

Mag. Stefanie Hofer

# **Optimalität vs. Eingeschränktes Verhalten**

**Eine Analyse in dem Bereich der Experimentellen  
Wirtschaftsforschung**

**Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
einer Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften  
der Studienrichtung Financial and Industrial Management  
an der Karl-Franzens-Universität Graz

Univ.-Prof. Dr. Ulrike Leopold-Wildburger  
Institut für Statistik und Operations Research

Graz, Jänner 2010

## Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Datum:

Unterschrift:

## Danksagung

Während meines Studiums und beim Verfassen der vorliegenden Arbeit haben mich viele Personen begleitet und unterstützt. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken.

Einen besonderen Dank möchte ich an Frau Professor Dr. Ulrike Leopold-Wildburger für ihre Betreuung und Unterstützung auf fachlicher und menschlicher Ebene aussprechen.

Bedanken möchte ich mich auch, bei meinen Freunden und Kollegen, die mich in meiner Studienzeit begleitet haben und mit denen ich viele schöne Stunden verbracht habe.

Widmen möchte ich diese Arbeit meinen Eltern und meinem Bruder, die mir großes Vertrauen während meines gesamten Studiums entgegengebracht haben und mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1	ZIELSETZUNG .....	2
1.2	AUFBAU DER ARBEIT.....	4
<b>2</b>	<b>EXPERIMENTELLE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG</b> .....	<b>6</b>
2.1	BEDEUTUNG DER EXPERIMENTELLEN WIRTSCHAFTSFORSCHUNG .....	6
2.2	THEORIE DER BEWIRTSCHAFTUNG VON ALLMENDERESSOURCEN.....	7
2.3	EVOLUTIONSÖKONOMIK – EVOLUTIONÄRE SPIELTHEORIE.....	10
<b>3</b>	<b>DAS LOTKA-VOLTERRA MODELL</b> .....	<b>13</b>
3.1	EINFÜHRUNG IN DIE POPULATIONSDYNAMIK .....	13
3.2	DIFFERENTIALGLEICHUNGSSYSTEME .....	20
3.3	LOTKA-VOLTERRA GLEICHUNGSSYSTEM.....	22
<b>4</b>	<b>MODELL VON GOODWIN</b> .....	<b>33</b>
4.1	EINFÜHRUNG IN DAS GOODWIN-MODELL .....	33
4.2	GOODWIN- MODELL – GLEICHUNGSSYSTEM .....	35
4.3	KRITIK AM GOODWIN-MODELL – KRITISCHE WÜRDIGUNG .....	39
<b>5</b>	<b>EINFÜHRUNG IN DIE VERHALTENSFORSCHUNG</b> .....	<b>40</b>
5.1	DIE KLASSISCHE ETHOLOGISCHE INSTINKTFORSCHUNG.....	40
5.2	VERHALTENSBIOLOGIE.....	42
5.3	ENTSCHEIDUNGSFORSCHUNG .....	45
5.3.1	<i>WAS SIND „GUTE“ ENTSCHEIDUNGEN?</i> .....	48
5.3.2	<i>KOMPONENTEN DES INFORMATIONSVERARBEITUNGSSYSTEMS</i> .....	49
5.3.3	<i>DIE ENTSCHEIDUNG</i> .....	57
<b>6</b>	<b>RÄUBER-BEUTE EXPERIMENT</b> .....	<b>61</b>
6.1	BESCHREIBUNG DES RÄUBER-BEUTE EXPERIMENTS.....	61
6.2	EXPERIMENTABLAUF .....	63
6.3	PREISKONSTELLATIONEN IM EXPERIMENT .....	66
6.4	STRATEGIEAUSRICHTUNG .....	69

<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE DES RÄUBER-BEUTE EXPERIMENTS .....</b>	<b>71</b>
7.1	INDIVIDUALANALYSE.....	71
7.1.1	<i>BESTANDSENTWICKLUNG BEI OPTIMALSTRATEGIE .....</i>	<i>72</i>
7.1.2	<i>ANALYSE DER VERSION 1 – PREISKONSTELLATION 5/1.....</i>	<i>75</i>
7.1.3	<i>VERSION 1: SPIELANALYSE DES ERSTPLATZIERTEN .....</i>	<i>77</i>
7.1.4	<i>ANALYSE DER VERSION 2 – PREISKONSTELLATION 4/1.....</i>	<i>79</i>
7.1.5	<i>VERSION 2: SPIELANALYSE DES ERSTPLATZIERTEN .....</i>	<i>81</i>
7.1.6	<i>ANALYSE DER VERSION 3 – PREISKONSTELLATION 5/2.....</i>	<i>83</i>
7.1.7	<i>VERSION 3: SPIELANALYSE DES ERSTPLATZIERTEN .....</i>	<i>85</i>
7.2	ERGEBNISANALYSE.....	88
7.2.1	<i>AUSWERTUNG DES HPI.....</i>	<i>91</i>
7.2.2	<i>ÜBERSICHT DER EINGRIFFKOMBINATIONEN.....</i>	<i>92</i>
<b>8</b>	<b>SCHLUSSBEMERKUNG .....</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>98</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>101</b>

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: STRUKTUR DES RÄUBER-BEUTE EXPERIMENTS.....	3
ABBILDUNG 2: LOGISTISCHES WACHSTUM EINER POPULATION.....	16
ABBILDUNG 3: PREY-PREDATOR DYNAMIK.....	27
ABBILDUNG 4: RÄUBER-BEUTE WECHSELBEZIEHUNG.....	29
ABBILDUNG 5: RÄUBER – BEUTE OSZILLATIONEN IM ZEITABLAUF .....	30
ABBILDUNG 6: PHASENDIAGRAMM GOODWIN – MODELL .....	38
ABBILDUNG 7: INFORMATIONSVERRARBEITUNGSMODELL IM ENTSCHEIDUNGSPROZESS ..	47
ABBILDUNG 8: RÄUBER- BEUTE EXPERIMENTAUFBAU.....	63
ABBILDUNG 9: BESTANDSENTWICKLUNG BEI OPTIMALSTRATEGIE .....	73
ABBILDUNG 10: BESTANDSENTWICKLUNG BEI BESTSTRATEGIE IN VERSION 1.....	74
ABBILDUNG 11: BESTANDSENTWICKLUNG BEI SCHLECHTER STRATEGIE IN VERSION 3..	74
ABBILDUNG 12: PROFILBOGEN 1 BASIEREND AUF DER AUSWERTUNG DES HPI.....	79
ABBILDUNG 13: PROFILBOGEN 2 BASIEREND AUF DER AUSWERTUNG DES HPI.....	83
ABBILDUNG 14: PROFILBOGEN 3 BASIEREND AUF DER AUSWERTUNG DES HPI.....	87
ABBILDUNG 15: BESTSPIELE DER EXPERIMENTTEILNEHMER IN VERSION 1 .....	88
ABBILDUNG 16: BESTSPIELE DER EXPERIMENTTEILNEHMER IN VERSION 2 .....	89
ABBILDUNG 17: BESTSPIELE DER EXPERIMENTTEILNEHMER IN VERSION 3.....	90
ABBILDUNG 18: KOMBINATIONEN MÖGLICHER EINGRIFFE: OPTIMALLÖSUNG UND SUBOPTIMALE LÖSUNGEN.....	94
ABBILDUNG 19: BEVORZUGUNG DES BEUTEFOKUS.....	95

## FORMELVERZEICHNIS

FORMEL 1: ÄNDERUNG DER POPULATIONSGRÖÙE IN EINEM ISOLIERTEN SYSTEM OHNE RÜCKWIRKUNG .....	18
FORMEL 2: ÄNDERUNG DER POPULATIONSGRÖÙE IN EINEM ISOLIERTEN SYSTEM MIT RÜCKWIRKUNG .....	19
FORMEL 3: LOGISTISCHES WACHSTUM EINER POPULATIONSDICHTE.....	20
FORMEL 4: KONSTANTE LÖSUNGEN = GLEICHGEWICHTSPUNKTE .....	25
FORMEL 5: INVARIANTEN DER BEWEGUNG – 1. INTEGRAL .....	26
FORMEL 6: 2. UND 3. LOTKA-VOLTERRA GESETZ .....	31
FORMEL 7: MODELL VON GOODWIN.....	37

# TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: VERGLEICH DER PARAMETER ZWISCHEN DEN MODELLEN VON LOTKA - VOLTERRA UND GOODWIN .....	35
TABELLE 2: PARAMETER IM GOODWIN-MODELL .....	36
TABELLE 3: PREISKONSTELLATIONEN DES EXPERIMENTS .....	67
TABELLE 4: OPTIMALE JAGDMENGEN FÜR ALLE DREI PREISKONSTELLATIONEN .....	68
TABELLE 5: JAGDMENGEN UND PERIODENERTRÄGE IN DER STABILITÄTSPHASE .....	69
TABELLE 6: AUSGEWERTETE DATEN DER VERSION 1 ( PREISKONSTELLATION 5/1): ERGEBNISSE DER STABILITÄTSPHASE.....	76
TABELLE 7: AUSGEWERTETE DATEN DER VERSION 2 ( PREISKONSTELLATION 4/1): ERGEBNISSE DER STABILITÄTSPHASE.....	80
TABELLE 8: AUSGEWERTETE DATEN DER VERSION 3 (PREISKONSTELLATION 5/2): ERGEBNISSE DER STABILITÄTSPHASE.....	84
TABELLE 9: AUSWERTUNG DER DATEN DES HPI.....	91
TABELLE 10: GESAMTÜBERSICHT DER EINGRIFFSKOMBINATIONEN IM RÄUBER - BEUTE EXPERIMENT.....	93



# 1 EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit aus dem Bereich der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften bedient sich der Experimentellen Wirtschaftsforschung um Erkenntnisse über das menschliche Verhalten in der Ökonomie zu gewinnen.

Die Experimentelle Wirtschaftsforschung kann, hervorgehoben durch die Wirtschaftsnobelpreise 1994 für Reinhard Selten, John Nash und John Harsanyi, 2002 für Daniel Kahneman und Vernon Smith, 2005 für Robert Aumann und Thomas Schelling, sowie 2009 für Elinor Ostrom, zu einer viel versprechenden Forschungsinstitution gezählt werden.<sup>1</sup> Anhand kontrollierter Laborexperimente werden die Versuchsteilnehmer vor diverse Entscheidungen gestellt, welche dokumentiert und in weiterer Folge analysiert werden. Als langfristiges Ziel gilt es mögliche Prognosen des Entscheidungsverhaltens der Teilnehmer aufzustellen. Das Prognostizieren menschlichen Verhaltens, wie auch aus aktuellem Anlass in der Finanzkrise ersichtlich, vor allem in der Wirtschaftswissenschaft von enorm großer Bedeutung.

Eine empirische Untersuchung als Beweis der Theorie ist grundsätzlich möglich, kann aber nur in einem kleinen Stichprobenumfang durchgeführt werden. Es kann auch bei sehr großen Untersuchungen keine Gleichartigkeit garantiert werden. Auf der anderen Seite ist es mit einer rein theoretischen Behandlung nicht möglich die Interdependenzen nachzuvollziehen und zu überprüfen. Als Methode der Experimentellen Wirtschaftsforschung dienen die Laborexperimente, in denen komplexe Situationen durch Modelle nachgebildet werden. Komplexe Systeme werden dadurch definiert, dass ihre Variablen in Interaktion und gegenseitiger Abhängigkeit zueinander

stehen. Mit ausreichendem Stichprobenumfang und kontrollierbaren externen Einflüssen können solche Situationen analysiert werden.

Es wird beobachtet und analysiert wie Menschen mit komplexen Systemen umgehen. Um ein komplexes System zu bekommen, müssen zunächst die Zusammenhänge und Interdependenzen erkannt werden, wie schon Dietrich Dörner dazu schrieb: „In einer Welt von interagierenden Teilsystemen muss man in interagierende Teilsysteme denken, wenn man Erfolg haben will.“<sup>2</sup> Ein komplexes Modell, wie jenes der Räuber-Beute Beziehung, welches im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht, dient als theoretisches Modell der Basis für die empirische Beschreibung von Zusammenhängen. Der Simulationszweck auf der anderen Seite soll eine bestmögliche Abbildung von Zustand und Verhalten eines Systems erzielen.

## 1.1 ZIELSETZUNG

Als Grundlage des in dieser Arbeit verwendeten Simulationsmodells dient das Lotka-Volterra Gleichungssystem, welches die Dynamik der Räuber-Beute Beziehung beschreibt. Mit Hilfe des mathematischen Modells der Differentialgleichungen werden die dynamischen Eigenschaften und die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Räuber- und Beutepopulationen dargestellt. Durch Implementierung dieses Differentialgleichungssystems in eine Software wird die Durchführung von Laborexperimenten, in denen die Teilnehmer die Steuerung dieses komplexen Systems übernehmen, ermöglicht. Mit dem Lotka-Volterra Gleichungssystem kann erstmals der quantitative Aspekt der Populationsentwicklung unter interspezifischer Konkurrenz in Zeitabhängigkeit dargestellt werden.

---

<sup>1</sup> Vgl. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/index.html\\_3.12.09](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/index.html_3.12.09)

<sup>2</sup> Dörner (1997) S.13.

In weiterer Folge ist es das Ziel dieser Arbeit das Verhalten von Menschen in solchen Situationen zu beobachten und zu analysieren. Die daraus resultierende Erkenntnis soll als Basis dienen um Verhaltensstrukturen der Menschen prognostizieren zu können. Die Experimentelle Wirtschaftsforschung versucht Zusammenhänge zwischen den getroffenen Entscheidungen der Menschen und ihrer Persönlichkeit herzustellen.

Eine Erfassung dieser beiden Größen erfolgt einerseits mittels des Simulationsmodells im Labor, wo erfasst wird, ob der Teilnehmer in der Lage ist die Situation zu steuern, und vor allem welche Strategie dabei verwendet wird. Auf der anderen Seite wird die Persönlichkeitsstruktur situationsunabhängig mittels des Hamburger Persönlichkeitsinventars gemessen. Um das Verhalten mit der Leistung in komplexen Situationen in Zusammenhang zu bringen, werden weiters noch die Überlegungen auf die konkrete Modellierung des Systems bezogen, erfasst. Mit Hilfe eines Fragebogens, bezogen auf das Räuber-Beute Experiment, wird die Entscheidungsstrategie ermittelt. In Abbildung 1 werden der Zusammenhang und die Struktur des im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Experiments dargestellt.

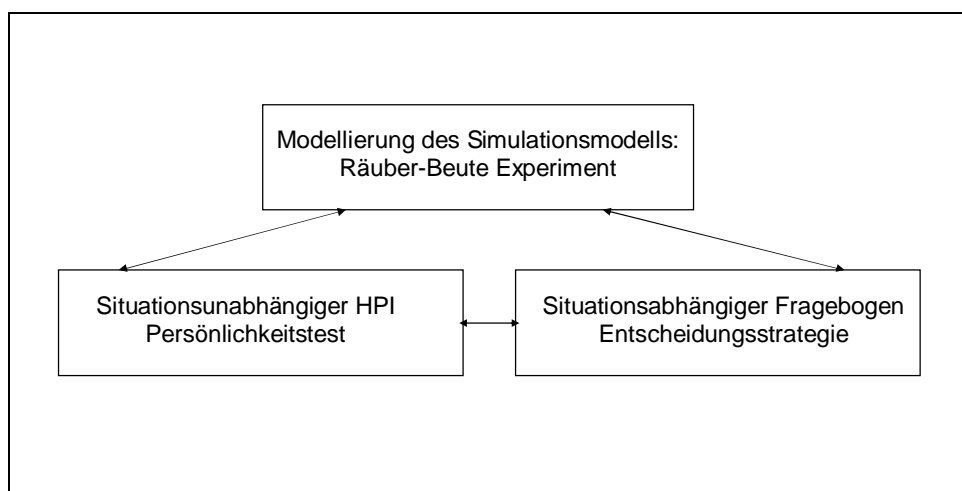


Abbildung 1: Struktur des Räuber-Beute Experiments

Im Konkreten wurde in dieser Arbeit das Verhalten in Entscheidungssituationen des Individuums in komplexen Situationen analysiert, welches mit Hilfe des Experiments untersucht wurde. Die Forschungsfrage behandelt, die Verführung des Individuums sein Augenmerk auf die Beutepopulation zu legen und eine Vernachlässigung des Räuberfokus im durchgeführten Experiment zu betreiben.

