definierter Spielmechanismen auf koordinatives Verhalten im Mittelpunkt des Forschungsinteresses stehen. Da sowohl der spieltheoretische Bereich des Mechanismus-Designs, als auch der Koordinationsbegriff im verhaltenswissenschaftlichen Sinne nicht vollständig im Verlauf einer einzigen Studie erfasst werden kann, ist eine klare Definition und Abgrenzung des Forschungsschwerpunkts unumgänglich. Obwohl getroffene Entscheidungen bezüglich der Fragestellung, des Experiment-Designs und des Forschungsobjekts bereits in den einführenden Kapiteln der Arbeit adressiert werden, sollen zentrale Annahmen im folgenden nochmals kritisch diskutiert werden.

Ein zentraler Aspekt der Arbeit besteht in der **Definition der untersuchten Spielmechanismen**, welche in der vorhandenen Literatur oft mehrdeutig beschrieben oder nur unzureichend voneinander abgegrenzt werden. Während vorangegangene Studien, wie beispielsweise von Friedman und Sunder (1994), die analysierten Mechanismen nur anhand der gängigen Begriffe Stufenspiele, Extensivformspiele oder kontinuierlichen Spielen klassifizieren, geht die vorliegende Arbeit einen Schritt weiter und identifiziert insgesamt sechs Dimensionen, anhand welcher die Charakteristik eines Spielmechanismus definiert werden kann⁶. An dieser Stelle kann argumentiert werden, dass selbst diese objektive Abgrenzung nicht zwangsläufig alle Aspekte des Spielmechanismus vollumfänglich erfasst. Im Sinne dieser Arbeit und in enger Abstimmung mit dem Begriff der Reichhaltigkeit der Informationsstruktur, stellt die vorgenommene Klassifizierung dennoch eine hinreichende Charakterisierung dar, welche eine differenzierende Analyse der einzelnen Mechanismen erlaubt. Für abweichende Fragestellungen steht eine alternative Parametrisierung der zu testenden Spielmechanismen jedoch grundlegend zur Diskussion.

Eine weitere, wesentliche Entscheidung im Zuge dieser Arbeit stellt die **Auswahl der getesteten Spiele** und Konflikt-Szenarien dar. Während in der Literatur und in vergleichbaren Arbeiten fast ausschließlich soziale Dilemma im Allgemeinen und das Gefangenendilemma im Speziellen als Grundlage für empirische Untersuchungen herangezogen werden, wird die grundsätzliche Eignung dieses Spiels für verhaltensökonomische Fragestellungen zunehmend kritisch diskutiert⁷ (vgl. Colman, 1982, S. 116 bzw. 257f.). Da ein Anknüpfungspunkt an die vorhandene Literatur im Sinne wissenschaftlicher Kontinuität dennoch sinnvoll erscheint, wird im ersten Experiment eine Version des Gefangenendilemmas untersucht, welche jedoch auf drei Spieler erweitert wurde. Eine Überprüfung bereits vorhandener Erkenntnisse wird dadurch möglich, eröffnet jedoch gleichzeitig den Weg für die Analyse erweiterter, koordinationsbezogener Fragestellungen. Darauf aufbauend wird in einem Folgeexperiment das Gefangenendilemma um eine Nischenoption erweitert, was durch den risikolosen Charakter dieser Option den exogenen

⁶ Vergleiche hierzu Abschnitt 2.3.

⁷ Colman bezieht sich in seiner Kritik konkret auf das Gefangenendilemma, welches gerade bei einmaliger Wiederholung, simultaner Zugauswahl und unter Berücksichtigung lediglich zweier Akteure nicht als allgemeingültige Approximation für reale Konflikte aufgefasst werden sollte (vgl. Colman, 1982, S. 116 bzw. 257f.).

Druck zur Koordination verringert. Da im Zuge dieses Experiments vergleichbare koordinative Effekte in Abhängigkeit der Spielmechanismen beobachtet werden konnten, trägt dieses Vorgehen weiter zur externen Validität der Untersuchung bei. Das, im dritten Experiment getestete, Modell des Cerasia-Konflikts setzt sich, aufgrund seines asymmetrischen Charakters und multipler Teilkonflikte, deutlich von den zuvor untersuchten Spielen ab. Da eine umfassende gleichgewichts- und koordinations-spezifische Betrachtung und Analyse auf Zustandsebene nicht als zielführend bewertet wird, ist dessen Analyse als explorative Erweiterung der Arbeit zu betrachten und entsprechend einzuordnen. Obwohl es aus diesem Grund spielbedingt nicht möglich ist reaktive Kooperations-Ketten direkt zu analysieren, konnte durch eine Übertragung der Methodik auf allgemeine, temporäre Verschlechterungen ein inhaltlich vergleichbares Ergebnis erzielt werden. Weitere Untersuchungen, welche sich auf die Analyse von „realitätsnahen“ Spielen beziehen, scheinen an dieser Stelle vielversprechend.

Ein kritischer Aspekt einer jeden empirischen Untersuchung stellt das **Experiment-Design**, sowie die **Beurteilung der Laborumgebung** im Vergleich zu alternativen Datenerhebungsmethoden, wie beispielsweise Feldversuchen dar. Die Entscheidung, die vorliegende Untersuchung im Zuge eines Laborexperiments zu realisieren, liegt primär in der Möglichkeit begründet, relevante Eigenschaften über das gesamte Experiment hinweg konstant halten bzw. gezielt randomisieren zu können. Da aus methodischer Sicht der differenzierende Vergleich der Effekte der drei untersuchten Spielmechanismen im Zentrum der Analyse steht, ist eine gleichbleibende Laborumgebung essentiell wichtig, um mögliche Störeffekte zu minimieren. Hinzu kommt, dass reale Konflikte zwar oftmals wiederkehrende Strukturen und Charakteristiken aufweisen, aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen jedoch kaum quantitativ vergleichbar sind⁸. Da die Analyse von Entscheidungen zudem in hohem Maße von der individuellen Kognition der Akteure, sowie dem individuellen Entscheidungs-Rational abhängt, lassen sich statistisch signifikante Unterschiede erst nach zahlreiche Messungen belastbar nachweisen. Im Bezug auf das Experiment-Design wurde in diesem Zusammenhang bewusst ein Design mit wiederholten Messungen („Repeated-Measures“) zurückgegriffen. Die gleichbleibende Gruppenstruktur ermöglicht (entsprechende Kontrolle vorausgesetzt) eine präzisere Identifikation relevanter Effekte bei gleichzeitig geringerem Anspruch an die Größe der Stichprobe. Ein Design mit vollkommen unabhängigen Datenpunkten, wobei eine Gruppe jeweils nur einem isolierten Treatment ausgesetzt wird, kann in diesem Zusammenhang als mögliche Alternative diskutiert werden, ist aufgrund der unzureichenden Kontrolle interner Gruppeneffekte, sowie dem steigenden experimentellen Aufwand jedoch nur bedingt empfehlenswert.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse der Arbeit im Wesentlichen für die, im Laufe der Untersuchung getroffenen, Design-Entscheidungen. So sind zum einen die beobachteten Effekte der

⁸ Klopfer (2018, S. 160) stellt in diesem Zusammenhang ein umfassende Übersicht von realen Konflikten zusammen, welche in der Vergangenheit spieltheoretisch untersucht wurden. Für die vorliegende Studie eignet sich deren Auswertung aufgrund der oben genannten Aspekte nur bedingt.

Spielmechanismen über die verschiedenen Experimente hinweg, sowohl in ihrer Richtung, als auch in ihrer relativen Stärke vergleichbar und statistisch signifikant. Weiterhin unterstützen die Ergebnisse der durchgeführten Zustandsanalyse die experimentellen Ergebnisse vergleichbarer Arbeiten und leisten, mithilfe erweiterter Untersuchungen und explorativen Ansätzen, einen Beitrag auf dem Gebiet der empirischen Erforschung von Spielmechanismen. Während die Erforschung von modellbasierten Spielen wie dem Gefangenendilemma sich für koordinative Fragestellungen aufgrund des beherrschbaren Charakters anbietet, gestaltet sich die spieltheoretisch fundierte Forschung auf dem Gebiet der realen Konflikt-Analyse jedoch weiterhin anspruchsvoll. Asymmetrische Spielprofile, unklare Präferenzen und unvollständige bzw. unvollkommene Informationsausstattungen erschweren quantitative Analysen. Die zentrale Erkenntnis dieser Arbeit, wonach bereits kleine Änderungen am Spielmechanismus weitreichende Folgen für den Ausgang konfliktärer Szenarien und deren koordinative Eigenschaften haben kann, motiviert daher weitere Publikationen auf diesem Gebiet⁹. Besonders der, im Zuge dieser Arbeit entwickelte und experimentell getestete, „real-dynamische“ Spielmechanismus bietet sich für die Übertragung auf verwandte Forschungsgebiete an.

