MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Anwendung der Spieltheorie in der Sportspielanalyse“

Verfasser

Mag. (rer. soc. oec.) Stephan Vock, Bakk. (rer. nat.)

Angestrebter akademischer Titel

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Pottenstein, im Januar 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt: Magisterstudium Sportwissenschaften

Betreuer: Dr. Roland Leser

Erklärung

Ich versichere:

dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

_____ _____

Datum Unterschrift

Kurzfassung

Die primär aus ökonomischen Fragestellungen entwickelte Spieltheorie (Morgenstern O., von Neumann J. [1944, *Theory of Games and Economic Behavior*], Nash J. [1951, *Non-cooperative Games*],…) wurde in dieser Arbeit auf die Anwendbarkeit und Praktikabilität in der Analyse von Sportspielen untersucht. Die Frage, die sich im Hinblick auf Sportspiele stellte, war die Übertragbarkeit der Lösungskonzepte der Spieltheorie in den Sportbereich. Diese Fragestellung wurde anhand des Elfmeters im Fußball und des Angriffes im Beachvolleyball zu beantworten versucht.

Methode
Es wurde von insgesamt 289 Elfmetern die Schussrichtung und die gewählte Richtung des Torhüters erhoben sowie die sich daraus ergebenden Trefferwahrscheinlichkeiten. Auf der Grundlage dieser Trefferwahrscheinlichkeiten wurde mithilfe des Nash-Lösungskonzepts diejenige gemischte Strategie für den Schützen bzw. den Torhüter erhoben, die die Trefferwahrscheinlichkeit maximiert bzw. minimiert. Im weiteren Verlauf der Analyse wurde mithilfe eines Chi-Quadrat Anpassungstests ein Vergleich zwischen diesem Soll-Zustand und dem tatsächlichen Mix gezogen.
Für die zweite Anwendungsmöglichkeit wurden 34 Beachvolleyballspiele analysiert. Dabei wurden die Schlagrichtung, die Art des Schlages und die Art der Abwehr erhoben. Für Teams mit mindestens zwei in die Analyse eingegangen Spiele wurden die entsprechenden optimalen Strategien für das Block- und das Angriffsverhalten berechnet und mit den beobachteten Verteilungen verglichen.

Ergebnisse
Die spieltheoretische Analyse aller Elfmeter ergab folgende optimale gemischte Strategien: Schütze {natürliche Seite 44,61%; Mitte 27,41%; Gegenseite 27,98%}, Torhüter {natürliche Seite des Schützen 51,36%; Mitte 17,69%; Gegenseite des Schützen 30,95%}. Die natürliche Seite bezeichnet für einen rechtsfüßigen Schützen die linke Ecke und vice versa. Diese optimalen Strategien ergeben das einzige Nash-Gleichgewicht. Der Wert des Spiels, dies entspricht der maximalen Trefferwahrscheinlichkeit, beträgt 0,8172. Folgende Verteilungen wurden beobachtet: Schütze {50,5%; 12,8%; 36,7%}, Torhüter {56,7%, 2,8%; 40,5%}. Im Anschluss an diese Analyse wurde ein Chi-Quadrat Anpassungstest auf die Sollverteilung der Schussrichtung gerechnet. Das Ergebnis ist sowohl für den Schützen als auch für den Torhüter bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0{,}05$ signifikant ($p < 0{,}001$). Wird der Strategieraum für beide Akteure auf die natürliche Seite und Mitte oder Gegenseite reduziert, ergeben sich sehr wohl mit der Sollverteilung übereinstimmende Verteilungen ($p = 0{,}493$ für Schützen, $p = 0{,}666$ für Torhüter). Die beobachteten gemischten Strategien (Schütze {natürliche Seite 50,5%; Mitte oder Gegenseite 49,5%}, Torhüter {natürliche Seite des Schützen 56,7%; Mitte oder Gegenseite des Schützen 43,3%}) wichen daher nicht von den optimalen gemischten Strategien (Schütze {52,5%; 47,5%}, Torhüter {58%; 42%}) ab.
Die Ergebnisse für die Beachvolleyball-Teams wurden zu den tatsächlichen und möglichen Erfolgsquoten ihrer Gegner in Anlehnung an Hirotsu et al. (2010) in Relation gesetzt. Die Differenz zur eigenen Erfolgsquote in den Blöcken bzw. Angriffen zeigte auf, ob ein Team seinen Gegner in den jeweiligen Handlungen über- oder unterlegen ist. Das Delta zwischen den optimalen und tatsächlichen Verteilungen der reinen Strategien eines Teams legte offen, ob das jeweilige Team noch Verbesserungspotential besitzt oder ob es von der schlechten Allokation der Strategien durch den Gegner übermäßig profitiert. Die serielle Unabhängigkeit hinsichtlich der Abwehraktionen musste bei einem von zwölf Teams abgelehnt werden ($p = 0{,}028$). Hinsichtlich der Angriffsaktionen ist die serielle Unabhängigkeit bei allen Teams gegeben.

Schlüsselwörter: Spieltheorie, Entscheidungsfindung, Sportspielanalyse, Elfmeter, Beachvolleyball

Abstract

The game theory that developed from economic issues (Morgenstern O., von Neumann J. [1944, *Theory of Games and Economic Behavior*], Nash J. [1951, *Non-cooperative Games*],…) was tested for the applicability and practicability to the analyses of sport games. In particular, the question was about the transferibility of solution concepts for game theory on sport issues. This question was tried to be answered with the aid of two examples: penalty kick in soccer and attack in beach volleyball.

Method
The directions of the shots, the chosen directions of the goalkeepers, and the resulting scoring probabilities were collected from 289 penalties. On the basis of these scoring probabilities the mixed strategies for the kickers and the goalkeepers (maximizing or minimizing the scoring probability) were calculated using solution concepts of the game theory. Thereafter the optimally mixed strategies were compared with the actual mix by means of chi-square distribution test.
34 beach volleyball games were analysed for the second application. The direction of the attack and the kind of defense were collected. For all teams with more than one game in the analysis the corresponding optimally mixed strategies were calculated and compared with the actual mix of strategies.

Results
The game theoretic analysis of all 289 penalties revealed the following optimally mixed strategies: kicker {natural side 44.61%; center 27.41%; opposite side 27.98%}, goalkeeper {natural side of kicker 51.36%; center 17.69%; opposite side of kicker 30.95%}. The natural side is for a right footer the left corner and vice versa. These optimal strategies result in the only Nash-equilibrium. The value of the game (maximum scoring probability) amounts to 0.8172. Actually following distributions were observed: kicker {50.5%; 12.8%; 36.7%}, goalkeeper {56.7%, 2.8%; 40.5%}. It was tested if the optimal mix differs significantly from the observed mix. The result was that for both kicker and goalkeeper significant ($\alpha = 0.05$; $p < 0.001$). When reducing the strategies for both players to natural side and center or opposite side the observed mixes were in line with the optimal mixes ($p = 0.493$ for kicker, $p = 0.666$ for goalkeeper). Hence the actual mixed strategies (kicker {natural side 50.5%; center or opposite side 49.5%}, goalkeeper {natural side of kicker 56.7%; center or opposite side of kicker 43.3%}) did not differ from the optimally mixed strategies (kicker {52.5%; 47.5%}, goalkeeper {58%; 42%}).
The results for the beach volleyball teams were analysed in relation to the actual und possible success rates of their opponents (referring to Hirotsu et al., 2010). The difference to their own success rate regarding blocking and attacking showed, wheter a team outperformed their opponents or if it was inferior to their opponents. The difference between the optimal and observed mixes revealed if a team possessed potential for improvement or if it benefitted from the bad allocation of strategies by their opponents. The serial independence regarding the actions of defense had to be refused for one of twelve teams ($p = 0.028$) whereas the serial independence regarding the actions of attack was granted for all teams.

Key words: game theory, decision making, sports game analysis, penalty kick, beach volleyball

Vorwort

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich während meines Sportstudiums ermutigt und unterstützt haben. Besonderen Dank möchte ich Dr. Roland Leser, für die wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung bei meiner Diplomarbeit, und meiner Frau Doris, die mir in so vielen Dingen den nötigen Rückhalt gewährleistet, aussprechen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Spieltheorie 6

2.1 Allgemein 6

2.1.1 Geschichte 6

2.1.2 Gegenstand 7

2.1.3 Darstellung 9

2.1.4 Gemischte vs. reine Strategien 9

2.2 Lösungskonzepte 10

2.2.1 Gleichgewicht in dominanten Strategien 11

2.2.2 Minimax-Lösung 12

2.2.3 Nash-Gleichgewicht 14

2.2.3.1 Definition 15

2.2.3.2 Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien 17

2.2.4 Vergleich der Minimax-Lösung mit dem Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien 18

2.2.4.1 Lösung Nash-Gleichgewicht 19

2.2.4.2 Minimax-Lösung 20

2.2.4.3 Vergleich bei Konstant-Summenspiel 21

3 Sportspiel und Spieltheorie 23

3.1 Charakteristika 23

3.1.1 Abgrenzung des Sportspiels zum (Gesellschafts-)Spiel 23

3.1.2 Sportliche Handlung 25

3.2 Spielbeobachtung 26

3.3 Anwendungsmöglichkeiten der Spieltheorie in der Sportspielanalyse 27

3.3.1 Voraussetzungen 27

3.3.2 Stand der Forschung 27

3.3.2.1 Fußball 28

3.3.2.2 Tennis 31
3.3.2.3 Volleyball 31
3.3.2.4 American Football und Baseball 32
3.4 Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Spieltheorie in der Sportspielanalyse ...33
4 Praktische Anwendung am Beispiel Elfmeter 36
4.1 Situationsbeschreibung 36
4.2 Datenmaterial 37
4.2.1 Datenerhebung 37
4.2.2 Gütekriterien 38
4.2.2.1 Objektivität 38
4.2.2.2 Reliabilität 40
4.2.2.3 Validität 41
4.3 Annahmen 41
4.3.1 Zwei-Personen Konstant-Summenspiel 42
4.3.2 Simultane Entscheidung 43
4.3.3 Präferenzen der Spieler 44
4.3.4 Aggregation der Spieler 44
4.3.5 Natürliche Seite 45
4.4 Ergebnisse und Interpretation 46
4.4.1 Elfmeter 2009/2010 – 2 Strategien 46
4.4.2 Elfmeter 2009/2010 – 3 Strategien 50
4.4.3 Länderspezifische Analysen 55
4.4.3.1 Österreich 56
4.4.3.1.1 Saison 2009/2010 56
4.4.3.1.2 Saisonen 2007/2008, 2008/2009 und 2009/2010 58
4.4.3.2 Deutschland 58
4.4.3.3 Italien 58
4.4.3.4 Spanien 59
4.4.3.5 Diskussion und Interpretation 59

5 Angriff im Beachvolleyball 62

5.1 Situationsbeschreibung 62

5.2 Datenmaterial 63

5.2.1 Datenerhebung 63

5.2.2 Gütekriterien 64

5.3 Annahmen 66

5.3.1 Simultane Entscheidung 66

5.3.2 Serielle Unabhängigkeit der Handlungen 67

5.4 Ergebnisse und Interpretation 69

5.4.1 Gesamtauswertung Damen Teams 69

5.4.2 Gesamtauswertung Herren Teams 71

5.4.3 Einzelauswertungen Damen Teams 73

5.4.4 Einzelauswertungen – Herren Teams 77

6 Zusammenfassung 80

7 Abbildungsverzeichnis 83

8 Tabellenverzeichnis 84

9 Literaturverzeichnis 85

1 Einleitung

Diese Arbeit dient dem Zweck, Anwendungsmöglichkeiten der Spieltheorie auf die Analyse von Sportspielen aufzuzeigen und anhand von Beispielen greifbar zu machen. Die Spieltheorie beschäftigt sich mit dem Handeln von Menschen und entwickelt Modelle und Theorien, die menschliche Entscheidungen aus einer rationalen Sichtweise heraus erklären, beschreiben und teilweise auch vorhersagen sollen. Sie trägt das Wort *Spiel* in ihrem Namen, weil sie sich aus der Analyse von Gesellschaftsspielen entwickelt hat. Ihre größte Bedeutung erlangte sie allerdings in der Analyse von sozioökonomischen Fragestellungen. Allerdings dringt sie auch in andere Wissenschaftsdisziplinen wie beispielsweise in die Biologie oder in die Politik ein. Die beiden prominentesten Lösungsmethoden sind das Nash-Gleichgewicht und die Minimax-Lösung (vgl. Ableitinger & Humenberger, 2010, S. 58), weshalb diese Konzepte im Rahmen dieser Arbeit näher vorgestellt und auf Sportspielsituationen angewandt werden sollen. Lames (1994, S. 19) merkt an „[…], dass die sportliche Leistung sich nicht so sehr aus der Leistungsfähigkeit einer Partei, sondern vielmehr aus den Wechselwirkungen der Fähigkeiten der beiden Parteien ergibt.“ Eben diese Interdependenzen lassen den Einsatz von Instrumenten aus der Spieltheorie sinnvoll erscheinen.

Die Frage, der diese Arbeit nachgeht, ist, ob und wie sich die Spieltheorie in der Analyse von Sportspielen einsetzen lässt. Die Beantwortung dieser Frage erfolgt über die bisher erschienen Untersuchungen in diesem Forschungsfeld und über die praktische Anwendung der Spieltheorie auf zwei unterschiedliche Sportspielsituationen.

Kapitel 2 stellt dazu einen für diese Arbeit zweckdienlichen Überblick über die Spieltheorie dar. Nach der Beschreibung von wesentlichen Begrifflichkeiten werden die wichtigsten Lösungskonzepte vorgestellt. Die beiden bedeutendsten werden im Anschluss anhand eines Beispiels vergleichend gegenübergestellt.

Das dritte Kapitel widmet sich dem Sportspiel und seinen Eigenschaften, die es für die spieltheoretische Analyse interessant macht. Es sind dies vor allem der Interaktionsprozess und das taktische/strategische Verhalten, die die Anwendung der Spieltheorie ermöglichen und attraktiv erscheinen lassen. Lames (2005, S. 189) schildert einerseits die guten informatischen Verarbeitungsmöglichkeiten von und andererseits den Fokus auf das taktische Verhalten in Sportspielen:

> „Die Sportspiele zeichnen sich gegenüber fast allen anderen Sportartengruppen durch strukturelle Besonderheiten aus, die sie für eine informatische Bearbeitung attraktiv machen. Ihr Verständnis als Interaktionsprozess, der nicht primär durch physiologische Leistungsvoraussetzungen wie Kraft oder Ausdauer bestimmt ist, rückt die Analyse des situativ angemessenen taktischen Verhaltens in den Vordergrund.“

Das darauf anschließende vierte Kapitel beinhaltet das erste Anwendungsbeispiel – nämlich den Elfmeter im Fußball. Handke (1970) beschreibt einen Denkprozess des Torhüters vor dem Elfmeter, der von einer wichtigen Voraussetzung der Spieltheorie – der Rationalität der Spielenden – handelt:

> „Der Tormann überlegte, in welche Ecke der andere schießen wird, sagte Bloch. Wenn er den Schützen kennt, weiß er, welche Ecke er sich in der Regel aussucht. Möglicherweise rechnet aber auch der Elfmeterschütze damit, dass der Tormann sich das überlegt. Also überlegt sich der Tormann weiter, dass der Ball heute einmal in die andere Ecke kommt. Wie aber, wenn der Schütze noch immer mit dem Tormann mitdenkt und nun doch in die übliche Ecke schießen will? Und so weiter, und so weiter. […] Wenn der Schütze anläuft, deutet unwillkürlich der Tormann, kurz bevor der Ball abgeschossen wird, schon mit dem Körper die Richtung an, in die er sich werfen wird, und der Schütze kann ruhig in die andere Richtung schießen, sagte Bloch. Ebenso gut könnte der Tormann versuchen, mit einem Strohhalm eine Tür aufzusperren. Der Schütze lief plötzlich an. Der Tormann, der einen grellgelben Pullover anhatte, blieb völlig unbeweglich stehen, und der Elfmeterschütze schoss ihm den Ball in die Hände.“

Anhand des Elfmeters werden primär Voraussetzungen für die Anwendung der Spieltheorie und die Eigenschaften der Lösungen untersucht. Die Frage, die dieses Beispiel zu beantworten versucht, ist, ob sich die in den Elfmeter involvierten Akteure gemäß den optimalen Strategien des Nash-Gleichgewichts verhalten oder ob sie davon abweichen.

Kapitel 5 widmet sich dem zweiten Anwendungsbeispiel. Anhand des ersten Angriffes im Beachvolleyball wird untersucht, ob die Spieler ihre Entscheidungen seriell unabhängig treffen, sie demnach kein Muster in ihren Entscheidungsabfolgen erkennen lassen. Außerdem werden jene Teams, die mit mindestens zwei Spielen in die Analyse miteinbezogen wurden, hinsichtlich ihres Angriffs- und ihres Blockverhaltens spieltheoretisch beschrieben und in Beziehung gesetzt.

In Kapitel 6 werden die wichtigsten Erkenntnisse und Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst.

2 Spieltheorie

Dieses Kapitel stellt eine kurze Einführung in die Spieltheorie dar, die für die in dieser Arbeit noch vorgestellten praktischen Anwendungen der Spieltheorie in der Sportspielanalyse unumgänglich ist. In Kapitel 2.1 wird zunächst die Spieltheorie allgemein beschrieben, während in Kapitel 2.2 auf die verschiedenen Lösungskonzepte von strategischen Entscheidungssituationen näher eingegangen wird.

2.1 Allgemein

2.1.1 Geschichte

Die Spieltheorie geht zu einem großen Teil auf John von Neumann zurück, der gemeinsam mit Oskar Morgenstern 1944 das Standardwerk „The Theory of Games and Economic Behavior“ veröffentlichte. In diesem Werk wurden erstmals Konfliktsituationen mathematisch beschrieben und behandelt. Bereits im Jahre 1928 hat John von Neumann Zwei-Personen Nullsummen-Spiele behandelt. John Forbes Nash und Albert William Tucker schufen im weiteren Verlauf der Geschichte wesentliche Grundlagen der modernen Theorie nichtkooperativer Spiele. Mit den ersten veröffentlichten Werken, die sich mit spieltheoretischen Beschreibungen und Analysen auseinandersetzen, keimte die Hoffnung auf, dass die Spieltheorie die Ökonomie vorhersehbar machen könnte.

In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde dem Begriff der Information immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Reinhard Selten und John Harsanyi haben diesbezüglich wesentliche Arbeiten verfasst, für die sie 1994 gemeinsam mit John F. Nash den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften verliehen bekommen hatten.

Eine neuere Entwicklung in der Spieltheorie betrifft die evolutionären Spiele, deren Ursprung von Biologen stammt. So hat der englische Biologe John Maynard Smith mit Hilfe der Spieltheorie Ritualkämpfe innerhalb einer Tierart erklären können. In der evolutionären Spieltheorie entspricht der Nutzen oder die Auszahlung[1], die ein Spieler erhält, der Zahl der Nachkommenschaft. Eine Strategie ist dabei dann erfolgreich, wenn sich die Zahl der Nachkommen im Laufe der Zeit in einer Population vermehrt (vgl. Katzenberger, 2008, S. 95). Das bekannteste evolutionäre Spiel ist das Falken-Tauben

[1] Als Auszahlung wird in der Spieltheorie der Output bezeichnet, der sich durch das eigene und das Verhalten des Gegenübers ergibt. Dieser Output kann monetärer oder nicht monetärer Natur sein.

Spiel, auf das jedoch wie auf die gesamte evolutionäre Spieltheorie im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen wird.

2.1.2 Gegenstand

Der Gegenstand der Spieltheorie ist die Analyse und Lösung von strategischen Entscheidungssituationen, wie auch von Willems (1985, S. 13) beschrieben:

„Gegenstand der Spieltheorie – oder Theorie strategischer Spiele – ist Darstellung und Modellierung von sozialen Konflikten sowie Entwicklung von Lösungskonzepten, die den am Konflikt Beteiligten (Spielern) eindeutige und vollständige Empfehlungen für rationales Spielverhalten geben sollen."

Entscheidungen werden als strategisch bezeichnet, wenn folgende vier Eigenschaften auftreten (vgl. Holler & Illing, 2003, S. 1):

1. Das Ergebnis der Handlungsrealisation hängt von den Entscheidungen der anderen Spieler ab.
2. Jeder Spieler ist sich dieser Abhängigkeit bewusst.
3. Jeder Spieler geht davon aus, dass alle anderen sich ebenfalls dieser Abhängigkeit bewusst sind.
4. Jeder Spieler berücksichtigt in den Entscheidungssituationen die Punkte 1-3.

Die Spieltheorie befasst sich somit mit Aktionen rationaler Entscheidungsträger, die sich der wechselseitigen Interdependenzen bewusst sind, in strategischen Entscheidungssituationen und bietet ein geeignetes Instrument, um derartige interaktive Entscheidungssituationen zu analysieren. Diese Interaktionen, die Einfluss auf das Ergebnis nehmen, bilden den wesentlichen Unterschied zur klassischen Entscheidungstheorie, die sich mit Optimierungsproblemen bei unabhängigen Entscheidungen beschäftigt (vgl. Luce & Raiffa, 1957, zit. n. Diekmann, 2009, S. 71). Die interdependente Entscheidungswahl beschreibt Jacobsen (1994, S.11) wie folgt:

> „Players plan for their own position but also imagine themselves in the position of their opponent, and since they assume that their opponent is „rational" as themselves, they think that hereby they will be able to deduce something about what their opponent might play."

Die Mindestanforderung an rationale Entscheidungsträger ist, dass diese Präferenzen aufweisen und sie diese Präferenzen auch in eine Rangordnung bringen können, sodass ordinale Nutzenwerte abgeleitet werden können. Als zentrale Bedingung für ordinale Präferenzen gilt das Axiom der Transitivität. Dieses besagt, dass im Falle des Vorzuges von Objekt a gegenüber dem Objekt b und von Objekt b gegenüber dem Objekt c Objekt a auch dem Objekt c vorgezogen werden muss. Daraus ergibt sich eine der wesentlichen

Voraussetzungen der Spieltheorie, die darin besteht, dass jeder Spieler versucht, seinen Nutzen durch eine entsprechende Wahl von Handlungen zu maximieren. Dieser Nutzen kann durch die jeweilige Nutzenfunktion $u=(u_1,\ldots,u_n)$ mathematisch dargestellt werden. Spieler, die nutzenmaximierend handeln, werden als rationale Spieler bezeichnet. Diese Nutzenfunktion ist ebenfalls Bestandteil einer vollständigen formalen Spielbeschreibung. Dabei muss die Nutzenfunktion folgenden Kriterien genügen (vgl. Nash, 1950, S. 157):

- Wenn der Nutzen einer Handlung bzw. einer Sache A größer als der Nutzen einer Handlung bzw. einer Sache B ist, dann gilt, dass die Handlung bzw. Sache A wünschenswerter als die Handlung bzw. Sache B ist.
- Wenn $0 \leq p \leq 1$, dann gilt: $u[p*A + (1-p)*B] = p*u(A) + (1-p)*u(B)$.

Diese beiden Eigenschaften garantieren die Linearität einer Nutzenfunktion.

Um ein Spiel formal vollständig beschreiben zu können, sind Angaben über die Menge der Spieler $N=\{1,\ldots,n\}$, über die Menge S der Strategiekombinationen $S=\{s_1,\ldots,s_i,\ldots,s_n\}$ und über die Menge E der Ereignisse notwendig (vgl. Holler/Illing, 2003, S. 3).

Jeder Spieler i ist ein Element der Spielermenge $N = \{1,\ldots,n\}$. Ein Spieler kann ein einzelnes Individuum sein, es kann sich dabei aber auch um eine Gruppe von Individuen handeln, sofern sich diese Gruppe als ein einzelnes Individuum verhält. Beispiele hierfür sind Regierungen, Haushalte, Unternehmen oder Sportmannschaften.

Der Strategieraum S ist die Menge aller möglichen Kombinationen aus Strategien $s_i \in S_i$, die die verschiedenen Spieler i $(i=1,\ldots,n)$ wählen können. Eine Strategiemenge kann entweder endlich und diskret oder stetig sein. In einer endlichen, diskreten Menge gibt es eine abgeschlossene Anzahl an möglichen Strategien, während in einer stetigen Menge jede beliebige Menge zwischen der unteren und oberen Schranke gewählt werden kann.[2]

Außerdem müssen die Regeln angegeben sein, um festzulegen, wann welcher Spieler zum Zug kommt und welches Ereignis $e(s) \in E$ durch die Strategiekombination s bestimmt ist. Dazu zählt auch die Reihenfolge von Spielzügen, die sich in eine zeitliche und logische Abfolge unterteilen lässt. Diese Reihenfolge ist insbesondere dafür wichtig, um den Informationsstand eines Spielers, bei dem er seine Entscheidung trifft, festzulegen. Hierbei lässt sich zwischen Spielen mit Kenntnis und Spielen mit Unkenntnis der Züge der anderen Spieler unterscheiden.

[2] Ein produzierendes Unternehmen kann beispielsweise bei vollkommener Teilbarkeit jede beliebige Menge zwischen Null (keine Produktion) und der maximalen Kapazität herstellen.

2.1.3 Darstellung

Die Spielsituation kann in verschiedenen Formen dargestellt werden. Die strategische Form – auch Normal- oder Matrixform genannt – bietet sich für Spiele an, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sich die Entscheidungsträger gleichzeitig für eine Wahl entscheiden müssen, ohne die Wahl des anderen zu kennen. Die sequentielle Form, die auch unter dem Begriff der extensiven Form verbreitet ist, bietet sich dann an, wenn Spiele eine dynamische Struktur aufweisen. Der Spielbaum lässt erkennen, wann wer zum Zug kommt und über welche Informationen der einzelne Spieler in dieser Situation verfügt. Jeder Zweig dieses Spielbaumes steht für eine Handlung. Allerdings lässt sich jedes dynamische Spiel formal in die strategische Form überführen (vgl. Katzenberger, 2008, S. 74).

Für ein Zwei-Personen-Spiel, bei denen die Entscheidungen der einzelnen Personen nicht in zeitlicher Abfolge, sondern unabhängig voneinander erfolgen, bietet es sich an, das Spiel in einer Bimatrix darzustellen. In dieser Matrix werden die subjektiven Nutzen als Auszahlungen angegeben.

2.1.4 Gemischte vs. reine Strategien

Wie später bei den Lösungskonzepten für Spielsituationen gezeigt wird, lässt sich nicht immer eine Lösung in reinen Strategien finden. Man spricht von einer reinen Strategie, wenn ein Spieler von den zulässigen Strategien genau eine auswählt. Verwendet der Spieler allerdings einen bestimmten Zufallsmechanismus, der zwischen verschiedenen reinen Strategien wählt und somit randomisiert, so wählt er eine gemischte Strategie. Dabei wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Strategien gelegt. Ein derartiger Zufallsmechanismus ist beispielsweise ein Münzwurf, von dessen konkreter Realisation – also Kopf oder Zahl – es abhängt, welche von zwei möglichen reinen Strategien angewandt wird. Die Wahrscheinlichkeiten über die Strategien sind in diesem Fall gleichverteilt und betragen jeweils 0,5. Ebenso kann ein Würfel als Zufallsmechanismus dienen. Bei einer Augenzahl von sechs kommt beispielsweise Strategie 1 zum Zug, ansonsten Strategie 2. Strategie 1 wird somit mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{6}$, Strategie 2 mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{5}{6}$ gespielt.

Wie diese beiden Beispiele gezeigt haben, wird jeder reinen Strategie eine bestimmte Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1 zugeordnet, sodass die Summe aller Wahrscheinlichkeiten 1 ergibt. Im Beispiel des Münzwurfes lässt sich die gemischte Strategie als s=(0,5; 0,5) darstellen. Ordnet ein Spieler einer Strategie die

Wahrscheinlichkeit 1 zu (und somit allen anderen die Wahrscheinlichkeit 0), so wählt der Spieler eine reine Strategie. Eine reine Strategie lässt sich daher als Spezialfall von gemischten Strategien deuten.

Sieg (2000, S. 16) definiert die gemischte Strategie folgendermaßen:

„Eine gemischte Strategie $\sigma=(\sigma_1,...,\sigma_M)$ ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Menge der reinen Strategien $S_i=\{s_1,...,s_M)$. $\sum_i$ sei der Raum aller gemischten Strategien des Spielers i."

Holler und Illing (2003, S. 72) versuchen das Wesen von gemischten Strategien auch auf andere Weise zu interpretieren, nämlich als die strategische Unsicherheit über das Verhalten des Mitspielers: „Selbst wenn alle Spieler eine deterministische Wahl treffen, entscheiden sie ja unter Unsicherheit darüber, welche Strategien ihre Mitspieler wählen. Gemischte Strategien kann man als die Formalisierung dieser Unsicherheit interpretieren."

2.2 Lösungskonzepte

Die Analyse und Lösung von Spielsituationen ist der Kern der Spieltheorie. Die Lösung eines Spiels hängt primär davon ab, welche Erwartungen die Spieler über die Strategiewahl der Gegen- bzw. Mitspieler besitzen. Die verschiedenen Lösungskonzepte unterscheiden sich daher vor allem durch die Modellierung dieser Erwartungsbildung.

Lösungen von Spielsituationen werden häufig als Gleichgewicht bezeichnet. Enger gefasst, bezeichnet der Begriff Gleichgewicht eine Lösung, bei der kein Spieler von seiner Strategieentscheidung abweichen will. Leininger & Ockenfels (2008, S.4) definieren eine Lösung im Sinne der Spieltheorie folgendermaßen:

„A solution (equilibrium) is a prediction or recommendation which strategy to choose, assuming that all players wish to maximize their given payoffs."