## 1.2 AUFBAU DER ARBEIT

Als Einstieg gibt Kapitel 2 einen kleinen Überblick über das Thema der Experimentellen Wirtschaftsforschung. Die Bedeutung der Experimentellen Wirtschaftsforschung wird beschrieben, sowie ein Exkurs über die erste Wirtschaftsnobelpreisträgerin Elinor Ostrom, die sich mit der sinnvollen Bewirtschaftung von Gemeineigentum beschäftigt hat, gemacht. Im Folgenden wird auf die Evolutionsökonomie eingegangen. Um das notwendige Hintergrundwissen zu vermitteln, behandelt Kapitel 3 die Populationsdynamik und gibt weiters eine Einführung in das Differentialgleichungssystem als Basis für das Lotka-Volterra Gleichungssystem. In Kapitel 4 wird Richard Goodwin's Anwendung der Räuber-Beute Beziehung in der Ökonomie präsentiert. Das Wirtschaftsmodell von Goodwin basiert auf den zwei Komponenten der Beschäftigungs- und Lohnquote.

In Kapitel 5 wird die Verhaltensforschung behandelt, welche sich mit der Frage, wie Individuen Entscheidungen treffen, beschäftigt. In den Kapiteln 6 und 7 der Arbeit werden nun das Experiment vorgestellt, die Durchführung beschrieben und die Auswertung analysiert.

Die Modellierung des Modells basiert auf dem Differentialgleichungssystem von Lotka und Volterra, welches eine Räuber-Beute Situation in einem Biotop abbildet. Die informationstechnische Umsetzung erfolgte mittels einer

Computersimulation, in der die Versuchsteilnehmer über 42 Perioden eine Fuchs- und Hasenjagd betreiben, mit dem Ziel maximalen Erlös mit gutem Jagderfolg zu erlangen. Es mussten sowohl die Interdependenzen, die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Räuber (Fuchs) und Beute (Hase), die Kapazitätsgrenze der Beutepopulation als auch die Preiskonstellation für die erlegten Füchse und Hasen beachtet werden. Die Computersimulation ermöglicht eine genaue Dokumentation aller Einzelentscheidungen der Teilnehmer und den resultierenden Auswirkungen auf das Gleichgewicht im Biotop.

Für die Experimentanalyse wird einerseits eine detaillierte Betrachtung dokumentierter Spielabläufe, das heisst das Entscheidungsverhalten einzelner Experimentteilnehmer wird anhand einer Einzelanalyse erläutert, durchgeführt. Andererseits werden die Spielergebnisse der einzelnen Versionen separat in Form einer Gesamtergebnisbetrachtung analysiert.

Eine Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse wird in Kapitel 8 vorgenommen.

## 2 EXPERIMENTELLE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

### 2.1 BEDEUTUNG DER EXPERIMENTELLEN WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Die Experimentelle Wirtschaftsforschung beschäftigt sich mit der experimentellen Bewertung ökonomischer Theorien mit der Grundidee reale Entscheidungen in künstlich hergestellten Situationen zu beobachten. Eine Beziehung zwischen Theorie und Realität soll hergestellt werden.

Die Bedeutung der experimentellen Wirtschaftsforschung nahm in den frühen 1960er Jahren zu als die Pioniere dieser Disziplin ihre ersten Experimente durchführten. Pioniere wie Vernon Smith, der für seinen Einsatz von Laborexperimenten als Werkzeug in der ökonomischen Empirieanalyse, besondere in Studien unterschiedlicher Marktmechanismen und Daniel Kahneman, der für das Einführen von psychologischer Forschung in die Wirtschaftswissenschaft, bezüglich Beurteilungen und Entscheidungen bei Unsicherheit, 2002 den Wirtschaftsnobelpreis erhielten. Ähnliche Ergebnisse fanden Reinhard Selten und Reinhard Tietz, die ebenfalls den Nobelpreis für ihre grundlegende Analyse des Gleichgewichts in nicht-kooperativer Spieltheorie erhielten.<sup>3</sup>

Den Experimenten liegt in der Regel die Psychologie des individuellen Verhaltens in ökonomisch relevanten Entscheidungssituationen zugrunde. Diese Entscheidungssituationen werden sehr abstrakt und basierend auf Modellen der Spieltheorie gestaltet. In der Wirtschaftswissenschaft werden verschiedene Formen von Experimenten durchgeführt. Die bekannteste Form ist das Feldexperiment, in dem eine systematische Beobachtung von veränderlichen Merkmalen unter kontrollierten Bedingungen stattfindet mit

---

<sup>3</sup> Vgl. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/index.html\\_3.12.09](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/index.html_3.12.09)

dem Ziel gesetzmäßige Abhängigkeiten und Ursachen festzustellen. Das Verhalten des Menschen in einer realistischen Situation soll beobachtet und analysiert werden und es soll nicht die irrationale Annahme des homo oeconomicus angenommen werden. Von Nachteil sind die nichtregulierbaren Umwelteinflüsse, auf die die Menschen reagieren und welche in Folge schwer auf einzelne Faktoren zurückzuverfolgen sind.<sup>4</sup>

Im Gegensatz zur Feldforschung, in der die Versuchsperson seiner natürlichen Umgebung ausgesetzt ist, werden die Entscheidungen der Teilnehmer in der experimentellen Wirtschaftsforschung in einem künstlichen Umfeld beobachtet. Diese kontrollierbaren Versuchsreihen und die Möglichkeit der beliebigen Wiederholbarkeit eines Laborexperiments ermöglichen das Verhalten der Teilnehmer in wirtschaftlich relevanten Situationen genauer analysieren zu können.

Die Untersuchungsmethode reale Entscheidungen in einem künstlichen Umfeld beobachten zu können, definierte Reinhard Tietz folgendermaßen: „Ein wirtschaftswissenschaftliches Experiment ist eine auf ökonomische Fragestellung abgestellte, wiederholbare kontrollierte Datenerzeugung und -erhebung; durch Variation der Entscheidungssituation lassen sich dabei relevante Einflussfaktoren des Verhaltens isolieren.“<sup>5</sup>

## 2.2 THEORIE DER BEWIRTSCHAFTUNG VON ALLMENDERESSOURCEN

Als erste Frau, erhielt Elinor Ostrom 2009 den Nobelpreis der Wirtschaftswissenschaften für ihren Beitrag auf dem Gebiet der Bewirtschaftung von Allmendegütern und der institutionellen Regulierung der Nutzung natürlicher Ressourcen. Elinor Ostrom zeigte wie gemeinschaftliches Eigentum von Nutzerorganisationen erfolgreich verwaltet werden kann.<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Tietz (1996) S.120ff.

<sup>5</sup> Tietz (1996) S.120.

<sup>6</sup> Vgl. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/2009/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2009/index.html)\_5.12.09

In der Ökonomie ist beispielsweise die Überfischung der Meere als Allmende-Dilemma bekannt. Als Allmenden wurden ursprünglich Dorfweiden bezeichnet, auf denen die Bauern ihre Rinder hielten. Als Gemeineigentum genütztes Gut hatte jeder Bauer die Befürchtung es weniger zu nutzen, wie der andere und ließ mehr Rinder grasen als die Weide schließlich ernähren konnte. Das Resultat war eine regelmäßige Abweidung der Allmenden mit der Folge, dass neues Gras nicht nachwuchs und schlussendlich alle schlechter gestellt waren.

Ein bereits erwähntes gleiches Problem stellt die Situation auf den Weltmeeren dar. Dem Unternehmen ist bewusst, dass eine Überfischung auf lange Sicht gesehen ihre Geschäftsgrundlage bedroht, nichts desto trotz handelt das Unternehmen rational und fischt so viel wie möglich. Denn andernfalls würde sich den Fang die Konkurrenz holen.<sup>7</sup>

Die Problemlösung liegt traditionell in staatlicher Regulierungshand. Im konkreten Fall der Überfischung in den Weltmeeren sollen Fangquoten dafür sorgen, dass diverse Fischarten nicht aussterben. Allerdings ist man sich in der Wissenschaft nicht einig, wie solche Allmende-Dilemma vermieden werden können. Auf der einen Seite wird die Ansicht vertreten, dass das Allmende-Dilemma als Beispiel für ein Verteilungsproblem steht, welches der Markt alleine nicht lösen kann. Auf der anderen Seite wird die Meinung vertreten, dass staatliche Hilfe und Regulierungen dieses Problem nur verschärfen würde.

Es stellt sich nun die Frage welcher Regeln es bedarf, dass negative Allmende Auswirkungen nicht vorkommen, das heißt, dass es zu keiner Ressourcenübernutzung und somit zu keiner Selbstschädigung kommt. Bekannt wurde Elinor Ostrom durch ihr Buch *Governing the Commons*, in dem sie sich mit Problemen, die bei gemeinschaftlicher Nutzung von begrenzten natürlichen Ressourcen entstehen, auseinandersetzt. Ihr Fazit ist, dass für eine angemessene und nachhaltige Bewirtschaftung von lokalen

---

<sup>7</sup> Vgl. Ebner (2009)\_ [http://pixeloekonom.wordpress.com\\_5.12.09](http://pixeloekonom.wordpress.com_5.12.09)



Gemeineigentum, Allmenderessourcen, häufig eine institutionalisierte, selbst organisierte, lokale Zusammenarbeit der Beteiligten sinnvoller ist als staatliche Regulierungen wie auch Privatisierung der Ressourcen.<sup>8</sup>

Demzufolge erläuterte sie in ihrer Arbeit, *Governing the Commons*, dass Bauern und Fischer sehr wohl in der Lage sind, die Verwendung ihrer Ressourcen ohne staatliche Regulierungen einzuteilen, nämlich auf Basis freiwilliger Zusammenarbeit und Kontrolle. Ihrer Ansicht nach liegt das Problem der Lösung weder alleine im Markt noch im Staat.

Als Erkenntnis ihrer Forschung legt Elinor Ostrom folgende Prinzipien zur Problembewältigung von lokalen Allmendeproblemen fest. Die Grenzen müssen klar definiert sein und es müssen auch externe Nichtberechtigte von der Nutzung ausgeschlossen werden. Regeln wie Allmenderessourcen angeeignet und bereitgestellt werden sollen, müssen entsprechend den lokalen Bedingungen gestaltet sein. Regeln können entsprechend besserer Nutzung aufgrund von sich ändernden Bedingungen umgestaltet werden. Das Einhalten der Regeln muss überwacht werden. Bei Regelverstößen muss es Sanktion geben und es müssen Mechanismen zur Konfliktlösung vorhanden sein. Durch übergeordnete Regierungsstellen wird die Selbstbestimmung der Gemeinde anerkannt.<sup>9</sup>

Laut Ostrom wären weniger bürokratische Regelungen sinnvoller. Anstatt dessen machen ein stärkerer Einbezug in Sachen Regelerstellung, eine Anreizerhöhung sich an die Regeln zu halten sowie Sanktionen bei Fehlverhalten mehr Sinn.

Elinor Ostrom hat es sich zum Lebenswerk gemacht, die Bedingungen für eine sinnvolle Nutzung der Gemeingüter zu erforschen. Sie arbeitet dabei auf zwei Ebenen. Auf der einen Seite wertet sie spieltheoretisch inspirierte Laborexperimente aus, auf der anderen bedient sie sich auch Feldstudien. In ihren Theorien bezieht sie sich immer auf den *homo oeconomicus*, also auf

---

<sup>8</sup> Vgl. Kirchgässner (2002) S.372.

<sup>9</sup> Vgl. Ostrom (1990) S.37ff.

ein Modell des Menschen, der rein nutzenmaximierend handelt. Es ist deshalb auch erstaunlich, wie weit sie es mit ihrer Forschung gebracht hat. Die Erklärung liegt wahrscheinlich darin, dass der soziale und ökologische Kontext menschlichen Handelns nicht unbeachtet bleibt. Sie unterstellt zwar den Menschen nutzenmaximierend zu handeln, aber dennoch lernfähig und verständigungswillig zu sein.

Elinor Ostrom sieht in der Entwicklung der Theorie der sinnvollen Bewirtschaftung von Allemdenressourcen eine große Herausforderung für die Sozialwissenschaften.<sup>10</sup>

### 2.3 EVOLUTIONSÖKONOMIK – EVOLUTIONÄRE SPIELTHEORIE

Stetiger Wandel in der Gesellschaft und in der Wirtschaft kann als alltägliche Erfahrung bezeichnet werden, doch erst seit kurzer Zeit kann mit Hilfe der evolutionären Ökonomik dieser Wandel theoretisch erläutert werden. Die aus der Gesellschaft und Wirtschaft endogen hervorgehenden Ursachen des Wandels und Gesetzmäßigkeiten der Evolution können identifiziert werden. Als Resultat vernetzter Prozesse der Evolution sowie Selbstorganisation kann die Gesellschafts- oder Lebensraumentwicklung beschrieben werden. In einer Evolution entwickeln sich stets neue Elemente, die gut angepassten setzten sich durch, während die schlechten wieder vergehen. Mittels Selbstorganisation werden die Elemente zu Ordnungszusammenhängen verbunden. Im Laufe der Zeit entwickeln sich also so die Gesellschaft, Wirtschaft oder auch andere Lebensräume über Neuheiten und Umgestaltung immer weiter.<sup>11</sup>

Das Menschenbild wurde in dieser Theorie erweitert und so gilt der Mensch nicht nur als rationaler Akteur, sondern auch als Teil der Evolution, dessen Wesen und Erfahrung das Verhalten beeinflussen. In welcher Weise das

---

<sup>10</sup> Vgl. Kirchgässner (2002) S.374.

<sup>11</sup> Vgl. Güth, Kliemt, Weise, Witt (2006) S.9ff.

Verhalten entsteht und wie prägend die Vergangenheit für einen Menschen ist, beschreibt die Evolutionäre Spieltheorie. Die Theorie der Selbstorganisation behandelt den Einfluss von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Strukturen auf das menschliche Verhalten und wie diese Strukturen durch das menschliche Handeln entstehen.

Im Allgemeinen kann von Evolution laut Witt nur dann gesprochen werden, „wenn sich ein System selbst transformiert, indem Neuheit entsteht und Wirkung entfaltet.“<sup>12</sup> Evolution kann als Vorgang bezeichnet werden, in dem sich Einzelobjekte oder ein System im Zeitablauf entfalten und systematisch verändern. Evolution beinhaltet also immer Dynamik. Evolvierende Systeme haben die Fähigkeit aus sich heraus etwas zu generieren und wenn das Neuentstandene in weiterer Folge seine Wirkung im Sinne von Ausbreitung oder Verdrängung anderer existierender Elemente entfaltet, so verändert sich im Zeitablauf das System. Zusammengefasst kann Evolution als Selbsttransformation eines Systems auf zwei verschiedene Prozesse aufgeteilt werden, die Entstehung von Neuem und deren Entfaltung der Wirkung.

Das menschliche Verhalten ist einerseits beeinflusst durch Zukunftserwartungen auf Basis deren eine rationale Entscheidung getroffen wird. Andererseits ist das Verhalten genotypischer Art als auch von den individuell gemachten Erfahrungen abhängig. In diesem Sinne spielt sowohl die Zukunft als auch die Vergangenheit eine große Rolle in der Verhaltensweise der Menschen. Die ökonomische Theorie hat bisher entweder den Menschen als vorausschauendes rational entscheidendes Individuum gesehen oder gen- sowie erfahrungsbedingte Ursachen dem Verhalten der Menschen zugeschrieben, unter nicht Berücksichtigung der jeweiligen anderen Perspektive. Als Grundlage der Theoriebildung ist es jedoch notwendig sich von den Extrempositionen ausschließlich auf zukunftsbezogenes oder vergangenheitsbezogenes Verhalten zu beziehen,

zu lösen. Um reale Verhaltensphänomene zu erklären, ist es sinnvoll sich um eine Modifikation der beiden bestehenden Modelle zu bemühen. Dies bedeutet, sowohl Annahmen rein rationalen Verhaltens abzuschwächen als auch rein revolutionäre Sichtweisen um minimale Rationalitätsannahmen anzureichern um zu einem gemischten Modell zu gelangen. Eine Kombination aus diesen Modellen mit psychologischen anstatt entscheidungslogischen Modellierungen gilt als vielversprechende Entwicklung im Rahmen der evolutionären Spieltheorie.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Güth, Kliemt, Weise, Witt (2006) S.38.