⁹ Eine unreflektierte Übertragung modellbasierter Erkenntnisse auf reale Konflikte sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

A Appendix

A.1 Herleitung: Kooperation im unendlich oft wiederholten Gefangenendilemma

Im Folgenden soll analog zu Riechmann (2014, S. 147–148), anhand der sog. *Grim-Trigger-Strategie*, anschaulich gezeigt werden, unter welchen Bedingungen eine reine Kooperationsstrategie im unendlich wiederholten Gefangenendilemma eine präferierte Alternative zur Defektionsstrategie darstellt. Die *Grim-Trigger-Strategie* sieht in diesem Zusammenhang vor so lange zu kooperieren, bis der Gegenspieler einmalig defektiert, um dann ebenfalls fortlaufend zu defektieren.

Falls beide Spieler Grim-Trigger spielen, so wird keiner der beiden Spieler jemals defektieren und der individuelle Payoff einer jeden Runde beträgt -1 . Basierend auf Gleichung Gleichung 2.1 ergibt sich der erwartete Payoff des Gesamtspiels somit wie folgt:

$$E[\pi(C, C)] = -1 + \delta \cdot (-1) + \delta^2 \cdot (-1) + \dots \quad (\text{A.1})$$

Weicht hingegen einer der beiden Spieler ab Periode N ab und spielt fortan Defektion, so kooperiert sein Gegenspieler bis einschließlich Periode N und spielt danach ebenfalls Defektion. Der abweichende Spieler erhält damit in den ersten $N - 1$ Runden eine Auszahlung von -1 , in Periode N eine Auszahlung von 0 und in allen darauf folgenden Runden einen Rundenpayoff von -3 . Das Auszahlungsprofil ergibt sich für die beschriebene Strategie wie folgt:

$$\begin{aligned} E[\pi(D_N, Grim)] &= -1 + \delta \cdot (-1) + \delta^2 \cdot (-1) + \dots + \delta^{N-1} \cdot (-1) \\ &\quad + \delta^N \cdot (0) + \delta^{N+1} \cdot (-3) + \delta^{N+2} \cdot (-3) + \dots \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

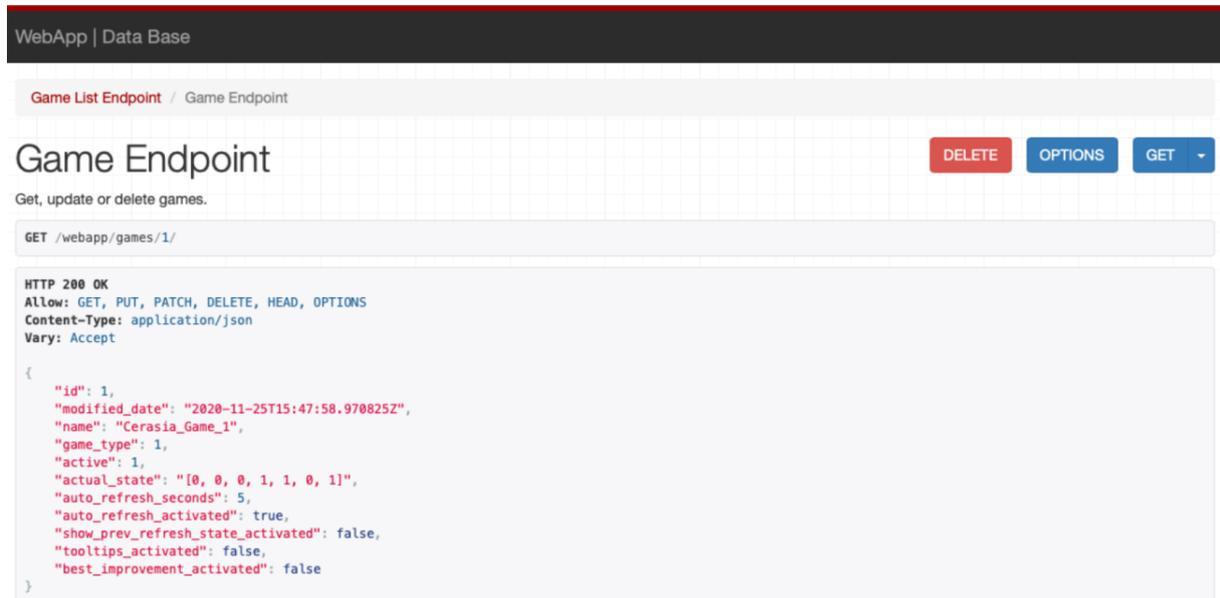
Im nächsten Schritt soll nun ermittelt werden, für welche Ausgestaltung des Diskontierungsfaktors bzw. der Abbruchwahrscheinlichkeit δ eine reine Kooperationsstrategie der Grim-Trigger-Strategie vorzuziehen ist. Nach Riechmann (2014, S. 147–148) gilt:

$$\begin{aligned} & E[\pi(C,C)] \geq E[\pi(D_N, Grim)] \\ \Leftrightarrow & -1 - \delta - \delta^2 - \dots \geq -1 - \delta - \delta^2 - \dots - \delta^{N-1} - 3\delta^{N+1} - 3\delta^{N+2} - \dots \\ \Leftrightarrow & -\delta^N - \delta^{N+1} - \dots \geq 3(-\delta^{N+1} - \delta^{N+2} - \dots) \\ \Leftrightarrow & \delta^N \leq 2(\delta^{N+1} + \delta^{N+2} + \dots) \\ \Leftrightarrow & \frac{1}{2} \leq \frac{\delta}{1-\delta} \\ \Leftrightarrow & \delta \geq \frac{1}{3} \end{aligned} \tag{A.3}$$

Entsprechend Gleichung A.3 ist es umso sinnvoller auf eine Kooperationsstrategie zu setzen, umso höher die Fortsetzungswahrscheinlichkeit des Spiels δ angenommen wird. Für die vorliegende Payoff-Matrix des Gefangenendilemmas beträgt der kritische Wert für δ , ab welchem die Kooperationsstrategie der Grim-Trigger-Strategie vorzuziehen ist $\delta^* = \frac{1}{3}$. Auch für höhere Werte als δ^* kann für andauernde Kooperation eine höhere Auszahlung erwartet werden, als für andauernde Defektion.

A.2 Technische Spezifikation der entwickelten Client-Server Experiment-Plattform

Technologiewahl Server:



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.1: Beispielhafte Darstellung eines Endpunktes des Server-Backends (Django REST)

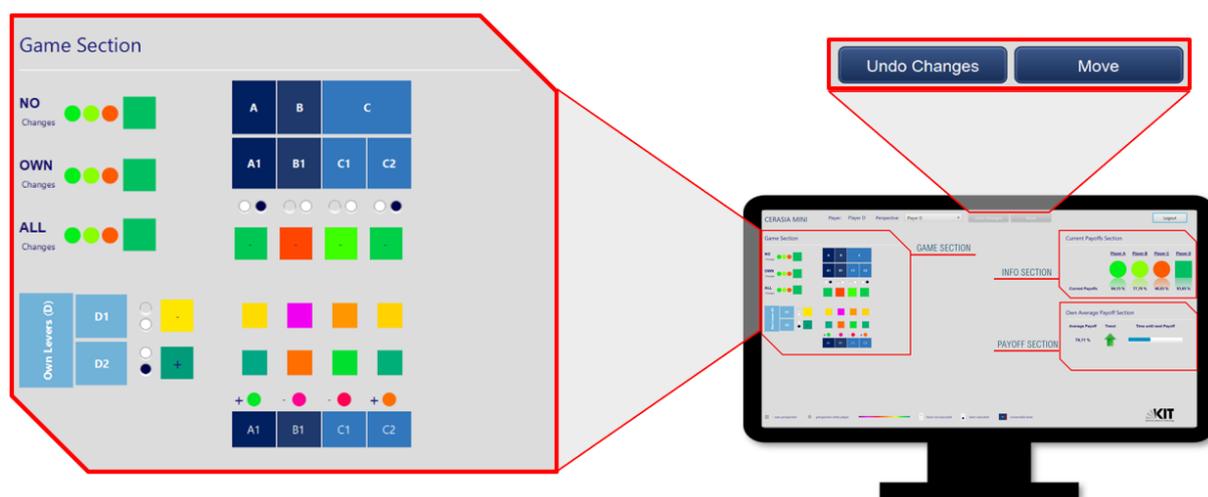
Framework: Als Technologie zur Serverimplementierung wurde im Zuge der Applikations-Entwicklung auf das *Django REST*¹ Framework zurückgegriffen. Bei *Django REST* handelt es sich um eine Erweiterung des Django-Frameworks, welches sich zur Entwicklung von skalierbaren und REST-fähigen Webapplikationen bzw. Webservices eignet². Zudem werden zielgerichtete Methoden bereitgestellt, welche eine unmittelbare Umwandlung der im Modell gesicherten Daten in das für die Kommunikation relevante *JSON*-Format gewährleisten. Ein weiterer Vorteil (z.B. im Vergleich zu alternativen Frameworks wie *Ruby*) ergibt sich durch das native User-Modell, welches User-Attribute und Methoden zur Verwaltung der Spieler bereitstellt. Bei der Ausgestaltung des Backends konnten Elemente aus einer, von Burkardt (2020) entwickelten, Web-Applikation übernommen werden, welche am Institut für Unternehmensführung im Rahmen einer Dissertation programmiert wurde.