In den folgenden Unterkapiteln werden drei verschiedene Lösungskonzepte vorgestellt. Es handelt sich dabei um das Gleichgewicht in dominanten Strategien, die Minimax-Lösung und das Nash-Gleichgewicht. Das Kapitel XY widmet sich der Gegenüberstellung der beiden wichtigsten und prominentesten Lösungskonzepte – nämlich der Minimax-Lösung und dem Nash-Gleichgewicht. Zur besseren Veranschaulichung dieser Konzepte werden Beispiele genannt.

2.2.1 Gleichgewicht in dominanten Strategien

Ein Spiel, das zu den bekanntesten (Bei-)Spielen der Spieltheorie gehört, besitzt ein Gleichgewicht in dominanten Strategien. Es handelt sich dabei um das sogenannte Gefangenendilemma (prisoners‘ dilemma), das ursprünglich von Merrill Flood und Melvin Dresher in den 1950er Jahren formuliert wurde. In diesem Spiel gibt es zwei Angeklagte, die getrennt voneinander verhört werden, weshalb keinerlei Absprachen über ein gemeinsames Vorgehen möglich sind. Beide Spieler besitzen jeweils zwei Strategien, nämlich „gestehen“ und „schweigen“. Die Haftstrafen, die über die Spieler verhängt werden, sind von der Strategie des jeweils anderen abhängig und sind den beiden Angeklagten bewusst. Die folgende Abbildung zeigt die Haftstrafen in Jahren in Abhängigkeit der Strategiewahl:

	Angeklagter 2	
Angeklagter 1	*Schweigen*	*Gestehen*
Schweigen	(4, 4)	(15, 1)
Gestehen	(1, 15)	(10, 10)

Abbildung 1: Auszahlungsmatrix des Gefangenendilemmas (vgl. Sieg, 2000, S. 3)

Wenn sich beide Spieler für dieselbe Strategie entscheiden, erhalten sie jeweils vier (Schweigen) bzw. zehn (Gestehen) Haftjahre. Wenn allerdings ein Angeklagter gesteht, während der andere schweigt, so profitiert der Geständige von der Kronzeugenregelung[3]. Er muss dann nur ein Jahr, während der Schweigende 15 Jahre im Gefängnis absitzen muss.

Dies ist die Ausgangssituation im Gefangenendilemma. Betrachten man nun die Strategien und die Auszahlungen des Angeklagten 1, so erkennt man, dass er sich für „gestehen“ entscheiden wird – unabhängig von der Wahl des Angeklagten 2. Sowohl im Falle, dass sich Angeklagter 2 entscheidet zu schweigen, als auch im Falle, dass dieser „gestehen“ wählt, muss Angeklagter 1 weniger Jahre absitzen, wenn er gesteht (ein Jahr versus vier Jahre bzw. zehn Jahre versus 15 Jahre). Dieselbe Entscheidungslogik gilt für den Angeklagten 2. Für beide ist also „gestehen“ eine dominante Strategie, da sie unabhängig von der Wahl des anderen ist. Dies führt somit zu einem Gleichgewicht, das sich bei „Gestehen-Gestehen“ einstellt. Jeder der beiden Angeklagten wird in diesem Fall zu zehn Jahren Haft verurteilt.

[3] Ein als Kronzeuge auserwählter Straftäter darf, wenn er der Staatsanwaltschaft Hilfe leistet und seine Aussage zur Verurteilung weiterer Angeklagter führt, mit Strafmilderung oder sogar Straferlass rechnen.

Die Besonderheit dieses Beispiels liegt darin begründet, dass sie sich besserstellen könnten, wenn beide zu den Vorwürfen schweigen. Diese Lösung ist daher nicht pareto-optimal[4].

2.2.2 Minimax-Lösung

Der Minimax-Lösungsansatz geht auf John von Neumann zurück. Von Neumann bewies 1928, dass es stets optimale gemischte Strategien in einem Zwei-Personen Nullsummen-Spiel[5] gibt und sich ein Wert für jedes dieser Spiele berechnen lässt (vgl. Basieux, 2008, S. 66). Das bedeutet, dass jeder Spieler durch geeignetes Mischen seiner Strategien immer seine Mindestauszahlung bzw. seinen Mindestnutzen maximieren bzw. den Maximalgewinn bzw. den Maximalnutzen seines Gegenspielers minimieren kann. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass jedes Zwei-Personen Nullsummen-Spiel eine Lösung besitzt, gegebenenfalls im Bereich der gemischten Strategien. Dieses Theorem wird auch als Hauptsatz der Spieltheorie bezeichnet (vgl. Binmore, 1996). Der Spieler soll den geringsten Nutzen jeder seiner Strategien identifizieren und im Anschluss daran jene Strategie verfolgen, die den höchsten geringsten Nutzen aufweist. Diese Lösung wird daher auch Minimax-Lösung genannt.

Formal ausgedrückt ergibt sich somit für Spieler 1 folgendes Entscheidungskriterium:

$$\max_i \min_j a_{ij} = \alpha$$

a_{ij} Auszahlung/Nutzen in der Zeilenstrategie i und der Spaltenstrategie j
α unterer Wert des Spiels

Die Handlungs-Maxime für Spieler 2 sieht formal folgendermaßen aus:

$$\min_j \max_i a_{ij} = \beta$$

β oberer Wert des Spiels

Von Neumanns Minimax-Theorem unterstellt für Gleichgewichte in gemischten Strategien dabei folgende Annahmen (vgl. Kovash & Levitt, 2009):

1. Die erwarteten Auszahlungen müssen über alle Strategien, die Teil des Gleichgewichts in gemischten Strategien sind, gleich sein.

[4] Eine pareto-optimale Lösung ist ein Zustand, in dem es nicht möglich ist, ein Individuum besser zu stellen, ohne zugleich ein anderes Individuum schlechter zu stellen.
[5] In einem Nullsummen-Spiel addieren sich die Auszahlungen für die beiden Spieler stets zu Null. Das bedeutet, dass für einen Spieler der mögliche Gewinn und der mögliche Verlust dieselbe Höhe aufweisen. Anders ausgedrückt, gewinnt ein Spieler die Auszahlung a_{ij}, während der andere Spieler einen Verlust in Höhe von a_{ij} erleidet (vgl. Barron, 2008, S. 2).

2. Die erwartete Auszahlung für alle Strategien mit positiver Wahrscheinlichkeit muss größer sein als die erwartete Auszahlung für alle Strategien, die nicht mit positiver Wahrscheinlichkeit gespielt werden.
3. Die Strategiewahl muss seriell unabhängig (keine Autokorrelation) sein, da ansonsten der Gegner das Spielmuster erkennen könnte und dies zu seinem Vorteil ausnützen könnte.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Auszahlungsmatrix eines Nullsummen-Spiels, das als Beispiel zur Verdeutlichung der Minimax-Lösung in reinen Strategien dienen soll.

		SPIELER 2		
SPIELER 1		S_{21}	S_{22}	S_{23}
	S_{11}	-1	2	3
	S_{12}	-2	1	1
	S_{13}	-2	-3	-1

Abbildung 2: Auszahlungsmatrix eines Nullsummenspiels (in Anlehnung an Basieux, 2008, S. 67)

In der Abbildung sind die Auszahlungen aus Sicht des Spielers 1 dargestellt. Jene für den Spieler 2 besitzen die gleiche Höhe jedoch ein anderes Vorzeichen. Deshalb ist Spieler 1 an einer möglichst hohen Auszahlung interessiert, während Spieler 2 die Auszahlung an Spieler 1 minimieren möchte. Man bezeichnet diese Spieler daher auch als Maximum- bzw. Minimumspieler.

Entscheiden sich die beiden Spieler gemäß dem Minimax-Theorem, so ermittelt Spieler 1 den jeweiligen geringsten Nutzen pro Strategie. In einem weiteren Schritt entscheidet er sich dann für jene Strategie, die den höchsten geringsten Nutzen aufweist. In obigem Beispiel erhält er zunächst die Wertemenge {-1, -2, -3} als geringsten Nutzen. Danach entscheidet er sich für Strategie s_{11}, da diese mit -1 den höchsten geringsten Nutzen verursacht. Der Minimumspieler bzw. Spieler 2 in obigem Beispiel ermittelt zunächst die höchsten Auszahlungen des Spielers 1. Er erhält dabei die Wertemenge {-1, 2, 3}. Auf Grundlage dieser Wertemenge entscheidet er sich für Strategie s_{21}, da er dadurch die Auszahlung des Maximum-Spielers minimieren kann. Bei Anwendung des Minimax-Theorems muss also Spieler 1 an seinen Kontrahenten den Betrag 1 zahlen. Dieses Beispiel hat ein Gleichgewicht in reinen Strategien.

Die Lösung ist somit dann gefunden, wenn gilt:

$$\max_i \min_j a_{ij} = \min_j \max_i a_{ij} = v$$

v Wert des Spiels

Der Wert des Spiels ist jener Betrag, der als Matrixelement an jedem Gleichgewichtspunkt auftritt. Das obige Beispiel hat daher einen Wert von -1. Man unterscheidet zwischen drei möglichen Fällen:

- $v > 0$ bedeutet, dass Spieler 1 gewinnt
- $v < 0$ bedeutet, dass Spieler 1 verliert
- $v = 0$ bedeutet, dass keine Auszahlungen erfolgen. Das Spiel wird daher auch als fair bezeichnet.

Unter einer optimalen Strategie wird nun verstanden, dass diese einem Spieler einen Mindestgewinn von v beschert bzw. einen höheren Verlust als v verhindert (vgl. Basieux, 2008, S. 70).

In den meisten Spielen lässt sich keine Lösung in reinen Strategien finden. Stein, Schere, Papier“ oder „Matching Pennies“[6] sind beispielsweise derartige Spiele, in denen zwei Spieler gegeneinander antreten und dabei entweder gewinnen oder in selber Höhe verlieren (Nullsummen-Spiel), es aber kein Gleichgewicht in reinen Strategien gibt. Die Strategiewahl bei „Matching Pennies“ begrenzt sich auf Kopf oder Zahl. Allerdings wird ein Spieler bei mehrmaligem Spielen nicht an einer Strategie festhalten, sondern er wird in einer möglichst undurchschaubaren Art und Weise zwischen den Strategien abwechseln. Morgenstern und von Neumann (2004, S. 144) beschreiben das individuelle Randomisieren für „Matching Pennies“ folgendermaßen:

> „In playing Matching Pennies against an at least moderately intelligent opponent, the player will not attempt to find out the opponent’s intentions but will concentrate on avoiding having his own intentions found out, by playing irregularly „heads“ and „tails“ in successive games. Since we wish to describe the strategy in one play – indeed we must discuss the course in one play and not that of a sequence of successive plays – it is preferable to express this as follows: The player’s strategy consists neither of playing „tails“ nor of playing „heads“, but of playing „tails“ with the probability of $\frac{1}{2}$ and „heads“ with the probability of $\frac{1}{2}$.“

Zur Berechnung der Lösung in gemischten Strategien darf auf das Kapitel 2.2.4 verwiesen werden, das einen Vergleich zwischen der Minimax-Lösung und dem Nash-Gleichgewicht zieht.

2.2.3 Nash-Gleichgewicht

John Nash leistete einen enormen Beitrag zur Spieltheorie, indem er ein Lösungskonzept formalisierte, das für nicht-kooperative Spielsituationen große Bedeutung erlangte. Dieses

[6] Bei diesem Spiel erhält ein Spieler eine Auszahlung, wenn zwei Münzen das gleiche Bild zeigen, und verliert eine Auszahlung, wenn die Münzen unterschiedliche Bilder zeigen. Für den Kontrahenten verhält es sich genau umgekehrt.

Konzept liefert eine oder mehrere Lösungen, die nach dessen Erfinder als Nash-Gleichgewichte Eingang in die wissenschaftliche Literatur und Diskussion fanden.

2.2.3.1 Definition

Bei einem Nash-Gleichgewicht handelt es sich um eine Strategiekombination s*, bei der sich jeder Spieler für eine optimale Strategie s_i* entscheidet und zwar in Abhängigkeit der optimalen Strategien aller anderen Spieler. Anders ausgedrückt wählt Spieler i seine optimale Strategie s_i* gegeben den optimalen Strategien aller anderen Spieler. Formal lässt sich dies folgendermaßen darstellen:

$$u_i\ (s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i\ (s_i, s_{-i}^*) \text{ für alle i, für alle } s_i \in S_i$$

u_i Nutzen des Spielers i
s_i* Optimale Strategie des Spielers i
s_i Strategie des Spielers i
s_{-i}* Optimale Strategiekombinationen aller restlichen Spieler ($s_1,\ldots,s_{i-1},s_{i+1},\ldots s_n$)
S_i Strategieraum des Spielers i

Jeder Spieler stellt Erwartungen darüber an, welche Strategie für die übrigen Spieler die jeweils optimale ist. Dabei wird unterstellt, dass sich diese Spieler – wie eingangs bereits erwähnt – rational verhalten und sich deshalb für diese Strategie entscheiden. Ein Spieler weiß über das rationale Verhalten der anderen Spieler Bescheid und geht davon aus, dass diese umgekehrt auch über sein eigenes rationales Verhalten Kenntnis besitzen. Diese Kenntnis ist ebenso Teil des gemeinsamen Wissens der am Spiel teilnehmenden Personen wie die Spielregeln, die Menge der Strategien S_i und der Auszahlungsfunktion U_i. Davon ausgehend wählt der jeweilige Spieler seine Strategie als beste Reaktion auf die optimalen Strategien der anderen Spieler aus. Dabei kann es sein, dass es mehrere beste Antworten geben kann (vgl. Holler & Illing, 2003, S. 57). In einem derartigen Gleichgewicht besteht für keinen der Spieler ein Anreiz von seiner Gleichgewichtsstrategie abzuweichen, da Spieler i bei den gegebenen Entscheidungen der anderen Spieler keine höhere Auszahlung bzw. keinen höheren Nutzen erzielen kann. Es liegen wechselseitig beste Antworten vor, woraus ein Nash-Gleichgewicht resultiert. Es können allerdings in einer Spielsituation auch mehrere Nash-Gleichgewichte vorhanden sein.[7]

Die Gleichgewichtsstrategie bzw. die beste Antwort des Spielers i kann in folgender Reaktionsfunktion abgebildet werden:

[7] Diese Aussage bezieht sich primär auf reine Strategien. In reinen Strategien tritt jedoch oft der Fall ein, dass es kein einziges Nash-Gleichgewicht gibt. Wenn dem so ist, muss auf gemischte Strategien zurückgegriffen werden (siehe Kapitel 2.2.3.3).

$$r_i\,(s_{-i}^*) = \{s_i^* \in S_i \mid u_i\,(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i\,(s_i, s_{-i}) \text{ für alle } s_i \in S_i\}$$

$r_i\,(s_{-i}^*)$ Menge der besten Antworten des Spielers i gegeben den optimalen Strategien der anderen Spieler

Holler und Illing (2003, S. 58) definieren das Nash-Gleichgewicht über diese Reaktionsfunktionen wie folgt:

„Die Erwartungen aller Spieler werden sich nur dann erfüllen, wenn die den Mitspielern jeweils unterstellten Strategien s_{-i} ihrerseits wiederum beste Antworten auf die Strategien der anderen Spieler sind: $s^* \in r(s^*)$."

Abbildung 3 soll das Konzept des Nash-Gleichgewichts beispielhaft veranschaulichen.

	SPIELER 2		
SPIELER 1	**S_{21}**	**S_{22}**	**S_{23}**
S_{11}	(10, 0)	(0, 0)	(0, 10)
S_{12}	(0, 0)	(3, 3)	(0, 0)
S_{13}	(0, 10)	(0, 0)	(10, 0)

Abbildung 3: Auszahlungsmatrix, die zu einem Nash-Gleichgewicht führt

In dieser Spielsituation ist die Kombination der Strategien $s^*=(s_{12}, s_{22})$ ein Nash-Gleichgewicht. Diese Strategien sind wechselseitig beste Antworten, da $s_{12}=r_1(s_{22})$ und $s_{22}=r_2\,(s_{12})$ gilt. Graphisch lässt sich dies nachvollziehbar illustrieren.

	SPIELER 2		
SPIELER 1	**S_{21}**	**S_{22}**	**S_{23}**
S_{11}	(10, 0)	(0, 0)	(0, 10)
S_{12}	(0, 0)	(3, 3)	(0, 0)
S_{13}	(0, 10)	(0, 0)	(10, 0)

Abbildung 4: Wechselseitig beste Antworten aus Sicht des Spielers 1 (Zeilenspieler)

Das Vorgehen des Spielers 1 lässt sich folgendermaßen beschreiben: Im Falle, dass Spieler 2 s_{21} wählt, maximiert sich der Nutzen des Spielers 1 bei Wahl von s_{11}. Wählt Spieler 2 allerdings die Strategie s_{22}, so entscheidet sich Spieler 1 dann rational, wenn er Strategie s_{12} wählt. Gegeben der Wahl der Strategie s_{23} durch den Spieler 2, ist s_{13} die nutzenmaximierende Strategie aus Sicht des Spielers 1. Die diesbezüglichen Strategiekombinationen mit ihren Nutzenwerten sind gelb herausgehoben.

Abbildung 5 zeigt die Strategiekombinationen des Spielers 2, wenn er dieselben Überlegungen anstellt wie Spieler 1. Auch hier sind die korrespondierenden Zellen mit den Nutzenwerten gelb hervorgehoben.

		SPIELER 2		
SPIELER 1		S_{21}	S_{22}	S_{23}
	S_{11}	(10, 0)	(0, 0)	(0, 10)
	S_{12}	(0, 0)	(3, 3)	(0, 0)
	S_{13}	(0, 10)	(0, 0)	(10, 0)

Abbildung 5: Wechselseitig beste Antworten aus Sicht des Spielers 2 (Spaltenspieler)

Die nachfolgende Abbildung gibt die zusammengefügten Strategiekombinationen wieder. Wie sich bereits gut erkennen lässt, gibt es ein Feld, das beide Spieler als wechselseitig beste Antwort in Betracht ziehen. Dieses Feld gibt das einzige Nash-Gleichgewicht in diesem Spiel an und ist blau markiert.

		SPIELER 2		
SPIELER 1		S_{21}	S_{22}	S_{23}
	S_{11}	(10, 0)	(0, 0)	(0, 10)
	S_{12}	(0, 0)	(3, 3)	(0, 0)
	S_{13}	(0, 10)	(0, 0)	(10, 0)

Abbildung 6: Zusammengefügte Matrix der wechselseitig besten Antworten

Bei der Strategiekombination $s^*=(s_{12}, s_{22})$ stellt sich somit ein Nash-Gleichgewicht ein.

Nash-Gleichgewichte lassen sich in strikte und schwache Nash-Gleichgewichte differenzieren. In obigem Beispiel handelt es sich bei der Strategiekombination $s^*=(s_{12}, s_{22})$ um ein striktes Nash-Gleichgewicht, da es sich um das einzige Nash-Gleichgewicht in diesem Spiel handelt. Hat ein Spiel demnach mehrere Nash-Gleichgewichte, so spricht man von schwachen Nash-Gleichgewichten. Auf die Methoden zur Bestimmung des effizientesten solcher schwachen Nash-Gleichgewichte soll in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden.

2.2.3.2 Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien

Nicht immer lässt sich ein Nash-Gleichgewicht in reinen Strategien bestimmen. Es existiert allerdings in jedem endlichen Spiel zumindest ein Gleichgewicht in gemischten Strategien. Die Spieler wählen dabei über einen Zufallsmechanismus die reinen Strategien aus. Jede Strategie kommt dabei mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zum Zug. Heftet an einer Strategie die Wahrscheinlichkeit 1, so wird diese mit Sicherheit gespielt. Nash-Gleichgewichte in gemischten Strategien bestehen aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung der einzelnen Strategien, die den erwarteten Nutzen eines Spielers maximieren. Werden diese Gleichgewichtswahrscheinlichkeiten gewählt, so kann sich kein Spieler durch die Wahl einer anderen Strategie besserstellen (vgl. Holler & Illing, 2003, S. 68f.). Die Spielenden wählen also nicht die reine Strategie selbst, sondern nur

die Wahrscheinlichkeiten für die reinen Strategien und überlassen die tatsächliche Auszahlung einem Zufallsmechanismus (vgl. Rieck, 1993, S. 55).

Um das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien zu berechnen, werden je nach Art des Spiels verschiedene Algorithmen angewandt. In Nullsummen-Spielen – wie sie unter anderem oft in Sportspielsituationen auftreten – kann die Berechnung über den Simplex-Algorithmus erfolgen. Ebenso lässt sich ein 2x2 Spiel mit jeweils zwei Strategien durch diesen Algorithmus lösen. Bei mehreren Strategien und bei n>2 Personen Spielen müssen Verfahren angewandt werden, die alle Kombinationen von gemischten Strategien aller Spieler miteinander vergleichen[8]. Auf diese Verfahren soll im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht näher eingegangen werden. Zur Lösung von Zwei-Personen Spielen mit mehreren Strategien eignet sich die Open-Source Software Gambit (vgl. McKelvey, McLennan & Turocy, 2007), die auch in dieser Arbeit zum Auffinden der Nash-Gleichgewichte verwendet wurde. Die grundlegende Berechnungsmethodik für endliche 2-Personen-Spiele wird im folgenden Kapitel dargestellt.

Das Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien und von Neumann‘s Minimax Theorem für Zwei-Personen Nullsummenspiele gelten als die wichtigsten Konzepte, um strategische Situationen, die nicht vorhersehbar sind, zu verstehen (vgl. Palacios-Huerta, 2003, S. 396). Das nachfolgende Kapitel stellt einen Vergleich zwischen diesen beiden Konzepten an.

2.2.4 Vergleich der Minimax-Lösung mit dem Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien

Der wesentliche Unterschied zwischen der Minimax-Lösung und dem Nash-Gleichgewicht besteht darin, ob der Spieler das Verhalten seines Gegenübers mit in sein Entscheidungskalkül zieht oder nicht. Der Unterschied zwischen den Lösungen in gemischten Strategien soll in Anlehnung an Ableitinger und Humenberger (2010) anhand des Schwarzfahrer-Spiels demonstriert werden. Die Bimatrix für dieses Spiel hat folgendes Aussehen:

	Kontrolleur	
Fahrgast	*kontrolliert*	*kontrolliert nicht*
fährt schwarz	(-8, 3)	(1, 2)
zahlt	(0, -1)	(-1, 0)

Abbildung 7: Auszahlungsmatrix Schwarzfahrer-Spiel

[8] Ein derartiges Verfahren stellt beispielsweise der sogenannte Lemke-Howson Algorithmus dar.

Der Fahrgast hat die Möglichkeit, sich ein Ticket für das öffentliche Verkehrsmittel zu kaufen oder schwarzzufahren. Sein subjektiver Nutzen hängt von der Wahl des Kontrolleurs ab, der sich entscheiden kann, ob er kontrolliert oder nicht. Wenn sich der Fahrgast nach dem Lösungskonzept von Nash entscheidet, spielt die durchschnittliche Häufigkeit des Kontrollierens durch den Kontrolleur eine kritische Rolle. Geht er allerdings nach der Minimax-Lösung vor, so versucht er, seinen eigenen Worst-Case zu minimieren. Tabelle 1 gibt einen guten Überblick über die konzeptionellen Unterschiede dieser beiden Lösungsansätze (vgl. Ableitinger & Humenberger, 2010, S. 74).

Tabelle 1: Vergleich Nash- und Minimax-Konzept

Nash-Konzept	Minimax-Konzept
Ziel: Der Spieler wählt jedes Mal die beste Antwort auf den bisher gespielten Fremdparameter. Als Folge davon stellt sich langfristig beim eigenen Parameter der Nash-Wert von selbst ein.	Ziel: Der Spieler will den worst-case abfedern (er verhält sich risikoscheu), er wählt dazu bewusst seinen eigenen Minimax-Wert!
Das durchschnittliche fremde Auszahlungs-Maximum wird minimiert.	Das durchschnittliche eigene Auszahlungs-Minimum wird maximiert.
Die durchschnittliche Fremdauszahlung wird fixiert.	Die durchschnittliche eigene Auszahlung wird fixiert.

2.2.4.1 Lösung Nash-Gleichgewicht

Ein Spieler wählt nach dem Nash-Gleichgewicht seine optimale Strategie gegeben den optimalen Strategien der anderen Spieler. Für den Fahrgast ergeben sich daher in Abhängigkeit der Häufigkeit des Kontrollierens folgende Nutzenfunktionen:

$$\text{Schwarzfahren: } u_F(q) = (-8) * q + 1 * (1 - q)$$

$$\text{Zahlen: } u_F(q) = 0 * q + (-1) * (1 - q)$$

$u_F(q)$ Nutzen des Fahrgastes in Abhängigkeit des Kontrollierens
q Relative Häufigkeit des Kontrollierens
$1 - q$ Relative Häufigkeit des Nicht-Kontrollierens

Setzt man diese beiden Nutzenfunktionen gleich, ergibt sich für q_{Nash} ein Wert von $\frac{1}{5}$. Dieser Wert stellt eine kritische Schwelle dar. Kennt der Fahrgast die tatsächliche Kontrollhäufigkeit des Kontrolleurs aus der Vergangenheit, so kann er sich dementsprechend optimal verhalten. Beträgt die relative Häufigkeit des Kontrollierens weniger als q_{Nash}, ist die Strategie Schwarzfahren für den Fahrgast die optimale. Bei einem $q>q_{Nash}$, sollte der Fahrgast zahlen. Dies ist die ursprüngliche Interpretation des Nash-Wertes.

Die andere Interpretation ist die für die Sportspielanalyse interessantere, da hierbei es nicht erforderlich ist, dass sich die Spieler die gegnerischen relativen Häufigkeiten gemerkt haben. Wenn man sich nämlich bei jedem einzelnen Spiel anhand des Fremdparameters q_{Nash} verhält, so ergibt sich dadurch auf lange Sicht, dass sich die eigene relative Häufigkeit – also der eigene Parameter p_{Nash} – beim Nash-Wert einpendelt:

> „Das bedeutet aber auch, dass statt in die Vergangenheit des Gegners zu schauen und darauf zu reagieren, es à la longue gleichwertig ist, selbst zu agieren, d.h. jetzt wirklich selbst den eigenen Nash-Parameter zu spielen.“ (Ableitinger & Humenberger, 2010, S. 70)

Analog zum Fahrgast ergeben sich für den Kontrolleur folgende Auszahlungsfunktionen:

$$\text{Kontrollieren: } u_K(p) = 3 * p + (-1) * (1 - p)$$

$$\text{Nicht kontrollieren: } u_K(p) = (-2) * p + 0 * (1 - p)$$

$u_K(p)$	Nutzen des Kontrolleurs in Abhängigkeit des Schwarzfahrens
p	Relative Häufigkeit des Schwarzfahrens
$1 - p$	Relative Häufigkeit des Ticketkaufs

Durch Gleichsetzen erhält man $p_{Nash}=\frac{1}{6}$.

Die Gleichgewichtsstrategie für den Fahrgast lautet somit $s_F^*=(\frac{1}{6},\frac{5}{6})$, jene für den Kontrolleur $s_K^*=(\frac{1}{5},\frac{4}{5})$. Die beiden Spieler optimieren ihre Auszahlung, wenn sie sich bei jedem Spiel für eine reine Strategie mit der Wahrscheinlichkeitsverteilung, die sich aus dem Nash-Gleichgewicht ergibt, entscheiden. Die durchschnittliche Auszahlung für den Kontrolleur beträgt auf lange Sicht -0,33, jene für den Fahrgast -0,80. Diese Werte erhält man durch Einsetzen der Nash-Parameter in eine der beiden jeweiligen Nutzenfunktionen.

2.2.4.2 Minimax-Lösung

Die Minimax-Lösung unterscheidet sich zur ursprünglichen Interpretation der Nash-Lösung im aktiven Verhalten des Spielers:

> „Beim Minimax-Konzept herrscht eine ganz andere Philosophie vor, dort geht es nicht um ein Reagieren auf den Fremdparameter („beste Antwort“), sondern um aktive Wahl des eigenen Parameters mit dem erklärten Ziel, dass der dabei eintretende „worstcase“ möglichst wenig schlimm ist.“ (Ableitinger & Humenberger, 2010, S. 71)

Das Schwarzfahrerspiel bringt für den Fahrgast folgende Nutzenfunktionen:

$$\text{Wenn kontrolliert wird: } u_F(p) = (-8) * p + 0 * (1 - p)$$

$$\text{Wenn nicht kontrolliert wird: } u_F(p) = 1 * p + (-1) * (1 - p)$$

Schneidet man diese beiden Nutzenfunktionen, so ergibt sich $p_{Minimax}=\frac{1}{10}$, also jene relative Häufigkeit für das Schwarzfahren, bei der der Fahrgast auf lange Sicht gesehen dieselbe Auszahlung wie für die Strategie „Ticketkauf“ erwarten darf. Die optimale gemischte Strategie lautet somit für den Fahrgast $s_F^*=(\frac{1}{10},\frac{9}{10})$. Die durchschnittliche Auszahlung erhält man durch einsetzen von $p_{Minimax}$ in eine der beiden Nutzenfunktionen. Sie beträgt -0,8 pro Spiel.