<sup>13</sup> Vgl. Güth, Kliemt, Weise, Witt (2006) S.162ff.

### 3 DAS LOTKA-VOLTERRA MODELL

In diesem Kapitel steht die Räuber-Beute Beziehung basierend auf der mathematischen Grundlage des Lotka-Volterra Gleichungssystems im Mittelpunkt.

#### 3.1 EINFÜHRUNG IN DIE POPULATIONSDYNAMIK

Als Dynamik biologischer Populationen kann die größenmäßige sowie die räumliche Veränderung über die Zeit gesehen, bezeichnet werden. Als prominenter Gegenstand der Biologie wird die Populationsdynamik sowohl im langfristigen evolutionären, als auch im kurzfristigen ökologischen Zeitrahmen, erforscht. Die Dynamik der Populationen wird durch die vielen faktoriellen Wechselwirkungen einerseits innerhalb der Arten, andererseits mit der belebten sowie unbelebten Umwelt bestimmt.<sup>14</sup> Die Wechselwirkungen zwischen Populationen in einem Ökosystem mit seinen tausenden Komponenten können vielseitig sein.

Zunächst wird eine Beschränkung auf die Analyse der Wechselbeziehung zwischen zwei Populationen gemacht.<sup>15</sup> Es wird zwischen Räuber-Beute Beziehungen, interspezifischer Konkurrenz, Symbiosen sowie Parasitismus unterschieden. In Konkurrenz stehende Arten befinden sich in einem Wettbewerb um eine gemeinsame Ressource wie eine Nahrungsquelle. Als Symbiose wird jegliches Zusammenleben von verschiedenen Arten bezeichnet, welches für beide Populationen von Nutzen ist.<sup>16</sup> Parasitismus wird definiert durch den Nahrungserwerb aus einer anderen Population, entscheidend dabei ist, dass die einen davon profitieren während die andere

---

<sup>14</sup> Vgl. Wilson, Bossert (1973) S. 83ff.

Vgl. Murray (2002) S.79ff.

<sup>15</sup> Vgl. Hofbauer, Sigmund (1984) 63f.

<sup>16</sup> Vgl. Meyers Enzyklopädisches Lexikon (1978) S.88.

Art geschädigt wird. Hier wird von einer asymmetrischen Wirkung gesprochen.<sup>17</sup>

Es gibt dichteunabhängige sowie dichteabhängige Faktoren, die das Populationswachstum beeinflussen. Dichteunabhängige Aspekte, welche unabhängig von der Anzahl der Arten in einem Biotop sind, werden unterteilt in:<sup>18</sup>

- Klimatisches Geschehen abhängig von zum Beispiel Temperatur und Niederschlagsmenge
- Unvorhersehbare Ereignisse wie Naturkatastrophen und lokales Aussterben einer Population
- Zwischenartliche Konkurrenz, das heißt die Populationsentwicklung verschiedener Arten kann voneinander unabhängig sein, wenn verschiedene ökologische Nischen besetzt werden.
- Nicht übertragbare Krankheiten, welche statistisch auftretende Zufallsereignisse sind und sich in der Population nicht ausbreiten.
- Der Einsatz von Pestiziden kann je nach Intensität zur Ausrottung einer Population führen.

Auf der anderen Seite sind die folgenden dichteabhängigen Aspekte von der Population im Biotop abhängig:

- Durch Begegnung und Aggression verursacht das Zusammenleben von Arten einen sozialen Stress, der mit ansteigender Population größer wird. Auswirkungen können Änderung im Verhalten oder Unfruchtbarkeit sein.

---

<sup>17</sup> Vgl. Meyers Enzyklopädisches Lexikon (1976) S.210.

<sup>18</sup> Vgl. Wilson, Bossert (1973) S.94ff.

- Natürliche Feinde, die eine Art ernährt sich von der anderen. Vermehren sich die Beutetiere, nimmt auch die Anzahl der Feinde, sprich Räuber, zu. In diesem Zusammenhang wird von einer Räuber-Beute-Beziehung gesprochen.
- Infektionskrankheiten können aufgrund der leichten Übertragung ihrer Erreger sich sehr rasch ausbreiten.
- Auch Parasiten können sich bei großer Populationsdichte schneller vermehren.

In einem Biotop mit nur einer Spezies ist ein Wachstum der Population nur bis zu einer gewissen Kapazitätsgrenze möglich. Einflussfaktoren für ein so genanntes logistisches Wachstum, welches in Abbildung 2 dargestellt ist, sind die Geburtenrate, Sterberate, der Kapazitätsfaktor und die Reproduktionsbeschränkung.<sup>19</sup>

Des Weiteren besagt eine wichtige theoretische Überlegung, dass Populationen, deren Wachstum nur von dichteunabhängigen Faktoren abhängig ist, mit einer großen Wahrscheinlichkeit schnell aussterben werden. Begründet wird dies durch die beliebige Schwankung der Populationsanzahl immer auf die Kapazitätsgrenze hingehend, solange keine dichteabhängigen Faktoren wirken. Eine Zeitlang ist es für die Population möglich eine beträchtliche Größe anzunehmen, bis sie sich schließlich reduzieren wird. Keine dichteabhängigen Kontrollmechanismen bewirken letztendlich das Aussterben dieser Population.

Die von der Natur beeinflussten Faktoren bezüglich des begrenzten Wachstums sind auf der einen Seite das dichteunabhängige Klima und auf der anderen Seite Ressourcen wie Nahrung, durch das Zusammenleben verursachter Stress, intraspezifische Konkurrenz, Auswanderung und Versteckmöglichkeiten, welche dichteabhängig sind.

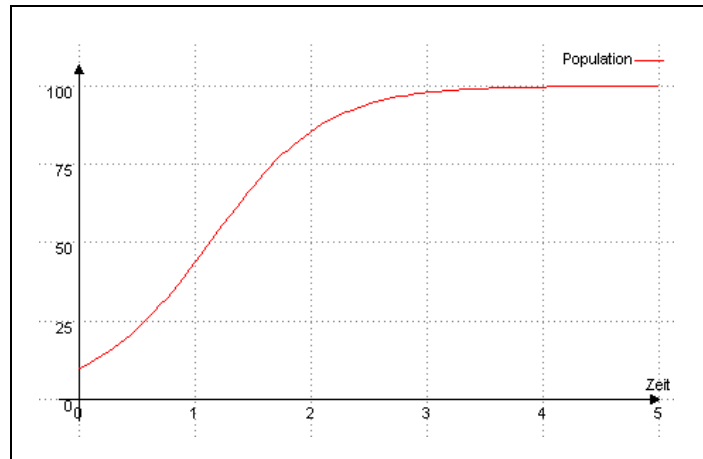


Abbildung 2: Logistisches Wachstum einer Population<sup>20</sup>

In der Anlaufphase wächst der Populationsbestand auf niedrigem Niveau an. In dieser ersten Phase ist die Geburtenrate ungefähr gleich hoch wie die Sterberate. Es sind genügend Ressourcen vorhanden, auch herrscht keine Konkurrenz, es gibt genug Verstecke im Biotop, so dass die Sterberate durch Räuber gering ist. In den nächsten drei Phasen kommt es zu einem positiven Wachstumsanstieg. Die Geburtenrate ist höher als die Sterberate, da die Anzahl der Räuber noch gering ist und genug Verstecke vorhanden sind. Zunächst findet nun ein exponentielles Wachstum statt. Da mit ansteigender Population auch die Sterberate zunimmt, kommt es in der nächsten Phase zu einem linearen Wachstum.

Je näher die Kapazitätsgrenze rückt, desto mehr spielt die intraspezifische Konkurrenz eine Rolle. Somit nimmt die Sterberate zu und verursacht ein verzögertes Wachstum in der vierten Phase. Die Räuberpopulation nimmt zu und gleicht nun eine hohe Geburtenrate aus. Das Biotop ist in der stationären Phase maximal besetzt, die Ressourcen werden optimal genutzt ohne sie dabei zu erschöpfen und die Dichte der Population schwankt um den Wert  $K$ , der die Kapazität der Umwelt ausdrückt. Je größer eine Population ist, desto

<sup>19</sup> Vgl. Bossert, Wilson (1973) S.90f.

<sup>20</sup> [http://zope.schulnetz.hamm.de/modsim/einfuehrung/images\\_26.11.09](http://zope.schulnetz.hamm.de/modsim/einfuehrung/images_26.11.09)



stabiler ist diese Phase. In der letzten Absterbephase sinkt die Geburtenrate nun unter die Sterberate.<sup>21</sup>

Die meisten Wachstumsvorgänge in der Natur beginnen mit einem näherungsweise exponentiellen Wachstum, welches sich verlangsamt bis es schließlich zum Erliegen kommt, da es nicht genug Platz oder Futter gibt. Es müssen aber in einem realen Biotop nicht alle Phasen durchlaufen werden, wenn zum Beispiel eine Population frühzeitig ausstirbt.

Im Folgenden betrachten wir nun die Interaktionen zweier Populationen in einem Biotop, welche in gegenseitiger konkurrierender Abhängigkeit zueinander stehen. Ein derartiges System kann durch mathematische Modellierung mittels partieller Differentialgleichungen behandelt werden. Zunächst werden unbegrenzte Ressourcen angenommen und eine Populationsänderung gilt als systeminterne Steuergröße. Wenn also die Geburtenrate ansteigt, wächst auch die Populationsdichte. Im Gegensatz dazu verringert sich die Population, je größer die Sterberate ist. Wechselwirkungen mit der Umwelt werden bei dieser mathematischen Modellierung vernachlässigt.

Wird die Population, wie in Formel 1, als isoliertes System betrachtet, indem es keine Rückwirkungen gibt, so hat nur die Geburtenrate einen Einfluss auf die Wachstumsgeschwindigkeit der Populationsanzahl  $N$ . Unter der Annahme einer konstanten Geburtenrate kann die Populationsanzahl zu jedem beliebigen Zeitpunkt ( $t$ ) mit einer Anfangsgröße von  $N_0$  errechnet werden.

---

<sup>21</sup> Vgl. Murray (2002) S.7ff.

I $\frac{dN}{dt} = c_1$	III $\frac{dN}{dt} = -c_2$
II $N(t) = c_1 \times t + N_0$	IV $N(t) = -c_2 \times t + N_0$
( wobei in II & IV: $c_1$ und $c_2 = \text{konstant} > N_0$ )	
V $\frac{dN}{dt} = c_1 - c_2$	
VI $N(t) = (c_1 - c_2) \times t + N_0$	

Formel 1: Änderung der Populationsgröße in einem isolierten System ohne Rückwirkung<sup>22</sup>

Daraus resultiert ein positives lineares Wachstum mit einer Änderungsgeschwindigkeit abhängig von der Geburtenrate, wie in Gleichung I und II ersichtlich ist. Der Einfluss der Sterberate hingegen bewirkt ein negatives lineares Wachstum, wie in Gleichung III und IV ausgedrückt wird: Je höher die Sterberate, desto geringer wächst die Populationsgröße an.

Unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Geburten- und Sterberate kann nun die Veränderung der Populationsgröße über die Zeit berechnet werden. Nach wie vor, wie Gleichung V und VI darstellt, gibt es ein lineares Wachstum, es ist aber abhängig von Geburten- und Sterberate ob die Population ansteigt, gleich bleibt oder sinkt.

Wenn eine Population, wie in Formel 2, als isoliertes System mit Rückwirkung betrachtet wird, hängen Geburten- und Sterberate von der Kapazität des Biotops ab. Somit ergeben sich folgende Änderungsgeschwindigkeiten der Populationen unter Einbeziehung von Geburten- und Sterberate separat und gemeinsam betrachtet, sowie deren Ergebnis durch Integration.

---

<sup>22</sup> Vgl. Murray (2002) S.45ff.

<p><i>Geburtenrate:</i> <math>c_1 N(t)</math></p> $\frac{dN}{dt} = c_1 N(t)$ $N(t) = N_0 e^{c_1 t}$	<p><i>Sterberate:</i> <math>c_2 N(t)</math></p> $\frac{dN}{dt} = -c_2 N(t)$ $N(t) = N_0 e^{-c_2 t}$
<p><i>Einbeziehung von Geburt- und Sterberate:</i></p> $\frac{dN}{dt} = c_1 N(t) - c_2 N(t) = (c_1 - c_2) N(t)$ $N(t) = N_0 e^{(c_1 - c_2) t}$	

Formel 2: Änderung der Populationsgröße in einem isolierten System mit Rückwirkung<sup>23</sup>

Den Gleichungen entsprechend lassen sich drei Fälle unterscheiden. Wenn die Geburtenrate ( $c_1$ ) gleich der Sterberate ( $c_2$ ) ist, gibt es ein Nullwachstum bei  $N_0$ . Ist  $c_1 > c_2$  gibt es ein positives exponentielles Wachstum und andersrum ist  $c_1 < c_2$  kommt es zu einem negativen exponentiellen Wachstum, sprich zu einer verzögerten Abnahme der Populationsgeschwindigkeit. In diesem System ist kein von  $N_0$  verschiedener Gleichgewichtszustand vorhanden.

In einem realen Biotop sind die Geburten- und Sterberate nicht nur von der Populationsanzahl, sondern auch vom Abstand zu der Kapazitätsgrenze ( $K$ ) der Population abhängig. Es gilt je näher die maximal mögliche Populationsgröße erreicht wird, desto mehr sinkt die Geburtenrate und steigt die Sterberate.<sup>24</sup> Die mathematische Modellierung erfolgt durch das Logistische Wachstums Modell nach Pierre François Verhulst. Das logistische Wachstum einer Populationsdichte wird in Formel 3 erläutert.

<sup>23</sup> Vgl. Murray (2002) S.45ff.

<sup>24</sup> Vgl. Wilson, Bossert (1973) S.90f.

$$\frac{dN}{dt} = r N(t) - \frac{r}{K} \times N(t)^2$$

$$N(t) = \frac{1}{\left(\frac{1}{N_0} - \frac{1}{K}\right) e^{-rt} + \frac{1}{K}}$$

3 Ausprägungen:

- $N = K$ : Nullwachstum, Populationsanzahl entspricht der Kapazitätsgrenze.
- $N < K$ : exponentielles positives Wachstum, Populationsanzahl unter der Kapazitätsgrenze.
- $N > K$ : negatives Wachstum, Population liegt über Kapazitätsgrenze.

Formel 3: Logistisches Wachstum einer Populationsdichte<sup>25</sup>

Eine Erweiterung des Modells des logistischen Wachstums, welches die periodischen Schwankungen, Oszillationen, berücksichtigt, ist das Räuber-Beute-System. Lotka und Volterra stellten dabei erstmals die quantitative Seite der Populationsentwicklung unter interspezifischer Konkurrenz in Zeitabhängigkeit mittels mathematischer Differentialgleichungen dar.