Datenbank: Auf der Datenbank-Ebene, wird auf die relationale Open-Source Lösung *PostgreSQL* zurückgegriffen, welche sich durch einfache Parametrisierung, hohe Zuverlässigkeit und Kompatibilität mit allen im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Programmiersprachen auszeichnet (vgl. Obe et al., 2012; Lee & Hubbard, 2015).

¹ REST ist ein Akronym für *Representational state transfer* (vgl. Holovaty & Kaplan-Moss, 2008).

² *Django REST* basiert auf der Programmiersprache Python (vgl. Goodrich et al., 2013).

Technologiewahl Client/Control Center:



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.2: Beispielhafte Darstellung eines Client-Frontends (JavaFX)

Technische Realisierung: Sowohl die einzelnen Clients, als auch die zugehörigen Control-Center (vgl. Abbildung 4.3) für die getesteten Spiele, wurden in der Programmiersprache Java bzw. JavaFX realisiert (vgl. G. Anderson & Anderson, 2009). JavaFX hat hierbei den Vorteil auf alle nativen *packages* von Java zugreifen zu können und stellt gleichzeitig erweiterte Tools zur Erzeugung graphischer Oberflächen zur Verfügung (vgl. Goodrich & Tamassia, 2006). Da die zentrale Herausforderung des Clients darin besteht komplexe Zustandsräume und Zeitstrukturen in eine möglichst übersichtliche, graphische Experiment-Oberfläche zu überführen, ist JavaFX im Vergleich zu alternativen Technologien³ besonders geeignet. Durch die weite Verbreitung der Java-Umgebung ist die Applikation zudem auf einer großen Vielfalt von Endgeräten nutzbar, solange eine stabile Verbindung zum Server garantiert werden kann (vgl. Fowler & Rice, 2011). Auch die Implementierung von KI-Bots ist möglich.

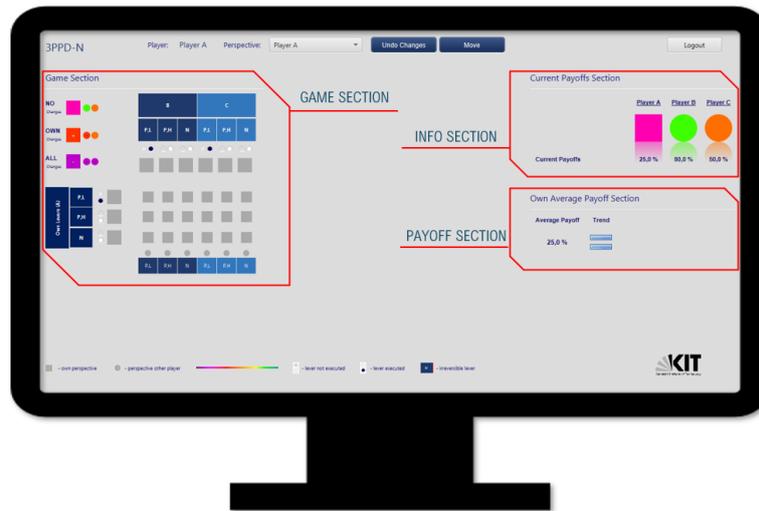
Client-Server-Kommunikation: Die Kommunikation zwischen Client und Server wird über einen sogenannten *JSON-Handler* sichergestellt. Dieser überträgt relevante Daten des *Servers* über einen *GET*-Befehl auf den *Client*, bzw. stellt mithilfe eines *PUT*-Befehls die Übertragung spielerindividueller Entscheidungen auf den zentralen Server sicher. Um die ursprünglich in Java erzeugten Daten in ein zur Übertragung geeignetes *JSON*-Format zu überführen, kommt eine *GSON*-Dependency zum Einsatz, welche die Daten entsprechend konvertiert (vgl. Kramer & Magee, 1985; bzw. Callaghan et al., 2007).

³ Eine Alternative zu JavaFX stellt hierbei die Programmiersprache Python dar, welche zwar Vorteile im Bereich effizienter Datenstrukturen und schneller Kommunikation mit dem Django REST Server ermöglicht, jedoch nur begrenzt für die Realisierung graphischer Oberflächen geeignet ist (vgl. Hugunin, 1997).

A.3 Übersicht der Oberflächen-Visualisierungen nach Spielmechanismus

Die folgenden Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Oberflächen-Visualisierungen für die drei untersuchten Spielmechanismen am Beispiel des 3-Spieler-Gefangenendilemmas mit Nischenoption (3PPD-N):

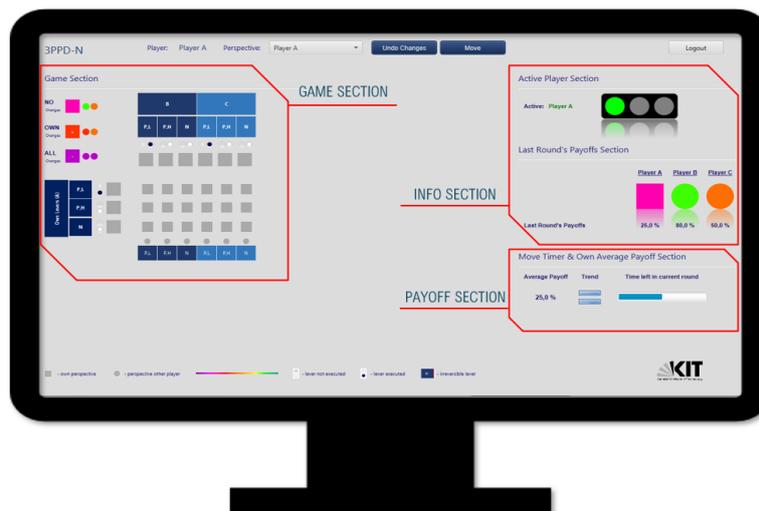
Real-Dynamischer Spielmechanismus:



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.3: Oberflächen-Visualisierung des real-dynamischen Spielmechanismus im 3PPD-N

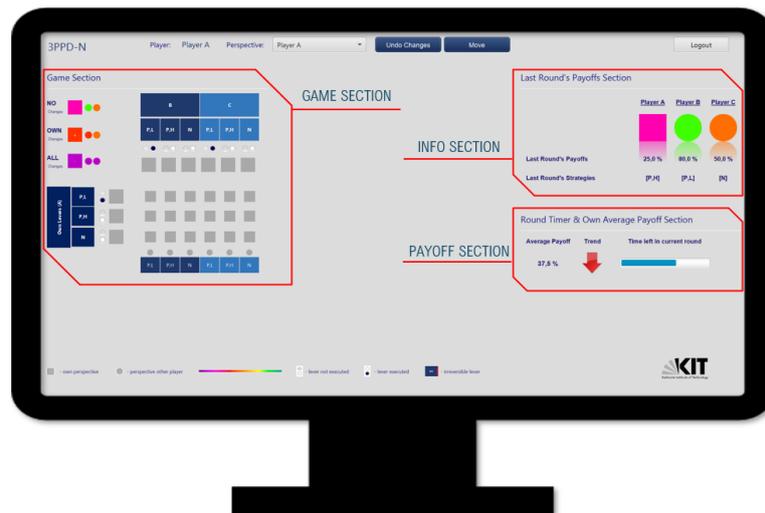
Sequenziell-Randomisierter Spielmechanismus:



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.4: Oberflächen-Visualisierung des sequenziell-randomisierten Spielmechanismus im 3PPD-N

Simultan-Wiederholter Spielmechanismus:



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.5: Oberflächen-Visualisierung des simultan-wiederholten Spielmechanismus im 3PPD-N

A.4 Graphische Darstellung eines beispielhaften Spielverlaufs (CER)