Ebenso ergeben sich die durchschnittlichen Auszahlungen an den Kontrolleur in Abhängigkeit des eigenen Parameters q:

Wenn der Fahrgast schwarzfährt: $u_K(q) = 3 * q + (-2) * (1 - q)$

Wenn der Fahrgast bezahlt: $u_K(q) = (-1) * q + 0 * (1 - q)$

Der Schnittpunkt dieser beiden Funktionen liegt bei $q_{Minimax}=\frac{1}{3}$. Die optimale Strategie des Fahrgasts lautet daher $s_K^*=(\frac{1}{3},\frac{2}{3})$. Als durchschnittliche Auszahlung darf der Kontrolleur -0,33 pro Spiel erwarten. Wie sich erkennen lässt, sind die Gleichgewichtsstrategien für die beiden Akteure unterschiedlich, ihr erwarteter Nutzen allerdings ident. Dies lässt sich dadurch erklären, dass q_{Nash} die Auszahlung an den Fahrgast (Fremdauszahlung) unabhängig von p und $p_{Minimax}$ die Auszahlung an den Fahrgast (eigene Auszahlung) unabhängig von q fixiert. Es gilt somit:

$$u_F(p_{Nash}, q_{Nash}) = u_F(p_{Minimax}, q_{Nash)} = u_F(p_{Minimax}, q_{Minimax})$$

Auf die graphische Darstellung dieser Zusammenhänge wird in dieser Arbeit verzichtet.

2.2.4.3 Vergleich bei Konstant-Summenspiel

Dieses Kapitel geht der Frage nach, wie sich Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der beiden spieltheoretischen Konzepte in Konstant-Summenspielen, wie sie für die spätere Analyse von Situationen in Sportspielen verwendet werden, gestalten. Folgende Bimatrix soll dazu dienen:

		Spieler 2	
Spieler 1		*A2*	*B2*
	A1	(64, 36)	(96, 4)
	B1	(100, 0)	(56, 44)

Jeder Spieler verfügt über eine Strategie A und eine Strategie B. Die Summe der Auszahlungen von Spieler A und Spieler B ergeben in jedem der vier Felder 100. Es

handelt sich daher um ein Konstant-Summenspiel. Für keinen der beiden Spieler ist eine Strategie dominant.

Die optimale Strategie gemäß dem Nash-Gleichgewicht ergibt sich für Spieler 1 aus den beiden Nutzenfunktionen des Spielers 2:

Spieler 2 spielt Strategie A: $u_2(q) = 36 * q + 0 * (1 - q)$
Spieler 2 spielt Strategie B: $u_2(q) = 4 * q + 44 * (1 - q)$

Analog dazu erhält man die optimale gemischte Strategie des Spielers 2 aus den beiden Nutzenfunktionen des Spielers 1:

Spieler 1 spielt Strategie A: $u_1(p) = 64 * p + 96 * (1 - p)$
Spieler 1 spielt Strategie B: $u_1(p) = 100 * p + 56 * (1 - p)$

Durch Schneiden der beiden jeweiligen Nutzenfunktionen erhält man die optimalen gemischten Strategien für die beiden Spieler: $s_1^*=(\frac{11}{19}, \frac{8}{19})$, $s_2^*=(\frac{10}{19}, \frac{9}{19})$.

Wenn sich Spieler 1 nach dem Minimax-Konzept entscheidet, lauten seine Nutzenfunktionen folgendermaßen:

Spieler 2 spielt Strategie A: $u_1(p) = 64 * p + 100 * (1 - p)$
Spieler 2 spielt Strategie B: $u_1(p) = 96 * p + 56 * (1 - p)$

Die optimale Strategie ergibt für Spieler 1 $s_1^*=(\frac{11}{19}, \frac{8}{19})$. Die Nutzenfunktionen für Spieler 2 im Sinne des Minimax-Konzepts lauten:

Spieler 1 spielt Strategie A: $u_2(q) = 36 * p + 4 * (1 - p)$
Spieler 1 spielt Strategie B: $u_2(q) = 0 * p + 44 * (1 - p)$

Daraus lässt sich wiederum die optimale Strategie $s_2^*=(\frac{10}{19}, \frac{9}{19})$ für Spieler 2 berechnen.

Für Konstant-Summenspiele ergibt sich somit als Konsequenz, dass nicht nur die Auszahlungen aus den optimalen gemischten Strategien der beiden Konzepte ident sind, sondern die optimalen Strategien selbst die gleichen Werte aufweisen. Leininger und Ockenfels (2008, S. 7) beschreiben dieses Charakteristikum von Konstant-Summenspielen:

„A unique feature of this class of games is, that any Nash equilibrium consists of strategies which are maxminimizers for the players."

Dies bedeutet für die Anwendungsbeispiele dieser Arbeit in Kapitel 4 und Kapitel 5, dass nur ein Konzept – nämlich das Nash-Gleichgewicht – angewendet wird.

3 Sportspiel und Spieltheorie

Hohmann (1985, S. 7) definiert das Sportspiel folgendermaßen:

> „In einer weiten Definition bestimmen wird daher das Sportspiel als die Gesamtheit von kulturhistorisch und gesellschaftlich determinierten Verhaltensweisen, die im geschlossenen Handlungszusammenhang eines von Regeln kodifizierten motorischen Zwei-Parteien Spiels stehen und sich in einem durch die gemeinsame Spielidee künstlich hergestellten Konflikt beschreiben lassen als das Störverhalten eines Gegners, das paradoxerweise die Grundvoraussetzung bildet für das eigene, auch kooperative Verhalten."

In dieser Definition des Sportspiels finden sich wichtige Merkmale, die für die Anwendung der Spieltheorie grundlegend sind. Determinierte Verhaltensweisen und Handlungen, also zielgerichtete Tätigkeiten, sind als so genannte Strategien unter der maßgeblichen Voraussetzung, dass diese durch eine zweite Partei, nämlich dem/der gegnerischen Spieler/in/Mannschaft, in der Wahl beeinflusst werden, eine entscheidende Bedingung zur Anwendung von spieltheoretischen Untersuchungen. Hervorzuheben ist noch der künstlich hergestellte Konflikt, der das Sportspiel zum Themengebiet von nicht-kooperativen Spielen zuweist.

Im Folgenden wird auf die Merkmale eines Sportspiels näher eingegangen. Dabei soll das Sportspiel von anderen Spielen abgegrenzt werden. Unterkapitel 3.3 beschäftigt sich mit den in der Literatur gefundenen Anwendungsmöglichkeiten spieltheoretischer Überlegungen in der Sportspielanalyse. Das darauffolgende Kapitel soll die Probleme, die bei Anwendung der Spieltheorie in der Sportspielanalyse auftauchen, und die Grenzen die dieser gesetzt sind, thematisieren.

3.1 Charakteristika

3.1.1 Abgrenzung des Sportspiels zum (Gesellschafts-)Spiel

Sportspiele haben sich vor dem Hintergrund der industriellen Revolution und der damit einhergehenden tief greifenden gesellschaftlichen Wandlungsprozesse vor allem im England des 19. Jahrhunderts entwickelt. Traditionelle Volksspiele haben sich nach und nach zu einem immer stärker formalisierten Geschehen verändert, bei dem das Übertrumpfen des Gegners bei formaler Siegchancengleichheit im Mittelpunkt steht (vgl. Kolb, 2005, S. 25f.). Aus dieser Entwicklung heraus entstanden nationale Meisterschaften

und später auch internationale Turniere, die an die Stelle der vormals vielfältigen lokalen Spielformen getreten sind.

Wesentliche Merkmale des Sportspiels sind die gegeneinander gerichteten Angriffs- und Abwehrhandlungen, durch die die im Spiel involvierten Parteien versuchen, ein Spielobjekt in ein bestimmtes Ziel zu bringen bzw. zu verhindern, dass dies der gegnerischen Partei gelingt. Sportspiele sind somit auch stark wettkampforientiert, was sich auch in der starken Formalisierung niederschlägt. Zu dieser Formalisierung gehören einerseits die Spielregeln und andererseits auch die Spielfeldmaße. Außerdem gibt es oft strenge Teilnahmekriterien wie Verbandszugehörigkeit, dokumentiert durch Spielerpässe etc. Die Einhaltung der Spielregeln obliegt einer oder mehreren externen, unabhängigen Personen, die bei Verletzung der Regeln Sanktionen verhängen können. Der Sieger lässt sich durch die Zählung von Toren und Punkten ermitteln. Die Wettkampforientierung sorgt dafür, dass das Sportspiel von ergebnisorientierten, zweckrationalen Taktiken und Strategien geprägt ist. Dies ist für die Annahme, dass Sportspieler rational und nutzenmaximierend agieren und entscheiden, von bedeutender Wichtigkeit.

Kolb (2005, S. 26) führt aus, dass diese Formalisierung Voraussetzung für die Entwicklung von Techniken, Strategien etc. ist, die durch geeignete Trainingsprozesse vermittelt und verbessert werden können:

> „Durch diese Formalisierung wurden die erforderlichen stetigen Rahmenbedingungen geschaffen, die die Ausbildung besonderer Sportspiel-Bewegungstechniken und -Bewegungstaktiken ermöglichen. Erst auf Grund der eingeschränkten Handlungsoptionen können das gegenseitige Spielverhalten antizipiert, Strategien entwickelt und diese in teilweise jahrelangen Trainingsprozessen vermittelt werden. Im Sportspiel dominieren festgelegte Handlungsketten in Form von Spielfertigkeiten, Spieltaktiken, Spielzügen usw. Die Bewegungen sind sportspielspezifisch geformt und reduzieren die in der Grundidee angelegte Variabilität des Spielverlaufs beträchtlich.“

Die Abgrenzung zum Gesellschaftsspiel und zum Spiel liegt darin, das eigene Können mit einem Gegenüber zu messen und das Ergebnis festzustellen. Im Sportspiel dominiert somit der Wettkampfgedanke und strategische, ergebnisorientierte Aktionen, während hingegen im Spiel die unmittelbare Lust an gelingenden Spielhandlungen und am spannenden Spielverlauf im Vordergrund steht (vgl. Kolb, 2005, S. 27). Ein Spiel bedarf auch keiner formalisierten Regeln und auch keiner vordefinierten Spielzeit. Es beginnt, wenn die Spielenden den Beginn definieren und wird beendet, wenn die Lust am Spielen verloren gegangen ist. Der Wettkampfgedanke im Sportspiel erfordert jedoch zur eindeutigen Feststellung eines Siegers eine streng determinierte Spielzeit. Dabei kann die Spielzeit über zwei mögliche Formen definiert sein: sie endet entweder nach einer

festgelegten Spieldauer[9] oder nach dem Erreichen einer bestimmten Anzahl an Punkten und Sätzen[10]. Durch die Formalisierung in den Sportspielen sind die Abläufe relativ eng eingegrenzt. Im Spiel können die Beteiligten jedoch die Regeln ändern, um mögliche Ungleichgewichte zu eliminieren und neue Herausforderungen zu suchen.

Lames (1994, S. 15) fasst die Charakteristika von Sportspielen zusammen:

„Sportspiele sind Sportarten

- mit international kodifiziertem Regelwerk,
- bei denen zwei Parteien (Einzel, Doppel oder Mannschaften)
- in einen Interaktionsprozess eintreten,
- der dadurch zustande kommt, dass beide Parteien gleichzeitig ihr eigenes Spielziel anstreben und verhindern wollen, dass die gegnerische Partei ihr Spielziel erreicht;
- das Spielziel in den Sportspielen ist eine in den Regeln festgelegte, symbolische Handlung."

3.1.2 Sportliche Handlung

Die sportliche Handlung lässt sich nach Nitsch (1975, zit.n. Hohmann, 1985, S. 21) in drei Phasen unterteilen:

- Handlungsantizipationsphase
- Handlungsregulationsphase
- Handlungsinterpretationsphase

Die erste Phase zielt im Rahmen von Handlungen im Sport darauf ab, eine Spielsituation zu erfassen und diese zu beurteilen. Zur Spielsituation gehört vor allem das Verhalten des Gegners und des Spielobjekts. Aus dieser Spielsituation ergibt sich eine Spielaufgabe, die wiederum eine Entschlussfassung und das Erstellen eines Aktionsplans nach sich zieht. In der Handlungsregulationsphase wird dieser Aktionsentwurf in die Realität umgesetzt. Das Ergebnis und der Ablauf der ausgeführten Handlung werden in der Handlungsinterpretationsphase subjektiv bewertet und mit einem Sollwert verglichen. Hohmann (1985, S. 22) beschreibt den erweiterten Umfang dieser Phase:

„Eingeschlossen ist dabei die Feststellung möglicher Abweichungen des tatsächlichen vom erwarteten Ergebnis, der Versuch einer Ursachenerklärung und eine Abschätzung der Eigenverantwortlichkeit für die erhaltenen Ergebnisse (Kausalattributierung)."

[9] Die Spieldauer im Fußball beträgt beispielsweise 90 Minuten, im Eishockey 60 Minuten. Innerhalb der Spieldauer lässt sich noch weiter differenzieren, je nachdem wie Spielunterbrechungen gehandhabt werden. In manchen Sportspielen wie bspw. im Hand- und Basketball ist sogar die Zeit für einen Angriff festgelegt.
[10] Dies ist beispielsweise im (Beach-)Volleyball und im (Tisch-)Tennis der Fall.

Mahlo (1974, zit.n. Hohmann, 1985, S. 21) beschreibt die Spielhandlung als „ein auf den bestmöglichen Erfolg der gesamten Tätigkeit gerichtetes Lösen situativer Spielaufgaben im Rahmen der gültigen Spielregeln“. Die sportliche Handlung dient also dafür den Leistungserfolg zu optimieren, wodurch sie als Strategie im Sinne der Spieltheorie aufgefasst werden kann. Die einzelnen individuellen Handlungen sind die Grundelemente der kollektiven Interaktionen in einer Teamsportart, aus denen sich die Mannschaftshandlung ergibt. Diese Mannschaftshandlungen sind gemeinsam abgesprochen, werden gemeinsam von allen Mannschaftsmitgliedern durchgeführt und jeder Einzelspieler weiß, wie sich sein Mitspieler entsprechend abgesprochen verhält (vgl. Niedlich, 1978, zit.n. Hohmann, 1985, S. 60). Dies ermöglicht es, nicht nur Strategien von Einzelspielern, sondern auch von Gruppen und Mannschaften einer spieltheoretischen Analyse zu unterziehen.

3.2 Spielbeobachtung

Die Spielbeobachtung hat in den beiden letzten Jahrzehnten aufgrund der technologischen Möglichkeiten einen enormen Aufschwung erlebt. Durch die Spielbeobachtung wurde es ermöglicht, Training und Wettkampf noch stärker zu koppeln. Über die Beobachtung der äußeren Erscheinungsformen im Wettkampf und der daraus resultierenden Diagnose der Stärken und Schwächen des eigenen Spielverhaltens können trainingspraktische Maßnahmen und Ziele abgeleitet werden. Neben dieser Eigenanalyse, die mittel- bis langfristigen Charakter aufweist, erlangt die Spielbeobachtung auch bei der eher kurzfristigen Analyse des Gegners Bedeutung. Hierbei wird eine Spielstrategie entwickelt, die sich aus den Stärken und Schwächen des Gegners ableiten lassen (vgl. Hansen & Lames, 2001, S. 63). Den Ausgangspunkt für das Ableiten von Trainingszielen und -maßnahmen bildet der Wettkampf, da sich hier die individuellen Leistungsvoraussetzungen in Abhängigkeit der gegnerischen Interaktion äußern (vgl. Lames, 1994, S. 19ff.).

Die Spielbeobachtung dient allerdings nicht nur trainingswissenschaftlichen Zwecken, sondern ebenso den Wissenschaftsteildisziplinen Sportmedizin, Sportpsychologie, Sportdidaktik und -methodik. Die spieltheoretische Analyse von Sportspielen kann insbesondere zur Beantwortung von sportpsychologischen Fragestellungen dienen, da das Verhalten und die Handlungsentscheidung von Akteuren in der Spieltheorie im Mittelpunkt stehen. Die Spieltheorie lässt sich aber auch zur Analyse der eigenen und der gegnerischen Verhaltensmuster einsetzen, wodurch Ableitungen von Trainingszielen und -maßnahmen erfolgen können.

3.3 Anwendungsmöglichkeiten der Spieltheorie in der Sportspielanalyse

In diesem Kapitel sollen die grundlegenden Eigenschaften von Spielsituationen in Sportspielen abgeleitet werden, die notwendig sind, um spieltheoretisch analysiert werden zu können. Desweiteren soll der aktuelle Stand der bisherigen Forschung im Bereich Sportspielanalyse mittels spieltheoretischen Instrumenten in diesem Kapitel präsentiert werden.

3.3.1 Voraussetzungen

Das folgende Zitat von Kolb (2005, S. 27), das der Abgrenzung des Sportspiels vom allgemeinen Spiel dient, zeigt ein wesentliches Charakteristikum, das für die Betrachtung aus Sicht der Spieltheorie unumgänglich ist, auf:

> „Im Spiel dominiert die unmittelbare Lust an gelingenden Spielhandlungen und am spannenden Spielverlauf, im Sport stehen strategische, instrumentelle und ergebnisorientierte Aktionen im Vordergrund, die zum Ziel haben, die Wahrscheinlichkeit einer Niederlage zu minimieren und die eines Sieges zu maximieren.“

Aus diesem Zitat wird deutlich, dass Spieler in einem Sportspiel Strategien auswählen und einsetzen müssen, die geeignet sind, die Wahrscheinlichkeit des Sieges bzw. den Nutzen zu maximieren. Nachdem sich Sportspiele dadurch auszeichnen, dass zwei konkurrierende Sportler bzw. Mannschaften gegeneinander antreten, um den Gegner zu übertrumpfen, sind interdependente Beziehungen zwischen diesen beiden Parteien nicht auszuschließen. Dies bedeutet, dass die Wahl der Strategie der einen Partei das Ergebnis der Handlungsrealisation der anderen Partei beeinflusst. Dies ist die Grundvoraussetzung für eine spieltheoretische Analyse von Spielsituationen. Ebenso sind die Eigenschaften der sportlichen Handlung – wie bereits in Kapitel 3.1.2 beschrieben – der Spieltheorie nicht abträglich.

Weitere Voraussetzungen und Annahmen werden direkt im empirischen Teil der Arbeit angeführt und überprüft.

3.3.2 Stand der Forschung

Sportspiele sind ein beliebtes Forschungsgebiet für Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen, die sich mit der Frage beschäftigen, ob sich Entscheidungsträger in realen Spielsituationen rational im Sinne der Spieltheorie verhalten. Bei Untersuchungen unter

Laborbedingungen können nämlich folgende Störfaktoren auftreten (vgl. Kovash & Levitt, 2009):

- Die Probanden sind mit der jeweiligen Spielsituation zu wenig vertraut.
- Der Einsatz ist gering, weshalb die Motivation beeinträchtigt sein könnte.
- Die Probanden sind möglicherweisen zu wenig erfahren oder zu wenig talentiert, um die Strategien im Sinne des Minimax-Theorems zu mischen, also seriell unabhängig zu mischen.

Professionelle Sportspieler weisen diese Störfaktoren in der Regel nicht oder nur in geringem Maße auf, sodass sich Sportspiele als Feldstudien zur Beobachtung von gemischten Strategien besonders eignen. Diese Sportler sind meist von Kindheit an mit ihrer jeweiligen ausgeübten Sportart vertraut. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass sie die Struktur ihrer Sportart implizit kennen. Außerdem kann angenommen werden, dass sie motiviert sind, ihr Bestes zu geben, da mit dem Sieg meist hohe Summen an Prämien und soziale Anerkennung verbunden sind. Jede Handlung eines Spielers während eines Spiels kann als Teilleistung des gesamten Spiels gesehen werden, die Einfluss auf das Endergebnis nimmt, weshalb der Spieler in jeder Aktion rational gemäß seiner Nutzenmaximierung handeln sollte. Bleibt nur noch die Frage offen, ob diese Sportler seriell unabhängige Entscheidungen wählen, die es dem Gegner nicht ermöglichen, Muster in der Spielweise erkennen zu lassen. Die eingangs erwähnte Fragestellung, ob Sportler in spieltheoretischen Situationen gemischte Strategien mit den nutzenmaximierenden Wahrscheinlichkeiten im Sinne des Minimax-Theorems bzw. des Nash-Gleichgewichts wählen, wird in beiden Anwendungsbeispielen zu beantworten versucht. Die Annahme, dass die Spieler seriell unabhängige Entscheidungen treffen, wird allerdings nur für die praktische Anwendung im Beachvolleyball überprüft, da die Datenanzahl pro Spieler beim Elfmeter zu gering ist.

3.3.2.1 Fußball

Palacios-Huerta (2003) hat 1417 Elfmeter aus europäischen Ligen spieltheoretisch untersucht. Sein Fokus lag dabei vor allem auf der Überprüfung von zwei Annahmen, die implizit in einem Nash-Gleichgewicht vorausgesetzt werden: statistisch idente Trefferwahrscheinlichkeiten über die verschiedenen Strategien hinweg und serielle Unabhängigkeit der Strategiewahl eines Spielers. Die erste Annahme besagt, dass das Nash-Gleichgewicht aus einem Strategien-Mix besteht, der für jede Strategie dieselbe Trefferwahrscheinlichkeit zur Folge hat. Die zweite Annahme meint, dass die Entscheidungen eines Spielers für eine gewisse Strategie nicht aus historischen Daten ableitbar sein dürfen. Die Entscheidungen sollten daher nicht von des Spielers früheren

Entscheidungen und seines Gegners früheren Entscheidungen abhängig sein. Voraussetzung für die Überprüfung der seriellen Unabhängigkeit ist, dass von mehreren Spielern viele Beobachtungen zur Verfügung stehen. Beide Annahmen wurden einer statistischen Untersuchung unterzogen und stimmten mit den beobachteten Daten überein. Zudem zeigten die Ergebnisse, dass die Spieler, obwohl sich die Gegner von Spiel zu Spiel änderten und angenommen werden kann, dass die Schützen nicht über die letzten Aktionen des gegenüberstehenden Torhüters perfekt informiert waren, nicht von der optimalen gemischten Strategie abwichen.

Eine der ersten Studien, die sich mit Sportspielen und Spieltheorie auseinandersetzte, war jene von Chiappori, Levitt und Groseclose (2002), die den Elfmeter im Fußball spieltheoretisch analysierten. Sie untersuchten 459 Elfmeter und konnten zeigen, dass die getroffenen Annahmen mit der Spieltheorie im Einklang stehen. Die Spieler wählen ihre Strategien in Abhängigkeit des Verhaltens des Gegners demnach optimal. Coloma (2007) analysierte dieselben Daten mit anderen statistischen Methoden. Das Ergebnis war mit jenem von Chiappori et al. (2002) konsistent.

Interessant sind auch die Ergebnisse von Palacios-Huerta und Volij (2008), die der Frage nachgingen, ob sich Fußballprofis (Torhüter und Spieler der höchsten und zweithöchsten spanischen Liga) auch unter Laborbedingungen optimal verhalten. Dazu wurde ein einfaches Kartenspiel konstruiert, welches die Erfolgswahrscheinlichkeiten beim Elfmeter nachbildete. Die Autoren gingen beim Elfmeter von einem 2x2 Spiel mit den Trefferwahrscheinlichkeiten π_{LL}=0,60, π_{LR}=0,95, π_{RL}=0,90 und π_{RR}=0,70 aus. Auf diese Quoten kamen sie durch Analyse von 2.717 Elfmetern in europäischen Top-Ligen zwischen 1995 und 2004. Jeder Spieler hatte zwei Karten (R,L) zur Wahl. Die Spieler deckten jeweils eine dieser beiden Karten gleichzeitig auf. Eine unabhängige Person entschied danach mit zwei Würfeln über den Sieger. Beispielsweise haben sich beide Spieler für die Karte L entschieden. In diesem Fall gewinnt der Schütze mit 60%, der Torhüter mit 40%. Für jede Kombination der Karten gibt es eine dementsprechende Staffelung der Augenzahlen, die die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten abbilden. Es traten stets Spieler gegen Torhüter an. Zum Vergleich diente eine Kontrollgruppe, die aus Studenten ohne Fußballerfahrung bestand. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Fußballprofis konsistent mit den Gleichgewichtsstrategien verhielten und sie ihre Entscheidungen seriell unabhängig trafen, während die Kontrollgruppe vom Gleichgewicht abwich. Dasselbe Bild zeigte sich bei Spielen des O'Neill's Spiel, einem simultanen 4x4 Nullsummen-Kartenspiel[11]. Zudem entschieden sich in beiden Spielen die Profis schneller

[11] O'Neill (1987) entwickelte dieses Spiel, um das Entscheidungsverhalten von Menschen zu untersuchen. In diesem Spiel hat jeder Spieler vier Karten zur Auswahl (Rot, Braun, Violett und

als die Kontrollgruppe. Die langjährige Erfahrung in derartigen Nullsummen-Spielsituationen lässt die Fußballprofis auch unter Laborbedingungen Gleichgewichtsstrategien spielen.

Baumann, Friehe und Wedow (2008) zweifeln nicht an der Konsistenz der gespielten Strategien mit dem Nash-Gleichgewicht und gingen in ihrer Untersuchung von 999 Elfmetern von dieser Annahme aus. Sie zeigten, dass das Verhalten von Spielern mit einer höheren Spielstärke, die durch die Jahresbenotung eines renommierten Sportmagazins definiert wurde, eine erhöhte Vorhersehbarkeit aufweist. Allerdings wurde auch festgestellt, dass diese Spieler eine höhere Trefferquote besitzen. Die höhere Vorhersehbarkeit hat daher keinen negativen Effekt auf die Erfolgswahrscheinlichkeit des Schützen. Der Grund dafür liegt nach Meinung der Autoren, dass die höher bewerteten Schützen die Elfmeter schärfer und/oder präziser schießen. Es ging in dieser Analyse daher darum, Unterschiede in gemischten Strategien zwischen unterschiedlichen Spielertypen und die Leistung beim Strafstoß dieser Spielertypen zu erklären.

In einer weiteren Studie, die sich mit Elfmeter im Fußball auseinandersetzt, ist jene von Leininger und Ockenfels (2008). Sie untersuchten, wie sich das institutionelle Design des Elfmeters seit 1974, als Johan Neeskens im Finale der Weltmeisterschaft in der zweiten Minute einen Elfmeter verwandelte, in dem er in die Mitte des Tores schoss, während der Torhüter in eine Ecke hechtete, veränderte. Dies war der erste derartige Elfmeter, der in einem bedeutenden Spiel von einer breiten Zuschauermasse registriert wurde. Die beiden Autoren dieser Studie zeigen, dass sich die Elfmetersituation durch diesen Elfmeter von einem 2x2 Spiel zu einem 3x3 Spiel änderte und legen den Fokus auf die Konsequenzen der beiden Akteure, wenn einer oder beide die Strategie „Mitte“ wählen.

Moschini (2004) analysierte eine etwas komplexere Situation als den Elfmeter, nämlich Schüsse von nicht-zentraler Position. Der Schütze habe dabei die Option auf die nähere Stange oder auf die entferntere Stange zu zielen. Ebenso kann sich der Torhüter mehr auf eine der beiden Stangen konzentrieren. Die Ergebnisse dieser Studie waren, dass weniger Tore bei der näheren Stange erzielt werden sollten, allerdings sollte der Torhüter diese Stange nicht „überschützen“.

Grün). In diesem Spiel herrscht ein dem Elfmeter in keinster Weise nachvollzogenes Gleichgewicht. Das Ergebnis von O’Neill war, dass seine getesteten Gruppen nicht nach den Gleichgewichtsstrategien spielten und die Entscheidungen auch nicht seriell unabhängig trafen (vgl. O’Neill, 1987, S. 2108 und Brown & Rosenthal, 1990).

3.3.2.2 Tennis

Die Arbeit von Walker und Wooders (2001) gilt als einer der ersten Abhandlungen zum Thema Anwendung der Spieltheorie auf Sportspiele. Sie analysierten dazu zehn Spiele von Grand Slam Turnieren (davon acht Finalbegegnungen) hinsichtlich der Minimax-Strategie. Der aufschlagende Spieler hat dabei die Wahl auf die Vorhand oder auf die Rückhand seines Kontrahenten zu servieren. Es wurde angenommen, dass der den Aufschlag erwartende Spieler sich auf eine Richtung mehr konzentriert (vgl. Walker & Wooders, 2001, S. 1522):

> „We assume that the two actions available to the server are to serve either to the receiver's left or to the receiver's right. Simultaneously with the server's decision, the receiver is assumed to guess whether the serve will be to the left or to the right – i.e., he makes a decision, perhaps only subconsciously, to 'overplay' to one side or the other."

Aus diesen beiden Strategieräumen resultierte eine Matrix mit den zu den Strategien korrespondierenden Wahrscheinlichkeiten, ob der Punkt aus Sicht des Aufschlägers gewonnen werden konnte.

Die beiden Autoren konzentrierten sich ähnlich wie Palacios-Huerta bei Elfmetern auf die Überprüfung zweier Annahmen, die in einem Gleichgewicht implizit gelten: serielle Unabhängigkeit der Strategiewahl und gleiche Erfolgswahrscheinlichkeiten über die Strategien hinweg. Die Analyse hinsichtlich der Minimax-Strategien brachte das Ergebnis, dass nur in einem einzigen Spiel nicht nach den optimalen Strategien gespielt wurde. Bei der Testung der beiden Annahmen zeigte sich, dass die Erfolgswahrscheinlichkeiten über die Strategien hinweg tatsächlich annähernd gleich sind, allerdings die serielle Unabhängigkeit nicht erfüllt ist. Selbst die analysierten Top-Tennisspieler tendierten dazu, zu oft zwischen den Strategien zu wechseln. Die Strategiewahl selbst ist allerdings mit dem Gleichgewicht der Minimax-Hypothese konsistent.