### 3.2 DIFFERENTIALGLEICHUNGSSYSTEME

Am Anfang der Entwicklung der Differential- und Integralrechnung stand die gewöhnliche Differentialgleichung, welche seit 1838 in einer Arbeit des belgischen Mathematikers Verhulst als Beschreibung von Phänomenen der Populationsdynamik dient. Zunächst war die Tatsache, die Anzahl einer Population, welche sinngemäß eine nicht-negative ganze Zahl sein musste, mittels einer Differentialgleichung, deren Variablen kontinuierlicher Natur sind, zu analysieren, seltsam. Definitionsgemäß ist eine Differentialgleichung

---

<sup>25</sup> Vgl. Wilson, Bossert (1973) S.90f.

eine mathematische Modellierung für eine gesuchte Funktion, welche von einer oder mehreren Variablen abhängig ist. Es wird also die Abhängigkeit zwischen den Variablen, der Funktion und den Ableitungen dieser Funktion durch eine Differentialgleichung dargestellt.<sup>26</sup>

Die Veränderung einer Populationsanzahl steht in Abhängigkeit zu der absoluten Größe der Population sowie zu anderen Umweltfaktoren. Da es sich dabei um große Populationen handelt, kann die Veränderung der Größe als Ableitung gesehen werden und wurde deshalb von Verhulst als Differentialgleichung dargestellt. Vito Volterra und Alfred Lotka erweiterten dies und formulierten ein System aus gekoppelten gewöhnlichen Differentialgleichungen um die Dynamik zweier voneinander abhängigen Populationen zu beschreiben. In einem späteren Kapitel werden die Lotka-Volterra Differentialgleichungen und deren abgeleiteten drei Gesetzen genauer erläutert.

„Gewöhnliche Differentialgleichungen dienen zur Modellierung der zeitlichen Entwicklung kontinuierlicher dynamischer Systeme.“ Sind in diesem System eine endliche Menge reeller Variablen vorhanden und wird diese n-Variable im euklidischen Raum zusammengefasst, so kann die Abhängigkeit der zeitlichen Entwicklung vom Zustand des Systems in Form einer Gleichung beschrieben werden.

I	$x = f(x)$
II	$x = \frac{dx}{dt}$
III	$x = f(t, x)$

In II steht X steht für die Zeitableitung der Variablen und das Vektorfeld  $f: U \rightarrow \mathbb{R}^n$  ist auf der Menge der möglichen Zustände im System, dem Phasenraum, definiert. Wenn zeitabhängige äußere Faktoren im Modell

---

<sup>26</sup> Vgl. Wirsching (2006) S.1ff.

beachtet werden sollen, kann das in einer allgemeineren Gleichung, wie in III, geschrieben werden. Nun stellt die rechte Seite ein Richtungsfeld  $f: W \rightarrow \mathbb{R}^n$  dar, das auf einem Phasenraum mit einer zusätzlichen Zeitvariablen  $W \subset \mathbb{R}^{1+n}$  definiert ist. Eine Gleichung dieser Form wird als zeitabhängig bezeichnet, im Gegensatz dazu wird eine Gleichung der ersten Form autonom genannt.

Des Weiteren kann aus dem Vektorfeld das erste Integral errechnet werden, das jene Funktion auf dem Phasenraum einer autonomen Differentialgleichung darstellt, die auf jeder beliebigen Lösungskurve konstant ist. In einem Phasenportrait wird die Anzahl aller Bahnen von den maximalen Lösungen einer Differentialgleichung dargestellt. Ist die Funktion bekannt, so ist auch die Niveauläche bekannt, was besonders aussagekräftig in Hinblick auf den möglichen Lösungskurvenverlauf ist. Informationen über die Stabilität wie konstante Lösungen sind dabei wichtig.

Wenn jede Lösungskurve zum Zeitpunkt  $t_0$  nahe bei der Ruhelage  $p$ , Gleichgewichtslage, startet und in der Nähe von  $p$  bei allen Zeiten  $t > t_0$  bleibt, wird das als stabile Ruhelage im Phasenraum bezeichnet. Eine Ruhelage ist asymptotisch stabil, wenn die Lösungskurve für  $t \rightarrow \infty$  gegen  $p$  konvergiert. Es kann gezeigt werden, dass alle lokalen Extrema des ersten Integrals einer solchen Differentialgleichung eine stabile Ruhelage haben.<sup>27</sup>

### 3.3 LOTKA-VOLTERRA GLEICHUNGSSYSTEM

Die Lotka-Volterra Gleichungen umfassen ein System aus zwei nicht-linearen gekoppelten Differentialgleichungen erster Ordnung und dienen zur quantitativen Beschreibung der Populationsdynamik in Räuber-Beute Beziehungen. Mit Räuber und Beute werden zwei Klassen von Lebewesen bezeichnet, welche in einer direkten Abhängigkeit zueinander stehen, im Sinne davon, dass die einen sich von den anderen ernähren.

Als wichtige Grundlage der theoretischen Biologie und insbesondere der Populationsdynamik gelten drei Regeln, welche sich aus den Lotka-Volterra Gleichungen ableiten lassen. Mit Hilfe dieser Regeln wird die zahlenmäßige Entwicklung zweier in Konkurrenz stehender Arten über einen längeren Zeitraum hinweg, erläutert. Voraussetzung ist, dass nur zwischen den beiden betrachteten Populationen eine Räuber-Beute Beziehung existiert und sonstige Umweltfaktoren gleich bleiben, beziehungsweise vernachlässigt werden.<sup>28</sup>

Die Gleichungen wurden unabhängig voneinander von Alfred James Lotka, einem österreichisch-amerikanischen Mathematiker, im Jahre 1925 sowie dem italienischen Mathematiker und Physiker Vito Volterra im Jahre 1926 aufgestellt, welche wie folgt lauten:<sup>29</sup>

$$\frac{dN_1}{dt} = N_1 (\epsilon_1 - \gamma_1 N_2) \quad \frac{dN_2}{dt} = - N_2 (\epsilon_2 - \gamma_2 N_1)$$

zur näheren Erläuterung mit folgenden Bezeichnungen:

- $dN_1 / dt$  = Veränderung der Beutepopulation über die Zeit
- $dN_2 / dt$  = Veränderung der Räuberpopulation über die Zeit
- $\epsilon_1 > 0$  = Wachstumsrate der Beute bei viel Nahrungsangebot, ohne Störung
- $\epsilon_2 > 0$  = Sterberate der Räuber bei wenig Nahrungsangebot
- $\gamma_1 > 0$  = Sterberate der Beute pro Räuber
- $\gamma_2 > 0$  = Wachstumsrate der Räuber pro Beute

---

<sup>27</sup> Wirsching (2006) S.55.

<sup>28</sup> Vgl. Wilson, Bossert (1973) S.117ff.

<sup>29</sup> Vgl. Lotka (1998) S.21ff.

Volterra begründet sein Gleichungssystem, in dem er die Populationszahlen der Beute mit  $N_1$  und der Räuber mit  $N_2$  bezeichnet. Die ungestörten Reproduktionsraten je Zeiteinheit  $dt$  werden mit  $\lambda_1$  sowie mit  $\lambda_2$  dargestellt. Des Weiteren wird die Anzahl der Räuber-Beute Begegnungen je Einheit  $dt$  mit  $\alpha N_1 N_2$  bezeichnet, wobei  $\alpha$  eine konstante positiv reelle Zahl innerhalb des Biotops ist. Im Allgemeinen ist  $\alpha$  aber vom Biotop abhängig. Eine große Anzahl an  $n$  Begegnungen haben im Mittel eine Auswirkung  $\beta_i$  auf die Anzahl der Lebewesen  $N_i$ . Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit wird ein Räuber bei Begegnung mit der Beute diese fressen. Hingegen hat eine Begegnung aber nur indirekte Auswirkungen auf die Anzahl der Räuber.

In diesem mathematischen Modell wird auch eine direkte Auswirkung der Lebewesenanzahl auf Seiten der Räuber angenommen. Zusammengefasst führt das nun zu den folgenden Gleichungen. In weiterer Folge kann  $\lambda_i$  durch  $\epsilon_i$ , sowie  $\alpha\beta/n_i$  durch  $\gamma_i$  ersetzt und der Grenzübergang  $dt \rightarrow 0$  gemacht werden, so erhält man die Lotka-Volterra Gleichungen wie in ursprünglich erwähnter Form.<sup>30</sup>

$$\frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 N_1 + \alpha N_1 N_2 \frac{\beta_1}{n}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_2 N_2 + \alpha N_1 N_2 \frac{\beta_2}{n}$$

Hinsichtlich der mathematischen Behandlung von Lotka-Volterra Systemen in dieser Arbeit werden  $a, b, c, d$  als positive Konstanten bezeichnet und mit  $x$  wird die Beuteanzahl sowie mit  $y$  die Räuberanzahl benannt. Wobei alle Parameter dieses Systems definitionsgemäß positiv sind und folgendermaßen interpretiert werden können:



- a Wachstumsrate der Beutepopulation ohne Räuberanwesenheit
- b Dezimierung der Räuberpopulation durch die Räuber
- c natürliche Sterberate der Räuber aufgrund des Futtermangels in Beuteabwesenheit
- d Vermehrungsrate der Räuberpopulation bei Beuteanwesenheit

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy$$

$$\frac{dy}{dt} = -cy + dxy$$

Werden die zwei Gleichungen gleich null gesetzt, so erhält man die konstanten Lösungen, die auch als Gleichgewichtspunkte bezeichnet werden. Es gibt zwei konstante Punkte, den trivialen Gleichgewichtspunkt mit (0/0) und den inneren Gleichgewichtspunkt, wie in Formel 4 gezeigt wird.<sup>31</sup>

$$\begin{array}{l} \text{I} \quad N ( a - bP ) = 0 \\ \text{II} \quad P ( cN - d ) = 0 \\ \\ (N^* / P^*) = \left( \frac{d}{c}, \frac{a}{b} \right) \end{array}$$

Formel 4: Konstante Lösungen = Gleichgewichtspunkte<sup>32</sup>

Neben den Gleichgewichtspunkten, sucht man das erste Integral, sprich eine Invariante der Bewegung, um nicht konstante Lösungen zu ermitteln. Dabei wird die erste Grundgleichung mit c sowie die zweite Grundgleichung mit b

---

<sup>30</sup> Vgl. Wirsching (2006) S.65ff.

<sup>31</sup> Vgl. Hofbauer, Sigmund (1984) S.68ff.

<sup>32</sup> Vgl. Wirsching (2006) S.65ff.

multipliziert und schließlich addiert. Die Terme mit dem Produkt NP heben sich somit auf.

$$\begin{array}{l}
 \text{I} \quad c \frac{dN}{dt} + b \frac{dP}{dt} = ac N - bd P \\
 \\
 \text{II} \quad \frac{d}{N} \frac{dN}{dt} + \frac{a}{P} \frac{dP}{dt} = ac N - bd P \\
 \\
 \hline
 c \frac{dN}{Dt} - \frac{d}{N} \frac{dN}{dt} + b \frac{dP}{dt} - \frac{a}{P} \frac{dP}{dt} = 0 \\
 \\
 V(N, P) = c N - d \ln N + b P - a \ln p = \text{const.}
 \end{array}$$

Formel 5: Invarianten der Bewegung – 1. Integral

Ein zweites Mal werden die zwei Grundgleichungen, diesmal mit  $d/N$  und  $a/P$ , multipliziert und anschließend addiert. In Formel 5 werden die die Invarianten der Bewegung durch das 1. Integral hergeleitet. Gleichungen Um die errechneten Phasesraumtrajektorien - der Lösungsgraph des Gleichungssystems - welche einen Fixpunkt darstellen, schwanken die Populationen der Räuber und Beute zyklisch. Die Lösungen bewegen sich dabei auf den Niveaulinien von  $V$  und können diese nicht verlassen. Die Beziehung wird schließlich durch die Subtraktion der letzten beiden Gleichungen und anschließender Integration erhalten. In Abbildung 3 liegt der Fixpunkt bei  $(1/1)$ , wobei als Prey die Beutetiere und als Predator die Räuber bezeichnet werden.

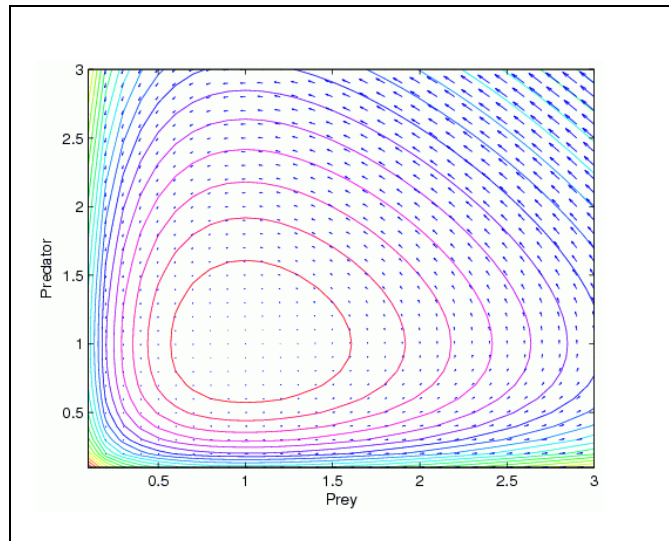


Abbildung 3: Prey-Predator Dynamik<sup>33</sup>

In weiterer Folge lassen sich anhand des ersten Integral  $V$  drei Regeln aus den Lotka-Volterra Gleichungen ableiten, welche bereits eingangs kurz erwähnt wurden. Vito Volterra formulierte die folgenden drei Regeln als „Gesetze“ (loi) in seinem 1931 veröffentlichten Buch „Leçons sur la Théorie Mathématique de la Lutte pour la Vie“.<sup>34</sup>

Kein Lösungsgraph des Gleichungssystems, der einen Punkt im ersten Quadranten hat, kann die Funktion  $V$  verlassen, sprich der erste Quadrant ist invariant. Die formulierten Lotka-Volterra Gesetze bzw. Regeln gelten allgemein für maximale Lösungen des Gleichungssystems im ersten Quadranten. Im Falle des Aussterbens einer Tierpopulation wird der erste Quadrant verlassen und die Regeln sind nicht mehr gültig.<sup>35</sup>

<sup>33</sup> Hoppensteadt (2006) S.1.

<sup>34</sup> Volterra (1931) S.15.

<sup>35</sup> Vgl. Müller (1991) S.224f.

### 1. Lotka-Volterra Gesetz: Periodizität

Die Anzahl der Räuber- sowie der Beutepopulationen schwanken periodisch, voneinander phasenverzögert sowie abhängig von den Anfangsbedingungen bzw. der Reproduktionsrate.

### 2. Lotka-Volterra Gesetz: Erhaltung der Mittelwerte

Die durchschnittliche Anzahl von Räuber- und Beutetiere sind über einen längeren Zeitraum hinweg konstant, abhängig von wachsender und sinkender Populationsrate.

### 3. Lotka-Volterra Gesetz: Störung der Mittelwerte

Eine kurzfristige Vergrößerung des Beute-Mittelwerts sowie eine Verringerung des Räuber-Mittelwerts können bei proportional gleichmäßiger Populationsdezimierung der beiden Arten erfolgen.

Das erste Lotka-Volterra Gesetz besagt, dass die Individuenzahlen von Räuber und Beute über die Zeit aufgetragen, das Bild Sinus-ähnlicher, phasenversetzter Schwingungen darstellt. Die Populationen schwanken also periodisch und zeitlich versetzt bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen, wobei die Kurve der Räuberpopulation nachlaufend ist. Ein hoher Anteil an Beutetieren entspricht mehr Nahrung für Räuber und folglich wächst die Gelegenheit sich zu vermehren. Das Heranwachsen der Räuberpopulation dauert einige Zeit und daher kommt es erst später zum Maximum der Räuberpopulation. Mehr Räuber bedeuten wiederum einen steigenden Druck auf die Beutetiere mit dem Resultat, dass die Beutepopulation sinkt. In weiterer Folge nimmt der Jagderfolg der Räuber ab und auch die Räuberanzahl verringert sich, was schließlich wieder zu einer ansteigenden Beutepopulation führt.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Vgl. Wislon, Bossert (1973) S.118ff.

Mathematisch formuliert, ist die Funktion  $V$  im ersten Quadranten strikt konvex mit einem Minimum im inneren Gleichgewichtspunkt.<sup>37</sup> Es entstehen geschlossene Kurven im Phasenraum und da jede Lösung auf einer Niveaulinie von  $V$  liegen muss, lässt sich die Periodizität der Lösungen folgern. Ein Anstieg der Räuberpopulation ist sowohl von der Vermehrung der Beutetiere als auch von der Jagdwahrscheinlichkeit abhängig. Insofern hängt ein Sinken der Beutepopulation nicht nur von der natürlichen Sterberate, sondern auch von der Kontakthäufigkeit mit Räubern ab.