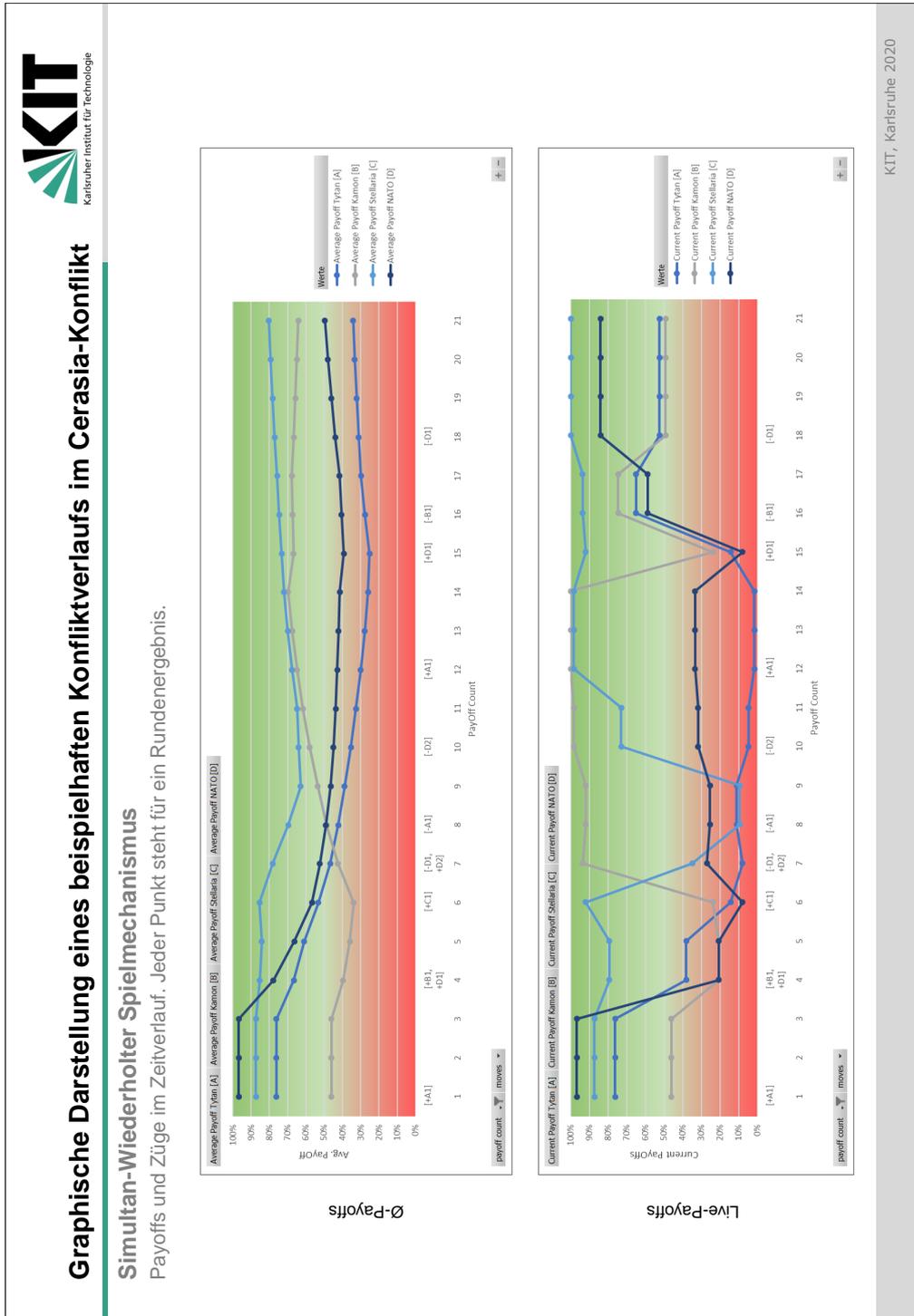


Abbildung A.6: Graphische Darstellung eines beispielhaften Spielverlaufs (CER)

A.5 Handouts für die Experimentteilnehmer

Experiment I: 3PPD



In today's strategic positioning game you will play a company that has to decide for a pricing strategy

Introducing the Game

The Scenario



Three competitors

- There are **three identical companies**
- All companies are active in the **same market**
- All companies have the **same starting conditions, resources and strategic options**

One Product

- There is exactly **one homogeneous product** on the market
- All companies are **producing exactly the same product**
- There are **no other products / substitutes** from another market



The Decisions



Decision Making

- All companies have to choose between **two pricing options** for their product – high or low
- Individual Payoffs are **dependent on one's own and opponent's pricing strategies**
- The customers choose their buying decision **strictly based on price**

Two Pricing Strategies



High Price

Strategy I



Low Price

Strategy II

KIT, Karlsruhe 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.7: Instruktionen für Experiment I: 3PPD (Seite 1)



Each combination of the players' strategies will result in a certain payoff reflecting the individual economic value of the current state

Introducing the payoff table
Payoff are rewarded on a scale from 0 (worst) to 100 (best)



Payoff Table

		High		Low	
		High	Low	High	Low
You >>	High	80	40	40	0
	Low	100	60	60	20

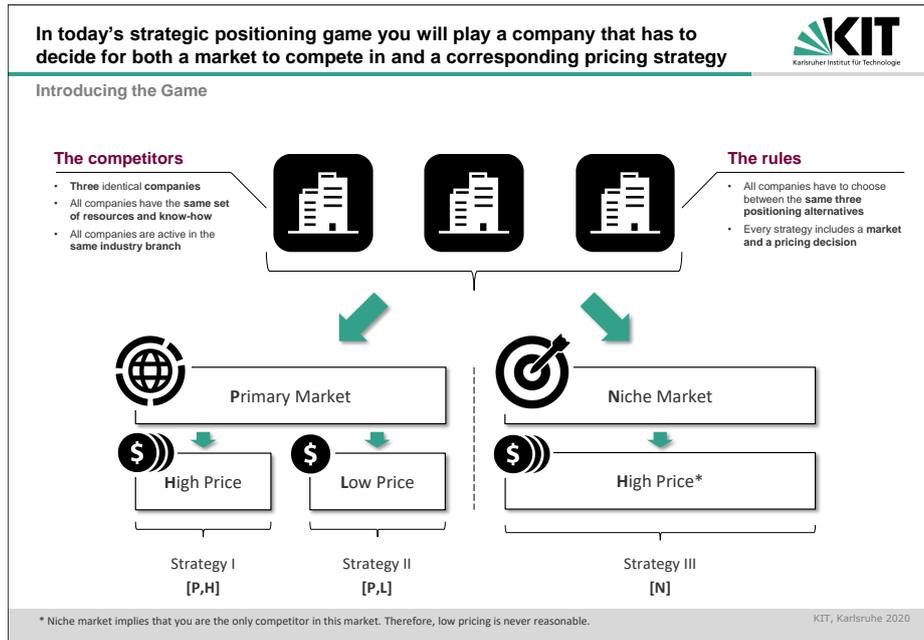
- Every Combination of strategies is possible and rewards a certain payoff.
- Payoffs are symmetrical for every competitor.
- No irreversible strategies. Strategies can be changed whenever moves are allowed.

KIT, Karlsruhe 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.8: Instruktionen für Experiment I: 3PPD (Seite 2)

Experiment II: 3PPD-N



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.9: Instruktionen für Experiment II: 3PPD-N (Seite 1)

Each combination of the players' strategies will result in a certain payoff reflecting the individual economic value of the current state



Introducing the payoff table

Payoff are rewarded on a scale from 0 (worst) to 100 (best)

Payoff Table

		[P,L]			[P,H]			[N]		
P2		[P,L]	[P,H]	[N]	[P,L]	[P,H]	[N]	[P,L]	[P,H]	[N]
P3	[P,L]	10	35	40	35	75	80	40	80	90
	[P,H]	0	20	25	20	60	65	25	65	100
	[N]	50	50	50	50	50	50	50	50	50

- Every Combination of strategies is possible and rewards a certain payoff.
- Payoffs are symmetrical for every competitor.
- No irreversible strategies. Strategies can be changed whenever moves are allowed.

KIT, Karlsruhe 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.10: Instruktionen für Experiment II: 3PPD-N (Seite 2)

Experiment III: Cerasia

**Introducing the base model for the East Cerasia Wargame (1/2):
The four actors and their levers for action**

Introducing the Levers
Each lever can be executed or taken back at any time



KIT
Karlsruher Institut für Technologie

(B) Kamon

(B1) **Attack Tytan and occupy Tori Pocket** in order to exploit oil deposits alone.

(A) Tytan

(A1) **Offer to exploit oil deposits on Hanish Islands in Cooperation with Stellaria.**

(C) Stellaria

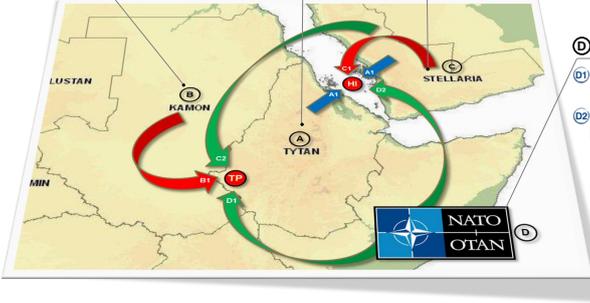
(C1) **Attack Tytan and occupy Hanish Islands** in order to exploit oil deposits alone.