Hsu, Huang und Tang (2007) bauten auf der Analyse von Walker und Wooders (2001) auf und zeigten anhand ihres erweiterten Datenmaterials, dass sehr wohl auch die serielle Unabhängigkeit der Strategiewahl angenommen werden kann.

3.3.2.3 Volleyball

Hirotsu, Ito, Miyaji, Hamano und Taguchi (2010) führten eine spieltheoretische Analyse hinsichtlich verschiedener Angriffs- und Blockformationen durch. Sie zeigten das Kräfteverhältnis in einer Liga auf. Mannschaften, deren Blöcke häufiger erfolgreich waren und die die schlechte Allokation der Strategien durch andere Teams auszunutzen

wussten, konnten am Ende der Saison auf einem der vordersten Plätze in der Tabelle abschließen.

3.3.2.4 American Football und Baseball

Kovash und Levitt (2009) untersuchten die Sportarten Baseball und American Football hinsichtlich der Übereinstimmung des Verhaltens der Spieler mit den optimalen Minimax-Strategien. Es war die erste Studie der Spieltheorie im Sport mit einer immensen Anzahl an Daten. So wurden im Baseball über drei Millionen Würfe und im American Football über 125.000 Spiele untersucht. Im Detail wurde im Baseball die Wurfart analysiert. Dazu wurden fünf Kategorien gebildet: fastball, curveball, slider, changeup, other. Es wurde gezeigt, dass sich die Werfer nicht nutzenmaximierend entscheiden. Fastballs wurden relativ zu häufig gewählt. Die Abweichungen von der optimalen gemischten Strategie sindzwar nicht allzu hoch, „[…] but are large enough that a team that successfully exploited these patterns could add one or two season wins and millions of dollars in associated revenue.“

Ein ähnliches Bild zeigt die Analyse der Strategie der angreifenden Mannschaft im American Football: die Wahl zu laufen oder zu passen. Das diesbezügliche Ergebnis war, dass die Wahl zu passen den größeren Nutzen bringt, die Häufigkeit der Strategie „Pass“ allerdings weniger oft als optimal auftrat. Außerdem musste die Annahme der seriell unabhängigen Entscheidungen verworfen werden. Die Wahrscheinlichkeit nach einem „Run“ einen „Pass“ zu spielen und vice versa war deutlich erhöht. Sie verstärkte sich, wenn die vorherige Wahl zu keinem Erfolg führte. Kovash und Levitt (2009) kamen daher zu dem Fazit, „[…] that high stakes alone are not sufficient to ensure that optimal decision-making will ensue, even among professionals operating in their natural environments.“

Eine weitere Studie im Bereich American Football führt Romer (2006) durch. Er analysierte, ob sich Spieler der National Football League beim vierten und damit letzten Versuch, 10 Yards Raumgewinn zu erreichen, optimal verhalten, sodass sie die Gewinnchancen maximieren. Die Möglichkeiten bzw. Strategien in einem vierten Versuch, sind einerseits ein weiterer Versuch, die 10 Yards zu schaffen oder per Kick den Football weit in die gegnerische Hälfte zu schießen. Das Ergebnis zeigte allerdings, dass sich die Spieler vom optimalen Verhalten abwichen.

3.4 Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Spieltheorie in der Sportspielanalyse

Die Arbeiten, die sich mit der spieltheoretischen Analyse von Sportspielen bisher befassten, sind in ihrer Anzahl gering und legen den Fokus eher auf die Begründung und Überprüfung von Annahmen, die sich aus den spieltheoretischen Gleichgewichten und Lösungen ableiten. Dies sind insbesondere die serielle Unabhängigkeit der Entscheidungen Gleichheit der Erfolgswahrscheinlichkeiten. Der grundlegende Zweck der Analyse von Sportspielen betraf daher die Analyse der Rationalität menschlicher Entscheidungsträger. Sportspiele eignen sich im besonderen Maße für diese Absicht, da die involvierten Entscheidungsträger nicht unter Laborbedingungen untersucht werden müssen. Von Sportlern im Spitzenbereich gibt es eine Fülle von Wettkampfaufzeichnungen und es kann davon ausgegangen werden, dass sich diese Sportler möglichst optimal verhalten müssen, da sie ihren Lebensunterhalt durch Sport verdienen. Es gibt somit keine Anreiz- oder Motivationsprobleme.

Die spieltheoretische Analyse von Sportspielen mit dem Zweck, Sportspielanalyse zu betreiben, haben bisher noch wenig Untersuchungen und Studien aufgegriffen. Dabei hat das Sportspiel Charakteristika, die für die Spieltheorie wesentliche Voraussetzungen darstellen. Gerade der Interaktionsprozess mit dem Gegner stellt die Grundvoraussetzung für die Anwendung der Spieltheorie auf Sportspiele dar.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, anhand zweier Beispiele verschiedene Zwecke der Sportspielanalyse durch die Spieltheorie aufzuzeigen. Im Beispiel des Elfmeters im Fußball steht dabei der übergreifende Aspekt im Sinne der Analyse der Struktur von Sportspielsituationen im Vordergrund. Hierbei geht es um das Erkennen von Zusammenhängen und auch um die eingangs erwähnten Aspekte wie die Rationalität von Entscheidungsträgern.

Im zweiten Beispiel, der Analyse des ersten Angriffs im Beachvolleyball, rückt die individuelle Leistungsoptimierung vermehrt in den Vordergrund. Der Zweck der Spielanalyse, Trainingsableitungen aus dem Wettkampf zu erhalten, kann jedoch nur in geringem Ausmaß erfüllt werden.

Anwendungsmöglichkeiten der Spieltheorie auf Sportspiele beschränken sich daher vor allem auf den Zweck, Sportspiele als solche zu untersuchen. Als Entscheidungsträger bzw. Spieler im Sinne der Spieltheorie kommen dabei einzelne Sportler, Spielergruppen oder ganze Mannschaften in Betracht. Bleibt man lediglich in der Sportart Fußball, so

könnten folgende Handlungen bzw. Strategien, deren Erfolg vom Verhalten des Gegners abhängt, beispielsweise spieltheoretisch begutachtet werden:

- Zweikampf-Verhalten 1 gegen 1
- Freistoß-Situation (Direktschuss, Richtung des Schusses, Abspiel, Mauer, Position,…)
- Taktik (offensiv, defensiv)
- Angriff (Flügel, Kurzpass,…) vs. Verteidigung (4-er Kette, Libero, defensive Mittelfeldspieler,…)

Aus den Ergebnissen lässt sich die optimale Antwort auf die Strategie des Gegners ableiten. Beispielhaft könnte ein zukünftiger Gegner dahingehend analysiert werden, welche Verteidigungsstrategien dieser in der Vergangenheit angewandt hat und welche Angriffsstrategien seines Gegenübers den größten Erfolg eingebracht haben.

Ein Nachteil der Spieltheorie ist, dass viele Daten von einer spezifischen Situation zur Verfügung stehen sollten. Dieser Aspekt ist zwar in einigen Sportspielsituationen erfüllt, in anderen – wie zum Beispiel beim Elfmeter – nur in geringem Maß. Die Analyse des Elfmeters für einen bestimmten Schützen gestaltet sich schwierig, da ein Spieler – selbst wenn dieser aus seiner Mannschaft immer zum Elfmeter antritt – selten mehr als zehn Elfmeter pro Saison schießt. Liegen beispielsweise die Daten dieses Schützens aus den letzten fünf Jahren vor, ergibt sich bei einer durchschnittlichen Anzahl an Elfmetern pro Saison von zehn eine Datenmenge von 50 Elfmetern. In einer 3x3 Matrix hätte dann jedes Feld einen Erwartungswert bei Annahme einer Gleichverteilung von 5,55 Elfmetern. Die Verteilung der Elfmeter entspricht in der Realität jedoch nicht einer Gleichverteilung. Die Anzahl an Schüssen in die Mitte, bei denen auch der Torhüter in der Mitte des Tores stehen bleibt, ist verschwindend gering. Bei einer Datenmenge von 50 Elfmetern könnte es sein, dass kein einziger Elfmeter in diese Kategorie fällt. Eine Aussage über die Trefferwahrscheinlichkeit für dieses Feld ist damit unmöglich.

Ebenso unvorteilhaft kann die Ermittlung der optimalen Strategien aus Vergangenheitsdaten angesehen werden. Die Trefferwahrscheinlichkeiten für die Berechnung dieser optimalen Strategien müssen aus einer Stichprobe erhoben werden.

„In field data as in soccer penalty kicks or in tennis serves, and contrary to laboratory experiments, the underlying game is not known. Hence, the success probabilities for each player must be estimated by maximum likelihood.” (Palacios-Huerta & Volij, 2008, S. 95)

Allerdings ist dies bei anderen Methoden der Sportspielanalyse ebenfalls der Fall. Unumgänglich erscheint es jedoch, dass sobald neue Daten verfügbar sind, diese in die Berechnung einfließen zu lassen. In diesem Zusammenhang stellt sich die interessante Frage, wie sich die optimalen Strategien im Zeitablauf ändern und ob die Spieler von

diesen abweichen. Hierbei lassen sich Rückschlüsse auf die Wirksamkeit des Trainings ziehen. Beispielsweise wird analysiert, dass ein Tischtennisspieler nicht gemäß seiner optimalen gemischten Strategie seine Angriffe spielt. Das Betreuerteam erkennt dies und lässt den Spieler vermehrt Schläge trainieren, die er zum Zeitpunkt der Analyse zu wenig oft im Vergleich zur optimalen Strategie gespielt hat. Zu einem späteren Zeitpunkt, nachdem der Spieler einige Wettkämpfe bestritten hat, wird nochmals eine Analyse durchgeführt und beobachtet, ob der Spieler sich noch immer nicht nutzenmaximierend verhält oder ob das Training fruchtbar war, sodass der Spieler nicht mehr von seiner optimalen Strategie abweicht.

Problematisch kann sich auch die Datenerhebung erweisen. Diese sollte von der zu untersuchenden Situation vollständig sein. Moschini (2004, S. 369) merkt hinsichtlich seiner Untersuchung von Weitschüssen im Fußball an:

„First, it would require monitoring entire games, which is extremely time consuming and also limiting, because only a selected few games are generally shown in their entirety on television. Second, the angle offered by television images often does not allow a conclusive observation of whether a particular shot was directed to the near or the far post."

Es stellt sich also nicht nur die Datenerhebung als solches zeitintensiv dar, sondern auch die Beschaffung und die Beschaffenheit des Videomaterials für gewisse Situationen erschwert die vollständige und korrekte Erhebung der Daten.

Das größte Potential der Spieltheorie in der Sportspielanalyse liegt sicherlich in der Analyse von größeren Zusammenhängen wie beispielsweise der taktischen Ausrichtung als in der Beurteilung von Einzelspielerleistungen, es sei denn es betrifft eine Einzelsportart. Anders ausgedrückt erscheint es sinnvoll, die Spieltheorie eher auf die Ganzheiten von Teams anzuwenden. Einzelne Sportler einer Mannschaft zu analysieren – abgesehen von abgegrenzten Situationen wie zum Beispiel Strafstöße – bietet hingegen wenig Aussagekraft. Situationen, in denen die Handlungsentscheidungen beider Akteure sichtbar und damit beobachtbar sind, eignen sich in besonderem Maße für eine spieltheoretische Analyse.

4 Praktische Anwendung am Beispiel Elfmeter

In den folgenden Unterkapiteln wird die Spieltheorie auf den Elfmeter im Fußball praktisch angewandt. Dabei werden zunächst die Elfmetersituation und die Annahmen, die für die spieltheoretische Analyse von Bedeutung sind, an sich beschrieben. In Kapitel 4.2 werden die für die Analyse erhobenen Daten präsentiert, bevor das darauf anschließende Kapitel die getroffenen Annahmen näher beschreibt. Kapitel 4.4 widmet sich der Auswertung der Daten und der Interpretation der Ergebnisse. Das spieltheoretische Konzept, das für die Analyse angewandt wird, ist das Konzept des Nash-Gleichgewichts, also jener Menge von Strategien (oder Handlungen), die so ausgelegt ist, dass jeder Spieler unter Berücksichtigung der Handlungen des Gegners für sich das Bestmögliche tut. Wie bereits in Kapitel 2.2.4.3 gezeigt, ist es für Konstant-Summenspiele – wie dies bei diesen praktischen Anwendungen der Fall ist – unerheblich, ob das Nash-Gleichgewicht oder die Minimax-Lösung berechnet wird, da sie in derartigen Spielen zu identen Ergebnissen führen.

4.1 Situationsbeschreibung

Während eines Spieles wird ein Elfmeter dann als Strafe verhängt, wenn eines der zehn folgenden Vergehen, die mit direktem Freistoß zu ahnden wären, innerhalb des eigenen Strafraums begangen wird (vgl. Regelwerk der FIFA, 2010):

- Tritt gegen den Gegner bzw. der Versuch, diesen zu treten
- Beinstellen des Gegners bzw. der Versuch, diesem das Bein zu stellen
- Anspringen des Gegners
- Rempeln des Gegners
- Schlagen des Gegners bzw. der Versuch, diesen zu schlagen
- Stoßen des Gegners
- Bedrängen des Gegners
- Halten des Gegners
- Anspucken des Gegners
- Absichtliches Handspiel des Balles (gilt nicht für den Torwart im eigenen Strafraum)

Die Ausführung des Elfmeters erfolgt vom markierten Strafpunkt. Der ausführende Schütze muss für den Tormann eindeutig erkennbar sein. Der Tormann bleibt mit Blick auf den Schützen auf der Torlinie, bis der Ball getreten wurde. Alle anderen Spieler nehmen eine Position außerhalb des Strafraums ein. Der Schütze muss den Ball nach Richtung gegnerisches Tor treten und darf – sofern er nicht direkt ein Tor erzielt – , den

Ball erst dann ein zweites Mal berühren, wenn dieser bereits von einem anderen Spieler berührt wurde.

Der Strafpunkt ist exakt 12 Yards orthogonal von der Torlinie entfernt. Dieser Abstand beträgt umgerechnet rund 11 Meter (10,9728 m). Das Tor weist eine Länge von 8 Yards (7,32 m) und eine Höhe von 8 Feet (2,44 m) auf, woraus sich eine Fläche von 17,86 m^2 ergibt, die es für den Torhüter zu verteidigen gilt.

Die Situation des Elfmeters lässt sich aus spieltheoretischer Sichtweise folgendermaßen beschreiben:

- Menge der Spieler: N={Torhüter, Schütze}. Es gibt beim Elfmeter zwei aktive Teilnehmer, nämlich den Schützen, der versucht aus dem Elfmeter heraus ein Tor zu erzielen und den Torhüter, der versucht, dieses Vorhaben des Schützens zu verhindern.
- Menge der Strategien: S={Links, Mitte, Rechts}. Der Strategieraum ist für beide Spieler ident und diskret. Der Torhüter kann sich für einen Hechtsprung in eine der beiden Torecken oder für das Verharren in der Mitte des Tores entscheiden. Der Schütze hat die Wahl, den Ball in die linke oder die rechte Ecke oder in die Mitte des Tores zu schießen. Für die weitergehende Analyse wurden die Menge der Strategien in S={Natürliche Seite, Mitte, Nicht natürliche Seite} umkodiert. Näheres dazu wird in Kapitel 4.3.5 beschrieben.
- Menge der Ereignisse: E={Tor, kein Tor} bzw. E={Wahrscheinlichkeit eines Treffers, Wahrscheinlichkeit einer Abwehr oder eines Schuss neben oder über das Tor}. Der Nutzen für den Schützen in einem einzelnen Spiel ist ein Treffer. Über mehrere Spiele und Schützen hinweg zeigt sich dieser Nutzen als Wahrscheinlichkeit, dass ein Tor erzielt wird. Für den Torhüter verhält es sich genau umgekehrt.
- Regeln: Die Regeln wurden bereits weiter oben dargebracht. Wichtig aus Sicht der Spieltheorie erweist sich, dass beide Spieler gleichzeitig zum Zug kommen und somit ihre Strategie wählen müssen. Es handelt sich deshalb beim Elfmeter um ein Spiel mit Unkenntnis des Zuges durch den anderen Spieler.

4.2 Datenmaterial

4.2.1 Datenerhebung

Es wurden folgende Merkmale von insgesamt 389 Elfmetern erhoben:

- Namentliche Erfassung des Schützen und des Tormanns
- Schussfuß
- Schussrichtung aus Sicht des Schützen – Strategie des Schützen
- Sprungrichtung des Tormanns aus Sicht des Schützen– Strategie des Tormanns
- Ergebnis (Treffer oder kein Treffer)
- Spielstand vor Elfmeter
- Spielrunde
- Angehörigkeit des Schützen zur Heim- bzw. Gastmannschaft

Es wurde im Vorhinein festgelegt, dass die Abgrenzung der Schussrichtung davon abhängt, ob der Ball für den Torhüter erreichbar wäre, wenn er in der Mitte stehen bliebe. War dies der Fall, so wurde der Schuss der Schussrichtung Mitte zugeordnet, ansonsten der linken oder rechten Torseite. Die Umkodierung von links und rechts in dominant und nicht dominant wurde erst im Nachhinein mit Hilfe der Variable Schussfuß durchgeführt. In einigen wenigen Fällen konnte der in eine Ecke springende Torhüter einen in die Mitte geschossenen Ball mit dem Fuß abwehren. Es ist daher nicht zwingend erforderlich, dass bei einem vom Tormann abgewehrten Ball die Schussrichtung mit der Strategiewahl des Torhüters übereinstimmen muss. Nicht erhoben wurden die Schärfe und die Höhe des Schusses.

Von den 389 Elfmetern stammen 289 Strafstöße aus der gleichen Saison (2009/2010), allerdings aus vier verschiedenen europäischen Ligen (Österreichische Bundesliga, Deutsche Bundesliga, Italienische Serie A, Spanische Primera Division). Die restlichen 100 Strafstöße sind Elfmeter aus den Saisonen 2007/2008 und 2008/2009 der österreichischen Bundesliga.

Die Aufteilung der 289 Elfmeter der Saison 2009/2010 auf die einzelnen Ligen zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 2: Verteilung der Elfmeter auf die einzelnen Ligen

AUT	GER	ITA	ESP
43	55	113	78

4.2.2 Gütekriterien

4.2.2.1 Objektivität

Objektivität meint den Grad der Unabhängigkeit der Ergebnisse eines Tests vom Untersucher (vgl. Lienert, 1969, zit.n. Hansen, 2003, S. 57). Es wird von interpersoneller

Übereinstimmung gesprochen, wenn mehrere Untersucher bei gleichem Test und gleichen Probanden zu gleichen Ergebnisse kommen. Lames (1994, S. 61) zeigt, dass für die Spielbeobachtung die Objektivität sehr stark mit der Reliabilität in Verbindung steht:

„Da bei der Systematischen Spielbeobachtung der Beobachter (englisch: ‚rater') das Messinstrument darstellt, ist die Objektivität nicht von dem Aspekt der Instrumentellen Konsistenz der Reliabilität zu trennen. Eine gebräuchlichere Bezeichnung ist daher auch ‚(Inter-) Rater-Reliabilität'."

Als Maß zur Überprüfung der Inter-Rater-Reliabilität eignet sich die prozentuale Übereinstimmung von zwei oder mehreren unabhängigen Ratern oder Cohen's Kappa. Dieses Maß zeigt für jene 123 Elfmeter, deren Merkmale auch von einer zweiten Person erhoben wurde, sehr gute Werte. Es wurden folgende Merkmale überprüft:

- Fuß, mit dem der Schütze den Elfmeter geschossen hat (links, rechts)
- Schussrichtung (links, mitte, rechts)
- Aktion des Torhüters (links, mitte, rechts)

Die Hypothesen bei dieser Inter-Rater-Reliabilitäts-Prüfung lauten:

H_0: Es gibt keine Übereinstimmung zwischen den Merkmalserhebungen der beiden Rater.

H_1: Es gibt Übereinstimmung zwischen den Merkmalserhebungen der beiden Rater.

Für alle drei Merkmale war die Überprüfung bei einem angenommenen Signifikanzniveau von α=0,05 signifikant. Die H_0 wurde demnach verworfen. Die Ergebnisse zeigen folgende drei Abbildungen:

Symmetrische Maße

		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	1,000	,000	11,091	,000
Anzahl der gültigen Fälle		123			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 8: Cohen's Kappa für den Schussfuß

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,959	,023	13,578	,000
Anzahl der gültigen Fälle		123			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 9: Cohen's Kappa für die Schussrichtung

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,968	,022	11,254	,000
Anzahl der gültigen Fälle		123			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 10: Cohen's Kappa für die Aktion des Torhüters

Lienert und Raatz (1998, S. 140) fordern für Kappa Werte von mindestens 0,70. Alle drei überprüften Merkmale weisen eine Übereinstimmung von über 0,95 auf, weshalb die Inter-Rater-Reliabilität gegeben ist. Grouven, Binder, Ziegler und Lange (2007, S. e66) schlagen folgende Richtwerte für Kappa vor:

Tabelle 3: Richtwerte für Cohen's Kappa

Wert von Kappa	Stärke der Übereinstimmung
<0,20	Schwach
0,21-0,40	Leicht
0,41-0,60	Mittelmäßig
0,61-0,80	Gut
0,81-1,00	Sehr gut

Die Übereinstimmung der drei von zwei Ratern erhobenen Merkmale (Schussfuß, Schussrichtung, Aktion des Torhüters) kann demnach als sehr gut eingestuft werden.

4.2.2.2 Reliabilität

Reliabilität ist der Grad der Genauigkeit, mit der eine bestimmte Methode bzw. ein bestimmtes Instrument einen Sachverhalt erfasst, unabhängig davon ob sie ihn zu erfassen beansprucht (vgl. Lienert, 1969, zit.n. Hansen, 2003, S. 58). Es soll im Rahmen

der Reliabilitätsprüfung überprüft werden, was Daten über das jeweilige Subjekt und was Interpretationen des Forschers sind. Die Reliabilität einer Methode oder eines Instruments hat drei Ausprägungen, nämlich die Bedingungskonstanz, die Merkmalskonstanz und die Instrumentelle Konsistenz (Konsistenz des Messinstruments), die bei der Spielbeobachtung im Zusammenhang mit der Objektivität geprüft wird (vgl. Kapitel 4.2.2.1). Die beiden erstgenannten Aspekte stehen im Konflikt zum Wesen von Sportspielen, da einerseits die Interaktion mit Gegnern das Sportspiel zu einem singulären Ereignis und damit eine Bedingungskonstanz unmöglich macht, und die taktische Suche nach dem erfolgreichsten Verhalten eine Merkmalskonstanz verhindert (vgl. Lames, 1994, S. 62).

4.2.2.3 Validität

Validität ist der Grad der Genauigkeit, mit dem ein Test das Merkmal oder die Verhaltensweise, die es auch zu messen vorgibt, tatsächlich misst (Lienert, 1969, zit.n. Hansen, 2003, S. 61). Notwendige Voraussetzungen für das Gütekriterium Validität sind die Objektivität und die Reliabilität einer Methode oder eines Messinstruments. Da die Reliabilität – wie bereits weiter oben beschrieben – bei der Spielbeobachtung nicht zur Gänze angenommen werden kann, liegt keine Validität vor.

4.3 Annahmen

In den folgenden Ausführungen werden für die Spieltheorie notwendige Annahmen für den Elfmeter formuliert. Die Prüfung dieser Annahmen findet dann teilweise erst in den Auswertungen statt. Der Elfmeter ist für die spieltheoretische Analyse von Situationen im Sportspiel ein Paradesbeispiel, da wenig Komplexität in dieser Situation vorhanden ist. Die Elfmetersituation ist geprägt von präzise definierten Regeln, wenig zur Verfügung stehenden Strategien und einer unmittelbaren Auszahlung nach der Durchführung. Die Annahmen, die dennoch getroffen werden müssen, sind, dass es sich bei einem Elfmeter um ein Zwei-Personen Konstant-Summenspiel (Kapitel 4.3.1) handelt, dass sich die beiden in den Strafstoß involvierten Akteure simultan entscheiden müssen (Kapitel 4.3.2) und dass es eindeutige Präferenzen des Schützens und des Torhüters gibt (Kapitel 4.3.3). Außerdem wird davon ausgegangen, dass sich die Schützen und die Torhüter jeweils zu einer Größe aggregieren lassen (Kapitel 4.3.4), weswegen in den folgenden Ausführungen stets nur von dem Schützen und dem Torhüter gesprochen wird, und dass es für den Schützen eine natürliche Seite gibt (Kapitel 4.3.5).

4.3.1 Zwei-Personen Konstant-Summenspiel

Der Elfmeter gestaltet sich als ein Konstant-Summenspiel, was dazu führt, dass sowohl die optimalen Strategien als auch der Wert des Spieles für die Minimax-Lösung und für das Nash-Gleichgewicht ident sind.

Es kann sogar auch dahingehend argumentiert werden, dass es sich um ein Nullsummenspiel handelt. Wenn der Elfmeter erfolgreich verwertet wird, dann erhält der Schütze eine Auszahlung von eins, der Torhüter eine Auszahlung von minus eins. Die Auszahlung kann hierbei als persönlicher Gewinn verstanden werden. Der Schütze verlässt die Situation nach einem Torerfolg mit einem positiven Gefühl, da er ein Tor erzielte und sich somit stärker mitverantwortlich für den Erfolg seiner Mannschaft fühlt. Der Torhüter hingegen hat zwar versucht, den Torerfolg zu verhindern, hat dies aber nicht erfüllen können und ist daher eher einem negativen Gefühl ausgesetzt. Falls der Strafstoß nicht verwandelt wird, dreht sich die Gefühlslage dementsprechend um. Es lässt sich das Nullsummenspiel des Elfmeters nicht nur über die persönliche Ebene der beiden involvierten Akteure erklären, sondern auch über den Torerfolg selbst. Wenn der Schuss erfolgreich im Netz landet, zählt der Torerfolg (Auszahlung plus eins). Verfehlt der Schuss allerdings sein Ziel bzw. wird er vom Torhüter abgewehrt, so ist ein Tor verhindert worden (Auszahlung minus eins).

Die Auszahlungsmatrix in der einfachsten Form wird in Abbildung 11 gezeigt. Die Begriffe natürliche und nicht natürliche Seite werden in Kapitel 4.3.5 näher erläutert.

	SCHÜTZE		
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Mitte	Nicht natürl. S.
Natürliche Seite	+1 / -1	-1 / +1	-1 / +1
Mitte	-1 / +1	+1 / -1	-1 / +1
Nicht natürliche Seite	-1 / +1	-1 / +1	+1 / -1

Abbildung 11: Auszahlungsmatrix Elfmeter

Der Torhüter erhält eine Auszahlung in Höhe von plus eins, wenn er die gleiche Richtung wählt wie der Schütze. Es wird in dieser einfachsten Form also davon ausgegangen, dass der Schuss nicht im Tor landet, wenn der Torhüter die Richtung des Schusses errät.

In den folgenden Ausführungen wird allerdings nicht mit absoluten Werten gerechnet, sondern mit den jeweiligen Trefferwahrscheinlichkeiten in den neun Feldern. Das Spiel verändert sich daher von einem Nullsummenspiel in ein Konstant-Summenspiel. Die Auszahlungen – also die Trefferwahrscheinlichkeit bzw. die Wahrscheinlichkeit, dass der Elfmeter nicht verwandelt wird – addieren sich zu eins. In Anlehnung an Chiappori et al. (2002, S. 1141) ergibt sich daher eine Auszahlungsmatrix aus Sicht des Schützens wie in Abbildung 12 dargestellt.

	SCHÜTZE		
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Mitte	Nicht natürl. S.
Natürliche Seite	ρ_{ns}	μ	π_{nns}
Mitte	π_{ns}	0	π_{nns}
Nicht natürliche Seite	π_{ns}	μ	ρ_{nns}

Abbildung 12: Auszahlungsmatrix in Trefferwahrscheinlichkeiten

Falls sich der Schütze für eine Seite entscheidet, während der Torhüter in der Mitte stehen bleibt, dann beträgt die Trefferwahrscheinlichkeit ρ_{ns} bzw. ρ_{nns}. Wenn der Schütze eine der beiden Seiten wählt, während der Torhüter sich für die Mitte oder die andere Seite entscheidet, liegt die Trefferwahrscheinlichkeit bei π_{ns} bzw. π_{nns}, wobei $\pi>\rho$ ist. Die Gegenwahrscheinlichkeit $1-\pi$ kann dahingehend interpretiert werden, dass der Ball am Tor vorbei oder an die Stange bzw. Latte geschossen wurde, während bei der Gegenwahrscheinlichkeit $1-\rho$ der Ball auch vom Torhüter gehalten werden konnte. Somit ist auch die Ungleichheit $\pi>\rho$ erklärbar. Entschließt sich der Schütze in die Mitte des Tores zu schießen, so beträgt die Trefferwahrscheinlichkeit μ, falls der Torhüter in eine der beiden Ecken des Tores springt. Bliebe jedoch der Tormann in der Mitte stehen, so nehmen Chiappori et al. (2002, S. 1141) an, dass kein Tor erzielt werden kann.

Bei der Prüfung von Annahmen bezüglich der natürlichen Seite eines Schützen wird in Kapitel 4.3.5 auf diese Auszahlungsmatrix zurückgegriffen. Es wird desweiteren angenommen, dass die Auszahlungsmatrix mit den Trefferwahrscheinlichkeiten über die Zeit konstant bleibt. Das bedeutet, dass jedem einzelnen Spiel diese Matrix zugrunde liegt.