„Loi du cycle périodique: Les fluctuations des deux espèces sont périodique.“<sup>38</sup> Das Gesetz der periodischen Zykel: die Schwankungen der zwei Arten sind periodisch folgend abgebildet. Die gemeinsame Häufigkeit der zwei in Abhängigkeit zueinander stehenden Populationen ist zunächst in Abbildung 3 zu sehen. Wie das Ergebnis nun aussieht, wenn die Häufigkeiten der Populationen als Funktion der Zeit aufgetragen werden, zeigt Abbildung 4.

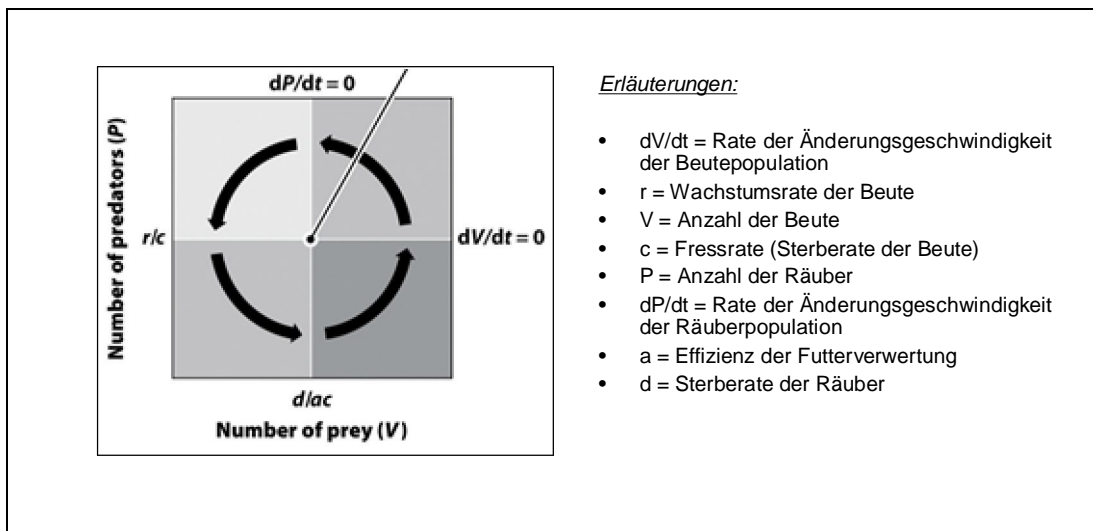


Abbildung 4: Räuber-Beute Wechselbeziehung<sup>39</sup>

<sup>37</sup> Vgl. Wirsching (2006) S.65ff.

<sup>38</sup> Volterra (1931) S.15.

<sup>39</sup> Ricklefs (2009) Figure 15.14.

Mit Prey werden auf der x-Achse die Beutetiere bezeichnet und auf der y-Achse sind die Räuber mit Predators augetragen. Die kreisförmig angeordneten Pfeile widerspiegeln die gemeinsamen Veränderungen der Populationsanzahl von Räuber und Beute zeitabhängig. Es wird ein beliebiger Punkt auf diesem Kreis im oberen linken Quadrat gewählt. Der ausgewählte Punkt befindet sich links der vertikalen Linie, in welchem nicht ausreichend viel Beute vorhanden ist um die Raubtiere anwachsen zu lassen. Der Pfeil zeigt daher nach unten. Auf der anderen Seite ist oberhalb der Horizontallinie die Anzahl der Räuber zu groß, als dass sich die Beute vermehren könnte. Folglich bewegt sich der Pfeil nach links unten, bis die horizontale Linie überschritten wird. Aufgrund der kleinen Anzahl an Räuber, ist es nun möglich, dass sich die Beutepopulation wieder vermehrt. Der Punkt am Pfeilkreis befindet sich nun rechts unten. Die Oszillation der Räuber- als auch Beutepopulation im Verlauf der Zeit ist in der folgenden Grafik, Abbildung 5, zu sehen.<sup>40</sup>

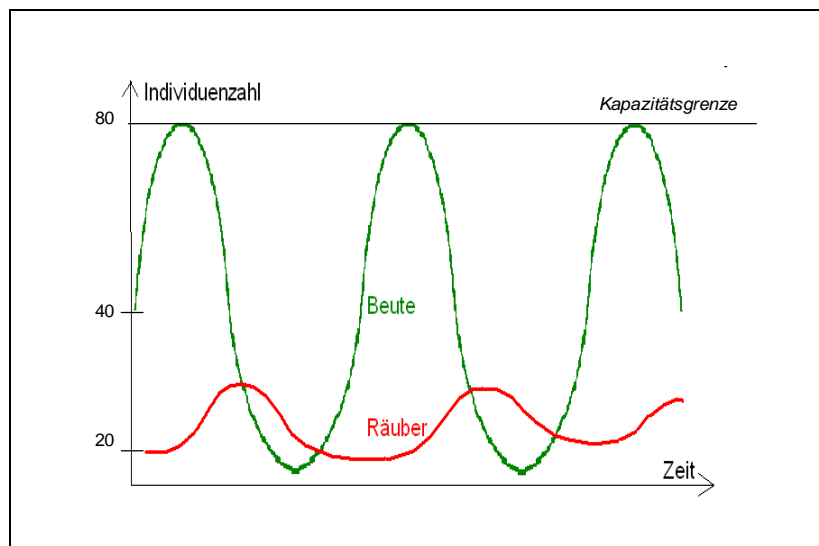


Abbildung 5: Räuber – Beute Oszillationen im Zeitablauf<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Vgl. Wislon, Bossert (1973) S.121.

<sup>41</sup> [http://www.ecotronics.ch/images/excHasFu.gif\\_1.12.09](http://www.ecotronics.ch/images/excHasFu.gif_1.12.09)

Basierend auf der Periodisierung der Lösungen besagt das zweite Lotka-Volterra Gesetz, dass die Mittelwerte der Populationen in einer Räuber-Beute-Beziehung über eine längere Periode hinweg gleich bleiben. Das Gesetz ist bei unveränderten Umweltbedingungen gültig und die zeitlichen Mittelwerte sind von den Anfangsbeständen der Arten unabhängig. Die durchschnittlichen Größen der Populationen sind gleich den Anzahlen des Gleichgewichtszustandes hinsichtlich der Wachstumsrate  $\varepsilon_i$  und des Fresskoeffizienten  $\gamma_i$ .

Auf der einen Seite ist der Mittelwert der Beutetiere von der Sterbe- und der Fressrate der Räuber abhängig. Auf der anderen Seite errechnet sich der Mittelwert der Räuber hingegen aus Wachstums- und Sterberate der Beutetiere. Die Kontrolle der Anzahl der beiden Populationen liegt hier der jeweils anderen Art zu Grunde. „Loi de la conservation des moyennes.“<sup>42</sup>, sprich das Gesetz der Erhaltung der Mittelwerte, sowie das folgende dritte Gesetz der Störung der Mittelwerte, „Loi de la perturbation des moyennes.“<sup>43</sup>, werden in der nachstehenden Formel 6 demonstriert.<sup>44</sup>

2. Gesetz der periodischen Zykel:

$$\bar{N}_1 = \frac{\varepsilon_2}{\gamma_2} \quad \text{und} \quad \bar{N}_2 = \frac{\varepsilon_1}{\gamma_1}$$

3. Gesetz der Störung der Mittelwerte:

$$\bar{N}_1 = \frac{\varepsilon_2 + \beta}{\gamma_2} \quad \text{und} \quad \bar{N}_2 = \frac{\varepsilon_1 - \alpha}{\gamma_1}$$

Formel 6: 2. und 3. Lotka-Volterra Gesetz

---

Hoppensteadt (2006) S.1.

<sup>42</sup> Volterra (1931) S.15.

<sup>43</sup> Volterra (1931) S.15.

<sup>44</sup> Vgl. Wirsching (2006) S. 65ff.

Das dritte Lotka-Volterra Gesetz behandelt die Auswirkungen, wenn beide Populationen proportional zur ihrer Anzahl dezimiert werden. Vermindern sich also sowohl die Räuber als auch die Beutetiere, so wird der Mittelwert der Beutepopulation kurzfristig größer, währenddessen die durchschnittliche Anzahl der Räuber sinkt. Im Gegensatz zu den periodischen Zyklen passiert die Reduzierung der Räuber zur gleichen Zeit wie die Verminderung der Beutetiere. Aufgrund des Mangels an Nahrung bricht die Räuberpopulation zusammen und ohne natürlichen Feind herrschen dann optimale Bedingungen für das Beutewachstum. Schließlich kann die Population der Räuber sich wieder erholen, was im Regelfall aber längere Zeit braucht.

In der quantitativen Version, wie bereits in den obigen Gleichungen dargestellt, ist  $\alpha$  die Sterberate der Beute und  $\beta$  die Sterberate der Räuber. Daraus ergeben sich die durchschnittlichen Werte für die Lösungen der gestörten Gleichungen. Zur näheren Erläuterung: Der Mittelwert der Beutetiere wird größer, wenn die Anzahl der Räuber sinkt und umgekehrt wird der Räubermittelwert reduziert, wenn weniger Beute vorhanden ist. Dies gilt unabhängig von einer Populationsverminderung solange diese nicht ganz ausgerottet wird.

Dieses letzte Gesetz ist besonders aufgrund seiner biologischen Interpretation sehr interessant. Wenn beispielsweise Maßnahmen der Schädlingsbekämpfung betrachtet werden, bewirken manche Insektizide nicht nur eine Verminderung der Schädlinge, sondern auch deren natürlichen Feinde. Als Auswirkung ist dann ein größerer Schaden entstanden als das ohne Bekämpfungsmaßnahme der Fall gewesen wäre.<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> Vgl. Wilson, Bossert (1973) S.126f.



## 4 MODELL VON GOODWIN

Im diesem Kapitel wird das Modell von Goodwin vorgestellt, welches dem Lotka-Volterra Modell sehr ähnlich ist. Nach einer Einführung in das Modell, wird weiters das Differentialgleichungssystem hergeleitet und aufgestellt bevor das Modell kritisch begutachtet wird. Dieses Modell ist in der Realität aufgrund der eingeschränkten Annahmen weniger anwendbar, trotzdem hat es seine Wichtigkeit in der Konjunkturtheorie. Dieses Modell dient als Basis des in Kapitel 6 erläuterten Experiments.

### 4.1 EINFÜHRUNG IN DAS GOODWIN-MODELL

Die Bedeutung des Lotka-Volterra Modells in der Betriebswirtschaft lässt sich gleichstellen mit der des Modells von Richard Goodwin in der Volkswirtschaft. In dem 1965 veröffentlichten Goodwin-Modell werden die volkswirtschaftlichen Verflechtungen beschrieben und im Speziellen der Zusammenhang zwischen funktioneller Einkommensverteilung und Konjunkturzyklus dargestellt. Das Geflecht der Volkswirtschaft in einem Modell widerzuspiegeln, ist aufgrund der Vielzahl von Variablen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung haben, komplex und schwierig. Im Gegensatz zu Simulationen, die möglichst viele Komponenten berücksichtigen sollen, beschränken sich Modelle auf nur wenige wichtige Elemente.<sup>46</sup>

Das Goodwin Modell stellt eine ökonomische Beziehung zwischen Lohnquote und Beschäftigungsquote her oder mit anderen Worten den Zusammenhang zwischen Gehältern und Arbeitslosigkeit. Dieses Model wird aufgrund des verteilungspolitischen Sachverhaltes und der Verwendung von

Klassengegensätzen im kapitalistischen System als Erklärungsansatz zu den Marxistischen Konjunkturtheorien gezählt.<sup>47</sup> Als Ausgangspunkt des Goodwin-Modells wird eine Volkswirtschaft ohne außenwirtschaftliche oder staatliche Aktivitäten angenommen. Um den zyklischen Prozess der Lohn- und Beschäftigungsquote aufzeigen zu können, werden dem Modell nach Goodwin einige Annahmen zu Grunde gelegt:<sup>48</sup>

- Es gibt einen konstanten Fortschritt in der Technik.
- Die Anzahl der Arbeitskräfte wächst konstant an.
- Es gibt genau zwei homogene Produktionsfaktoren, nämlich Arbeit und Kapital.
- Es werden nur Nettowerte angenommen.
- Das Gehalt wird gänzlich ausgegeben und das Profiteinkommen wird gespart um wieder investieren zu können.
- Bei Vollbeschäftigung wächst der Reallohnsatz als Funktion der Beschäftigungsquote an.

Ausgehend von diesen Einschränkungen beschreibt Goodwin ein System von zwei Differentialgleichungen für die Entwicklung der Lohn- und Beschäftigungsquote, welche sowohl von separaten Einflussfaktoren als auch von dem Niveau der jeweils anderen Quote bestimmt wird. Wie bereits erwähnt ähnelt das Goodwin-Modell sehr dem Modell von Lotka und Volterra und zur Verdeutlichung der Ähnlichkeit werden nun die Parameter der beiden Modelle in Tabelle 1 gegenübergestellt. Wie ersichtlich ist, sind die äquivalenten Variablen für die Beute- bzw. Räuberpopulation die Lohn- bzw. Beschäftigungsquote.

---

<sup>46</sup> Vgl. Goodwin (1967) S.165ff.

<sup>47</sup> Vgl. Heubes (1986) S.86ff.

<sup>48</sup> Vgl. Goodwin (1967) S.165ff.

<b><i>Räuber – Beute Modell von Lotka und Volterra</i></b>	<b><i>Modell von Goodwin</i></b>
<i>Bestand der Hasen (Beute)</i>	<i>Lohnquote</i>
<i>Bestand der Füchse (Räuber)</i>	<i>Beschäftigungsquote</i>
<i>Futter für Hasen</i>	<i>Wachstumsrate des Lohnsatzes</i>
<i>Futter für Füchse</i>	<i>Investitionsquote</i>

Tabelle 1: Vergleich der Parameter zwischen den Modellen von Lotka-Volterra und Goodwin<sup>49</sup>

#### 4.2 GOODWIN- MODELL – GLEICHUNGSSYSTEM

Der Zusammenhang zwischen dem Goodwin Modell und dem Differentialgleichungssystem von Lotka und Volterra wird in diesem Abschnitt näher erläutert.

Um eine Beziehung zwischen der Lohn- und der Beschäftigungsquote herzustellen, werden die zwei Differentialgleichungen hergeleitet. Es wird ersichtlich werden, dass die formale Struktur dem des Gleichungssystems von Lotka und Volterra sehr ähnlich ist. Die erste Gleichung beschreibt die Entwicklung der Lohnquote  $\mu$  in Abhängigkeit vom aktuellen Niveau der Lohnquote und der Beschäftigungsquote. Wobei laut Definition die Lohnquote der Lohnanteil am Volkseinkommen ist, damit gilt, dass der Reallohnsatz mit der Anzahl der unselbstständig Beschäftigten multipliziert wird und dann das Produkt durch das Volkseinkommen geteilt werden muss. Anders ausgedrückt, ist die Lohnquote der Quotient aus Reallohnsatz durch Arbeitsproduktivität.

Die zweite Differentialgleichung beschreibt die Entwicklung der Beschäftigungsquote  $v$  in Abhängigkeit vom aktuellen Niveau des Lohns und

der Beschäftigung.<sup>50</sup> Zur Übersicht sind in Tabelle 2 die Variablen des Goodwin Modells, angelehnt an Lorenz, zusammengefasst.