(C2) **Station Troops in Tytan to secure Tytan/Kamon Border.**

(D) NATO

(D1) **Station peace keeping troops in Tori Pocket.**

(D2) **Station peace keeping troops on Hanish Islands.**



KIT, Karlsruhe 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.11: Instruktionen für Experiment III: Cerasia (Seite 1)

**Introducing the base model for the East Cerasia Wargame (2/2):
The players' preferences and further specifications**

Introducing the Preference Tree
Each player has an individual preference tree that reflects his preferred outcomes



KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Levers

(A1) **Offer to exploit oil deposits on Hanish islands in Cooperation with Stellaria.**

(B1) **Attack Tytan and occupy Tori Pocket** in order to exploit oil deposits alone.

(C1) **Attack Tytan and occupy Hanish Islands** in order to exploit oil deposits alone.

(C2) **Station Troops in Tytan to secure Tytan/Kamon Border.**

(D1) **Station peace keeping troops in Tori Pocket.**

(D2) **Station peace keeping troops on Hanish Islands.**

Resulting Preference Tree

	(A) Tytan	(B) Kamon	(C) Stellaria	(D) NATO
Highest Priority	-B1	B1 IFF -C2&-D1	-D2	-B1
	-C1	-D1	+A1	-D1
PRIORITY RANKING	+D1	-C2	C1 IFF -D2	-C1
	+D2	-D2	-D1	-D2
	-A1	+C1	-C2	+C2
Lowest Priority	C2 IFF -C1&+A1	+A1	-B1	+A1

➔

- There are no combinations excluded, every lever combination is possible
- There are no irreversible levers, every lever can be played and taken back as often as needed

KIT, Karlsruhe 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung A.12: Instruktionen für Experiment III: Cerasia (Seite 2)

A.6 Fragebogen nach Durchführung des Experiments

Fragebogen zum spieltheoretischen Experiment

Session: _____

Platz: _____

Bitte beantworten Sie noch folgende Fragen. Alle Angaben werden anonymisiert ausgewertet.

A) Demographische Fragen

Wie alt sind Sie?

___ Jahre

Welches Geschlecht haben Sie?

männlich

weiblich

keine Angabe

Bitte machen Sie Angaben zu Ihrem derzeitigen Bildungsstand

(höchste abgeschlossene Ausbildung)

Promotion

Master/Diplom

Bachelor

Kaufmännische Ausbildung

Abitur

Keine Antwort zutreffend

In welcher Fachrichtung liegt/lag Ihr Studienschwerpunkt?

Wirtschaftswissenschaften

Ingenieurwissenschaften

Naturwissenschaften

Geisteswissenschaften

Rechtswissenschaften

Andere: _____

B) Fragen zu Ihren Erfahrungen mit strategischen Entscheidungsproblemen

Bitte beschreiben Sie, ob und auf welche Art und Weise Sie sich Kenntnisse in den Bereichen Spieltheorie und Strategischer Konfliktanalyse angeeignet haben

(Mehrfachauswahl möglich)

Keine Vorkenntnisse

Im Rahmen einer Ausbildung angeeignete Kenntnisse

Privat angeeignete Kenntnisse

Kenntnisse aus beruflichen Tätigkeiten

Wie gut schätzen Sie Ihre Kenntnisse in den Bereichen Spieltheorie und Strategischer Konfliktanalyse ein?

Kreuzen Sie die am ehesten zutreffende Aussage an

Keine

Gering

Grundlegend

Erweitert

Sehr gut

C) Fragen zu Ihren Erfahrungen mit Laborexperimenten

An wie vielen ökonomischen/soziologischen/psychologischen Laborexperimenten haben Sie vor diesem Experiment teilgenommen?

Keine

1

2

3

4-10

>10

Alle Angaben werden vertraulich behandelt und anonymisiert ausgewertet

Literatur

- Abreu, D., Dutta, P. K. & Smith, L. (1994). The Folk Theorem for Repeated Games: A New Condition. *Econometrica*, 62(4), 939.
- Acquisti, A., Brandimarte, L. & Loewenstein, G. (2015). Privacy and human behavior in the age of information. *Science (New York, N.Y.)*, 347(6221), 509–514.
- Anderson, G. & Anderson, P. (2009). *Essential JavaFX*. Upper Saddle River, N.J, Prentice Hall.
- Anderson, S. T., Friedman, D. & Oprea, R. (2010). Preemption Games: Theory and Experiment. *American Economic Review*, 100(4), 1778–1803.
- Andreoni, J. & Miller, J. H. (1993). Rational Cooperation in the Finitely Repeated Prisoner's Dilemma: Experimental Evidence. *The Economic Journal*, 103(418), 570.
- Arrow, K., Gale, D., Kuhn, H. W. & Tucker, A. W. (Hrsg.). (1953). *Contributions to the Theory of Games (AM-28), Volume II* (Bd. v.2). Princeton, Princeton University Press.
- Arrow, K. J. & Kuhn, H. W. (Hrsg.). (1971). *Contributions to the theory of games* (5. print). Princeton, NJ, Univ. Press.
- Arslan, R. C., Walther, M. P. & Tata, C. S. (2020). formr: A study framework allowing for automated feedback generation and complex longitudinal experience-sampling studies using R. *Behavior research methods*, 52(1), 376–387.
- Asch, S. E. (1955). Opinions and Social Pressure. *Scientific American*, 193(5), 31–35.
- Axelrod, R. & Hamilton, W. D. (1981). The evolution of cooperation. *Science (New York, N.Y.)*, 211(4489), 1390–1396.
- Balietti, S. (2017). nodeGame: Real-time, synchronous, online experiments in the browser. *Behavior research methods*, 49(5), 1696–1715.

- Banerjee, D. & Sen, S. (2007). Reaching pareto-optimality in prisoner's dilemma using conditional joint action learning. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 15(1), 91–108.
- Bereby-Meyer, Y. & Roth, A. E. (2006). The Speed of Learning in Noisy Games: Partial Reinforcement and the Sustainability of Cooperation. *American Economic Review*, 96(4), 1029–1042.
- Bergemann, D. & Morris, S. (2016). Bayes correlated equilibrium and the comparison of information structures in games. *Theoretical Economics*, 11(2), 487–522.
- Bergin, J. & MacLeod, W. B. (1993). Continuous Time Repeated Games. *International Economic Review*, 34(1), 21.
- Berninghaus, S. K., Ehrhart, K.-M. & Güth, W. (2010a). Spiele in Extensivform (S. K. Berninghaus, K.-M. Ehrhart & W. Güth, Hrsg.). In S. K. Berninghaus, K.-M. Ehrhart & W. Güth (Hrsg.), *Strategische Spiele*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Berninghaus, S. K., Ehrhart, K.-M. & Güth, W. (Hrsg.). (2010b). *Strategische Spiele: Eine Einführung in die Spieltheorie* (Dritte, verbesserte Auflage). Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bigoni, M., Casari, M., Skrzypacz, A. & Spagnolo, G. (2015). Time Horizon and Cooperation in Continuous Time. *Econometrica*, 83(2), 587–616.
- Bó, P. D. (2005). Cooperation under the Shadow of the Future: Experimental Evidence from Infinitely Repeated Games. *American Economic Review*, 95(5), 1591–1604.
- Bolton, G. E. & Ockenfels, A. (2008). Self-centered Fairness in Games with More Than Two Players (C. R. Plott & V. L. Smith, Hrsg.). In C. R. Plott & V. L. Smith (Hrsg.), *Handbook of Experimental Economics Results*. Elsevier.
- Bonacich, P., Shure, G. H., Kahan, J. P. & Meeker, R. J. (1976). Cooperation and Group Size in the N-Person Prisoners' Dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 20(4), 687–706.
- Bonau, S. (2017). A Case for Behavioural Game Theory. *Journal of Game Theory*, 6(1), 7–14.