4.3.2 Simultane Entscheidung

Der Elfmeterschütze und der Torhüter müssen sich aufgrund der Geschwindigkeit des geschossenen Balles zeitgleich für eine bestimmte Ecke oder die Mitte entscheiden. Durchschnittliche Schussgeschwindigkeiten erreichen zwischen 80 und 120 km/h. Bei derartigen Geschwindigkeiten erreicht der Ball das Tor nach etwa vier bis fünf Zehntelsekunden nach der Schussabgabe. Der Torhüter hätte keine Chance den Ball abzuwehren, wenn er erst nach dem Schuss in eine Ecke springt (es sei denn, der Schuss ist direkt auf ihn gerichtet). Palacios-Huerta und Volij (2008, S. 77) gehen sogar davon aus, dass ein typischer Elfmeter rund 0,3 Sekunden benötigt, bevor er die Torlinie überquert. Dies ist weniger als die Reaktionszeit inklusive der Bewegungszeit des Torhüters. Daher muss sich der Torhüter für eine Ecke entscheiden, bevor er genau weiß, in welche Richtung der Ball gezielt wurde. Ebenso wird allgemein angenommen, dass der

Schütze seine Entscheidung treffen muss, bevor sich der Torhüter eine Bewegung erkennen lässt (vgl. Chiappori et al., 2002, S. 1140).

Die erhobenen Daten zeigen auch ohne statistisches Prüfverfahren, dass eine simultane Entscheidung der beiden in den Elfmeter involvierten Spieler notwendig ist. Denn falls die Torhüter die Richtung des Schusses beobachten hätten können, wären sie immer in diese Richtung gehechtet. Ebenso hätten die Schützen immer in die Richtung, die der Bewegungsrichtung der Torhüter entgegengesetzt ist, geschossen (vgl. Bar-Eli, Azar, Keidar-Levin, Ritov & Schein, 2007, S. 611). Dies ist allerdings – wie die erhobenen Daten später zeigen werden – nicht der Fall.

4.3.3 Präferenzen der Spieler

Es herrscht Klarheit über die Präferenzen der Spieler, denn in der Elfmetersituation steht zu viel auf dem Spiel. Einerseits hat der Schütze die Motivation bzw. den Druck zu treffen, da sein Treffer möglicherweise spielentscheidend sein kann. Er kann also unmittelbar auf den Spielausgang einwirken und damit auf den Erfolg der Mannschaft in der Tabelle. Der Erfolg der Mannschaft ist auch für die finanzielle Gebarung des Vereins und der Spieler selbst aufgrund von Prämien von Bedeutung. Dies gilt gleichermaßen für den Torhüter. Der Schütze wird deshalb nichts unversucht lassen, seine Trefferwahrscheinlichkeit zu maximieren, während der Torhüter danach strebt, diese zu minimieren. Bar-Eli et al. (2007, S. 609) untermauern diese Behauptung, indem sie schreiben:

> "The great importance of penalty kicks in this case comes from the fact that the number of goals in an average game is only about 2.5 (by both teams together), so a goal scored in a penalty kick has high chances of changing the outcome of the game. This suggests the extreme importance of optimal performance during penalty kicks, for both kickers and goalkeepers. Since salaries and bonuses in professional soccer can reach hundreds of thousands and even millions of dollars and are affected by the player's performance and reputation, it is clear that players have huge economic incentives to do their best during penalty kicks."

Aus diesen Überlegungen lässt sich der Schluss ziehen, dass die Präferenzen des Schützen und des Torhüters eindeutig sind. Es gibt keine (sportlichen) Gründe von diesen Präferenzen abzuweichen.[12]

4.3.4 Aggregation der Spieler

Da nur wenige Schützen und Torhüter mit mehreren Elfmetern und kaum Elfmeter mit dem gleichen Schützen-Torhüter Paar beobachtet werden konnten, müssen die beobachteten Daten aggregiert werden. Es wird also davon ausgegangen, dass sich die

[12] Abweichungen von diesen Präferenzen können nach Ansicht des Autors nur außersportlicher (krimineller) Natur (Wettskandal, Bestechung etc.) sein.

verschiedenen Schützen und Torhüter in ähnlicher Art und Weise verhalten. Chiappori et al. (2002, S. 1144) sehen die Torhüter notwendigerweise als ident an:

> „For any match between a kicker i and a goalie j, the parameters ρ_R, ρ_L, π_R, π_L, and μ do not depend on j. In other words […] goalies are essentially identical. The game matrix is kicker-specific, but it does not depend on the goalkeeper; for a given kicker, each kicker-goalie pair faces the same matrix whatever the particular goalie involved."[13]

Die Konsequenzen, die sich aus dieser Annahme heraus ergeben, sind:

- Die Strategie des Schützen hängt nicht vom Torhüter ab.
- Die Strategie des Torhüters ist für alle Torhüter ident.

Palacios-Huerta (2003) konnte ebenso wie Chiappori et al. (2002) die Hypothese, dass die Torhüter als ident angesehen werden, nicht verwerfen.

Für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass sich nicht nur die Torhüter, sondern auch die Schützen zu einer Größe aggregieren lassen. Es finden sich daher im Folgenden die Begriffe Schütze und Torhüter jeweils nur in der Einzahl.

4.3.5 Natürliche Seite

Chiappori et al. (2002, S. 1140) kommen zu dem Schluss, dass die Mehrheit der Schützen besser den Ball in Richtung der natürlichen Seite schießen. Die natürliche Seite für einen rechts-füßigen Spieler ist aus Sicht des Spielers die linke Torseite, für einen links-füßigen Spieler die rechte Torseite.

Es wird angenommen, dass der Schütze besser auf die natürliche Seite schießt, unabhängig davon, ob der Torhüter die Seite richtig errät oder nicht. Bezugnehmend auf Abbildung XY lautet diese Annahme formal folgendermaßen:

$$\pi_{ns} \geq \pi_{nns} \rho_{ns} \geq \rho_{nns}$$

Ebenso wird angenommen, dass Schüsse auf die natürliche Seite mit geringerer Wahrscheinlichkeit ins Aus gehen und schwieriger zu halten sind. Formal lautet diese Annahme wie folgt:

$$\pi_{nns} - \rho_{nns} \geq \pi_{ns} - \rho_{ns}$$

[13] Die Indices R und L korrespondieren zu den Indices NS und NNS.

4.4 Ergebnisse und Interpretation

Alle Analysen wurden in Microsoft Excel® aufbereitet und mit der Statistiksoftware SPSS® sowie mit Gambit® ausgewertet.

4.4.1 Elfmeter 2009/2010 – 2 Strategien

Zunächst wurden alle 289 Elfmeter gemeinsam einer Analyse unterzogen. Es wurde zu Beginn eine Kreuzkorrelation zwischen der Wahl des Tormann (natürliche Seite des Schützen oder anders) und der Wahl des Schützen (natürliche Seite oder anders) durchgeführt. Jeder Spieler verfügt somit über zwei Strategien, wodurch vier Strategiekombinationen möglich sind. Die Kreuztabelle gibt einen guten Überblick über die Verteilung der Elfmeter auf die vier Felder.

Torhüter * Schütze Kreuztabelle

			Schütze		
			Natürliche Seite	Mitte oder nicht natürliche Seite	Gesamt
Torhüter	Natürliche Seite des Schützen	Anzahl	90	74	164
		Erwartete Anzahl	82,9	81,1	164,0
		% innerhalb von Torhüter	54,9%	45,1%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	61,6%	51,7%	56,7%
		% der Gesamtzahl	31,1%	25,6%	56,7%
	Mitte oder nicht natürliche Seite des Schützen	Anzahl	56	69	125
		Erwartete Anzahl	63,1	61,9	125,0
		% innerhalb von Torhüter	44,8%	55,2%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	38,4%	48,3%	43,3%
		% der Gesamtzahl	19,4%	23,9%	43,3%
Gesamt		Anzahl	146	143	289
		Erwartete Anzahl	146,0	143,0	289,0
		% innerhalb von Torhüter	50,5%	49,5%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	100,0%	100,0%	100,0%
		% der Gesamtzahl	50,5%	49,5%	100,0%

Abbildung 13: Kreuztabelle der 289 Elfmeter bei jeweils zwei Strategien (Europa-Mix 09/10)

Im Zuge dieser Auswertung wurde eine Korrelation gerechnet. Die Hypothese, die dafür zugrunde liegt, lautet:

H_0: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Wahl des Schützen und der Wahl des Torhüters.

H_1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Wahl des Schützen und der Wahl des Torhüters.

Die Korrelation nach Pearson liefert eine Signifikanz von p=0,090, was zur Folge hat, dass bei dem im Vorhinein festgelegten Signifikanzniveau von α=0,050 die Null-Hypothese beibehalten wird. Selbst wenn man die Übereinstimmung der Daten mit der

Nullhypothese für zu gering hält, um die Aussage treffen zu können, dass die Wahl der beiden Akteure unabhängig voneinander getroffen wird, muss gesagt werden, dass der Korrelationskoeffizient, der den Zusammenhang zwischen den Ausprägungen misst, ebenfalls sehr gering ausfällt (r=0,100). Das Bestimmtheitsmaß r^2 würde 0,010 betragen, was bedeutet, dass lediglich 1% der Richtungswahl des einen Akteur durch die Richtungswahl des anderen Akteures erklärbar wäre.

Korrelationen

		Schuss	Abwehr
Schuss	Korrelation nach Pearson	1	,100
	Signifikanz (2-seitig)		,090
	N	289	289
Abwehr	Korrelation nach Pearson	,100	1
	Signifikanz (2-seitig)	,090	
	N	289	289

Abbildung 14: Korrelation zwischen Schuss- und Abwehrverhalten(2x2 Matrix)

Diese statistischen Auswertungen verdeutlichen somit die unabhängige Entscheidung von Torhüter und Schütze. Es kann daher angenommen werden, dass die Entscheidung simultan erfolgt. Gäbe es allerdings ein signifikantes Ergebnis, so müsste die zeitgleiche Wahl der Strategie in Frage gestellt werden. Ein signifikanter positiver Kontingenzkoeffizient würde bedeuten, dass der Torhüter die Wahl des Schützen abwarten und sich erst danach entscheiden würde. Hingegen würde ein signifikanter negativer Kontingenzkoeffizient meinen, dass der Schütze sich erst nach der Wahl des Torhüters für eine Richtung entscheidet.

Abbildung 15 zeigt die Trefferwahrscheinlichkeiten der 289 Elfmeter in den vier Feldern. Wählt der Schütze seine natürliche Seite, der Torhüter jedoch des Schützen nicht natürliche Seite, so ist der Torerfolg gewiss. Wählen hingegen beide Akteure die nicht natürliche Seite, so beträgt die Trefferwahrscheinlichkeit nur 56,5%. Es zeigt sich, dass es für keinen Spieler eine dominante Strategie gibt. Die Lösung dieses Spiels aus spieltheoretischer Betrachtungsweise liegt daher im Bereich der gemischten Strategien.

	SCHÜTZE		
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Nicht natürl. S.	*Gesamt*
Natürliche Seite	64,4%	95,9%	***78,7%***
Nicht natürliche Seite	100,0%	56,5%	***76,0%***
Gesamt	***78,1%***	***76,9%***	***77,5%***

Abbildung 15: Trefferwahrscheinlichkeiten

Abbildung 16 zeigt - wie dies auch die Kreuztabelle in Abbildung XY tut – die den Trefferwahrscheinlichkeiten zu Grunde liegende Schussverteilung in absoluten Zahlen. Wie sich erkennen lässt, wählt der Schütze beinahe gleich oft die natürliche und die nicht

natürliche Seite. Der Torhüter hingegen entscheidet sich hingegen in 57% der Fälle für die natürliche und nur in 43% für die nicht natürliche Seite des Schützen.

	SCHÜTZE		
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Nicht natürl. S.	*Gesamt*
Natürliche Seite	90	74	***164***
Nicht natürliche Seite	56	69	***125***
Gesamt	***146***	***143***	***289***

Abbildung 16: Schussverteilung in absoluten Zahlen

Die Frage, die sich nun stellt, ist, ob diese Verteilung bereits optimal ist, oder ob diese von der optimalen Schussverteilung gegeben den Trefferwahrscheinlichkeiten aus Abbildung 17 signifikant abweicht. Für die Beantwortung dieser Fragestellung muss zunächst die Spieltheorie angewandt werden. Die Spieltheorie liefert die optimalen Verteilungen für Schütze und Torhüter. Zur Berechnung dieser Verteilungen wurde die Software Gambit® verwendet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 17.

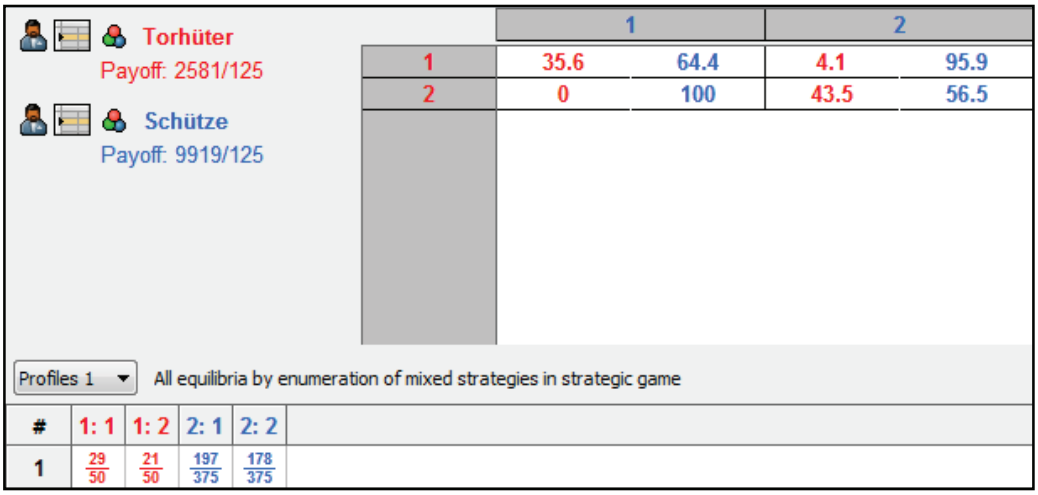

Abbildung 17: Optimale gemischte Strategien – 2 Strategien (Europa-Mix 09/10)

In der 4-Felder-Matrix finden sich die Trefferwahrscheinlichkeiten des Schützen in blauer Schriftfarbe wieder. Die Zahlen in roter Schrift sind die korrespondierenden Gegenwahrscheinlichkeiten, also die Wahrscheinlichkeit, dass der Torhüter den Ball abwehrt bzw. der Schuss sein Ziel verfehlt. Die optimale Verteilung ergibt sich aus dem Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien. Diese lautet für den Schützen s_S*=(197/375; 178/375). Demnach soll der Schütze 52,5% der Elfmeter auf seine natürliche und 47,5% der Elfmeter auf seine nicht natürliche Seite schießen. Die optimale Verteilung für den Torhüter beträgt s_T*=(29/50; 21/50). Er sollte sich daher in 58% der Fälle für die natürliche und in 42% der Fälle für die nicht natürliche Seite aus Sicht des Schützen entscheiden. In der linken oberen Ecke der Abbildung 17 findet sich der sogenannte Payoff bzw. der Wert des Spiels. Dieser beträgt für den Schützen 79,4%, für den Torhüter die Gegenwahrscheinlichkeit, also 20,6%. Der Wert eines Spiels gibt den

fairen Zustand wieder. Für die 289 analysierten Elfmeter, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 77,5% verwandelt wurden, gilt, dass der Schütze gegeben der Trefferwahrscheinlichkeiten benachteiligt war. Er hätte durch Änderung der Schussverteilung in Richtung der optimalen Verteilung seine Trefferquote um 1,9% erhöhen können.

Nun gilt es zu überprüfen, ob die tatsächliche Verteilung für die beiden Akteure von der optimalen Verteilung signifikant abweicht. Dazu wurde ein Chi-Quadrat Test sowohl für den Torhüter als auch für den Schützen durchgeführt. Die zugrunde gelegten Hypothesen für den Schützen lauten wie folgt:

H_0: Das tatsächliche Schussverhalten stimmt mit der optimalen Schussverteilung überein.

H_1: Das tatsächliche Schussverhalten weicht von der optimalen Schussverteilung ab.

Die folgenden Abbildungen zeigen das Ergebnis für den Schützen.

Schuss			
	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
Natürliche Seite	146	151,8	-5,8
Mitte oder nicht natürliche Seite	143	137,2	5,8
Gesamt	289		

Abbildung 18: Erwartete Anzahl Schüsse – 2 Strategien (Europamix 09/10)

Statistik für Test	
	Schuss
Chi-Quadrat	,470[a]
df	1
Asymptotische Signifikanz	,493

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 137,2.

Abbildung 19: Chi-Quadrat Test optimale Schussverteilung 2 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Der p-Wert beträgt 0,493. Die H_0 wird daher bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 beibehalten. Die Verteilung der Schüsse weicht daher nicht signifikant von der optimalen Verteilung ab. Man könnte daher auch sagen, dass die Schützen optimal im Sinne der Spieltheorie und des daraus errechneten Nash-Gleichgewichts handeln.

Die für den Torhüter zugrunde gelegten Hypothesen lauten folgendermaßen:

H_0: Das tatsächliche Abwehrverhalten stimmt mit der optimalen Verteilung überein.

H_1: Das tatsächliche Abwehrverhalten weicht von der optimalen Verteilung ab.

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen die entsprechenden Ergebnisse.

Abwehr			
	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
Natürliche Seite des Schützen	164	167,6	-3,6
Mitte oder nicht natürliche Seite des Schützen	125	121,4	3,6
Gesamt	289		

Abbildung 20: Erwartete Anzahl Abwehr – 2 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Statistik für Test	
	Abwehr
Chi-Quadrat	,186[a]
df	1
Asymptotische Signifikanz	,666

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 121,4.

Abbildung 21: Chi-Quadrat Test optimales Abwehrverhalten 2 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Das beobachtete Abwehrverhalten ist bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 nicht signifikant unterschiedlich von der optimalen Verteilung. Die Signifikanz beträgt p=0,666. Die H_0 wird dementsprechend beibehalten. Es zeigt sich damit, dass sich nicht nur der Schütze, sondern auch der Torhüter optimal im Sinne des berechneten Nash-Gleichgewichts entscheidet.

4.4.2 Elfmeter 2009/2010 – 3 Strategien

Die Strategiemenge wurde für diese Analyse um jeweils eine Strategie erweitert. Genauer gesagt, wurde die Strategie nicht natürliche Seite aufgegliedert in Mitte und nicht natürliche Seite. Die folgende Kreuztabelle zeigt die Verteilung der Strategien auf die neun Felder.

Torhüter * Schütze Kreuztabelle						
			Schütze			
			Natürliche Seite	Mitte	Nicht natürliche Seite	Gesamt
Torhüter	Natürliche Seite des Schützen	Anzahl	90	18	56	164
		Erwartete Anzahl	82,9	21,6	59,6	164,0
		% innerhalb von Torhüter	54,9%	11,0%	34,1%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	61,6%	47,4%	53,3%	56,7%
		% der Gesamtzahl	31,1%	6,2%	19,4%	56,7%
	Mitte	Anzahl	4	3	0	7
		Erwartete Anzahl	3,5	,9	2,5	7,0
		% innerhalb von Torhüter	57,1%	42,9%	,0%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	2,7%	7,9%	,0%	2,4%
		% der Gesamtzahl	1,4%	1,0%	,0%	2,4%
	Nicht natürliche Seite des Schützen	Anzahl	52	17	49	118
		Erwartete Anzahl	59,6	15,5	42,9	118,0
		% innerhalb von Torhüter	44,1%	14,4%	41,5%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	35,6%	44,7%	46,7%	40,8%
		% der Gesamtzahl	18,0%	5,9%	17,0%	40,8%
Gesamt		Anzahl	146	38	105	289
		Erwartete Anzahl	146,0	38,0	105,0	289,0
		% innerhalb von Torhüter	50,5%	13,1%	36,3%	100,0%
		% innerhalb von Schütze	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% der Gesamtzahl	50,5%	13,1%	36,3%	100,0%

Abbildung 22: Kreuztabelle der 289 Elfmeter bei jeweils drei Strategien (Europa-Mix 09/10)

Die Annahme, dass der Schütze und der Torhüter simultan ihre Entscheidung treffen müssen, wurde ebenso mithilfe einer Korrelationsberechnung überprüft. Die diesbezüglichen Hypothesen lauten:

H_0: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Wahl des Schützen und der Wahl des Torhüters.

H_1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Wahl des Schützen und der Wahl des Torhüters.

Das Ergebnis zeigt Abbildung 23.

Korrelationen			
		Schuss	Abwehr
Schuss	Korrelation nach Pearson	1	,094
	Signifikanz (2-seitig)		,110
	N	289	289
Abwehr	Korrelation nach Pearson	,094	1
	Signifikanz (2-seitig)	,110	
	N	289	289

Abbildung 23: Korrelation zwischen Schuss- und Abwehrverhalten (3x3 Matrix)

Die Korrelation ist bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 nicht signifikant (p=0,094). Es kann daher – wie bei der 2x2 Matrix – angenommen werden, dass die beiden Akteure ihre Entscheidung simultan treffen müssen.

Die Trefferwahrscheinlichkeiten in dieser 9-Felder-Matrix sind in der folgenden Abbildung ersichtlich.

	SCHÜTZE			
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Mitte	Nicht natürl. S.	*Gesamt*
Natürliche Seite	64,4%	94,4%	96,4%	***78,7%***
Mitte	100,0%	33,3%	100,0%	***75,0%***
Nicht natürliche Seite	100,0%	87,5%	46,9%	***76,1%***
Gesamt	***78,1%***	***86,5%***	***73,6%***	***77,5%***

Abbildung 24: Trefferwahrscheinlichkeiten

Die Verteilung der Schüsse und des Abwehrverhaltens in absoluten Zahlen stellt sich wie folgt dar.

	SCHÜTZE			
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Mitte	Nicht natürl. S.	*Gesamt*
Natürliche Seite	90	18	56	***164***
Mitte	4	3	1	***8***
Nicht natürliche Seite	52	16	49	***117***
Gesamt	***146***	***37***	***106***	**289**

Abbildung 25: Schussverteilung in absoluten Zahlen

Die spieltheoretische Analyse, insbesondere das Nash-Gleichgewicht in dieser 3x3 Matrix, wurde wiederum mit Gambit® errechnet. Die Lösung in gemischten Strategien ergibt sich für den Schützen mit s_S*={44,61%; 27,41%; 27,98%} und für den Torhüter mit s_T*={51,36%; 17,69%; 30,95%}. Der Wert des Spiels beträgt 81,7%. Der Schütze ist bei der beobachteten Schussverteilung gegeben den Trefferwahrscheinlichkeiten 4,2% unter der Gesamt-Trefferquote bei Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien.

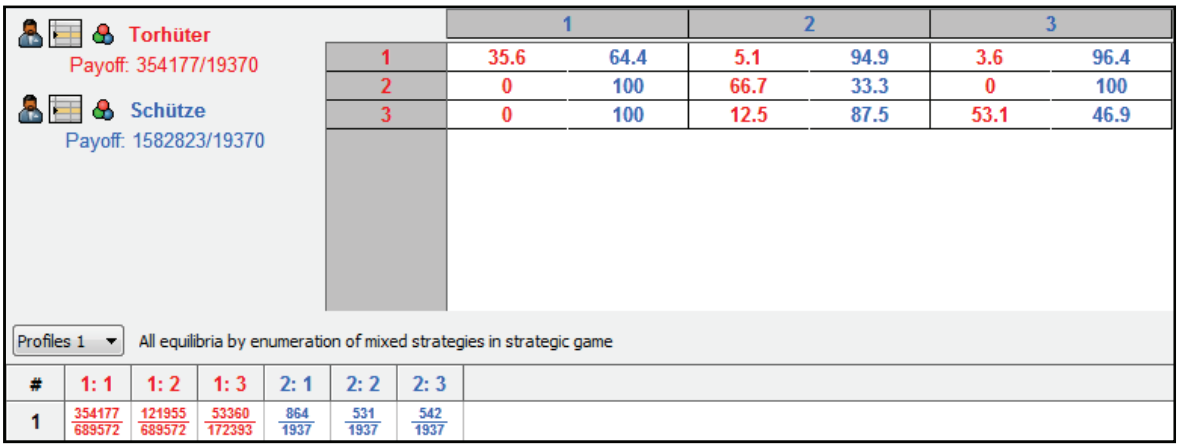

Abbildung 26: Optimale gemischte Strategien – 3 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Die Prüfung, ob das aktuelle Schuss- und Abwehrverhalten mit dem Soll-Zustand einhergeht, wurde mit einem Chi-Quadrat Test durchgeführt. Die korrespondierenden Hypothesen lauten:

H_0: Das tatsächliche Schussverhalten stimmt mit der optimalen Schussverteilung überein.

H_1: Das tatsächliche Schussverhalten weicht von der optimalen Schussverteilung ab.

Die beiden Abbildungen 27 und 28 zeigen das Ergebnis für das Schussverhalten.

Schuss			
	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
Natürliche Seite	146	128,9	17,1
Mitte	38	79,2	-41,2
Nicht natürliche Seite	105	80,9	24,1
Gesamt	289		

Abbildung 27: Erwartete Anzahl Schüsse – 3 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Statistik für Test	
	Schuss
Chi-Quadrat	30,911[a]
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 79,2.

Abbildung 28: Chi-Quadrat Test optimale Schussverteilung 3 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Die Nullhypothese wird aufgrund eines p-Wertes von 0,000 bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 für den Schützen abgelehnt. Dies bedeutet, dass das beobachtete Schussverhalten von der optimalen Schussverteilung signifikant abweicht. Die Schützen handeln demgemäß nicht im Sinne des Nash-Gleichgewichts.

	SCHÜTZE			
TORHÜTER (aus Sicht des Schützen)	Natürliche S.	Mitte	Nicht natürl. S.	*Gesamt*
Natürliche Seite	31,1%	6,2%	19,4%	***56,7%***
Mitte	1,4%	1,0%	0,3%	***2,8%***
Nicht natürliche Seite	18,0%	5,5%	17,0%	***40,5%***
Gesamt	***50,5%***	***12,8%***	***36,7%***	***100%***

Abbildung 29: Beobachtetes Schuss- und Abwehrverhalten in Prozent

Abbildung 29 dient als Unterstützung, um die Differenzen zwischen dem tatsächlichen und dem optimalen Schussverhalten aufzuzeigen. In der Beobachtung sind die Schüsse mit s_s=(50,5%; 12,8%; 36,7%), im Nash-Gleichgewicht mit s_s*=(44,6%; 27,4%; 28,0%) verteilt. Wie sich aus diesem Vergleich erkennen lässt, wird zu wenig oft in die Mitte

geschossen und zu häufig in Richtung der natürlichen und der nicht natürlichen Seite geschossen.

Die Nullhypothese für den Torhüter wird bei einem p-Wert von 0,000 bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 nicht angenommen. Das beobachtete Abwehrverhalten stimmt somit mit der gemischten Strategie des Nash-Gleichgewichts nicht überein.

Abwehr			
	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
Natürliche Seite des Schützen	164	148,4	15,6
Mitte	7	51,1	-44,1
Nicht natürliche Seite des Schützen	118	89,4	28,6
Gesamt	289		

Abbildung 30: Erwartete Anzahl Abwehr – 3 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Statistik für Test	
	Abwehr
Chi-Quadrat	48,831[a]
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 51,1.

Abbildung 31: Chi-Quadrat Test optimales Abwehrverhalten 3 Strategien (Europa-Mix 09/10)

Das tatsächliche Abwehrverhalten ist mit s_T=(56,7%; 2,8%; 40,5%), das optimale Abwehrverhalten mit s_T*=(51,4%; 17,7%; 30,9%) verteilt. Der Torhüter wählt zu oft die natürliche Seite und die nicht natürliche Seite des Schützen. Die Mitte wird hingegen stark vernachlässigt. Die Begründung für ein derartiges Verhalten geben Bar-Eli et al. (2007, S. 614):

> „We propose that the reason for goalkeepers not staying in the center is action bias. Because the norm […] is that goalkeepers choose action (jumping to one of the sides) rather than inaction (staying in the center), norm theory predicts that a negative outcome would be amplified following inaction. That is, an identical negative outcome (a goal being scored) is perceived to be worse when it follows inaction rather than action. […] Because the negative feeling of the goalkeeper following a goal being scored […] is amplified when staying in the center, the goalkeeper prefers to jump to one of the sides, even though this is not optimal, exhibiting an 'action bias'."

Der Torhüter empfindet ein schlechteres Gefühl, wenn er untätig wirkend in der Mitte stehen bleibt und ein Tor erhält. Wenn er jedoch auf eine Seite springt und das Tor nicht verhindern kann, ist das weniger tragisch, da er das Gefühl hat, zumindest aktiv den Versuch unternommen zu haben, den Ball abzuwehren. Diese Aussage entspricht der im

Zitat angesprochen Normtheorie von Kahnemann und Miller (1986, zit.n. Bar-Eli et al., 2007, S. 607). Die Spieler tendieren somit eher zum Handeln anstatt zur Tatenlosigkeit, wenn dieselben negativen Ergebnisse erzielt werden. Allerdings fühlt sich wohl ein Schütze, der noch schlimmer, wenn der in die Mitte getretene Schuss gehalten wird wie Leininger und Ockenfels (2008, S. 15) ausführen:

> „Hans-Jörg Butt […] reasoned that it is a larger 'disaster' for the kicker when a shot to the middle is saved (recall Panenka's statement![14]), than it is a disaster for the goalkeeper when he does not save a shot to the middle. A kicker, who gets caught in the middle is a 'fool' […]. Gary Lineker of England can attest to this, because he was unfortunate enough to try to copy Panenka in a match England versus Brasil in 1991: his fine, slow chip to the middle of the goal mouth found the literally unmoved Brasilian goalkeeper waiting for it on the line. It truly looked ridiculous."