<i>Lohnquote</i>	$\mu = wL/Y = w/a$	<i>Beschäftigungsquote</i>	$v = L/N$
<i>Lohnsatz</i>	$w$	<i>Arbeitsangebot</i>	$N$
<i>Produktionsleistung</i>	$Y$	<i>Kapital</i>	$K$
<i>Arbeit</i>	$L$	<i>Kapitalkoeffizient</i>	$K/Y$
<i>Arbeitsproduktivität</i>	$Y/L = a$	<i>Kapitalquote</i>	$1 - w/a$
<i>Lohn</i>	$wL$	<i>Ersparnis</i>	$(1 - w/a)Y$
<i>Gewinneinkommen</i>	$Y = wL$	<i>Investition</i>	$I$
<i>Güterpreis</i>	$p = 1$		

Tabelle 2: Parameter im Goodwin-Modell<sup>51</sup>

Mit den Gleichungen in Formel 7 wird das Modell von Goodwin beschrieben. Die entsprechende Wachstumsrate des Kapitals, wenn die Investitionen gleich den Ersparnissen sind, wird in Gleichung I dargestellt. Wenn die Kapitalproduktivität konstant ist, gleicht die Wachstumsrate des Kapitals der Wachstumsrate des Einkommens. Die Beschäftigung wird definiert als Quotient aus Produktionsleistung durch die exogen gegebene Arbeitsproduktivität  $a$ . Nach logarithmischer Ableitung erhält man Gleichung II. Resultierende Wachstumsraten lassen sich in Gleichung III zusammenfassen.

Durch logarithmische Differenzierung und Substitution erhält man die Veränderung der Beschäftigungsquote, welche in Gleichung IV beschrieben ist. Es wird weiters ein reales Lohneinkommen angenommen, das bei annähernder Vollbeschäftigung anwächst. Das Wachstum der Löhne wird mit einer linearen Phillips Kurve, wie in Gleichung V gezeigt, angenähert.

<sup>49</sup> Vgl. Leopold-Wildburger (1997) S.165ff.

<sup>50</sup> Vgl. Goodwin (1967) S.165ff.

<sup>51</sup> Vgl. Lorenz (1993) S.67.

Schließlich werden die Veränderungen von Lohnquote und Beschäftigungsquote in den Differentialgleichungen VI dargestellt.<sup>52</sup>

I	$\bar{K} = \frac{(1 - \frac{w}{a}) Y}{K} = \frac{(1 - \frac{w}{a})}{\sigma}$
II	$\dot{\bar{K}} = \bar{K} - \phi = \frac{1 - \frac{w}{a}}{\sigma} - \phi$
III	$\bar{N} = n \quad \bar{K} = \frac{(1 - \frac{w}{a}) Y}{K} = \frac{(1 - \frac{w}{a})}{\sigma}$ $\bar{a} = \phi \quad \bar{K} = \frac{(1 - \frac{w}{a})}{\sigma} - \phi = \bar{Y} - \phi$ $\bar{Y} = \bar{K}$
IV	$\bar{v} = \bar{L} - \bar{N} = \bar{Y} - \phi - n = \frac{(1 - \frac{w}{a})}{\sigma} - \phi - (\phi + n) = \bar{Y} - \phi$ <p style="margin-left: 20px;">bzw. <math>\bar{v} = (\frac{1 - \mu}{\sigma} - (\phi + n)) v</math></p>
V	$\dot{\bar{\mu}} = (-\gamma + p v - \phi) \mu$

<i>Entwicklung von Beschäftigungsquote &amp; Lohnquote</i>	
VI	$\dot{\bar{v}} = (\frac{1}{\sigma} - \phi + n) v - \frac{1}{\sigma} \mu v$ $\dot{\bar{\mu}} = -(\gamma + \phi) \mu + p \mu v$

Formel 7: Modell von Goodwin

Es wird ersichtlich, dass in dem Gleichungssystem die Entwicklung der beiden Quoten sowohl von den Variablen, die die beiden Quoten charakterisieren, als auch vom aktuellen Niveau beider Quoten beeinflusst wird. Alle Lösungen im Gleichungssystem oszillieren um einen gemeinsamen inneren Gleichgewichtspunkt in der gleichen Periode. Gleich wie im Räuber-Beute Modell von Lotka und Volterra stellt das Gleichungssystem von

<sup>52</sup> Vgl. Lorenz (1993) S.68ff.

Goodwin die Veränderungsrate der beiden Variablen im Zeitablauf dar. Abbildung 6 zeigt den Variablenverlauf bei einer Ungleichgewichtssituation in einem Phasendiagramm. Auf der x-Achse ist die Beschäftigungsquote, welche analog zur Beutepopulation ist, aufgetragen. Die y-Achse bezeichnet die Lohnquote, welche mit der Räuberpopulation gleichzusetzen ist. Es wird darauf hingewiesen, dass in weiterer Folge die Achsen bezüglich der Räuber- und Beutepopulationen umgekehrt beschriftet werden.

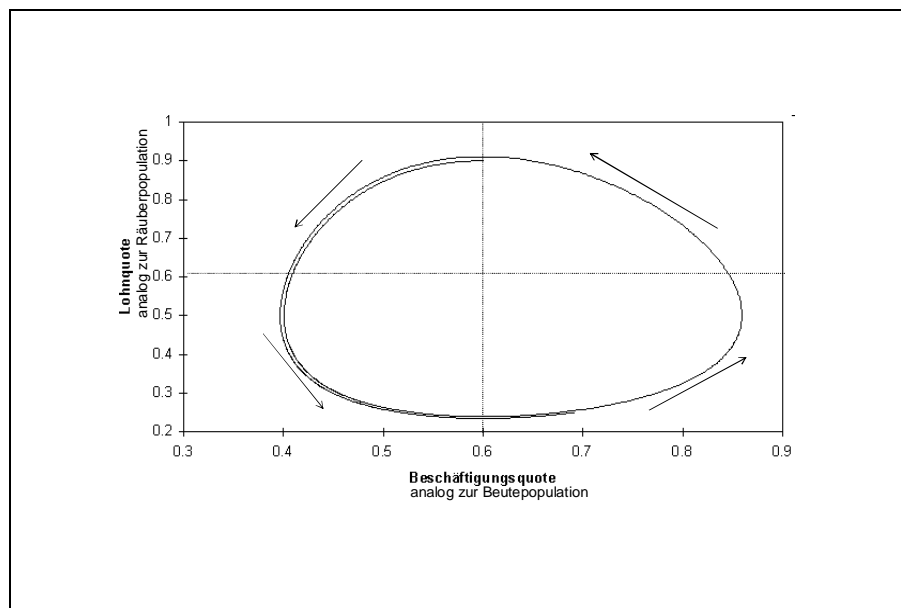


Abbildung 6: Phasendiagramm Goodwin – Modell<sup>53</sup>

Werden die gegenseitigen Interdependenzen von Beschäftigungs- bzw. Lohnquote über einen sehr langen Zeitraum betrachtet, so können anhand dieses Modells Konjunkturzyklen aufgezeigt werden, welches anhand eines Beispiels nun demonstriert wird. Im Phasendiagramm links oben beginnend steht eine relativ hohe Lohnquote einem geringen Beschäftigungsanteil gegenüber. Einem Unternehmen bleibt nur wenig zum Investieren übrig und das spiegelt sich in einer Verminderung der Produktion wider, was die Beschäftigungsquote sinken lässt.

<sup>53</sup> Lorenz, Lange (1996) S.368.

Das Resultat sind Lohnsenkungen, was ein Unternehmen verleitet wieder mehr Mitarbeiter zu engagieren und folgend beginnt die Produktion zu steigen. Der Beschäftigungsgrad steigt mit erhöhter Produktion, was wiederum eine Erhöhung der Lohnquote aufgrund zunehmender Verhandlungsmacht der Mitarbeiter bewirkt. Eine hohe Lohnquote bewirkt eine Verminderung der Beschäftigungsquote und die Produktion sinkt wegen der geringen Investitionen.

Schließlich soll durch gezielte Steuerungsmaßnahmen auf das System so eingewirkt werden, dass die Erreichung des Gleichgewichts möglich ist und ein kontinuierliches Wachstum erfolgt.

#### 4.3 KRITIK AM GOODWIN-MODELL – KRITISCHE WÜRDIGUNG

Dem Modell von Goodwin werden sehr starke Restriktionen zu Grunde gelegt, weshalb dieses auch nur sehr bedingt in die Realität umlegbar ist. So sollte beispielsweise der grenzenlose exponentielle Wachstumsverlauf der Arbeiterkräfteentwicklung hinterfragt werden, wenngleich die Ressourcen begrenzt sind. Als Teil der oszillierenden Gesamtentwicklung ist es jedoch absolut plausibel. Es stellt sich weiters die Frage, ob zwischen Investition und Wachstums des Outputs tatsächlich ein linearer Zusammenhang besteht, weil in realen Daten beträchtliche Abweichungen vorkommen. Die strukturelle Instabilität des Modells wurde in der Literatur öfters kritisiert. Mit Sicherheit stellt das Goodwin-Modell keine perfekte Abbildung der Wirklichkeit dar, dennoch steht dem gegenüber, dass es Konjunkturschwankungen wirklich gibt. Demzufolge sei es Goodwin vorbehalten, erstmals einen rein endogenen Erklärungsansatz der Schwankungen der Konjunkturtheorie geboten zu haben.

## 5 EINFÜHRUNG IN DIE VERHALTENSFORSCHUNG

Um das Verhalten des Menschen, die evolutionäre Entwicklung und alle dafür relevanten inneren und äußeren Ursachen untersuchen zu können, bedienen wir uns der Psychologie. Als empirische Wissenschaft werden in der Psychologie Theorien, abgeleitete Modelle, sowie Annahmen um konkrete Fragen beantworten zu können, mit wissenschaftlichen Methoden geprüft. Anhand geeigneter empirischer Methodik sollen mentale Prozesse, konkrete Verhaltensmechanismen sowie Interaktionen von mentalen Prozessen erforscht werden, um das Verhalten von Menschen beschreiben und erklären zu können.

Ethologie, die Lehre vom Verhalten, lässt sich vom griechischen Ethos (Sinnesart, Charakter, Gewohnheit) und Logos herleiten. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde der damals vorherrschende Begriff der Tierpsychologie durch diesen Begriff im deutschen Sprachraum ersetzt. Traditionell wird Ethologie als die klassische vergleichende Verhaltensforschung bezeichnet, in weiterer Folge aber auch als Verhaltensbiologie.<sup>54</sup>

### 5.1 DIE KLASSISCHE ETHOLOGISCHE INSTINKTFORSCHUNG

Oskar Heinroth, der als Pionier wesentlich zu dem Gebiet der Verhaltensforschung beigetragen hat, beschäftigte sich mit dem Verhalten von Gänsen und Enten, wobei er herausfand, dass diverse Bewegungen von Tieren gleichen Geschlechts und gleicher Art mit derselben Körperhaltung vollzogen werden.

---

<sup>54</sup> Vgl. Wuketits (1995) S.23.



Diverse Bewegungen bezeichnet Heinroth als arteigene Triebhandlungen und er konnte in weiterer Folge starke oder schwache Abwandlungen der Verhaltensbewegungen von verwandten Tierarten feststellen. Diese genauen Verhaltensbeobachtungen wurden von Heinroth und später von seinem Schüler Konrad Lorenz zur evolutionären Deutung ihres Entstehens gemacht.<sup>55</sup>

Das Konzept der Instinktbewegungen geht davon aus, dass diverses Verhalten im Erbgut verankert ist und durch Schlüsselreize hervorgerufen werden kann, gleichzeitig müssen aber innere Energien bestehend sein. Das Zusammentreffen von externem Auslöser, Bereitschaft zur Handlung und bestimmtem Verhalten hat sich aufgrund der Zweckmäßigkeit im Evolutionsprozess verändert, sowie weiterentwickelt und sorgt letztlich für die Artenerhaltung.

Die ethologische Instinktforschung ist besonders durch das Beobachten des Verhaltens unter natürlichen Umweltbedingungen und Ethogrammen gekennzeichnet. Exakte Beschreibungen der beobachtbaren Verhaltensweisen ermöglichen das Erstellen von Verhaltensprotokollen, in denen die Häufigkeit und die Zeitabfolge notiert werden, um somit dann Verhaltensweisen qualitativ und quantitativ analysieren zu können. Ursprünglich wurde mit dem Begriff Instinktbewegung Verhaltensmuster, welche angeboren sind, verbunden. Mittlerweile wurde jedoch festgestellt, dass solche starren Reaktionen auf externe Anreize die Ausnahme sind und sowohl die Gene als auch die Umwelt in Hinsicht auf einzelne Verhaltensarten einen Einfluss haben.

Zusammenfassend geht also die klassische vergleichende Verhaltensforschung von dem Ansatz aus, dass die vielfältigen und komplexen Verhaltensarten der Tiere auf bestimmten Grundbausteinen des

---

<sup>55</sup> Vgl. Lorenz (1987) S.85ff.

Verhaltens, den Instinktbewegungen, basieren. Ganz im Gegensatz zum Behaviorismus wird das Verhalten von inneren Antrieben geleitet.<sup>56</sup>

## 5.2 VERHALTENS BIOLOGIE

Die aus der klassischen vergleichenden Verhaltensforschung hervorgegangene Instinkttheorie wurde von den neueren behavioristischen und verhaltensökologischen sowie neurobiologischen Befunden als überholt angesehen und abgelöst. So wurde in den 1980er Jahren der verwendete Begriff Ethologie immer weniger angewandt und eine neutralere Bezeichnung, nämlich Verhaltensbiologie, eingeführt. Ausserhalb des deutschen Sprachraums wird allgemeiner Weise Verhaltensbiologie mit „ethology“ übersetzt und gleichgesetzt.<sup>57</sup>

Die zentralen Fragen, welche in der Verhaltensbiologie gestellt werden, beinhalten die Ursachen, die ein Verhalten nach sich zieht. In der Verhaltensbiologie wird insbesondere auf folgende Fragestellungen eingegangen:

- Welche inneren und äußeren Faktoren lösen das Verhalten aus?
- Wie wird Verhalten gesteuert?
- Wie beeinflussen sich Umwelt und Verhalten?

Die Verhaltensbiologie erforscht das Verhalten der Lebewesen, stellt Vergleiche zwischen Individuen und Arten an und versucht das Entstehen bestimmter Verhaltensweisen im Laufe der Entwicklung, also den "Nutzen" für das Individuum zu erörtern.

---

<sup>56</sup> Vgl. Eibl-Eibesfeldt (1987) S.49ff.

<sup>57</sup> Vgl. Kappeler (2006) S.10ff.

Die Vielfalt der Teildisziplinen und Arbeitsmethoden lässt sich an einer Beispielfrage schnell zeigen: Warum bebrüten Vögel Eier? Abhängig von der Veränderung der Betonung dieser Frage, kann diese vierfach aufgegliedert werden:

1. Warum bebrüten Vögel **Eier**?
2. Warum bebrüten **Vögel** Eier?
3. Warum **bebrüten** Vögel Eier?
4. **Warum** bebrüten Vögel Eier?

Insofern beschäftigt sich die Verhaltensbiologie mit nachstehenden verschiedenen Verhaltensaspekten:

1. Woran erkennt ein Vogel das Ei, wie unterscheidet sich das Ei von beispielsweise einem Stein?
2. Warum weisen gerade Vögel und nicht etwa Hunde oder Katzen ein Brutverhalten auf?
3. Was hindert den Vogel daran das Ei einfach aufzufressen? Warum weiss der Vogel, dass er das Ei sitzend ausbrüten muss?
4. Welchen Anpassungswert hat das Erbrüten von Jungen? Existiert ein Zusammenhang zwischen Brutverhalten, Flugfähigkeit und Fluggewicht einer Vogelmutter?

Der Verhaltensforscher Nikolaas Tinbergen erläuterte verschiedene Ebenen zur Verhaltensklärung folgendermaßen:<sup>58</sup>

- Proximate Ursachen - Wirkungsursache ( proximate causation)

Es stellt sich die Frage, wie etwas funktioniert. Auf der einen Seite gibt es die Mechanismen der Verhaltenssteuerung (Physiologie) und auf der anderen Seite stehen die Mechanismen der Verhaltensentwicklung. Diese lassen sich wiederum in ontogenetische Verhaltensentwicklung (ontogenetic development), welche physiologische und genetisch bedingt sind, und in phylogenetische Verhaltensentwicklung (evolutionary development) unterteilen, mit welcher sich die Evolutionstheorie, Populationsgenetik und Spieltheorie beschäftigt.