- Bonner, S. E. & Sprinkle, G. B. (2002). The effects of monetary incentives on effort and task performance: theories, evidence, and a framework for research. *Accounting, Organizations and Society*, 27(4-5), 303–345.
- Borenstein, S. (2003). Rapid Communication and Price Fixing: The Airline Tariff Publishing Company Case (J. E. Kwoka & L. J. White, Hrsg.). In J. E. Kwoka & L. J. White (Hrsg.), *The Antitrust Revolution: The Role of Economics*. New York, Oxford University Press.
- Boumans, M. & Morgan, M. S. (2001). Ceteris paribus conditions: materiality and the application of economic theories. *Journal of Economic Methodology*, 8(1), 11–26.
- Boutilier, C. (1996). Planning, learning and coordination in multiagent decision processes. *Proceedings of the 6th conference on Theoretical aspects of rationality and knowledge*.
- Brams, S. J. & Wittman, D. (1981). Nonmyopic Equilibria in 2×2 Games. *Conflict Management and Peace Science*, 6(1), 39–62.
- Brander, J. A. & Spencer, B. J. (1983). Strategic Commitment with R&D: The Symmetric Case. *The Bell Journal of Economics*, 14(1), 225.
- Brosig, J. (2002). Identifying cooperative behavior: some experimental results in a prisoner's dilemma game. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 47(3), 275–290.
- Budescu, D. V., Au, W. T. & Chen, X.-P. (1997). Effects of Protocol of Play and Social Orientation on Behavior in Sequential Resource Dilemmas. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 69(3), 179–193.
- Burkardt, N. (2020). *Differenzielle Befunde zur Kognition in komplexen Spielen*. Dissertation am Institut für Unternehmensführung (IBU).
- Calford, E. & Oprea, R. (2017). Continuity, Inertia, and Strategic Uncertainty: A Test of the Theory of Continuous Time Games. *Econometrica*, 85(3), 915–935.
- Callaghan, M. J., Harkin, J., McColgan, E., McGinnity, T. M. & Maguire, L. P. (2007). Client-server architecture for collaborative remote experimentation. *Journal of Network and Computer Applications*, 30(4), 1295–1308.

- Camerer, C. F., Ho, T.-H. & Chong, J.-K. (2004). A Cognitive Hierarchy Model of Games. *The Quarterly Journal of Economics*, 119(3), 861–898.
- Camerer, C. F. (1991). Does strategy research need game theory? *Strategic Management Journal*, 12(S2), 137–152.
- Camerer, C. F. (1997). Progress in Behavioral Game Theory. *Journal of Economic Perspectives*, 11(4), 167–188.
- Camerer, C. F. (2011). *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*. New Jersey, Princeton University Press.
- Chen, D. L., Schonger, M. & Wickens, C. (2016). oTree—An open-source platform for laboratory, online, and field experiments. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 9, 88–97.
- Chinczewski, J. (2019). *Strategische Verschlechterungen in dynamischen Konflikten*. Dissertation am Institut für Unternehmensführung (IBU).
- Colman, A. M. (1982). *Game Theory and Experimental Games*. Oxford, Pergamon Press.
- Cooper, R., DeJong, D. V., Forsythe, R. & Ross, T. W. (1993). Forward Induction in the Battle-of-the-Sexes Games. *The American economic review*, 83(5), 1303–1316.
- Cooper, R., DeJong, D. V., Forsythe, R. & Ross, T. W. (1996). Cooperation without Reputation: Experimental Evidence from Prisoner's Dilemma Games. *Games and Economic Behavior*, 12(2), 187–218.
- Crawford, V. (1998). A Survey of Experiments on Communication via Cheap Talk. *Journal of Economic Theory*, 78(2), 286–298.
- Crawford, V. P. (2002). Introduction to Experimental Game Theory. *Journal of Economic Theory*, 104(1), 1–15.
- Cullmann, J., Hipel, K. W., Fang, L. & Bristow, M. (Hrsg.). (2015). *Conflict resolution in water resources and environmental management*. Cham, Springer.

- Cvsa, V. & Gilbert, S. M. (2002). Strategic commitment versus postponement in a two-tier supply chain. *European Journal of Operational Research*, 141(3), 526–543.
- Dai, Y. & Lu, P. (2015). When does inferring reputation probability countervail temptation in cooperative behaviors for the prisoners' dilemma game? *Chaos, Solitons & Fractals*, 78, 238–244.
- Das, P. (2019). *Econometrics in Theory and Practice*. Singapore, Springer Singapore.
- Daskalakis, C. & Papadimitriou, C. H. (2005). Three-player games are hard. *Electronic colloquium on computational complexity*, 139.
- Davis, J. H., Laughlin, P. R. & Komorita, S. S. (1976). The Social Psychology of Small Groups: Cooperative and Mixed-Motive Interaction. *Annual Review of Psychology*, 27(1), 501–541.
- Dörner, D. (2002). *Die Logik des Mißlingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen* (15. Aufl., Bd. 19314). Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- Elmes, S. & Reny, P. J. (1994). On the Strategic Equivalence of Extensive Form Games. *Journal of Economic Theory*, 62(1), 1–23.
- Fang, L., Hipel, K. W. & Kilgour, D. M. (1993). *Interactive decision making: The graph model for conflict resolution*. New York, Wiley.
- Fang, L., Hipel, K. W. & Kilgour, D. (1989). Conflict models in graph form: Solution concepts and their interrelationships. *European Journal of Operational Research*, 41(1), 86–100.
- Fershtman, C. & Pakes, A. (2000). A Dynamic Oligopoly with Collusion and Price Wars. *The RAND Journal of Economics*, 31(2), 207.
- Feuerstein, S. (2005). Collusion in Industrial Economics—A Survey. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 5(3-4), 163–198.
- Fischbacher, U. (2007). z-Tree: Zurich toolbox for ready-made economic experiments. *Experimental Economics*, 10(2), 171–178.

- Fowler, M. & Rice, D. (2011). *Patterns of enterprise application architecture* (17. print). Boston, Mass., Addison-Wesley.
- Fraser, N. M. (1994). Ordinal preference representations. *Theory and Decision*, 36(1), 45–67.
- Fraser, N. M. & Hipel, K. W. (1979). Solving Complex Conflicts. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(12), 805–816.
- Fraser, N. M. & Hipel, K. W. (1984). *Conflict analysis: Models and resolutions* (Bd. 11). New York, North-Holland.
- Friedman, D., Cassar, A. & Selten, R. (2004). *Economics lab: An intensive course in experimental economics* (Digital printing). London, Routledge.
- Friedman, D. & Oprea, R. (2012). A Continuous Dilemma. *American Economic Review*, 102(1), 337–363.
- Friedman, D. & Sunder, S. (1994). *Experimental methods: A primer for economists*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Fudenberg, D. & Levine, D. (1983). Subgame-perfect equilibria of finite- and infinite-horizon games. *Journal of Economic Theory*, 31(2), 251–268.
- Fudenberg, D. & Maskin, E. (1986). The Folk Theorem in Repeated Games with Discounting or with Incomplete Information. *Econometrica*, (54), 533–554.
- Fudenberg, D. & Tirole, J. (1991). *Game theory*. Cambridge, Mass., MIT Press.
- Gerardi, D. (2004). Unmediated communication in games with complete and incomplete information. *Journal of Economic Theory*, 114(1), 104–131.
- Gibbons, R. (1992). *A primer in game theory*.
- Gigerenzer, G. & Selten, R. (2002). *Bounded rationality: The adaptive toolbox* (1st MIT Press pbk. ed.). Cambridge, Mass, MIT Press.

-
- Glance, N. S. & Huberman, B. A. (1993). The outbreak of cooperation. *The Journal of Mathematical Sociology*, 17(4), 281–302.
- Glance, N. S. & Huberman, B. A. (1994). The Dynamics of Social Dilemmas. *Scientific American*, 270(3), 76–81.
- Goodrich, M. T. & Tamassia, R. (2006). *Data structures and algorithms in Java: Updated for Java 5.0* (4th ed.). Hoboken, NJ, Wiley.
- Goodrich, M. T., Tamassia, R. & Goldwasser, M. H. (2013). *Data Structures and Algorithms in Python* (1st ed.). Somerset, Wiley.
- Gordon, R. A. (1968). Issues in Multiple Regression. *American Journal of Sociology*, 73(5), 592–616.
- Green, B. F. & Tukey, J. W. (1960). Complex analyses of variance: General problems. *Psychometrika*, 25(2), 127–152.
- Green, E. J. & Porter, R. H. (1984). Noncooperative Collusion under Imperfect Price Information. *Econometrica*, 52(1), 87.
- Greene, W. (2004). Fixed Effects and Bias Due to the Incidental Parameters Problem in the Tobit Model. *Econometric Reviews*, 23(2), 125–147.
- Greene, W. H. (1981). On the Asymptotic Bias of the Ordinary Least Squares Estimator of the Tobit Model. *Econometrica*, 49(2), 505.
- Greiner, B. (2015). Subject pool recruitment procedures: organizing experiments with ORSEE. *Journal of the Economic Science Association*, 1(1), 114–125.
- Hamilton, J. H. & Slutsky, S. M. (1990). Endogenous timing in duopoly games: Stackelberg or cournot equilibria. *Games and Economic Behavior*, 2(1), 29–46.
- Hamilton, J. H. & Slutsky, S. M. (1993). Endogenizing the order of moves in matrix games. *Theory and Decision*, 34(1), 47–62.