4.4.3 Länderspezifische Analysen

In den länderspezifischen Analysen werden die Elfmeter der einzelnen Ligen spieltheoretisch unter die Lupe genommen. Dabei wird der optimale Strategie-Mix des Nash-Gleichgewichts für alle Länder zweimal errechnet und mit den Daten verglichen. Die Berechnung erfolgt einmal rein nach den Elfmetern in der Saison 2009/2010 aus der jeweiligen Liga und einmal nach allen 289 Elfmetern aus der Saison 2009/2010. Bei letzterem Fall, dessen optimale Strategien bereits unter Kapitel 4.4.1 „Elfmeter 2009/2010 – 2 Strategien" erhoben wurden, werden somit die Elfmeter einer Liga mit einem Europa-Mix (Österreich, Deutschland, Italien und Spanien) verglichen. Die Elfmeter der österreichischen Bundesliga 2009/2010 werden zudem noch mit den optimalen Strategien, die sich aus den Elfmetern in der österreichischen Bundesliga der Saisonen 2007/2008, 2008/2009 und 2009/2010 berechnen, verglichen. Aufgrund der relativ geringen Anzahl an Daten werden nur zwei Strategien (natürliche Seite und Mitte oder nicht natürliche Seite) untersucht. Für alle Analysen gelten folgende Hypothesen:

H_0: Das tatsächliche Schussverhalten stimmt mit der optimalen Schussverteilung überein.

H_1: Das tatsächliche Schussverhalten weicht von der optimalen Schussverteilung ab.

Das Signifikanzniveau wurde für alle Test mit α=0,05 festgelegt.

[14] Panenka (Tschechoslowakeit) verwandelte 1976 einen Elfmeter bei der Europameisterschaft mit einem Schuss in die Mitte des Tores. Er war sich der möglichen Peinlichkeit bewusst, falls der Torhüter in der Mitte stehen bliebe. Später beschrieb er dieses Risiko folgendermaßen: „If Maier [Torhüter von Deutschland, Anm. des Autors] would have stayed put, they would have sent me to the factories for the next 25 years. The communists would have accused me of ridiculing their system." (vgl. Leininger & Ockenfels, 2008, S. 11).

4.4.3.1 Österreich

4.4.3.1.1 Saison 2009/2010

Bei Analyse der 43 Elfmeter in der österreichischen Bundesliga aus der Saison 2009/2010 ergibt sich das Nash-Gleichgewicht wie folgt:

$s_S^* = \{4/7; 3/7\}$ $s_T^* = \{4/7; 3/7\}$

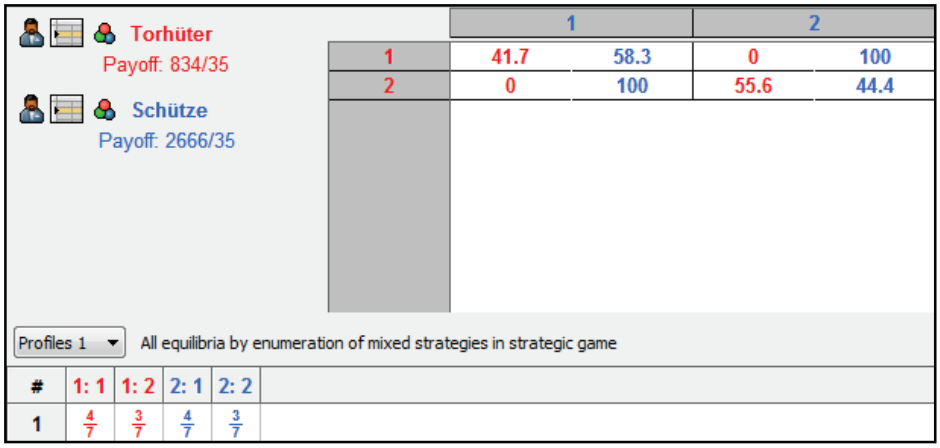

Abbildung 32: Optimale gemischte Strategien (AUT 09/10)

Wird nun der Vergleich dieser optimalen Strategien mit dem tatsächlichen Verhalten der Akteure in diesen 43 Elfmetern verglichen, so zeigt sich, dass das beobachtete Schussverhalten bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 signifikant von der optimalen Verteilung abweicht (p=0,020), während das beobachtete Abwehrverhalten des Torhüters bei selbigem Signifikanzniveau keine Abweichung zur optimalen Verteilung aufweist (p=0,172). Der Schütze könnte die Trefferwahrscheinlichkeit erhöhen, wenn er den Elfmeter öfter in Richtung seiner natürlichen Seite platziert.

Schuss[a]

	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
Natürliche Seite	17	24,6	-7,6
Mitte oder nicht natürliche Seite	26	18,4	7,6
Gesamt	43		

a. Nation = Österreich

Abbildung 33: Erwartete Anzahl Schüsse AUT 09/10 (AUT 09/10)

Statistik für Test[b]

	Schuss
Chi-Quadrat	5,442[a]
df	1
Asymptotische Signifikanz	,020

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 18,4.

b. Nation = Österreich

Abbildung 34: Chi-Quadrat Test optimale Schussverteilung AUT 09/10 (AUT 09/10)

Abwehr[a]

	Beobachtetes N	Erwartete Anzahl	Residuum
Natürliche Seite des Schützen	29	24,6	4,4
Mitte oder nicht natürliche Seite des Schützen	14	18,4	-4,4
Gesamt	43		

a. Nation = Österreich

Abbildung 35: Erwartete Anzahl Abwehr AUT 09/10 (AUT 09/10)

Statistik für Test[b]

	Abwehr
Chi-Quadrat	1,863[a]
df	1
Asymptotische Signifikanz	,172

a. Bei 0 Zellen (,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 18,4.

b. Nation = Österreich

Abbildung 36: Chi-Quadrat Test optimales Abwehrverhalten AUT 09/10 (AUT 09/10)

Legt man zur Berechnung des Nash-Gleichgewichts die Daten aus den 289 Elfmetern der Saison 2009/2010 (AUT, ESP, GER, ITA) zugrunde, so zeigt sich, dass sowohl der Torhüter gemäß den optimalen Strategien s_T*=(29/50; 21/50) handelt (p=0,210), als auch der Schütze nicht von seiner optimalen gemischten Strategie s_s*=(197/375; 178/375) signifikant abweicht (p=0,088).

Um einen Vergleich innerhalb der österreichischen Bundesliga anzustellen, wurden die Elfmeter der Saison 2009/2010 mit dem Nash-Gleichgewicht aus den Elfmetern der Saisonen 2007/2008, 2008/2009 und 2009/2010 auf Übereinstimmung geprüft. Das Nash-Gleichgewicht lautet wie folgt:

s_S* = (247/386; 139/386) s_T* = (405/772; 367/772)

Die Nullhypothese wird sowohl für den Schützen (p=0,001) als auch für den Torhüter (p=0,049) abgelehnt. Das Verhalten der beiden Akteure weicht somit von den optimalen Strategien ab.

4.4.3.1.2 Saisonen 2007/2008, 2008/2009 und 2009/2010

Die Elfmeter der österreichischen Bundesliga aus den drei genannten Saisonen wurden zunächst mit den optimalen Strategien, die sich aus diesen berechneten, verglichen. Diese optimalen Strategien wurden bereits im Kapitel 4.4.3.1.1 bekannt gemacht. Der Vergleich zeigt, dass sich der Torhüter im Sinne des Nash-Gleichgewichts verhält (p=0,181), der Schütze jedoch von seiner Nash-Gleichgewichtsstrategie abweicht (p=0,000). Das Nash-Gleichgewicht, das den eigenen Output unter Berücksichtigung der Strategien des Gegners maximiert, ist in diesem Falle nicht erfüllt.

Im Vergleich mit dem Nash-Gleichgewicht der 289 Elfmeter aus dem Europa Mix der Saison 2009/2010 zeigt sich hingegen, dass sowohl das Verhalten des Schützen (p=0,063) als auch jenes des Torhüters (p=0,992) mit den jeweiligen optimalen gemischten Strategie übereinstimmt. In diesem Fall liegt ein Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien vor.

4.4.3.2 Deutschland

Das Nash-Gleichgewicht innerhalb der deutschen Bundesliga lautet:

$s_S^* = \{53/153; 100/153\}$ $s_T^* = \{26/51; 25/51\}$

Die Signifikanz des Chi-Quadrat Tests beträgt beim innerdeutschen Vergleich für den Schützen p=0,005 und für den Torhüter p=0,412. Die Schützen aus der höchsten Liga in Deutschland entscheiden sich daher nicht optimal im Sinne des Nash-Gleichgewichts bzw. im Sinne der Minimax-Lösung. Das Verhalten der Torhüter ist jedoch nutzenmaximierend.

Beim Vergleich mit dem Europa-Mix beträgt der p-Wert für den Schützen 0,977 und für den Torhüter 0,059. Es stellt sich somit ein Nash-Gleichgewicht ein. Die Spieler zeigen demgemäß ein optimales Verhalten.

4.4.3.3 Italien

Das Nash-Gleichgewicht innerhalb der italienischen Serie A ergibt folgende optimale Strategien:

s_S^* = {47/74; 27/74} s_T^* = {581/814; 223/814}

Der Schütze aus der Serie A verhält sich im europäischen Vergleich gemäß den optimalen Strategien (p=0,382). Ebenso zeigt der Torhüter einen optimalen Strategiemix (p=0,769), wodurch sich ein Nash-Gleichgewicht einstellt. Der Schütze weicht auch nicht von den Strategien, die sich aus den Elfmetern der Serie A ergeben, ab (p=0,129). Das Abwehrverhalten des Torhüters stimmt jedoch mit den Gleichgewichtsstrategien aus der Serie A nicht überein (p=0,000).

4.4.3.4 Spanien

In Spanien weist das Nash-Gleichgewicht folgende für Schützen und Torhüter idente gemischte Strategien aus:

Schütze* = {318/703; 385/703} Torhüter* = {318/703; 385/703}

Das beobachtete Verhalten des Schützen stimmt mit den optimalen Strategien aus den Elfmetern der spanischen Primera Division überein (p=0,870). Jenes des Torhüters weicht allerdings davon ab (p=0,015). Der Torhüter sollte öfter in der Mitte stehen bleiben oder in Richtung der nicht natürlichen Seite des Schützen springen.

Die Nullhypothese im europäischen Vergleich wird sowohl beim Schützen (p=0,259), als auch beim Torhüter angenommen (p=0,862). Es verhält sich dabei wie in der italienischen Serie A. Die Gleichgewichtsstrategien aus dem Europa-Mix werden gespielt, bei jenen aus der eigenen Liga weist der Torhüter jedoch ein abweichendes Verhalten auf.

4.4.3.5 Diskussion und Interpretation

Um einen besseren Überblick über die länderspezifischen Auswertungen zu erhalten, sollen die Ergebnisse nochmals in Tabelle 4 zusammengefasst präsentiert werden. In den Zeilen finden sich die analysierten Datensätze, in den Spalten diejenigen Datensätze, die zur Berechnung der optimalen Strategien herangezogen wurden. In den Schnittpunkten wird dargelegt, ob beide Akteure sich gemäß der Nash-Strategien bzw. der Minimax-Lösung verhalten oder ob ein oder beide Spieler von den Gleichgewichtsstrategien abweichen.

Tabelle 4: Übersicht der länderspezifischen Analysen

	Europamix	jeweiliger Ländermix 09/10	Österreich 07-10
AUT 09/10	**Nash-Gleichgewicht**	Schütze weicht ab	Schütze und Torhüter weichen ab
AUT 07-10	**Nash-Gleichgewicht**	-	Schütze weicht ab
DEU 09/10	**Nash-Gleichgewicht**	Schütze weicht ab	-
ITA 09/10	**Nash-Gleichgewicht**	Torhüter weicht ab	-
ESP 09/10	**Nash-Gleichgewicht**	Torhüter weicht ab	-
Gesamt 09/10	**Nash-Gleichgewicht**	-	-

In dieser tabellarischen Übersicht wird deutlich, dass alle analysierten Ligen und Datensätze mit dem Nash-Gleichgewicht in gemischten Strategien, das sich aus den 289 Elfmetern dieser Ligen in der Saison 2009/2010 (Europa-Mix) berechnet, konform gehen. Zieht man jedoch nur die jeweiligen Elfmeter einer Liga zur Bestimmung der optimalen Strategien heran, so ergibt sich in keiner dieser europäischen Ligen ein Nash-Gleichgewicht. Der Grund hierfür kann in der relativ geringen Anzahl an Elfmetern pro Liga in einer Saison liegen. Interessant ist dennoch, dass in Deutschland und in Österreich der Schütze von der Nash- bzw. Minimax Lösung abweicht, sich in den eher technisch spielstärkeren Ligen hingegen der Torhüter nicht optimal verhält.

Ein Grund für das Nicht-Abweichen von den Gleichgewichtsstrategien liegt möglicherweise darin begründet, dass diese kognitiven Fähigkeiten implizit und unwissentlich gelernt wurden. Aus neurologischer Perspektive bedeutet dies, dass die Spieler Erfahrung mit gewissen Aufgaben und Situationen sammeln, sodass die Gehirnaktivität geradliniger wird und die Gehirnregionen aktiviert werden, die für den für die Aufgabe relevanten Prozess verantwortlich sind (vgl. Palacios-Huerta & Volij, 2008, S. 102). Es wird angenommen, dass diese kognitiven Fähigkeiten unbewusst bestehen und sie das Resultat eines jahrelangen Lernprozesses in bestimmten Situationen sind. Camerer, Loewenstein und Prelec (2005, S. 46) schreiben der Neurologie weitere Bedeutung hinsichtlich spieltheoretischen Annahmen zu:

> „Neuroscientific data are well-suited to exploring the central assumptions on which game theory predictions rest. These assumptions are that players: (1) have accurate beliefs about what others will do (i.e., players are in equilibrium); (2) have no emotions or concern about how much others earn (a useful auxiliary assumption); (3) plan ahead; and (4) learn from experience."

Es stellt sich auch die Frage, ob sich die länderspezifischen Nash-Gleichgewichte bei einer größeren Anzahl an Daten an ein länderübergreifendes Nash-Gleichgewicht anpassen. Palacios-Huerta und Volij (2008, S. 100) stellen auch die interessante Frage, ab welchem Liganiveau die Spieler sich optimal im Sinne des Nash-Gleichgewichts verhalten.

5 Angriff im Beachvolleyball

In diesem Kapitel wird die Spieltheorie auf den ersten Angriff eines Ballwechsels im Beachvolleyball angewandt. Kapitel 5.1 beschreibt die analysierte Situation, bevor sich das darauffolgende Kapitel mit der Datenerhebung und den Gütekriterien befasst. In Kapitel 5.3 werden die zugrundegelegten Annahmen vorgestellt. Kapitel 5.4 beinhaltet die Ergebnisse der Auswertungen. Im ersten Teil wird eine Gesamtauswertung mit allen zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt, im zweiten Teil werden nur jene Teams miteinbezogen, von denen mindestens zwei Spiele analysiert wurden. Für diese Teams werden Einzelauswertungen erstellt, anhand derer die Teams relativ zueinander positioniert werden.

5.1 Situationsbeschreibung

Der Ball wird mit einem Service von einer Mannschaft, die im Folgenden die abwehrende Mannschaft ist, ins Spiel gebracht. Das andere Team stellt das angreifende Team dar, da es den ersten Angriff in diesem Ballwechsel durchführt. Im Regelfall nimmt ein Spieler dieses Teams das Service des Gegners an, sein Mitspieler spielt auf, damit ersterer den Angriff ausführen kann. Eben dieser Angriff wird in den folgenden Unterkapiteln analysiert.

Der Angriffe wurden für die Datenerhebung in sechs verschiedene Strategien kategorisiert. Diese sind folgende:

- Harter Schlag longline
- Harter Schlag diagonal
- Shot longline
- Shot diagonal
- Cut
- Poke-Shot/Dinks

Die Möglichkeiten, die die verteidigende Mannschaft besitzt, um dem Angriff entgegenzuwirken, sind folgende (vgl. Koch, Stifter, Tilp, Ruppert &Hömberg, 2006):

- Block diagonal
- Block longline
- Kein Block

Die verteidigende Mannschaft wird als eine Einheit betrachtet, da die beiden Spieler bereits vor dem Aufschlag durch für den Gegner nicht sichtbare Fingerzeichen vereinbaren, welcher Spieler der gegnerischen Mannschaft wie geblockt wird. Der

Mitspieler des Blockers weiß somit, ob welche Seite geblockt wird und stellt sich daher so, dass er die nicht geblockte Seite möglichst gut abdeckt.

5.2 Datenmaterial

5.2.1 Datenerhebung

Zur spieltheoretischen Analyse von Angriffen im Beachvolleyball wurden insgesamt 17 Herren- und 17 Damenspiele untersucht. Diese Begegnungen stammen vom Beachvolleyball-Grand-Slam Turnier in Klagenfurt aus dem Jahre 2005. Da es sich bei diesem Sportevent um ein hochklassiges internationales Turnier handelt, kann davon ausgegangen werden, dass die Spieler und Spielerinnen zur Weltklasse im Beachvolleyball zählen. Die Videodateien mit den Spielen wurden freundlicherweise von Mag. Leonhard Hoffmann zur Verfügung gestellt, der diese 2004 vom sportwissenschaftlichen Institut in Graz erhalten hat. Folgende Spiele wurden analysiert:

Herren

- BRA (Tande/Franco) : BRA (Para/Jan) 1:2
- GER (Kröger/Schön) : GER (Klemperer/Koreng) 2:1
- ITA (Bendandi/Cicola) : SWE (Berg/Svensson) 2:1
- POR (Maia/Briyida) : USA (Lucena/Dallhauser) 1:2
- FRA (Canet/Hamel) : NOR (Hoidalen/Oevergard) 2:1
- AUS (Schacht/Slack) : NED (Boersma/Ronnes) 2:0
- USA (Lucena/Dallhauser) : SUI (Heuscher/Kobel) 1:2
- BRA (Emanuel/Ricardo) : GER (Kröger/Schön) 2:0
- USA (Rogers/Scott) : RUS (Arkaev/Barsouk) 2:0
- SUI (Gschneidle/Schnider) : USA (Gibb/Metzger) 1:2
- ARG (Conde/Salema) : USA (Lucena/Dallhauser) 2:0
- ESP (Herrera/Mesa) : BRA (Benjamin/Harley) 1:2
- BRA (Emanuel/Ricardo) : ESP (Bosma/Ortiz) 2:0
- USA (Gibb/Metzger) : SUI (Egger/Laciga M.) 2:1
- BRA (Benjamin/Harley) : RUS (Arkaev/Barsouk) 2:1
- USA (Blanton/Wong) : BRA (Benjamin/Harley) 2:1
- GER (Dieckmann/Scheuerpflug) : CUB (Alvarez/Ramirez) 2:1

Damen

- BRA (Pires/Bednarczuk) : BRA (Salgado R./Salgado S.) 1:2
- UKR (Osheyko/Baburina) : GER (Röder/Claasen) 1:2
- CAN (Dumon/Fiset) : AUS (Kloeden/Lochowicz) 1:2
- BRA (Salgado R./Salgado S.) : SUI (Skrivan/Zumkehr) 2:0
- CHN (Ren/Lu) : FIN (Nystrom/Nystrom) 0:2
- MEX (Gaxiola/Garcia) : LAT (Minusa/Jursone) 2:1
- BUL (Yanchulova P./Yanchulova L.) : NED (Kadjik/Mooren) 0:2
- FIN (Nystrom/Nystrom) : CHN (Tian/Wang) 0:2

- FRA (Kadjo/Arjona) : GRE (Arvaniti/Karadassiou) 0:2
- RUS (Uryadova/Shiryaeva) : NED (Kadjik/Mooren) 0:2
- SUI (Kuhn/Schwer) : BRA (Felisberta/Franca) 0:2
- GER (Brink/Jurich) : BRA (Behar/Shaylyn) 0:2
- BRA (Felisberta/Franca) : CUB (Larrea/Fernandez) 2:0
- USA (Wacholder/Youngs) : NOR (Hakedal/Torlen) 2:0
- RUS (Uryadova/Shiryaeva) : BRA (Felisberta/Franca) 0:2
- GRE (Koutroumanidou/Tsiartsiani) : USA (McPeak/Kessy) 0:2
- NOR (Hakedal/Torlen) : BRA (Felisberta/Franca) 0:2

Für die Analyse wurden nur jene Angriffe der ersten Handlungskette miteinbezogen, die dem typischen Ablauf Annahme – Zuspiel – Angriff entsprechen. Dies ist der Regelfall bei einer gelungenen Annahme. Keinen Eingang in die Untersuchung fanden daher Netzüberquerungen, die als „Rettung“[15] zu qualifizieren sind und Angriffe, die mit der zweiten Ballberührung ausgeführt wurden[16]. Poke-Shots und Cuts wurden zwar erhoben, werden aber nicht in die weiteren Analysen miteinbezogen. Der Grund hierfür liegt darin, dass diese beiden Aktionen sehr selten gespielt werden und ein Poke-Shot außerdem oft nur als „Rettungsaktion“ angebracht wird.

5.2.2 Gütekriterien

Auf die allgemeine Beschreibung der Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität wird hier verzichtet, da diese bereits in Kapitel 4.2.2 im Anwendungsbeispiel Elfmeter erfolgte.

Die Inter-Rater-Reliabilität wurde für 299 Angriffe, deren Merkmale von zwei Ratern erhoben wurden, mit dem Übereinstimmungsmaß Cohen’s Kappa für folgende Merkmale überprüft:

- Art des Angriffes
- Art des Blockes
- Geblockt? (ja/nein)
- Unmittelbarer Punktgewinn (Angreifer)? (ja, nein)

Die Hypothesen für diese Inter-Rater-Reliabilitäts-Prüfung lauten:

H_0: Es gibt keine Übereinstimmung zwischen den Merkmalserhebungen der beiden Rater.

H_1: Es gibt Übereinstimmung zwischen den Merkmalserhebungen der beiden Rater.

[15]Falls die Ballannahme misslungen ist und die zweite Ballberührung den Angreifer nicht in eine Position vor dem Netz bringen kann, aus der ihm alle möglichen Angriffsstrategien zur Verfügung stehen, ist der Angriff als „Rettung“ zu qualifizieren. Solche Netzüberquerungen dienen nur dazu, den Ball im Spiel zu belassen, sie stellen allerdings für den Gegner keine wesentliche Gefahr dar, den Punkt zu verlieren.

[16]Diese Strategie wird eher selten gespielt, beinhaltet aber ein gewisses Überraschungsmoment.

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,896	,021	26,859	,000
Anzahl der gültigen Fälle		299			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 37: Cohen's Kappa für die Angriffsart

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,941	,019	20,986	,000
Anzahl der gültigen Fälle		299			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 38: Cohen's Kappa für die Blockart

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,954	,019	19,966	,000
Anzahl der gültigen Fälle		299			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 39: Cohen's Kappa für 'Geblockt?'

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler[a]	Näherungsweises T[b]	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	1,000	,000	17,292	,000
Anzahl der gültigen Fälle		299			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Abbildung 40: Cohen's Kappa für 'Unmittelbarer Punktgewinn (Angreifer)?'

Die Übereinstimmungen für die vier Merkmale sind signifikant und können gemäß Tabelle 3 in Kapitel 4.2.2.1 als sehr gut eingestuft werden. Die Inter-Rater-Reliabilität ist daher nicht verletzt.

5.3 Annahmen

In diesem Anwendungsbeispiel interessieren nicht so sehr die Annahmen, die erfüllt sein müssen, um ein Lösungskonzept auf eine Spielsituation anwenden zu können, sondern vielmehr die Anwendung und deren Interpretation selbst. Deswegen wird im Gegensatz zum Anwendungsfall des Elfmeters in diesem Kapitel auf die Überprüfung notwendiger Annahmen größtenteils verzichtet. Die beiden Annahmen, die anhand der Daten einer Überprüfung unterzogen werden sollen, sind jene der simultanen Entscheidung und jene der seriellen Unabhängigkeit der Handlungen.

5.3.1 Simultane Entscheidung

Ahmann (2004, S. 40) weist im Bezug auf die simultane Entscheidung darauf hin, dass es von großer Bedeutung ist, die zu spielende Aktion so spät wie möglich zu offenbaren:

„Das Wichtigste bei der Anwendung der einen oder anderen Angriffstechnik ist, den Gegner diese so spät wie möglich erkennen zu lassen! Der Angreifer muss also immer wie zu einem harten Angriffsschlag anlaufen."

Die Daten wurden zur Überprüfung der simultanen Entscheidung adaptiert. Angriffe, bei denen die verteidigende Mannschaft ohne Block spielte, wurden ebenso wie die Angriffsart ‚Poke' und ‚Cut' aus dem Datensatz ausgeschieden. Es wurde sodann ein möglicher Zusammenhang zwischen der Angriffsrichtung (longline oder diagonal) und der Blockrichtung (longline oder diagonal) geprüft. Das Ergebnis zeigt folgende Abbildung:

Korrelationen

		Angriffsrichtung	Blockrichtung
Angriffsrichtung	Korrelation nach Pearson	1	,171**
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	N	1084	1084
Blockrichtung	Korrelation nach Pearson	,171**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	N	1084	1084

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Abbildung 41: Korrelation zwischen der Angriffs- und der Blockrichtung

Bei einem zugrundegelegten Signifikanzniveau von α=0,05 gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Angriffs- und der Blockrichtung (p=0,000). Dieser Zusammenhang ist positiv, was bedeutet, dass eine Angriffsrichtung eher mit der gleichen Blockrichtung einhergeht. Dies spricht dafür, dass der blockende Spieler seine Entscheidung ein wenig später als der angreifende Spieler treffen muss. Allerdings ist die

Höhe des Zusammenhanges gering (r=0,171), weshalb die Annahme der simultanen Entscheidung mit Vorsicht annehmbar erscheint.

5.3.2 Serielle Unabhängigkeit der Handlungen

Die serielle Unabhängigkeit der Handlungen wurde für jene Teams überprüft, von denen zumindest zwei Spiele analysiert wurden. Damit ist gewährleistet, dass die Anzahl an Beobachtungen für die Testung ausreichend ist. Es wurden sowohl für die Angriffs-, als auch für die Abwehrhandlungen (Blöcke) nur die Richtungen dieser Aktionen (longline oder diagonal) mit Hilfe einer Sequenzanalyse (run-Test) überprüft. Eine Sequenz bzw. ein Run ist dabei definiert „as a succession of one or more identical actions which are followed and preceded by a different action or no action at all." (Palacios-Huerta & Volij, 2008, S. 85).

Tabelle 5: Daten zur Testung der seriellen Unabhängigkeit

Team	Anzahl Spiele	Anzahl Angriffe	Anzahl Blöcke
Kröger/Schön	2	64	58
Lucena/Dallhauser	3	115	112
Emanuel/Ricardo	2	46	57
Gibb/Metzger	2	60	94
Benjamin/Harley	3	119	108
Arkaev/Barsouk	2	74	71
Salgado/Salgado	2	53	65
Nystrom/Nystrom	2	51	46
Kadjik/Mooren	2	69	61
Urvadova/Shiryaeva	2	53	45
Felisberta/Franca	4	89	82
Hakedal/Torlen	2	59	51

Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen die Ergebnisse des Sequenztests für die Angriffe der oben genannten Mannschaften. Die Hypothesen für diesen Test lauten folgendermaßen:

H_0: Die Abfolge der gewählten Strategien ergibt sich in zufälliger Reihenfolge.

H_1: Die Abfolge der gewählten Strategien unterliegt einem gewissen Muster.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 die Nullhypothese für alle Mannschaften hinsichtlich der Angriffshandlungen beibehalten wird. Dies bedeutet, dass die Teams ihre Strategien ohne zugrundegelegtem System oder Muster wählen.

Dies ist Bedingung für ein Nash-Gleichgewicht bzw. eine Minimax-Lösung in gemischten Strategien.[17]

Sequenzentest						
	Kröger_ Schön	Lucena_ Dallhauser	Emanuel_ Ricardo	Gibb_ Metzger	Benjamin_ Harley	Arkaev_ Barsouk
Testwert[a]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Gesamte Fälle	64	115	46	60	119	74
Anzahl der Sequenzen	31	59	21	29	51	40
Z	,146	1,204	-,699	-,488	-,983	,917
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,884	,229	,485	,625	,326	,359

a. Benutzerdefiniert

Abbildung 42: Sequenztest Angriff Team 1-6

Sequenzentest						
	Salgado_ Salgado	Nystrom_ Nystrom	Kadjik_ Mooren	Urvadova_ Shiryaeva	Felisberta_ Franca	Hakedal_ Torlen
Testwert[a]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Gesamte Fälle	53	51	69	53	89	59
Anzahl der Sequenzen	28	29	23	26	43	32
Z	,361	,710	-1,456	,028	-,477	1,133
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,718	,478	,145	,978	,633	,257

a. Benutzerdefiniert

Abbildung 43: Sequenztest Angriff Team 7-12

Bei der Überprüfung der seriellen Unabhängigkeit für die Abwehrhandlungen muss für eine Mannschaft bei einem Signifikanzniveau von α=0,05 die Nullhypothese abgelehnt werden. Das Team Arkaev/Barsouk mischt seine Strategien im Sinne der Statistik nicht zufällig. Bei zwölf Mannschaften und einem α von 0,05 beträgt der Erwartungswert für den Fehler 1. Art[18] (α-Fehler) 0,6 Mannschaften. Es könnte damit also argumentiert werden, dass die serielle Unabhängigkeit hinsichtlich der Abwehrhandlungen prinzipiell angenommen werden kann.