- Ultimate Ursachen – Zweckursache (ultimate function)

Hier stellt sich die Frage nach der Funktion des Merkmals, welche in der Evolutionstheorie und Populationsgenetik behandelt wird.

Im Vergleich behandelt nun die klassische vergleichende Verhaltensforschung, sprich Ethologie, die Frage wie etwas geschieht. Es ist von den Mechanismen der Verhaltenssteuerung die Rede. Hierzu sei auf die Instinkttheorie verwiesen, das bedeutet, es werden die proximativen Ursachen analysiert.

Die Verhaltensbiologie dazu behandelt vorrangig die Frage, warum etwas geschieht. Sie beschäftigt sich somit mit der evolutionären Anpassung von Verhaltensweisen, also mit den Ursachen. Es wird das Verhalten der Lebewesen in einer spezifischen Umwelt sowie deren evolutionären Verhaltensanpassung an einzelne Umweltbedingungen analysiert. Die Evolutionstheorie dient dabei als Basis, welche besagt, dass letztlich eine

---

<sup>58</sup> Vgl. Tinbergen (1956) S.55.

Umweltanpassung das Ergebnis einer Selektion ist, welche zur Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit führt. Zum Beispiel wird anhand mathematischer Modelle versucht das Verhalten eines optimal angepassten Individuums zu erklären.

### 5.3 ENTSCHEIDUNGSFORSCHUNG

„The problem of time, attention and information management are critical to research in decision making. Limitations on attention and information raise dilemmas for actors in the system and cause difficulties for those who try to understand decisions. If attention is rationed, decisions can no longer be predicted simply by knowing the features of alternatives and desires. Decisions will be affected by the way decisions makers attend (or fail to attend) to particular preferences, alternatives and consequences.“<sup>59</sup>

Entscheiden bedeutet überlegtes Wählen zwischen Alternativen. Ein wichtiger Faktor beim Treffen jeder Entscheidung ist der Grad an Unsicherheit der möglich eintreffenden Ergebnisse. Wir leben in einer probabilistischen Welt, die also Unsicherheit mit sich bringt und wenn relevante unsichere Ergebnisse unangenehm oder mit hohen Kosten verbunden sind, werden diese Entscheidungen als risikoreich empfunden. Auf der anderen Seite werden Entscheidungen unter vertrauten Umständen oft schnell und mit weniger Überlegungen getroffen. Der Faktor Zeit spielt im Entscheidungsprozess eine wichtige Rolle. Es wird zwischen den einmaligen Entscheidungen und den sich entwickelnden Entscheidungen unterschieden, wobei der Zeitdruck die Entscheidungsfindung beeinflusst.

---

<sup>59</sup> March (1994) S.24.

Die Entscheidungsforschung kann in drei Klassen unterteilt werden:<sup>60</sup>

- Zum einen werden rationale Entscheidungen untersucht. Dabei handelt es sich um Entscheidungen, die Menschen entsprechend eines optimalen Rahmens treffen sollen, wie beispielsweise die Maximierung des erwarteten Profits.
- Zum anderen gibt es den kognitiven Ansatz. Es stellt sich die Frage, inwiefern Fehler und Entscheidungsvorgänge auf begrenzte Rationalität, Auswahlstrategien und Routine in der Entscheidungsfindung zurückzuführen sind. Es gilt die Ursachen dieser Fehler und Strategien hinsichtlich des menschlichen Informationsverarbeitungssystems zu erfassen und zu verstehen.
- Als drittes gibt es noch den Ansatz des natürlichen Treffens von Entscheidungen. Wie kommen Menschen zu ihrer Entscheidungsfindung in der realen Umwelt? Das heißt Entscheidungsfindung ausserhalb des Labors, was einen höheren Grad an Komplexität mit sich bringt, wie beispielsweise die Entwicklung über die Zeit.

---

<sup>60</sup> Vgl. Wickens, Hollands (2008) S.280.

Im Folgenden stellt die Grafik in Abbildung 7 ein Informationsverarbeitungsmodell in einem Entscheidungsprozess dar.<sup>61</sup>

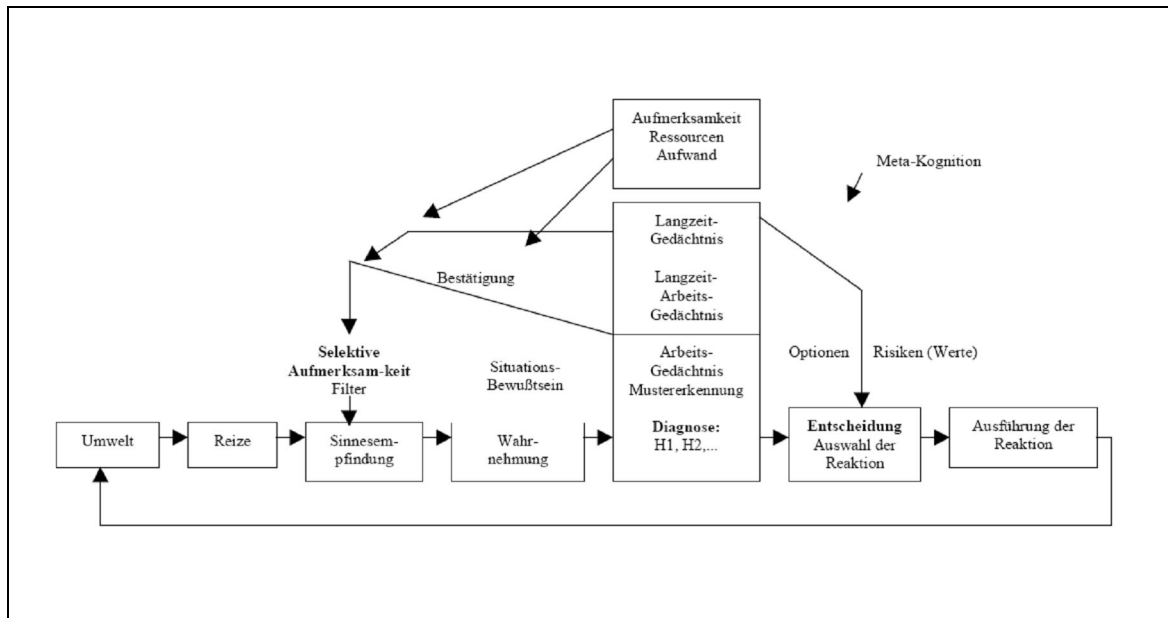


Abbildung 7: Informationsverarbeitungsmodell im Entscheidungsprozess

Die wichtigsten Schritte in der Verarbeitung von Information werden nun hinsichtlich des Entscheidungsverhaltens näher beschrieben. Am Anfang ist die selektive Auswahl, welche aufgrund von Hinweisreizen von der Umwelt weiterverfolgt und getroffen wird, wichtig. Die Auswahl basiert auf Erfahrungen und bedingt Aufmerksamkeit. In der Phase der Diagnose werden die selektierten Reize wahrgenommen, welche dann als Grundlage für den Entscheidungsträger dient um die Situation richtig einzuschätzen. Das Zusammenspiel von Wahrnehmung, Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis wird Situations-Bewusstsein genannt, durch welches Annahmen über derzeitige und zukünftige Umweltzustände zu treffen möglich ist.

<sup>61</sup> Wickens, Hollands (2000) S.285.

Die Feststellung der Diagnose beruht auf zwei Informationsquellen. Zum einen auf der selektiv gefilterten Information aus der Umwelt und zum anderen auf dem Langzeitgedächtnis, mit welchem Annahmen getroffen und Einschätzungen der Wahrscheinlichkeit dieser Annahmen gemacht werden.

Aufgrund der unsicheren Hinweisreize aus der Umwelt und der Fehleranfälligkeit im kognitiven Entscheidungsprozess, der auf der selektiven Aufmerksamkeit basiert, ist die Diagnose, auf die eine Entscheidung beruht, des öfteren nicht richtig. Bei unsicheren Entscheidungen wird das Risiko der verschiedenen Alternativen mittels Werte wie Kosten und Nutzen eingeschätzt, bevor eine Entscheidung getroffen wird. Schließlich spielt die Ebene der Meta-Kognition im Entscheidungsprozess eine wichtige Rolle.

Das Bewusstsein vom eigenen Wissen und Aufmerksamkeit hat eine große Bedeutung für die Qualität von Entscheidungen. Es ist wesentlich, ob der Entscheidungsträger sich seiner Grenzen bewusst ist, sowie es auch wichtig ist zu wissen ob die vorhandene Information möglicherweise nicht ausreichend ist um eine gute Entscheidung treffen zu können.

### *5.3.1 WAS SIND „GUTE“ ENTSCHEIDUNGEN?*

Eine Tatsache ist, dass menschliche Entscheidungsprozesse nicht perfekt sind und verschiedene Fehler gemacht werden. Ein Konzept der „guten“ Entscheidungen kann demzufolge nicht erstellt werden, aber es wird versucht diese zu charakterisieren.

- In der Normativen Schule wird davon ausgegangen, dass die optimale Entscheidung nach mehrfacher Wiederholung, also langfristig zum Maximalwert führen muss. Die Schwierigkeit liegt nur in der Definition eines gemeinsam erwarteten Wertes. Menschen bewerten grundsätzlich unterschiedlich, aber auch wenn man sich



über Werte einigen könnte, ist diese eventuell nicht die optimale Wahl in einer Einzelentscheidung.

- Des Weiteren wird behauptet, dass „gute“ Entscheidungen gute Ergebnisse und „schlechte“ Entscheidungen schlechte Ergebnisse bewirken. Allerdings kann oft erst im Nachhinein festgestellt werden, wie eine Entscheidung war.
- Eine andere Definition ist das Konzept der Entscheidungsexperten, allerdings ist es umstritten, ob Experten wirklich bessere Entscheidungen fällen wie der Einzelne bzw. Laie.

Um eine effektive Entscheidung treffen zu können, sollten alle drei Definitionen berücksichtigt werden.

Im Weiteren werden einzelne Komponenten des Informationsverarbeitungssystems genauer erläutert und besonders wird auf Störfaktoren, welche die Qualität der Diagnose und somit auch die Entscheidung beeinflussen, eingegangen.

### *5.3.2 KOMPONENTEN DES INFORMATIONSVERARBEITUNGSSYSTEMS*

Der Mensch könnte als „intuitiver Statistiker“ bezeichnet werden, da er versucht den Zustand der Welt anhand vieler Beobachtungen einzuschätzen. Um letztlich ein Bild, welches mit der Realität korreliert, zu erhalten, müssen die vielen Hinweisreize verarbeitet werden:

- **Selektive Aufmerksamkeit:** Aus der Vielzahl aller Reize werden die wichtigsten, sprich die mit einem hohen Informationswert, herausgefiltert.

- Reizintegration: Die Information wird mit jener, die bereits im Gedächtnis vorhanden ist, verbunden.
- Hypothesen können aufgrund von Erwartungen oder Vorurteile aus dem Langzeitgedächtnis bevorzugt werden.
- Letztlich als Grundlage jeder Entscheidung dient das wiederholte Testen von Hypothesen um Sicherheit, betreffend den Umweltzustand, zu bekommen.

Die Bearbeitung und Integration der vielen Hinweisreize, welche sich zeitlich und örtlich unterscheiden, stellen eine große Herausforderung an die Aufmerksamkeit der Menschen. Es werden vier verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, wie diese Aufmerksamkeit gestört werden kann.

- Dem Informationsträger fehlen meist alle relevanten Informationen um die Situation einschätzen und eine Diagnose erstellen zu können. Deshalb wird von einem guten Entscheidungsträger gesprochen, der sich dessen bewusst ist und sich die nötigen Informationen beschafft, bevor er eine Entscheidung trifft.
- Auf der anderen Seite ist oftmals zu viel Information vorhanden und der Überschuss an Hinweisreizen kann vom Prozess der Aufmerksamkeit nicht bewältigt werden. Es stellt sich die Frage, welche Informationen zuerst, beziehungsweise überhaupt beachtet werden müssen, wobei Entscheidungen unter Zeitdruck das Ganze noch verschlimmern. Die Grenzen der Aufmerksamkeit und des Gedächtnisses sind sehr unflexibel. So können Menschen nur wenig Information auf einmal verarbeiten und integrieren. Bei zu viel Information kommt ein Filter zum Einsatz, welcher Zeit braucht, die gleichzeitig zur Informationsintegration gebraucht werden würde und

somit wird die Qualität der Entscheidung beeinflusst. Nichts desto trotz versuchen Menschen so viel Information wie nur möglich zu bekommen, mehr als sie verarbeiten können.

- Hinweisreize weisen unterschiedliche Grade an Auffälligkeiten auf, welche die Informationswahrnehmung und –integration beeinflussen. Die Information mit der größten Auffälligkeit wird dementsprechend mehr bemerkt und verarbeitet, wie beispielsweise das hellste Licht. Informationswert und Auffälligkeit eines Reizes sollte übereinstimmen, sonst könnte wichtige Information übersehen werden. Des Weiteren wird dazu geneigt komplexere Information, welche schwieriger zu beurteilen und zu integrieren ist, unterzubewerten. Ein Spezialfall stellt das vollkommene Fehlen eines Reizes dar. Aufgrund des Fehlens bestimmter Information können Diagnosen ausgeschlossen werden.
- Eine falsche Gewichtung der Reize, nicht dem Informationswert entsprechend, können ebenfalls die Qualität einer Entscheidung beeinträchtigen. Menschen tendieren dazu, alle Reize als gleichwertig anzusehen, was den kognitiven Aufwand unterschiedliche Gewichtungen zu bestimmen, erspart. Diese so genannten „As-if-Heuristik“ beeinflusst die Diagnose erst dann negativ, wenn ein niederwertiger Reiz sehr auffallend ist und es somit zu einer Überschätzung des Wertes dieses Reizes kommt. Ein Beispiel in der Militärdiagnostik dafür wäre, lieber billigere und unverlässlichere Information als teurere dafür aber verlässliche Information zu kaufen. Obwohl der Kauf von teurer Information einen größeren Wert pro Dollar einbrachte, setzte sich diese Billigmentalität durch.

Wenn nicht perfekte, also unsichere Informationen von einem Beobachter zum anderen weitergegeben werden, entstehen grobe Fehler. Das Wissen über die Unvollständigkeit oder Ungenauigkeit der Information kann bei

Überlieferung verloren gehen und somit wird aus einer anfangs unsicheren Meinung eine überzeugende.

Eine weitere Ursache für unsichere Information kann aufgrund von Reduzierung an Datenmengen, resultierend aus diversen Schlussfolgerungen, entstehen. So würde beispielsweise eine Meinungsumfrage basierend auf Aussagen von 10 Personen einen schlechteren Vorhersagewert haben, als eine basierend auf 100 Personen.

Laut Dawes, Faust und Meehl prognostizieren Menschen im Vergleich zu Maschinen schlechtere Vorhersagen und somit sollte die Rolle der Menschen darin bestehen, zuerst die relevanten Vorhersagevariablen zu identifizieren, dann die Richtung ihres Verhältnisses zum Kriterium festzusetzen um schließlich zu bestimmen, wie die Variablen gemessen werden sollen. Für die folgende Integration der Information und die Ableitung des daraus entstehenden Wertes bezüglich des Kriteriums sollte allein eine computer-basierende statistische Analyse zuständig sein.

Fazit ist, dass es grundsätzlich kein Problem für Menschen darstellt, Reize nach ihrer Verlässlichkeit zu gewichten. Wenn aber die Anzahl der Reize steigt und mehr Gewichtungen gemacht werden müssen, gelingt die Reihung der Informationswerte schlechter.