- Hardin, R. (1971). Collective action as an agreeable n-prisoners' dilemma. *Behavioral Science*, 16(5), 472–481.
- Hardy, M. A. (2007). *Regression with dummy variables* ([Nachdr.], Bd. 93). Newbury Park, Calif., Sage.
- Harris, R. J. (1969). Note on Howard's Theory of Meta-Games. *Psychological Reports*, 24(3), 849–850.
- Harsanyi, J. C. (1973). Games with randomly disturbed payoffs: A new rationale for mixed-strategy equilibrium points. *International Journal of Game Theory*, 2(1), 1–23.
- Harsanyi, J. C. & Selten, R. (1992). *A general theory of equilibrium selection in games* (2. print). Cambridge, Mass., MIT Press.
- Hauert, C., de Monte, S., Hofbauer, J. & Sigmund, K. (2002). Volunteering as Red Queen mechanism for cooperation in public goods games. *Science (New York, N.Y.)*, 296(5570), 1129–1132.
- Hauk, E. & Nagel, R. (2001). Choice of Partners in Multiple Two-Person Prisoner's Dilemma Games. *Journal of Conflict Resolution*, 45(6), 770–793.
- Hausman, J. A. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251.
- Hazelrigg, P. J., Cooper, H. & Strathman, A. J. (1991). Personality Moderators of the Experimenter Expectancy Effect: A Reexamination of Five Hypotheses. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 17(5), 569–579.
- He, S., Hipel, K. W. & Kilgour, D. M. (2017). Analyzing market competition between Airbus and Boeing using a duo hierarchical graph model for conflict resolution. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 26(6), 683–710.
- He, S., Kilgour, D. M. & Hipel, K. W. (2015). Decision Support Systems IV - Information and Knowledge Management in Decision Processes: Euro Working Group Conferences, EWG-DSS 2014, Toulouse, France, June 10-13, 2014, and Barcelona, Spain, July 13-18, 2014, Revised Selected and Extended Papers (I. Linden, S. Liu, F. Dargam & J. E. Hernández, Hrsg.). In I. Linden, S. Liu, F. Dargam & J. E. Hernández (Hrsg.), *Decision*

-
- Support Systems IV - Information and Knowledge Management in Decision Processes.*
Cham, s.l., Springer International Publishing.
- Healy, P. J. (2006). Learning dynamics for mechanism design: An experimental comparison of public goods mechanisms. *Journal of Economic Theory*, 129(1), 114–149.
- Hendricks, K., Weiss, A. & Wilson, C. (1988). The War of Attrition in Continuous Time with Complete Information. *International Economic Review*, 29(4), 663.
- Hobbes, T. (1651). *Leviathan*.
- Hoggatt, A. C., Esherick, J. & Wheeler, J. T. (1969). A Laboratory to Facilitate Computer-Controlled Behavioral Experiments. *Administrative Science Quarterly*, 14(2), 202.
- Holovaty, A. & Kaplan-Moss, J. (2008). *The Definitive Guide to Django: Web Development Done Right*. Berkeley, CA, Adrian Holovaty and Jacob Kaplan-Moss.
- Holt, C. A. (1995). Industrial organization: A survey of laboratory research. *The handbook of experimental economics*, 1–102.
- Holt, C. A. & Roth, A. E. (2004). The Nash equilibrium: a perspective. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(12), 3999–4002.
- Howard, N. (1971). *Paradoxes of rationality: Theory of metagames and political behavior* (Bd. 1). Cambridge, Mass., MIT Press.
- Howard, R. (1966). Information Value Theory. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 2(1), 22–26.
- Huberman, B. A. & Glance, N. S. (1993). Evolutionary games and computer simulations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90(16), 7716–7718.
- Huck, S. & Kübler, D. (2000). Social pressure, uncertainty, and cooperation. *Economics of Governance*, 1(3), 199–212.

- Huginin, J. (1997). Python and Java: The best of both worlds. *Proceedings of the 6th international Python conference*, 9, 2–18.
- Hurwicz, L. (1978). The design of resource allocation mechanisms (K. J. Arrow & L. Hurwicz, Hrsg.). In K. J. Arrow & L. Hurwicz (Hrsg.), *Studies in resource allocation processes*. Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Jing, S., Li, R., Niu, Z. & Yan, J. (2020). The application of dynamic game theory to participant's interaction mechanisms in lean management. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106196.
- Kagel, J. H. & Roth, A. E. (Hrsg.). (1995). *The handbook of experimental economics*. Princeton, NJ, Princeton Univ. Press.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263.
- Kilgour, D. M. (1984). Equilibria for far-sighted players. *Theory and Decision*, 16(2), 135–157.
- Kilgour, D. M. & Hipel, K. W. (2005). The Graph Model for Conflict Resolution: Past, Present, and Future. *Group Decision and Negotiation*, 14(6), 441–460.
- Kirk, R. E. (2013). Experimental Design (I. B. Weiner, Hrsg.). In I. B. Weiner (Hrsg.), *Handbook of psychology*. Hoboken, N.J, Wiley.
- Klein, J. I. (1998). The State of Competition in the Airline Industry. *Department of Justice Statement*.
- Klopfer, A. (2018). *Koalitionäre Lösungskonzepte für dynamische Konfliktsituationen: Eine empirische Untersuchung*. Dissertation am Institut für Unternehmensführung (IBU).
- Kohlberg, E. & Mertens, J.-F. (1986). On the Strategic Stability of Equilibria. *Econometrica*, 54(5), 1003.
- Kopf, J. (2017). *Evolution von Kollusion*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Kramer, J. & Magee, J. (1985). Dynamic Configuration for Distributed Systems. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-11(4), 424–436.
- Kreps, D. M., Milgrom, P., Roberts, J. & Wilson, R. (1982). Rational cooperation in the finitely repeated prisoners' dilemma. *Journal of Economic Theory*, 27(2), 245–252.
- Kuhn, H. W. (1953). Extensive Games and the Problem of Information (K. Arrow, D. Gale, H. W. Kuhn & A. W. Tucker, Hrsg.). In K. Arrow, D. Gale, H. W. Kuhn & A. W. Tucker (Hrsg.), *Contributions to the Theory of Games (AM-28), Volume II*. Princeton, Princeton University Press.
- Lambertini, L. (1997). Prisoners' Dilemma in Duopoly (Super)Games. *Journal of Economic Theory*, 77(1), 181–191.
- Laraki, R., Solan, E. & Vieille, N. (2005). Continuous-time games of timing. *Journal of Economic Theory*, 120(2), 206–238.
- Lave, L. B. (1962). An Empirical Approach to the Prisoners' Dilemma Game. *The Quarterly Journal of Economics*, 76(3), 424.
- Lee, K. D. & Hubbard, S. (2015). *Data structures and algorithms with Python*. Cham, Springer.
- Levenstein, M. C. & Suslow, V. Y. (2006). What Determines Cartel Success? *Journal of Economic Literature*, 44(1), 43–95.
- Li, K. W., Kilgour, D. M. & Hipel, K. W. (2004). Status quo analysis of the Flathead River conflict. *Water Resources Research*, 40(5).
- Lindemann, O., Abolafia, J. M., Girardi, G. & Bekkering, H. (2007). Getting a grip on numbers: numerical magnitude priming in object grasping. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 33(6), 1400–1409.
- Liu, Q. & Serfes, K. (2004). Quality of Information and Oligopolistic Price Discrimination. *Journal of Economics and Management Strategy*, 13(4), 671–702.
- Mailath, G. J. (1993). Endogenous Sequencing of Firm Decisions. *Journal of Economic Theory*, 59(1), 169–182.

- Malone, T. W. (1987). Modeling Coordination in Organizations and Markets. *Management Science*, 33(10), 1317–1332.
- Maynard Smith, J. (1974). The theory of games and the evolution of animal conflicts. *Journal of Theoretical Biology*, 47(1), 209–221.
- Maynard Smith, J. (1972). *On evolution*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- McKelvey, R. D. & Palfrey, T. R. (1995). Quantal Response Equilibria for Normal Form Games. *Games and Economic Behavior*, 10(1), 6–38.
- Müller, F. (2018). *Predicting and classifying individual behavior in repeated games with Markov strategies*. Dissertation am Institut für Unternehmensführung (IBU).
- Mullet, E. & Chasseigne, G. (2018). Assessing information integration processes: a comparison of findings obtained with between-subjects designs versus within-subjects designs. *Quality & Quantity*, 52(4), 1977–1988.
- Myerson, R. B. (1978). Refinements of the Nash equilibrium concept. *International Journal of Game Theory*, 7(2), 73–80.
- Myerson, R. B. & Satterthwaite, M. A. (1983). Efficient mechanisms for bilateral trading. *Journal of Economic Theory*, 29(2), 265–281.
- Narahari, Y. (2014). *Game theory and mechanism design* (Bd. v. 4). Singapore, Hackensack, N.J, World Scientific Pub. Co.
- Nash, J. (1951). Non-Cooperative Games. *The Annals of Mathematics*, 54(2), 286.
- Nash, J. (1953). Two-Person Cooperative Games. *Econometrica*, 21(1), 128.
- Neumann, J. v. & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Noakes, D. J., Fang, L., Hipel, K. W. & Kilgour, D. M. (2003). An examination of the salmon aquaculture conflict in British Columbia using the graph model for conflict resolution. *Fisheries Management and Ecology*, 10(3), 123–137.