Sequenzentest						
	Kröger_ Schön	Lucena_ Dallhauser	Emanuel_ Ricardo	Gibb_ Metzger	Benjamin_ Harley	Arkaev_ Barsouk
Testwert[a]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Gesamte Fälle	58	112	57	94	108	71
Anzahl der Sequenzen	29	42	20	50	44	25
Z	-,265	-,492	-,771	,646	-,473	-2,202
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,791	,623	,441	,519	,636	,028

a. Benutzerdefiniert

Abbildung 44: Sequenztest Abwehr Team 1-6

[17] Es sei an dieser Stelle nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die serielle Unabhängigkeit im Anwendungsbeispiel des Elfmeters im Fußball aufgrund einer zu geringen Anzahl an Elfmetern pro Spieler nicht durchgeführt wurde.

[18] Der Fehler 1. Art bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese H_0 abgelehnt wird, obwohl sie eigentlich richtig ist.

Sequenzentest						
	Salgado_ Salgado	Nystrom_ Nystrom	Kadjik_ Mooren	Urvadova_ Shiryaeva	Felisberta_ Franca	Hakedal_ Torlen
Testwert[a]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Gesamte Fälle	65	46	61	45	82	51
Anzahl der Sequenzen	12	17	21	22	29	17
Z	-,996	-,796	-,919	-,031	1,894	-1,771
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,319	,426	,358	,975	,058	,077

a. Benutzerdefiniert

Abbildung 45: Sequenztest Abwehr Team 7-12

5.4 Ergebnisse und Interpretation

Zunächst wurde eine Gesamtauswertung der spieltheoretischen Analyse vorgenommen. Hierbei stehen wieder die Struktur des Sportspiels und das optimale Verhalten der Akteure im Vordergrund. Bei dieser globalen Analyse wurde die Auswertung für Damen- und Herren-Teams getrennt vorgenommen.

Der zweite Teil der Auswertung beschäftigt sich mit den Teams, von denen mindestens zwei Spiele beobachtet wurden. Die Analyse und deren Interpretation legen den Fokus vermehrt auf das einzelne Team sowie die Interpretation der daraus ableitbaren Trainingsinterventionen.

5.4.1 Gesamtauswertung Damen Teams

Insgesamt wurden 17 Damen-Spiele ausgewertet. Abbildung 46 zeigt die prozentuelle Verteilung der Angriffs- und Abwehrstrategien in diesen Spielen.

ANZAHL in %			**Verteidiger**	
Angreifer	longline	diagonal	ohne Block	
Schlag longline	16,39%	4,91%	9,81%	**31,11%**
Schlag diagonal	19,83%	10,44%	9,39%	**39,67%**
Shot longline	12,73%	1,67%	3,13%	**17,54%**
Shot diagonal	5,22%	4,28%	2,19%	**11,69%**
	54,18%	**21,29%**	**24,53%**	**100,00%**

Abbildung 46: Verteilung der Strategien – Damen Teams

Die angreifende Mannschaft wählte am häufigsten einen harten diagonalen Schlag (39,67%). Ein harter Schlag der Linie entlang wurde in 31,11% der Fälle gespielt. Longline-Shots und diagonale Shots kamen weniger oft zur Anwendung.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Punktwahrscheinlichkeiten für diese Strategiekombinationen. Diese Wahrscheinlichkeiten beziehen sich auf einen aus dem ersten Angriff resultierenden unmittelbaren Punktgewinn. Wenn der erste Angriff

abgewehrt werden konnte, das ursprünglich angreifende Team allerdings dennoch den Punkt im Laufe des Ballwechsels erobert, so wird dies in dieser Analyse nicht der (unmittelbaren) Punktwahrscheinlichkeit angerechnet.

Punktwahrscheinlichkeiten			**Verteidiger**	
Angreifer	longline	diagonal	ohne Block	
Schlag longline	54,14%	68,09%	58,51%	**57,72%**
Schlag diagonal	64,74%	44,00%	53,33%	**56,58%**
Shot longline	65,57%	62,50%	33,33%	**59,52%**
Shot diagonal	58,00%	68,29%	38,10%	**58,04%**
	61,08%	**55,88%**	**51,49%**	**57,62%**

Abbildung 47: Punktwahrscheinlichkeiten – Damen Teams

Die Randwahrscheinlichkeiten der Angriffsstrategien liegen eng beisammen (zwischen 56,58% bei einem diagonal Schlag und 59,52% bei einem Shot longline). Bei Betrachtung der Randwahrscheinlichkeiten der Abwehrstrategien zeigt die Strategie „ohne Block“ die geringste Chance für das angreifende Team unmittelbar einen Punkt zu machen. Am ehesten (68,29%) wird bei der Kombination „Shot diagonal – Block diagonal“ ein Punkt erzielt, die geringste Wahrscheinlichkeit weist die Kombination „Shot longline – ohne Block“ auf.

Bei Anwendung der Spieltheorie bzw. des Nash-Konzepts auf diese Punktwahrscheinlichkeiten werden folgende optimale gemischte Strategien erhalten:

Angreifer
Payoff: 1125814/19725

Verteidiger
Payoff: 846686/19725

	Block long		Block dia		ohne Block	
Schlag long	54.14	45.86	68.09	31.91	58.51	41.49
Schlag dia	64.74	35.26	44	56	53.33	46.67
Shot long	65.57	34.43	62.5	37.5	33.33	66.67
Shot dia	58	42	68.29	31.71	38.10	61.9

Profiles 2 — All equilibria by enumeration of mixed strategies in strategic game

#	1: Schlag long	1: Schlag dia	1: Shot long	1: Shot dia	2: Block long	2: Block dia	2: ohne Block
1	$\frac{1141}{1578}$	$\frac{437}{1578}$	0	0	$\frac{259}{789}$	0	$\frac{530}{789}$

Abbildung 48: Optimale Strategien – Damen Spiele

Die Gleichgewichtsstrategien der angreifenden bzw. der verteidigenden Mannschaft lauten somit folgendermaßen:

$$s_A = \{72{,}31\%;\ 27{,}69\%;\ 0\%;\ 0\%\} \qquad s_V = \{32{,}83\%;\ 0\%;\ 67{,}17\%\}$$

Die angreifende Mannschaft würde in einem Nash-Gleichgewicht nur mit harten Schlägen agieren, die verteidigende Mannschaft würde mit einer Wahrscheinlichkeit von rund einem Drittel longline blocken und mit einer Wahrscheinlichkeit von rund zwei Dritteln nicht

blocken. Die aktuelle Gesamtpunktwahrscheinlichkeit beträgt 57,62% (vgl. Abbildung 47), im Nash-Gleichgewicht betrüge der Wert des Spiels 57,08%. Die verteidigende Mannschaft könnte sich durch besseres Verteilen seiner Strategien ein wenig besser stellen.

5.4.2 Gesamtauswertung Herren Teams

Bei den angreifenden Herren Teams dominiert der harte diagonale Schlag, wie Abbildung 49 zeigt. Der longline Schlag wird nur halb so oft ausgeführt, die Shots weisen wie bei den Damen die geringste Häufigkeit auf.

ANZAHL in %			**Verteidiger**	
Angreifer	longline	diagonal	ohne Block	
Schlag longline	14,66%	6,03%	2,67%	**23,36%**
Schlag diagonal	27,59%	16,38%	2,59%	**46,55%**
Shot longline	14,83%	2,41%	0,52%	**17,76%**
Shot diagonal	6,64%	5,09%	0,60%	**12,33%**
	63,71%	**29,91%**	**6,38%**	**100,00%**

Abbildung 49: Verteilung der Strategien – Herren Teams

Die verteidigende Mannschaft entscheidet sich in 63,71% der Fälle für einen longline Block, in rund 30% für einen diagonalen Block. Die Strategie „ohne Block“ kommt bei den Herren nur sehr selten zum Zug (6,38%).

Werden die Punktwahrscheinlichkeiten betrachtet – die sich ebenso wie bei den Damen nur aus den aus dem ersten Angriff resultierenden unmittelbaren Punktgewinnen ergeben – so zeigt der diagonale Shot die größte Wahrscheinlichkeit (63,64%). Der longline Shot weist im Gegensatz zu den Damen das geringste Erfolgspotential aus. Wenn die verteidigende Mannschaft nicht blockt, ist die Chance auf einen unmittelbaren Punktgewinn für die angreifende Mannschaft 50:50. Abbildung 50 fasst die Punktwahrscheinlichkeiten bei den Herren übersichtlich zusammen:

Punktwahrscheinlichkeiten			**Verteidiger**	
Angreifer	longline	diagonal	ohne Block	
Schlag longline	57,65%	81,43%	48,39%	**62,73%**
Schlag diagonal	67,81%	50,00%	53,33%	**60,74%**
Shot longline	56,98%	46,43%	33,33%	**54,85%**
Shot diagonal	59,74%	69,49%	57,14%	**63,64%**
	62,11%	**59,37%**	**50,00%**	**60,52%**

Abbildung 50: Punktwahrscheinlichkeiten – Herren Teams

In einem weiteren Schritt werden die optimalen Nash-Strategien ermittelt. Betrachtet man die nachfolgende Abbildung genauer, so zeigt sich, dass die Strategie „Block longline“ von

der Strategie „ohne Block“ dominiert wird. Dies bedeutet, dass der Verteidiger – unabhängig von der Entscheidung seines Kontrahenten – mit der Strategie „ohne Block“ eine geringere Punktwahrscheinlichkeit für den Angreifer bewirkt. Die Strategie „Shot longline“ ist ebenso eine dominierte Strategie. Diese beiden Strategien sind in Abbildung 51 dunkelviolett eingefärbt. Bei Betrachtung der übrig bleibenden Strategien zeigt sich, dass „ohne Block“ nun auch „Block diagonal“ dominiert (dunkelgrün eingefärbt). Für das verteidigende Team verbleibt nur noch die Strategie „ohne Block“. Der rational agierende Angreifer wird sich nun für „Shot diagonal“ entscheiden, da diese Strategie die beiden anderen dominiert (orange eingefärbt).

Angreifer
Payoff: 2857/50

Verteidiger
Payoff: 2143/50

	Block long		Block dia		ohne Block	
Schlag long	57.65	42.35	81.43	18.57	48.39	51.61
Schlag dia	67.81	32.19	50	50	53.33	46.67
Shot long	56.98	43.02	46.43	53.57	33.33	66.67
Shot dia	59.74	40.26	69.49	30.51	57.14	42.86

Profiles 1 All equilibria by enumeration of mixed strategies in strategic game

#	1: Schlag long	1: Schlag dia	1: Shot long	1: Shot dia	2: Block long	2: Block dia	2: ohne Block
1	0	0	0	1	0	0	1

Abbildung 51: Optimale Strategien - Herren Teams

Wie aus Abbildung 51 ersichtlich ist, ergeben sich reine Strategien zu einem Nash-Gleichgewicht. Das angreifende Team sollte demnach einen diagonalen Shot spielen und das verteidigende Team sollte nicht blocken. Dieses Ergebnis ist allerdings mit Vorsicht zu genießen, da die relative Häufigkeit bei den Herren, mit der die Strategie „ohne Block“ gespielt wird, im Gegensatz zu den Damen gering ist (6,38%). Interpretiert man dieses Nash-Gleichgewicht weiter, so lässt sich erkennen, dass auch bei den Herren das verteidigende Team durch eine bessere Allokation seiner Strategien die Punktwahrscheinlichkeit für das angreifende Team auf den Wert des Spiels reduzieren könnte (von 60,52% auf 57,14%).

Wenn die Strategie „ohne Block“ aufgrund der geringen relativen Häufigkeit weggelassen wird, ergeben sich die in Abbildung 52 ersichtlichen optimalen Strategien

Angreifer
Payoff: 26392683/415900

Verteidiger
Payoff: 15197317/415900

	Block long		Block dia	
Schlag long	57.65	42.35	81.43	18.57
Schlag dia	67.81	32.19	50	50
Shot long	56.98	43.02	46.43	53.57
Shot dia	59.74	40.26	69.49	30.51

Profiles 1 All equilibria by enumeration of mixed strategies in strategic game

#	1: Schlag long	1: Schlag dia	1: Shot long	1: Shot dia	2: Block long	2: Block dia
1	$\frac{1781}{4159}$	$\frac{2378}{4159}$	0	0	$\frac{3143}{4159}$	$\frac{1016}{4159}$

Abbildung 52: Optimale Strategie – Herren Teams (ohne "ohne Block")

Die optimalen Strategien lauten:

$$s_A = \{42{,}82\%;\ 57{,}18\%;\ 0\%;\ 0\%\} \qquad s_V = \{75{,}57\%;\ 24{,}43\%\}$$

Die tatsächliche Gesamtwahrscheinlichkeit bei dieser Betrachtung beträgt 60,08%. Der Wert des Spiels beläuft sich auf 63,46%, was bedeutet, dass das angreifende Team durch den Fokus auf harte Schläge die Chance auf einen unmittelbaren Punkt aus dem ersten Angriff erhöhen könnte.

5.4.3 Einzelauswertungen Damen Teams

Sechs Damen Teams waren mit mehr als einem Spiel in den Daten vertreten, allerdings war die Anzahl der Daten für ein Team dennoch gering, sodass dieses nicht in die weitere Analyse miteinbezogen wurde. Die Einzelauswertungen lehnen sich an die Untersuchung von Hirotsu et al. (2010) an.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Blockwahrscheinlichkeiten der Teams und die Werte der Spiele dargestellt:

Tabelle 6: Blockwahrscheinlichkeiten – Damen Teams

	1)	2)	1) - 2)	3)	4) = 1) - 3)	5)	6) = 2) - 5)	4) - 6)
Salgado/Salgado	18,46%	12,50%	5,96%	21,28%	-2,81%	10,52%	1,98%	-4,79%
Kadjik/Mooren	27,87%	14,29%	13,58%	20,34%	7,53%	10,62%	3,67%	3,86%
Urvadova/Shiryaeva	11,11%	25,53%	-14,42%	13,04%	-1,93%	22,22%	3,31%	-5,24%
Felisberta/Franca	19,51%	10,59%	8,92%	23,21%	-3,70%	9,71%	0,88%	-4,58%
Hakedal/Torlen	21,57%	25,45%	-3,89%	20,98%	0,59%	24,49%	0,96%	-0,38%

1) Erfolgswahrscheinlichkeit des Blockes des jeweiligen Teams
2) Erfolgswahrscheinlichkeit des Blockes der jeweiligen gegnerischen Teams

3) Wert des Spiels hinsichtlich der Blöcke des jeweiligen Teams
5) Wert des Spiels hinsichtlich der Blöcke der jeweiligen gegnerischen Teams

Die vierte Spalte dieser Tabelle zieht die Differenz zwischen der Erfolgsquote des Blockes des jeweiligen Teams und jener seiner gegnerischen Teams. Das Team Salgado/Salgado ist, da diese Differenz positiv ist, bei ihren Blöcken erfolgreicher als ihre Gegner. Sie blocken in 18,46% der Fälle erfolgreich. Ein Block ist dann erfolgreich, wenn der Angriff geblockt wird und es zu keinem unmittelbaren Punktverlust kommt.[19] Die fünfte Spalte beinhaltet den Wert des Spieles für die Blöcke des jeweiligen Teams, der sich aus der Berechnung des Nash-Gleichgewichts ergibt. Salgado/Salgado könnten durch eine bessere Verteilung ihrer Strategien die Erfolgsquote auf 21,28% erhöhen. Die nächste Spalte gibt an, dass sie durch ihr nicht optimales Verhalten 2,81% verschenken. Die siebente Spalte gibt den Wert des Spiels an, der sich bei den Blöcken für die gegnerischen Teams. Bei den Gegnern von Salgado/Salgado ist die tatsächliche Erfolgsquote höher als der Wert des Spiels. Dies deutet darauf hin, dass Salgado/Salgado ebenso ein schlechtes Angriffsverhalten aufweisen, sodass die Gegner einen höheren Nutzen daraus ziehen können. Salgado/Salgado verschenken somit 1,98%. Insgesamt könnten sie daher durch eine bessere Verteilung ihrer Angriffs- und Abwehrstrategien eine um 4,79% höhere Erfolgsquote ausweisen.

Die nachfolgende Abbildung stellt einen guten graphischen Vergleich zwischen den verschieden Teams bezüglich ihres Blockverhaltens dar. Die x-Achse repräsentiert zeigt die Differenz zwischen den tatsächlichen Erfolgsquoten, die aus den beobachteten Daten berechnet wurden. Die y-Achse zeigt die Differenz zwischen dem möglichen Nutzen, der bei optimalen Strategien generiert werden könnte.

[19] Nicht erfolgreich ist ein Block demnach dann, wenn der Angriff überhaupt nicht geblockt werden konnte oder wenn der Ball vom Block ins Out springt, sodass das gegnerische Team einen Punkt gewinnt.

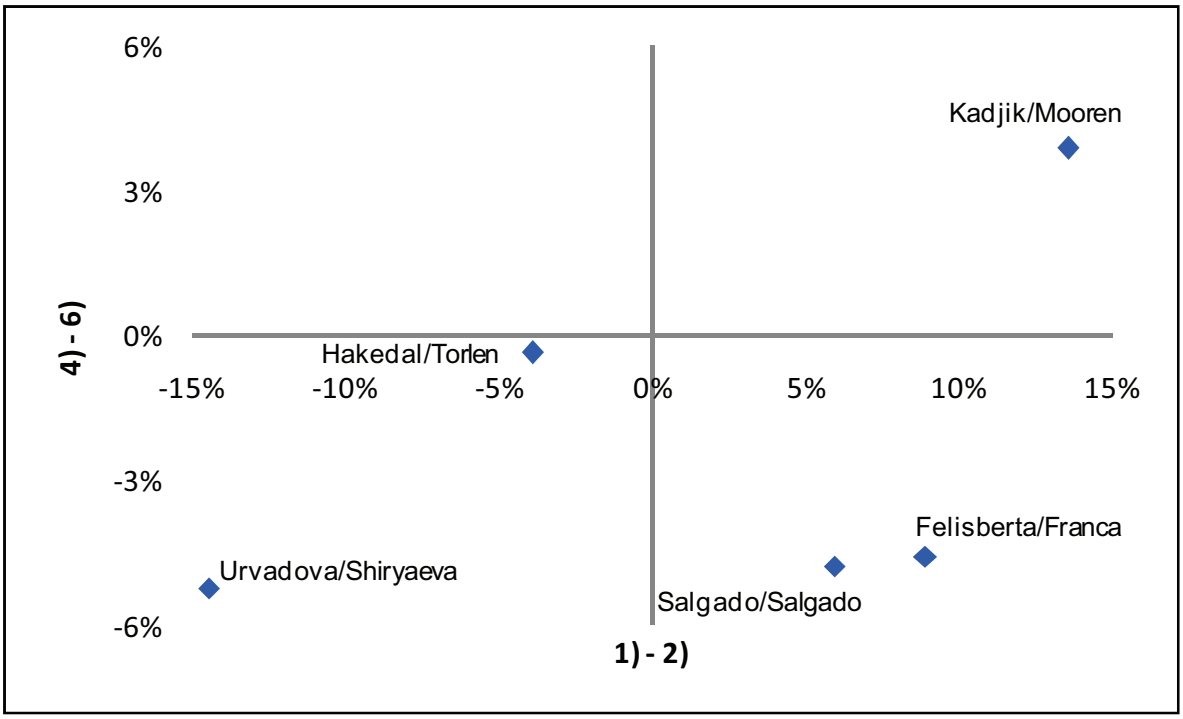

Abbildung 53: Teamcharakteristikum Block – Damen Teams

Hirotsu et al. (2010, S. 41f.) interpretieren die verschieden Quadranten wie folgt:

> „Therefore the teams plotted in the upper right area are considered that they are relatively not only superior in average success ratio of blocks but also get potential benefit from other teams' poor allocation of attacking patterns. On the other hand the teams located in the lower left area are relatively inferior in average success ratio of blocks but also lose potential benefit by its own poor allocation of patterns."

Die Teams Salgado/Salgado, Felisberta/Franca und Kadjik/Mooren sind ihren Gegnern beim Blocken überlegen. Allerdings kann nur das Team Kadjik/Mooren ein nicht-optimales Angriffsverhalten ihrer Gegner zu ihrem Vorteil nutzen.

Dieselbe Vorgehensweise wurde für die Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Punktgewinns gewählt. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse:

Tabelle 7: Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Punktgewinns – Damen Teams

	1)	2)	1) - 2)	3)	4) = 1) - 3)	5)	6) = 2) - 5)	4) - 6)
Salgado/Salgado	67,86%	47,30%	20,56%	66,67%	1,19%	48,48%	-1,18%	2,37%
Kadjik/Mooren	59,72%	44,59%	15,13%	40,00%	19,72%	33,33%	11,26%	8,46%
Urvadova/Shiryaeva	42,86%	70,18%	-27,32%	40,00%	2,86%	68,91%	1,27%	1,59%
Felisberta/Franca	74,23%	48,62%	25,60%	74,42%	-0,20%	48,93%	-0,31%	0,11%
Hakedal/Torlen	44,44%	69,81%	-25,37%	33,33%	11,11%	73,49%	-3,67%	14,79%

1) Erfolgswahrscheinlichkeit des ersten Angriffes des jeweiligen Teams
2) Erfolgswahrscheinlichkeit des ersten Angriffes der jeweiligen gegnerischen Teams
3) Wert des Spiels hinsichtlich der ersten Angriffe des jeweiligen Teams
5) Wert des Spiels hinsichtlich der ersten Angriffe der jeweiligen gegnerischen Teams

Für das Team Salgado/Salgado bedeutet diese tabellarische Auswertung, dass es ihren Gegner hinsichtlich des Punktgewinns im ersten Angriff mit 20,56% überlegen ist, und dass es aufgrund des gezeigten nicht-optimalen Verhaltens einen zusätzlichen Nutzen von 2,37% erzielt. Dieser setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Einerseits 1,19%, die es dadurch gewinnt, dass ihre Gegner nicht die Nash-Gleichgewichtsstrategien im Abwehrverhalten spielen und andererseits 1,18%, die ihre Gegner durch nicht-optimales Angriffsverhalten verlieren.

Die graphische Aufbereitung zeigt Abbildung 54:

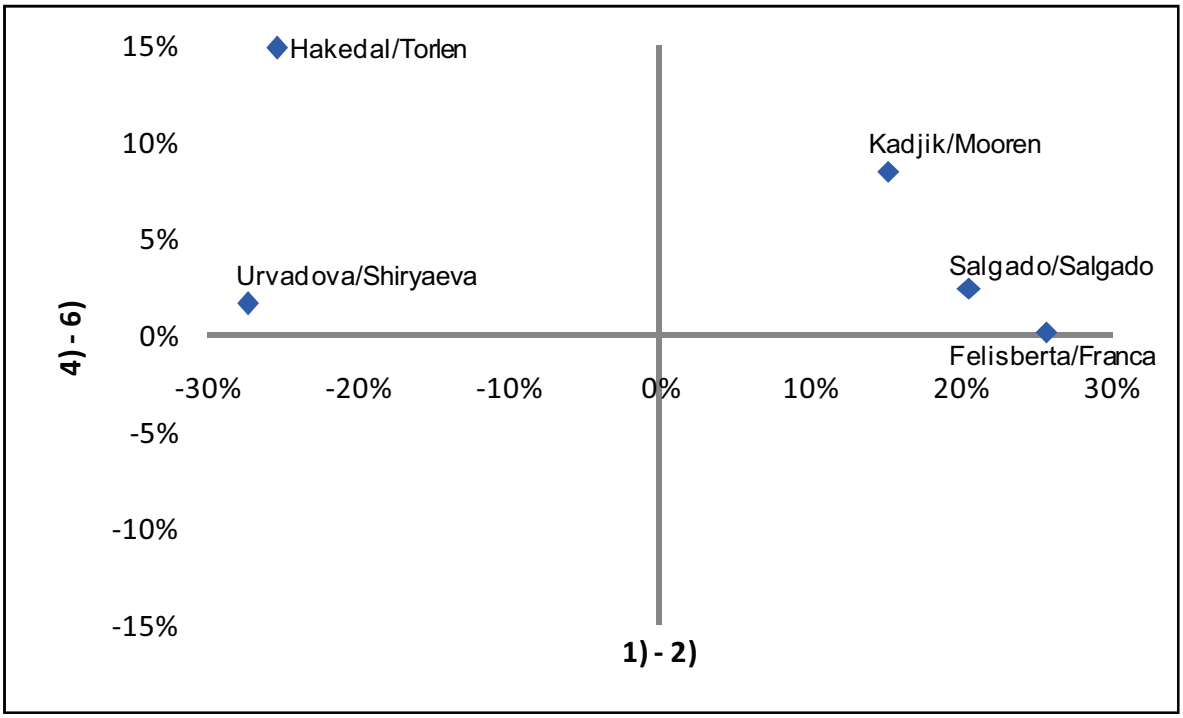

Abbildung 54: Teamcharakteristikum Angriff – Damen Teams

Das Team Kadjik/Mooren befindet sich sowohl bei den Blöcken als auch bei den Angriffen im oberen rechten Quadranten. Dies bedeutet, dass es seinen Gegnern überlegen ist und zusätzlichen Nutzen aus der aktuellen schlechten Verteilung der Angriffe bzw. Blöcke durch die Gegner erhalten kann. Das Team Salgado/Salgado ist seinen Gegner ebenso bei Angriffen und Blöcken überlegen. Bei den Angriffen können die beiden Damen die Punktwahrscheinlichkeit durch das nicht-optimale Verhalten ihrer Gegner erhöhen. Bei den Blöcken verlieren sie aufgrund ihrer eigenen schlechten Verteilung der Blöcke möglichen Nutzen.

Es sei aber anzumerken, dass sich diese Auswertungen lediglich auf die analysierten Spiele der jeweiligen Teams beziehen. Interessanter wäre es, wenn Spiele der analysierten Teams vorhanden wären, in denen sie gegeneinander antreten.

5.4.4 Einzelauswertungen – Herren Teams

Insgesamt gab es in dem analysierten Videomaterial sechs Herren Teams, von denen mindestens zwei Spiele vorhanden waren. Diese wurden für die hier dargebrachte Analyse, die analog zu den Damen Teams durchgeführt wurde, verwendet. Tabelle 8 zeigt die Wahrscheinlichkeiten erfolgreich zu blocken:

Tabelle 8: Blockwahrscheinlichkeiten – Herren Teams

	1)	2)	1) - 2)	3)	4) = 1) - 3)	5)	6) = 2) - 5)	4) - 6)
Kröger/Schön	20,69%	15,94%	4,75%	22,86%	-2,17%	15,54%	0,40%	-2,56%
Lucena/Dallhauser	19,64%	16,22%	3,43%	17,23%	2,41%	15,69%	0,53%	1,88%
Emanuel/Ricardo	14,04%	10,87%	3,17%	14,56%	-0,53%	6,45%	4,42%	-4,95%
Arkaev/Barsouk	5,63%	15,07%	-9,43%	8,11%	-2,47%	16,58%	-1,51%	-0,97%
Gibb/Metzger	19,15%	12,07%	7,08%	15,55%	3,60%	10,64%	1,43%	2,17%
Benjamin/Harley	18,52%	9,84%	8,68%	18,58%	-0,06%	11,78%	-1,95%	1,89%

1) Erfolgswahrscheinlichkeit des Blockes des jeweiligen Teams
2) Erfolgswahrscheinlichkeit des Blockes durch die jeweiligen gegnerischen Teams
3) Wert des Spiels hinsichtlich der Blöcke des jeweiligen Teams
5) Wert des Spiels hinsichtlich der Blöcke der jeweiligen gegnerischen Teams

Kröger und Schön sind ihren Gegnern um 4,75% in den erfolgreichen Blöcken überlegen. Sie können durch ihr Abwehrverhalten in 20,69% der Fälle einen unmittelbaren Punktverlust verhindern, während dies ihren Gegnern nur in 15,9% der Fälle gelingt. Allerdings zeigen sie dennoch kein optimales Abwehrverhalten, da sie ihre Erfolgsquote auf 22,86% steigern könnten. Sie verlieren deshalb einen möglichen Nutzen in Höhe von 2,17%. Ihre Gegner hingegen spielen annähernd die optimale gemischte Strategie. Abbildung 55 zeigt die graphische Aufarbeitung der Tabelle 8:

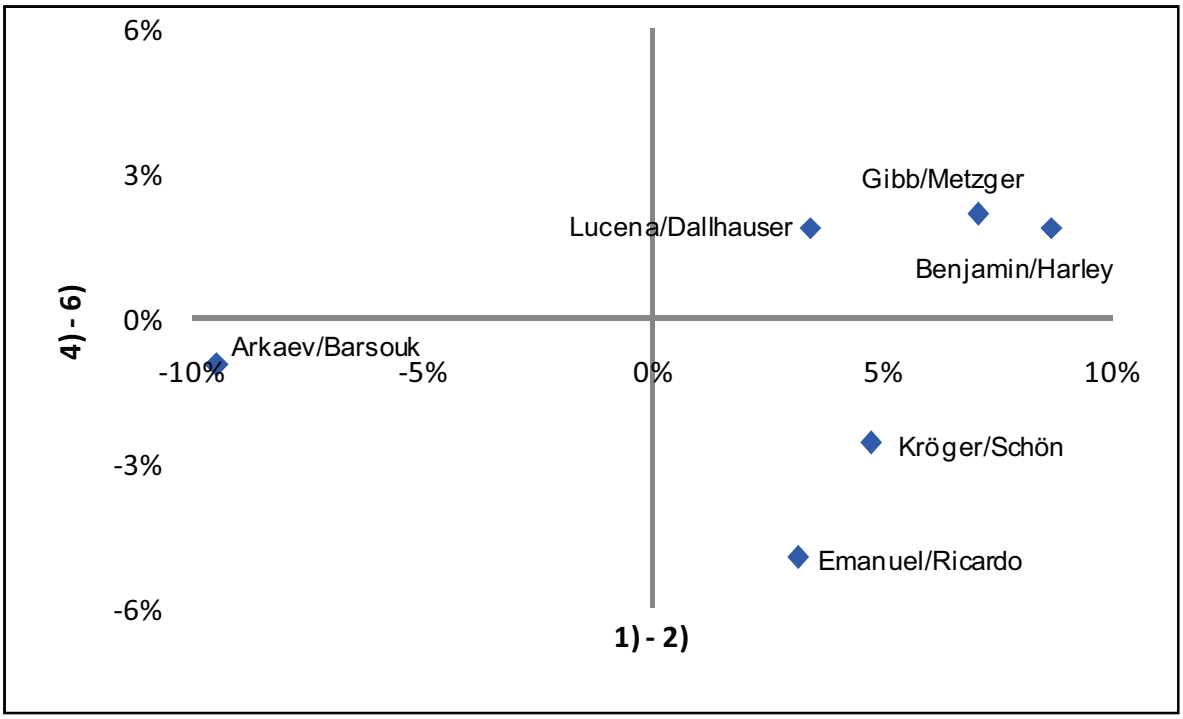

Abbildung 55: Teamcharakteristikum Block – Herren Teams

Das Team Arkaev/Barsouk ist als einziges der hier analysierten Mannschaften seinen Kontrahenten unterlegen, weshalb es auf dem negativen Ast der x-Achse liegt. Bezüglich der optimalen gemischten Strategien lässt sich sagen, dass weder das Team Arkeaev/Barsouk noch deren Kontrahenten sich dementsprechend verhalten, sodass sich die entgangen Nutzen beinahe ausgleichen. Dies gilt auch für die weiteren Teams, die unter der x-Achse liegen (Kröger/Schön und Emanuel/Ricardo).