-
- Obe, R., Hsu, L., Blanchette, M. & Demarest, R. (2012). *PostgreSQL: Up and running* (First edition). Sebastopol, CA, O'Reilly.
- Oprea, R., Charness, G. & Friedman, D. (2014). Continuous time and communication in a public-goods experiment. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 108, 212–223.
- Osborne, M. J. & Rubinstein, A. (1994). *A course in game theory*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Pareto, V. (1906). *Manuale d'economia politica*.
- Poundstone, W. (1993). *Prisoner's dilemma: John von Neumann, game theory, and the puzzle of the bomb* (1. Anchor Books ed.). New York, Anchor Books.
- Prasnikar, V. & Roth, A. E. (1992). Considerations of Fairness and Strategy: Experimental Data from Sequential Games. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(3), 865–888.
- Radner, R. & Rosenthal, R. W. (1982). Private Information and Pure-Strategy Equilibria. *Mathematics of Operations Research*, 7(3), 401–409.
- Rapoport, A. (1988). Experiments with N-Person Social Traps I. *Journal of Conflict Resolution*, 32(3), 457–472.
- Riechmann, T. (2014). *Spieltheorie* (4. vollst. überarb. Aufl.). München, Vahlen.
- Roediger, H. L. & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in cognitive sciences*, 15(1), 20–27.
- Rubinstein, A. (1991). Comments on the Interpretation of Game Theory. *Econometrica*, 59(4), 909.
- Sabater-Grande, G. & Georgantzis, N. (2002). Accounting for risk aversion in repeated prisoners' dilemma games: an experimental test. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 48(1), 37–50.

- Sanderson, A. R. & Siegfried, J. J. (2019). The Nobel Prize in Economics Turns 50. *The American Economist*, 64(2), 167–182.
- Sayer Minas, J., Scodel, A., Marlowe, D. & Rawson, H. (1960). Some descriptive aspects of two-person non-zero-sum games. II. *Journal of Conflict Resolution*, 4(2), 193–197.
- Schelling, T. C. (1958). The strategy of conflict: Prospectus for a reorientation of game theory. *Journal of Conflict Resolution*, (2), 203–264.
- Schollmeier, R. (2002). A definition of peer-to-peer networking for the classification of peer-to-peer architectures and applications (N. Shahmehri & R. L. Graham, Hrsg.). In N. Shahmehri & R. L. Graham (Hrsg.), *Proceedings, First International Conference on Peer-to-Peer Computing*, Los Alamitos, Calif, IEEE Computer Society.
- Schram, A. (2005). Artificiality: The tension between internal and external validity in economic experiments. *Journal of Economic Methodology*, 12(2), 225–237.
- Schulz, J. F., Fischbacher, U., Thöni, C. & Utikal, V. (2014). Affect and fairness: Dictator games under cognitive load. *Journal of Economic Psychology*, 41, 77–87.
- Scodel, A., Minas, J. S., Ratoosh, P. & Lipetz, M. (1959). Some descriptive aspects of two-person non-zero-sum games. *Journal of Conflict Resolution*, 3(2), 114–119.
- Seidenfeld, T. (1994). When normal and extensive form decisions differ (D. Prawitz, B. Skyrms & D. Westerstahl, Hrsg.). In D. Prawitz, B. Skyrms & D. Westerstahl (Hrsg.), *Logic, methodology, and philosophy of science IX*. Amsterdam, New York, Elsevier.
- Selten, R. (1978). The chain store paradox. *Theory and Decision*, 9(2), 127–159.
- Selten, R. (1990). Bounded Rationality. *Journal of Institutional and Theoretical Economics / Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 146(4), 649–658.
- Sensarma, S. R. & Okada, N. (2005). Conflict over Natural Resource Exploitation in a Mountainous Community: The Trade Off Between Economic Development and Disaster Risk Mitigation—A Case Study. *Journal of Natural Disaster Science*, 27(2), 95–100.

- Shapley, L. S. (1953). Stochastic Games. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 39(10), 1095–1100.
- Sheikhmohammady, M., Madani, K., Bahrini, A., Tahmasebi, A. & Behmanesh, I. (2011). Modeling and analysis of the conflict over the Triple Islands in the Persian Gulf (U. Johansson, T. Löfström & C. Sönströd, Hrsg.). In U. Johansson, T. Löfström & C. Sönströd (Hrsg.), *Locally Induced Predictive Models*, IEEE.
- Shubik, M. (1981). Chapter 7 Game theory models and methods in political economy (M. Shubik, Hrsg.). In M. Shubik (Hrsg.), *Handbook of Mathematical Economics*. Elsevier.
- Simon, L. K. & Stinchcombe, M. B. (1989). Extensive Form Games in Continuous Time: Pure Strategies. *Econometrica*, 57(5), 1171–1214.
- Slonim, R., Wang, C., Garbarino, E. & Merrett, D. (2013). Opting-in: Participation bias in economic experiments. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 90, 43–70.
- Smith, V. L. (1976). Experimental economics: Induced value theory. *The American economic review*, (66.2), 274–279.
- Stokes, N. W. & Hipel, K. W. (1983). Conflict analysis of an export credit trade dispute. *Omega*, 11(4), 365–376.
- Szabó, G. & Hauert, C. (2002). Evolutionary prisoner's dilemma games with voluntary participation. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 66(6 Pt 1), 062903.
- Thaler, R. H. (1988). Anomalies: The Ultimatum Game. *Journal of Economic Perspectives*, 2(4), 195–206.
- Thrall, R. M. (1974). Reviewed Work: Paradoxes of Rationality-Theory of Metagames and Political Behavior by Nigel Howard. *Operations Research*, 22(3), 669–671.
- Tobin, J. (1958). Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables. *Econometrica*, 26(1), 24.

- Townsend, R. M. (1980). Models of money with spatially separated agents (J. H. Kareken & N. Wallace, Hrsg.). In J. H. Kareken & N. Wallace (Hrsg.), *Models of monetary economies: proceedings and contributions from participants of a December 1978 conference sponsored by the Federal Reserve Bank of Minneapolis*. Federal reserve bank of Minneapolis.
- Tucker, A. W. & Straffin Jr., P. D. (1983). The mathematics of Tucker: A sampler. *The Two-Year College Mathematics Journal*, 3(14), 228–232.
- van Damme, E. (1984). A relation between perfect equilibria in extensive form games and proper equilibria in normal form games. *International Journal of Game Theory*, 13(1), 1–13.
- van Herpen, M., van Praag, M. & Cools, K. (2005). The Effects of Performance Measurement and Compensation on Motivation: An Empirical Study. *De Economist*, 153(3), 303–329.
- Vickrey, W. (1961). Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders. *The Journal of Finance*, 16(1), 8.
- Vogt, C. (2001). *Kooperation im Gefangenen-Dilemma durch endogenes Lernen*. Otto-von-Guericke-Universität.
- Ware, R. (1984). Sunk Costs and Strategic Commitment: A Proposed Three-Stage Equilibrium. *The Economic Journal*, 94(374), 370.
- Weisberg, S. (2005). *Applied linear regression* (3. ed.). Hoboken, NJ, Wiley-Interscience.
- White, H. (1980). A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817.
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory econometrics: A modern approach* (5. ed., internat. ed.).
- Xiao, Y., Hipel, K. W. & Fang, L. (2015). Strategic Investigation of the Jackpine Mine Expansion Dispute in the Alberta Oil Sands. *International Journal of Decision Support System Technology*, 7(1), 50–62.

-
- Xu, H., Hipel, K. W., Kilgour, D. M. & Fang, L. (2018). *Conflict Resolution Using the Graph Model: Strategic Interactions in Competition and Cooperation* (Bd. 153). Cham, Springer International Publishing.
- Yao, X. & Darwen, P. J. (1994). An Experimental Study of N-Person Iterated Prisoner's Dilemma Games. *Informatica*, (18), 435–450.
- Yu, X., Geng, Y., Heck, P. & Xue, B. (2015). A Review of China's Rural Water Management. *Sustainability*, 7(5), 5773–5792.