Ebenso wie für die Erfolgsquote des Abwehrverhaltens wurde die Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Punktgewinns aus dem ersten Angriff berechnet. Tabelle 9 zeigt die korrespondierenden Erfolgsquoten und die Werte des Spieles:

Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Punktgewinns – Herren Teams

	1)	2)	1) - 2)	3)	4) = 1) - 3)	5)	6) = 2) - 5)	4) - 6)
Kröger/Schön	48,48%	62,30%	-13,81%	47,06%	1,42%	69,17%	-6,88%	8,30%
Lucena/Dallhauser	60,83%	55,46%	5,37%	60,00%	0,83%	42,86%	12,60%	-11,77%
Emanuel/Ricardo	74,47%	54,10%	20,37%	77,78%	-3,31%	53,45%	0,65%	-3,96%
Arkaev/Barsouk	54,67%	77,03%	-22,36%	52,17%	2,49%	84,62%	-7,59%	10,09%
Gibb/Metzger	66,67%	58,33%	8,33%	66,67%	0,00%	60,00%	-1,67%	1,66%
Benjamin/Harley	65,63%	55,37%	10,25%	67,11%	-1,49%	58,33%	-2,96%	1,47%

1) Erfolgswahrscheinlichkeit des ersten Angriffes des jeweiligen Teams
2) Erfolgswahrscheinlichkeit des ersten Angriffes der jeweiligen gegnerischen Teams
3) Wert des Spiels hinsichtlich der ersten Angriffe des jeweiligen Teams

5) Wert des Spiels hinsichtlich der ersten Angriffe der jeweiligen gegnerischen Teams

Lucena und Dallhauser gewinnen um 5,37% öfter als ihre Gegner einen unmittelbaren Punkt aus dem ersten Angriff. Sie zeigen auch ein annähernd optimales Verhalten hinsichtlich ihrer eigenen Angriffsverteilung, allerdings können ihre Gegner 12,60% in der Erfolgsquote dazugewinnen. Der Grund ist, dass Lucena und Dallhauser ein nicht-optimales Reagieren auf die Angriffe von ihren Gegnern zeigen, und ihre Gegner dies auszunützen wissen.

Das Angriffsverhalten der Herren Teams ist in der nachfolgenden Abbildung graphisch aufbereitet:

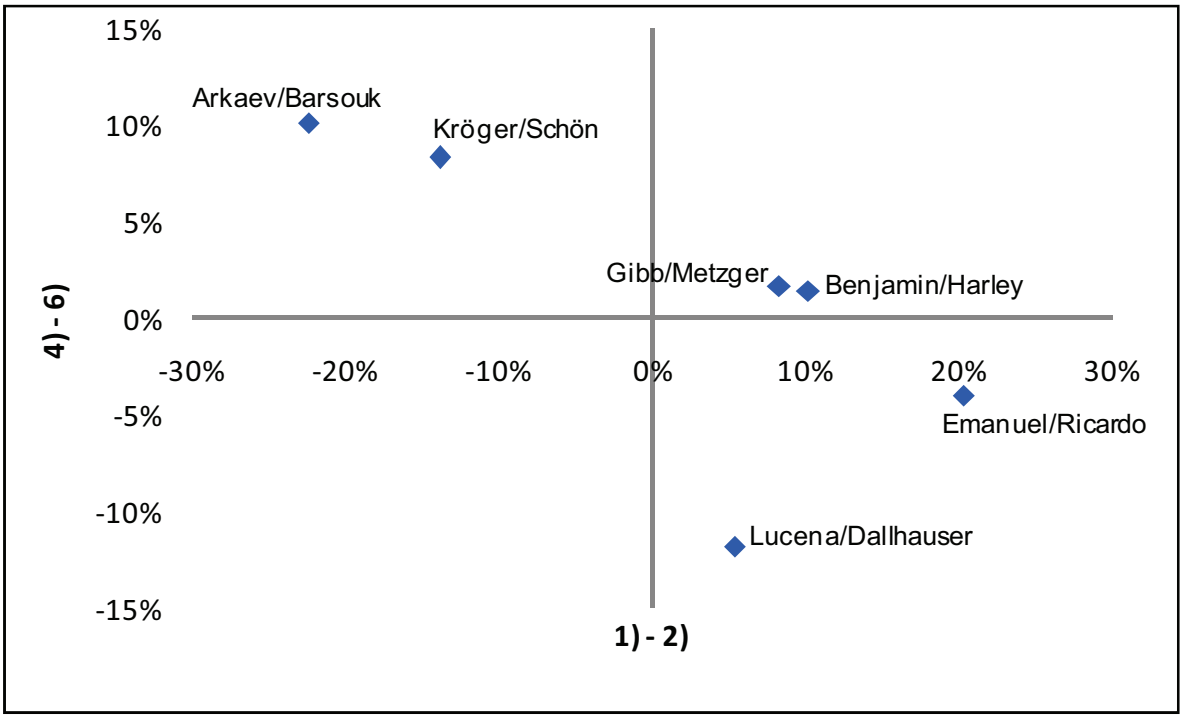

Abbildung 56: Teamcharakteristikum Angriff – Herren Teams

Die Teams Arkaev/Barsouk und Kröger/Schön sind im Gegensatz zu den weiteren untersuchten Teams ihren Gegnern unterlegen, sie können allerdings, wie auch die beiden Teams Gibb/Metzger und Benjamin/Harley, die nicht-optimale Verteilung des gegnerischen Verhaltens ausnützen.

Wie bei den Damen beziehen sich die Auswertungen lediglich auf die wenigen analysierten Spiele dieser Mannschaften, weshalb keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden können.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war, bereits in der Literatur bestehende Anwendungen der Spieltheorie auf Sportspiele darzustellen und anhand von selbst durchgeführten Beispielen die Anwendbarkeit und Durchführbarkeit des Konzeptes des Nash-Gleichgewichtes bzw. des Minimax-Konzeptes zu testen und den Interpretationsgehalt kritisch zu würdigen.

Der Großteil der in der Literatur bestehenden Untersuchungen zum Thema Sportspiel und Spieltheorie wurden am Beispiel des Elfmeters im Fußball durchgeführt. Das Ziel war dabei weniger Ableitungen für die Theorie und Praxis des Sportspiels an sich zu erhalten, sondern die Rationalität von Entscheidungsträgern zu untersuchen. Der Elfmeter bot dabei ein einzigartiges Forschungsfeld außerhalb des Labors, da diese Situation die wesentlichen Voraussetzungen dafür mit sich bringt. Die Akteure sind hochmotiviert und besitzen ausreichend Erfahrung mit derartigen Situationen. Mizrahi, Mehrez und Friedman (2006, S. 257) bestätigen dies generell für sportliche Wettkämpfe: „Sport competitions provide an excellent field for game theoretical analyses of interactions between a small number of people." Die Spieltheorie ist damit ein wirksames Instrument, um menschliches Verhalten – unter anderem in Sportspielsituationen – zu analysieren. Die Ergebnisse dieser Studien bestätigten für den Elfmeter ein rationales Verhalten der Akteure. Die Schützen und Torhüter verhalten sich daher gemäß den optimalen Strategien des Nash-Gleichgewichts und sie wählen ihre Entscheidungen seriell unabhängig, sodass der gegnerische Spieler kein Muster im Verhalten erkennen kann.

Das Sportspiel an sich besitzt Eigenschaften, die für eine spieltheoretische Analyse unumgänglich sind. Dazu zählen vor allem die Interaktion mit dem Gegner, die das Ergebnis beeinflusst und das Repertoire an unterschiedlichen Strategien bzw. Verhaltensweisen, die dem Kontrahenten entgegengebracht werden können. Bei Anwendung der Spieltheorie auf die Sportwissenschaft, im Besonderen auf Sportspiele, können Aspekte des Wettkampfsportes vor allem aus einer strategischen und einer psychologischen Sicht heraus verstanden werden. Es wird das Sportspiel daher eher von einer Meta-Ebene analysiert, die Ableitung von Trainingsmaßnahmen erfolgt indirekt. Die Anwendung der Spieltheorie auf Sportspiele dient somit nicht so sehr der Trainingswissenschaft oder der Sportmedizin, sondern eher der Disziplin der Theorie des Sportspiels und der Sportpsychologie. Lames (1994, S. 125) führt zur Bedeutung der Sportspielanalyse für die Sportpsychologie folgendes aus:

> „Für die Sportpsychologie ist das Sportspielverhalten als solches von Bedeutung. Von Antizipations- und Reaktionsleistungen über Entscheidungsverhalten bis hin zum

> Problemlösehandeln findet man im Sportspiel viele Facetten menschlichen Handelns vereint. Es wäre sicher attraktiv, dieses Handeln in der für einen Sportler relevantesten Situation, dem Wettkampf zu erforschen. […] Auch für den praktischen, intervenierenden Zweig der Sportspsychologie stellt die Systematische Spielbeobachtung ein wichtiges Mittel zur Rückmeldung der Wirksamkeit von Interventionen dar. Diese Rückmeldungen haben den Vorteil, unmittelbar aus dem angesteuerten Bereich, dem Wettkampfverhalten, zu stammen.“

Für die in diesem Zitat angesprochene Erforschung des Entscheidungsverhaltens stellt die Spieltheorie ein geeignetes Instrumentarium dar.

Im Anwendungsbeispiel des Elfmeters standen die Voraussetzungen für die Spieltheorie und das optimale Verhalten der Entscheidungsträger im Mittelpunkt. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Spieler bei einem Strategieraum von jeweils zwei Strategien (natürliche Seite, nicht natürliche Seite) optimal verhalten. Wurden die länderspezifischen Elfmeter dem Nash-Gleichgewicht zugrunde gelegt, so zeigten sich Abweichung von zumindest einem der beiden Akteure. Hierbei muss allerdings angemerkt werden, dass dabei die Datengrundlage eher spärlich ausfiel, wodurch Interpretation dieser Abweichungen nicht zuverlässig erscheint. Bei Betrachtung des Elfmeters mit jeweils drei Strategien (natürliche Seite, Mitte, nicht natürliche Seite) zeigt sich, dass beide Spieler nicht nach den optimalen gemischten Strategien handeln. Sowohl der Torhüter als auch der Spieler wählen zu selten die Option „Mitte“.

Der Fokus im zweiten Anwendungsbeispiel – der erste Angriff im Beachvolleyball – lag auf der seriellen Unabhängigkeit der Entscheidungswahl und auf der Positionierung der analysierten Teams zueinander. Das seriell unabhängige Handeln konnte bestätigt werden. Durch die tabellarische und graphische Aufbereitung der Vorteile und der Fähigkeiten der Teams zueinander, konnte die relative Positionierung der Mannschaften aufgezeigt werden. Dies eignet sich insbesondere für Mannschaften, die in der gleichen Liga spielen. Hierbei lässt sich der entgangene bzw. ausgenützte Gewinn durch eine nicht optimale Verteilung der Strategien der eigenen Mannschaft bzw. des Gegners mithilfe der Spieltheorie berechnen.

Kritisch kann betrachtet werden, dass sich die Spieltheorie – nicht nur in der Anwendung auf Sportspiele – häufig auf historische Daten bezieht bzw. beziehen muss. Leininger und Ockenfels (2008, S. 23) ziehen dazu folgende Schlussfolgerung: „ While game theory may capture the consequences of institutional change created by innovators such as Neeskens and Panenka […], it cannot easily promote creativity in institutional design, because it must start with a description of all available strategies”. Kreps (1991, zit.n. Palacios-Huerta, 2003, S. 395) wirft demgegenüber allerdings ein, dass „studying the former should aim at understanding the latter.“

Es erscheint jedenfalls sinnvoll eine angemessen große Datenmenge für die Berechnung der optimalen Strategien heranzuziehen, allerdings muss auch beachtet werden, dass sich die Verteilungen der Strategien über die Zeit hinweg ändern, weshalb weit zurückliegende Daten eher nicht in die Berechnung Eingang finden sollten. Hier gilt es ein geeignetes Verhältnis zu finden.

Die Spieltheorie eignet sich insbesondere für die Analyse von Sportspielen aus einer übergeordneten Sichtweise. Die Anwendung der Spieltheorie in der Sportspielanalyse bietet eine Vielzahl von interessanten Fragestellungen für zukünftige Arbeiten. Sportspiele sind mit Situationen, die eine Anwendbarkeit der Spieltheorie möglich machen, geradezu übersät. Zum einen lässt sich die Rationalität von Sportlern in anderen Situationen überprüfen, andererseits wäre auch die Analyse der sich im Zeitablauf veränderten optimalen Strategien interessant.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auszahlungsmatrix des Gefangenendilemmas (vgl. Sieg, 2000, S. 3) 11
Abbildung 2: Auszahlungsmatrix eines Nullsummenspiels (in Anlehnung an Basieux, 2008, S. 67) 13
Abbildung 3: Auszahlungsmatrix, die zu einem Nash-Gleichgewicht führt 16
Abbildung 4: Wechselseitig beste Antworten aus Sicht des Spielers 1 (Zeilenspieler) 16
Abbildung 5: Wechselseitig beste Antworten aus Sicht des Spielers 2 (Spaltenspieler) 17
Abbildung 6: Zusammengefügte Matrix der wechselseitig besten Antworten 17
Abbildung 7: Auszahlungsmatrix Schwarzfahrer-Spiel 18
Abbildung 8: Cohen's Kappa für den Schussfuß 39
Abbildung 9: Cohen's Kappa für die Schussrichtung 40
Abbildung 10: Cohen's Kappa für die Aktion des Torhüters 40
Abbildung 11: Auszahlungsmatrix Elfmeter 42
Abbildung 12: Auszahlungsmatrix in Trefferwahrscheinlichkeiten 43
Abbildung 13: Kreuztabelle der 289 Elfmeter bei jeweils zwei Strategien (Europa-Mix 09/10) 46
Abbildung 14: Korrelation zwischen Schuss- und Abwehrverhalten(2x2 Matrix) 47
Abbildung 15: Trefferwahrscheinlichkeiten 47
Abbildung 16: Schussverteilung in absoluten Zahlen 48
Abbildung 17: Optimale gemischte Strategien – 2 Strategien (Europa-Mix 09/10) 48
Abbildung 18: Erwartete Anzahl Schüsse – 2 Strategien (Europamix 09/10) 49
Abbildung 19: Chi-Quadrat Test optimale Schussverteilung 2 Strategien (Europa-Mix 09/10) 49
Abbildung 20: Erwartete Anzahl Abwehr – 2 Strategien (Europa-Mix 09/10) 50
Abbildung 21: Chi-Quadrat Test optimales Abwehrverhalten 2 Strategien (Europa-Mix 09/10) 50
Abbildung 22: Kreuztabelle der 289 Elfmeter bei jeweils drei Strategien (Europa-Mix 09/10) 51
Abbildung 23: Korrelation zwischen Schuss- und Abwehrverhalten (3x3 Matrix) 51
Abbildung 24: Trefferwahrscheinlichkeiten 52
Abbildung 25: Schussverteilung in absoluten Zahlen 52
Abbildung 26: Optimale gemischte Strategien – 3 Strategien (Europa-Mix 09/10) 52
Abbildung 27: Erwartete Anzahl Schüsse – 3 Strategien (Europa-Mix 09/10) 53
Abbildung 28: Chi-Quadrat Test optimale Schussverteilung 3 Strategien (Europa-Mix 09/10) 53
Abbildung 29: Beobachtetes Schuss- und Abwehrverhalten in Prozent 53
Abbildung 30: Erwartete Anzahl Abwehr – 3 Strategien (Europa-Mix 09/10) 54
Abbildung 31: Chi-Quadrat Test optimales Abwehrverhalten 3 Strategien (Europa-Mix 09/10) 54
Abbildung 32: Optimale gemischte Strategien (AUT 09/10) 56
Abbildung 33: Erwartete Anzahl Schüsse AUT 09/10 (AUT 09/10) 56
Abbildung 34: Chi-Quadrat Test optimale Schussverteilung AUT 09/10 (AUT 09/10) 57
Abbildung 35: Erwartete Anzahl Abwehr AUT 09/10 (AUT 09/10) 57
Abbildung 36: Chi-Quadrat Test optimales Abwehrverhalten AUT 09/10 (AUT 09/10) 57
Abbildung 37: Cohen's Kappa für die Angriffsart 65
Abbildung 38: Cohen's Kappa für die Blockart 65
Abbildung 39: Cohen's Kappa für 'Geblockt?' 65
Abbildung 40: Cohen's Kappa für 'Unmittelbarer Punktgewinn (Angreifer)?' 65
Abbildung 41: Korrelation zwischen der Angriffs- und der Blockrichtung 66
Abbildung 42: Sequenztest Angriff Team 1-6 68
Abbildung 43: Sequenztest Angriff Team 7-12 68
Abbildung 44: Sequenztest Abwehr Team 1-6 68
Abbildung 45: Sequenztest Abwehr Team 7-12 69
Abbildung 46: Verteilung der Strategien – Damen Teams 69
Abbildung 47: Punktwahrscheinlichkeiten – Damen Teams 70
Abbildung 48: Optimale Strategien – Damen Spiele 70
Abbildung 49: Verteilung der Strategien – Herren Teams 71
Abbildung 50: Punktwahrscheinlichkeiten – Herren Teams 71
Abbildung 51: Optimale Strategien - Herren Teams 72
Abbildung 52: Optimale Strategie – Herren Teams (ohne "ohne Block") 73
Abbildung 53: Teamcharakteristikum Block – Damen Teams 75
Abbildung 54: Teamcharakteristikum Angriff – Damen Teams 76
Abbildung 55: Teamcharakteristikum Block – Herren Teams 78
Abbildung 56: Teamcharakteristikum Angriff – Herren Teams 79

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich Nash- und Minimax-Konzept 19
Tabelle 2: Verteilung der Elfmeter auf die einzelnen Ligen 38
Tabelle 3: Richtwerte für Cohen's Kappa 40
Tabelle 4: Übersicht der länderspezifischen Analysen 60
Tabelle 5: Daten zur Testung der seriellen Unabhängigkeit 67
Tabelle 6: Blockwahrscheinlichkeiten – Damen Teams 73
Tabelle 7: Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Punktgewinns – Damen Teams 75
Tabelle 8: Blockwahrscheinlichkeiten – Herren Teams 77
Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit des unmittelbaren Punktgewinns – Herren Teams 78

9 Literaturverzeichnis

Ableitinger, C.,Humenberger, H. (2010). Nash-Gleichgewicht und Minimax-Lösung – Gegenüberstellung zweier Konzepte der Spieltheorie. Mathematica didactica, 33, 58-77.

Ahmann, J. (2004). Beach-Volleyball-Taktik für Gewinner. Stuttgart: Neuer Sportverlag.

Bar-Eli, M., Azar, O., Keidar-Levin, Y., Ritov, I., Schein, G. (2007). Action bias among elite soccer goalkeepers: The case of penalty kicks. Journal of Economic Psychology, 28, 606-621.

Barron, E. (2008). Game Theory. An Introduction. Hoboken: Wiley.

Basieux, P. (2008). Die Welt als Spiel. Spieltheorie in Gesellschaft, Wirtschaft und Natur. Reinbek: Rowohlt.

Baumann, F., Friehe, T., Wedow, M. (2008).General Ability and Predictability: Evidence from Penalty Kicks in Soccer. Aufgerufen unter: http://ssrn.com/abstract=1314787 am 16.05.2010.

Binmore, K. (1996). Introduction. In: Nash, J. (1996). Essays on Game Theory. Cheltenham: Edward Elgar.

Brown, J., Rosenthal, R. (1990). Testing Minimax Hypothesis: A Re-Examination of O'Neill's Game Experiment. Econometrica, 58 (5), 1065-1081.

Camerer, C., Loewenstein, G., Prelec, D. (2005). Neuroeconomics: How Neuroscience Can Inform Economics. Journal of Economic Literature, 43, 9-64.

Chiappori, P., Groseclose, T., Levitt, S. (2002).Testing Mixed-Strategy Equilibria When Players Are Heterogenous: The Case of Penalty Kicks in Soccer. The American Economic Review, 92 (4), 1138-1151.

Coloma, G. (2007). Penalty kicks in soccer: an alternative methodology for testing mixed-strategy equilibria. Journal of Sports Economics, 8, 530-545.

Diekmann, A. (2009). Spieltheorie. Einführung, Beispiele, Experimente. Reinbek: Rowohlt.

Grouven, U., Bender, R., Ziegler, A., Lange, S. (2007). Der Kappa-Koeffizient. Deutsche Medizinische Wochenschrift, 132, e65-e68. Aufgerufen unter http://rbsd.de/PDF/DMW/DMW-2007-S1-23.pdf am 28.08.2010.

Handke, P. (1970). Die Angst des Tormanns beim Elfmeter. Frankfurt/M: Suhrkamp.

Hansen, G., Lames, M. (2001). Die qualitative Spielbeobachtung. Leistungssport, 31 (1), 63-70.

Hansen, G. (2003). Qualitative Spielbeobachtung. Methodologie, Konzeption und Implementation einer alternativen Spielbeobachtungsmethode am Beispiel Beachvolleyball. Köln: Strauß.

Hirotsu, N., Ito, M., Miyaji, C., Hamano, K., Taguchi, A. (2010). A Game Theoretic Analysis of Tactics in the Phase of Reception Attack in Volleyball. International Journal of Computer Science in Sport, 9 (1), 30-44.

Hohmann, A. (1985). Zur Struktur der komplexen Sportspielleistung. Ahrensburg: Czwalina.

Holler, M., Illing, G. (2003). *Einführung in die Spieltheorie.* Berlin: Springer.

Hsu S., Huang, C., Tang, C. (2007). Minimax Play at Wimbledon: Comment. The American Economic Review, 97 (1), 517-523.

Jacobsen, H. (1994). On the Foundations of Nash Equilibrium. Discussion Papers from Institute of Economics, University of Copenhagen.

Katzenberger, W. (2008). Operations Research Vertiefungskurs III: Nichtlineare Optimierung und Spieltheorie. Skript zur Vorlesung. Wirtschaftsuniversität Wien.

Koch, C., Stifter, S., Tilp, M., Ruppert, G., Hömberg, S. (2006). Digitale Spielanalyse im Beachvolleyball in den Klassen U18 und U21. In: Langolf, K., Roth, R. (Hrsg.). Volleyball 2005 – Beach-WM. Sportwissenschaft und Sportpraxis Band 146, Hamburg: Czwalina.

Kolb, M. (2005). Strukturen von Spiel und Sportspiel. In: Hohmann, A., Kolb, M., Roth, K. (Hrsg.). Handbuch Sportspiel. Schorndorf: Hofmann. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport. Band 147.

Kovash, K., Levitt, S. (2009). Professionals Do Not Play Minimax: Evidence From Major League Baseball And The National Football League. Working Paper No. 15347, National Bureau of Economic Research, Cambridge.

Lames, M. (1994). *Systematische Spielbeobachtung*. Münster: Philippka.

Lames, M., Perl, J. (2005). Sportspiel aus sportinformatischer Sicht. In: Hohmann, A., Kolb, M., Roth, K. (Hrsg.). *Handbuch Sportspiel*. Schorndorf: Hofmann.

Leininger, W., Ockenfels, A. (2008). The Penalty-Duel and Institutional Design. Is there a Neeskens-Effect?. CESifo Working Paper Series No. 2187; Ruhr Economic Paper No. 4. Aufgerufen unter http://ssrn.com/abstract=988698 am 30.06.2010.

Lienert, G., Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.

McKelvey, R., McLennan, A., Turocy, T. (2007). Gambit: Software Tools for Game Theory, Version 0.2007.01.30, Aufgerufen unter http://www.gambit-project.org am 20.03.2010.

Mizrahi, S., Mehrez, A., Friedman, L. (2006). Game theory and the sport sciences: setting an optimal threshold level in sport competitions. International Journal of Sport Management and Marketing, 1 (3), 2006, 255-262.

Morgenstern, O., von Neumann, J. (2004). *Theory of Games and Economic Behavior*. New Jersey: Princeton University Press.

Moschini, G. (2004). Nash equilibrium in strictly competitive games: live play in soccer. Economics Letters, 85, 365-371.

Nash, J. (1950). The Bargaining Problem.Econometrica, 18, S. 155-162. In: Nash, J. (1996). Essays on Game Theory. Cheltenham: Edward Elgar.

O'Neill, B. (1987). Nonmetric test of the minimax theory of two-person zerosum games. Proceedings of the National Academy of Sciences, 84, 2106-2109.

Palacios-Huerta, I. (2003). Professionals Play Minimax. The Review of Economic Studies, 70 (2), 395-415.

Palacios-Huerta, I., Volij, O. (2008). Experientia Docet: Professionals Play Minimax in Laboratory Experiments. Econometria, 76 (1), 71-115.

Regelwerk der FIFA, aufgerufen unter http://de.fifa.com/mm/document/affederation/generic/81/42/36/lawsofthegame_2010_11_d.pdf am 18.07.2010.

Rieck, C. (1993). *Spieltheorie. Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*. Wiesbaden: Gabler.

Romer, D. (2006). Do Firms Maximize? Evidence from Professional Football. Journal of Political Economy, 114 (2), 340-365.

Sieg, G. (2000). Spieltheorie. Wien: Oldenbourg.

Walker, M., Wooders, J. (2001).Minimax Play at Wimbledon. The American Economic Review, 91 (5), 1521-1538.

Willems, M. (1985). Zur Ermittlung von Nash-Gleichgewichtspunkten in nichtkooperativen N-Personen-Spielen mit Methoden der konvexen Optimierung unter besonderen Aspekten der Anwendung in den Wirtschaftswissenschaften. Universität Köln, Dissertation.

Stephan Vock
Gutensteinerstr. 3/2/4
2563 Pottenstein

Berufspraxis

Seit 04/2010

Konzerncontroller (Berndorf AG, Berndorf)

- Monatliches Berichtswesen, Analyse und Aufbereitung der Daten
- Konsolidierung von Budget und Quartalen
- Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Sitzungen und Präsentationen

08/2007 bis 03/2010

Assistent im Konzerncontrolling (Berndorf AG, Berndorf)

- Monatliches Berichtswesen

Ausbildung

2009-2011

Magisterstudium Sportwissenschaft an der Universität Wien

2004 bis 2009

Diplomstudium Betriebswirtschaftslehre an der WU Wien

- Thema der Diplomarbeit: „Cost of Capital Modelle: Möglichkeiten der Kapitalkostenschätzung unter Verwendung unternehmensextern verfügbarer Daten“
- Spezialisierungen: Integrierte Unternehmensrechnung, Operations Research

2005-2009

Bakkalaureatsstudium Sportmanagement an der Universität Wien

- Thema der 1. Bakkalaureatsarbeit: „Kontrollrechnungen bei Sportevents“
- Thema der 2. Bakkalaureatsarbeit: „Clusteranalyse von Angriffen im Fußball“

1996-2004

Bundesgymnasium Berndorf

1992-1996

Volksschule St. Veit an der Triesting

Fremdsprachen

Englisch: fließend

Französisch: Maturaniveau

Pottenstein, 01.01.2011