In Sachen Reizkorrelation kann gesagt werden, dass, wenn die Reize in einer Entscheidungssituation miteinander hoch korreliert sind, der Informationswert relativ ähnlich ist. Auffälligkeit und Gewichtung spielt dann eine nebensächliche Rolle. Ein Entscheidungsträger benötigt eine gewisse Menge an Erfahrung um Korrelationsmuster analysieren und dementsprechend dann bei der Klassifizierung verwerten zu können. Ebenso ist eine Vertrautheit mit Korrelationen, welche regelmäßig vorkommen, wichtig um solche wiederkehrende gemeinsam auftretende Wahrnehmungsmuster automatisch zu erkennen. Erfahrung und

Sachkenntnis stellen somit eine wichtige Voraussetzung für intuitive Informationsintegration dar.

Die oft einzige diagnostische Möglichkeit für einen Experten in Extremsituationen, wie Zeitdruck, in diversen Notfällen Entscheidungen zu treffen, ist die Methode des Recognition-primed-decision-making (RPD). Das Erkennen geht der Entscheidung voraus, in dem der Entscheidungsträger das Reizmuster erkennt und ohne den Prozess der Informationsgewichtung und -integration durchzumachen, die Situation diagnostiziert und einschätzt. Wenn keine Korrelation zwischen den Reizen existiert, der Zeitdruck wegfällt oder ein Reiz von der erwarteten Korrelation abweicht, wird ein Entscheidungsträger eine analytische Maßnahme der RPD-Strategie vorziehen.

Erwartungen, die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind, können in unterschiedlichen Umweltzuständen durch nachstehende Heuristiken zur fälschlichen Bevorzugung von Diagnosen führen.

In der Repräsentativitätsheuristik analysieren Menschen eine Situation indem sie ein Set an Hinweisreizen wahrnehmen, welches vom Langzeitgedächtnis identifizierend überprüft wird. Wenn dabei nun eine Übereinstimmung erfolgt, wird die im Langzeitgedächtnis gespeicherte Hypothese in der aktuellen Situation als gültig angesehen. Eine Fehleinschätzung erfolgt dann, wenn Reize zweideutig sind oder die Basisrate nicht beachtet wird. Zwar werden die Wahrscheinlichkeiten sowie die Basisraten bei Entscheidungsprozessen nicht völlig ignoriert, jedoch dominiert Repräsentativität einer Hypothese über die Wahrscheinlichkeitsinformation der Basisrate, wenn beide Informationen vorhanden sind. Die Wahrscheinlichkeitsinformation wird dann von Entscheidungsträgern genutzt, wenn die Repräsentativität zweideutig oder fehlend ist.

Die Verfügbarkeit einer Information, Verfügbarkeitsheuristik, in einem bestimmten Moment ist von mehreren Faktoren abhängig. Die Häufigkeit der Verwendung spielt dabei eine große Rolle. Je öfter die Information in der Vergangenheit benötigt wurde, desto verfügbarer ist sie und desto eher wird auf sie zurückgegriffen. An etwas, das eben erst passiert ist, was in unmittelbarer Vergangenheit verwendet wurde, kann man sich noch gut erinnern. Weiters ist die Einfachheit einer Hypothese wichtig. Wenn eine Hypothese ohne großen Aufwand im Gedächtnis abrufbar ist, wird sie eher abgefragt. Damit werden Lösungen mit einfacher Struktur jenen mit komplexeren vorgezogen. Der Grad der Ausarbeitung eines vergangenen Geschehens ist auch zu beachten. Wenn man sich mit etwas lange und ausführlich beschäftigt hat, ist es später leichter sich wieder daran zu erinnern und somit ist die Information verfügbarer.

Die Mehrzahl der Diagnosen sind keine einmaligen Aktionen, sondern erfolgen über einen längeren Zeitraum. Anfangs werden erste Hypothesen erstellt, welche in weiterer Folge mittels durchgeführten Tests verifiziert bzw. falsifiziert werden um schlussendlich die „Wahrheit“ herauszufinden. Hier gibt es auch diverse Möglichkeiten der Fehleinschätzung:

- Ein zu großes Vertrauen in die eigene Diagnose repräsentiert die Overconfidence. Aufgrund von experimentellen Daten kann festgestellt werden, dass Menschen ihren Wissenstand überschätzen. In der Selbstüberschätzung, alles zu wissen, wird nicht nach neuer Information gesucht, welche vielleicht nötig wäre um Hypothesen zu falsifizieren. Der Confirmation Bias wurde bei der Genauigkeit des eigenen Gedächtnisses, bei Fakten des Allgemeinwissens, bei Wiedererkennung spezieller Ereignisse und beim Ausmaß, in welchem Studierende im Studium und in der Praxis zu sehr an das angelernte Wissen glauben, nachgewiesen.

- Es gibt sogenannte Ankermechanismen, welche sich in Primacy und Recency Effects unterteilen lassen. Menschen bewerten Hypothesen unterschiedlich und es besteht die Tendenz, die zuerst gewählte Hypothese zu bevorzugen. Es wird sozusagen ein mentaler Anker auf diese Hypothese gelegt und es ist schwierig, diesen Anker dann auf eine andere Alternative umzulegen, ganz nach dem Motto: der erste Eindruck zählt. Gibt man mehreren Personen zwar dieselbe Information, aber in einer anderen Reihenfolge, so kommen die Personen zu unterschiedlichen Ergebnissen, nahe ihrer ersten Hypothese.

Im Recency-Effect kommt es zu einer Reizbevorzugung der kürzlich eingetroffenen Reize, weswegen auch von einem Neuheits-Effekt gesprochen werden kann. Ein Beispiel wäre ein Anwalt, welcher sein Schlussplädoyer als letzter hält.

Bei einfacher Information dominiert die Ankerheuristik, im Gegensatz dazu überwiegt bei komplexer Information der Neuheits-Effekt. Der Faktor der Neuheit nimmt zu, wenn die Validität oder Rentabilität einer Information über die Zeit hinweg abnimmt, weil man neuerer Information mehr glaubt als der veralteten.

Um solche Verzerrungseffekte zu verhindern oder zumindest zu vermindern, ist es notwendig, verfügbare Information gleichzeitig zu präsentieren und nicht sequentiell. Die Bereitstellung gleichzeitig verfügbarer Information in einem simultanen Format garantiert natürlich nicht, dass die Information auch wirklich zur selben Zeit aufgenommen wird, da dies von der Aufmerksamkeit und der Verarbeitungsstrategie des Individuums abhängig ist. Auf jeden Fall wird die Information parallel bereitgestellt und wenn es die Kapazitäten zulassen, kann zwischen ihnen variiert werden. Es wird somit aufgrund der Information selbst entschieden und nicht aufgrund von Neuheit oder Reihenfolge der Information.

- Des Weiteren haben Menschen den Drang, gemachte Hypothesen bestätigen zu wollen. Die Neigung, in erster Linie jene Information und Reize zu suchen, welche bereits gefasste Hypothesen bestärken, wird als Confirmation-Bias bezeichnet. Information wird entweder aktiv gesucht oder passiv wahrgenommen. Als passive Wahrnehmung gilt Hypothesen widerlegende Information. Zweideutige Information wird entsprechend Hypothesen unterstützend interpretiert. Das Ergebnis ist ein so genannter „kognitiver Tunnelblick“.

Die Ursache für die Ablehnung von widerlegender Information kann drei mögliche Gründe haben. Erstens bereitet der Umgang mit negativer Information den Menschen größere Schwierigkeiten als der mit positiver Information. Zweitens ist das Aufstellen neuer Hypothesen kognitiv aufwendiger, wie das wiederholende Bestätigen von bereits formulierten Hypothesen. Drittens ist es auch möglich, das Ergebnis entsprechend der eigenen Hypothese zu beeinflussen und somit wird die Diagnose von vornherein als richtig geglaubt. Ein Beispiel dafür sind sich selbst erfüllende Prophezeiungen, wenn z.B. ein Forscher Experimente durchführt, welche seine Hypothesen bestätigen.

Eine Informationssuche im Rahmen von bereits formulierten Hypothesen ist sinnvoll und effizienter als eine zufällige Suche. Die Gefahr liegt jedoch im „kognitiven Tunnel“. Diesen zu vermeiden gilt als Herausforderung für das Entwickeln von fehlermeldenden Systemen. Wie aufgezählt, gibt es viele Möglichkeiten um fehlerhafte Diagnosen zu stellen, allerdings muss hinzugefügt werden, dass solche Heuristiken meistens ausreichende bzw. auch korrekte Ergebnisse bieten können. Wenn Heuristiken nämlich öfter unzutreffend als zutreffend wären, würden sie von den Entscheidungsträgern nicht angewendet werden. Oft sind sogenannte „Shortcuts“ auch notwendig, aufgrund des einhergehenden Zeitdrucks in vielen Entscheidungen.



### 5.3.3 DIE ENTSCHEIDUNG

Bei der Auswahl einer Aktion bzw. Reaktion muss ausserdem noch der Wert, den der Entscheidungsträger den unterschiedlichen Ergebnissen gibt, berücksichtigt werden. Im Entscheidungsprozess spielen Bewertungen und Wahrscheinlichkeitserwartungen eine große Rolle. Es wird unterschieden zwischen einer sicheren Wahl und einer unsicheren Wahl.

Bei einer sicheren Wahl sind die Konsequenzen der Auswahl eindeutig und so werden die verschiedenen Eigenschaften aller möglichen Objekte, zum Beispiel beim Kauf eines Produktes, verglichen. Nach der Reihung der Wichtigkeit der Eigenschaften, werden die Objekte innerhalb der Eigenschaften gelistet um dann basierend auf der höchsten Summe der Produkte, aus Wert mal Wichtigkeit, sich für ein Objekt entscheiden zu können. Obwohl dieser Entscheidungsprozess eine gute Wahl garantiert, entscheiden sich viele Menschen dagegen und handeln nach Heuristiken und Shortcuts.

Das Satisfying Principle besagt zum Beispiel, dass viele Menschen sich mit einer „gut genug“ Entscheidung zufrieden geben, da sie sich nicht die Mühe machen wollen den ganzen Entscheidungsprozess zu vollziehen. Die Technik Wahlmöglichkeiten aufgrund von bestimmten Eigenschaften zu eliminieren, reduziert den kognitiven Aufwand im Entscheidungsprozess. So bedenkt der Entscheidungsträger zuerst die wichtigste Eigenschaft und schließt jene Alternative aus, welche diese nicht erfüllt.

Bei einer unsicheren Wahl hingegen sind die Konsequenzen einer Alternative nicht eindeutig und deshalb muss eine Entscheidung unter Unsicherheit getroffen werden. Die Entscheidung, basierend auf den größten erwarteten Wert einer Option, das Eintreten aller möglicher Zustände der Umwelt werden mit einer Wahrscheinlichkeit bewertet, ist aufgrund folgender Faktoren sehr komplex:

- Minimierung des maximal möglichen Verlustes. Eine Feuer-Versicherung hat auf lange Sicht gesehen einen negativen erwarteten Wert und trotzdem entscheiden sich die Leute für einen Abschluss.
- Schwierigkeit die Ergebnisse objektiv zu bewerten: Bewertung von Sicherheit betreffenden Konsequenzen, wie menschliche Verletzungen.
- Menschliche Wahrscheinlichkeitsschätzungen stimmen oft nicht mit objektiven Wahrscheinlichkeiten überein und somit stimmt die Berechnung der optimalen Strategie nicht mehr.

Bei der Wahl unter Unsicherheit gibt es ebenso Heuristiken und Biases, nämlich das Wiederholen einer früher erfolgreichen Alternative (Direct Retrieval), die Verzerrung von Werten und Kosten (Prospect theory) und der „Sunk Costs“ Bias.

Es werden oft Entscheidungen getroffen, ohne viel über Risiken (Wahrscheinlichkeiten und Werte) nachgedacht zu haben. Die Wahl basiert oft nur auf Erfahrungen, welche in der Vergangenheit gemacht wurden. Stimmt eine derzeitige Entscheidungssituation mit einer bereits erlebten Situation mit positivem Ergebnis überein, so wird der Entscheidungsträger sehr wahrscheinlich gleich agieren (direct retrieval).

Die Prospect theory belegt, dass Entscheidungsträger Geld nicht als lineare Wertfunktion behandeln, sondern anstatt dessen den erwarteten Nutzen maximieren wollen, wobei Nutzen als subjektiver Wert der erwarteten Ergebnisse definiert ist. Der wahrgenommene Wert spielt eine große Rolle und so ist es für Menschen schlimmer eine bestimmte Menge zu verlieren als die gleiche Menge zu gewinnen, eine Verlust-Aversion. Auch werden objektiv

gleiche Wertveränderungen als subjektiv kleiner empfunden je weiter die Veränderungen vom Nullpunkt entfernt liegen.

Wenn sich beispielsweise die Investition in ein Projekt aufgrund von gemachten Verlusten als schlechte Entscheidung herausstellt, hat man die Wahl auszusteigen, wobei das Geld verloren wäre, oder weiter zu investieren. Der „Sunk Costs“ Bias besagt, dass viele Menschen dazu tendieren weiter Geld in die schlechte Investition zu investieren, weil die Vergangenheit ihre Entscheidung beeinflusst, was gegen eine rationale Entscheidung spricht.

Auf der Ebene der Metakognitionen werden Entscheidungsstrategien, basierend auf dem Bewusstseinsgrad der eigenen Stärken und Entscheidungsgrenzen, dem Wissen über das Problem und der relevanten Ergebnisse, sowie der Berechnung der Kosten einer bestimmten Strategie getroffen. In der Strategieauswahl einer Entscheidung überprüft der Entscheidungsträger implizit oder explizit, ob mit dem geschätzten Aufwand die angenommene Richtigkeit der Strategie steigt. Wenn die Steigerung der Richtigkeit die Mühe wert ist, wird die Strategie verfolgt.

Als Beispiel wird die Entscheidung über das Beenden oder der Fortführung von Informationssuche einer Diagnose angeführt. Weitere Informationssuche verursacht Aufwand und nun stellt sich die Frage, ob das Ergebnis die Mühe, Zeit und Kosten wert ist. Wie groß ist der Gewinn, wie viel Zeit wird benötigt und wie gut ist meine bisherige Diagnose?<sup>62</sup>

Entscheidungen hängen von Metakognitionen ab, aber wie effektiv die Entscheidung tatsächlich ist, ist abhängig davon wie realitätsnahe der Entscheidungsträger ist und wie gut er den Zustand der Umwelt einschätzen kann.

Es lässt sich trotzdem nicht definieren wie Menschen entscheiden. Es gibt kein Wissen darüber wie sich Menschen verhalten. Es sind genügend Analysen, Theorien und Verhaltensheuristiken vorhanden, aber warum sich die Menschen verhalten, wie sie sich verhalten, ist bis jetzt noch nicht geklärt und es gibt keine verlässlichen Prognosen für das zukünftige Verhalten der Menschen.

---

<sup>62</sup> Vgl. Wickens, Hollands (2000) S.300ff.

## 6 RÄUBER-BEUTE EXPERIMENT

Basierend auf den theoretischen Grundlagen wird nun das im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Räuber-Beute Experiment vorgestellt. Anhand dieses Experiments wird die Fähigkeit von den Teilnehmern mit einem komplexen System umzugehen, getestet. Das verwendete Computerprogramm BL III wurde an der Universität Heidelberg entwickelt und von Herrn Professor Otwin Becker zur Verfügung gestellt. Die mathematischen Differentialgleichungen auf dem das Computerprogramm basiert, wurden bereits in den vergangenen Kapiteln vorgestellt.

### 6.1 BESCHREIBUNG DES RÄUBER-BEUTE EXPERIMENTS

In dem Experiment wurden die Teilnehmer mit einer Simulation eines ökologischen Systems konfrontiert mit Füchsen als Raubtierpopulation und Hasen als Beutetierpopulation. Somit wurde eine Räuber-Beute Beziehung verdeutlicht mit der Aufgabe des Spieles die Entwicklung der beiden Populationen zu steuern und zu prognostizieren. Die genaue Beschreibung dieses ökologischen Systems, genannt BURGLEOB, erfolgt im Weiteren:

Im Biotop BURGLEOB leben 20 Füchse (Räuber) und 40 Hasen (Beute). Es soll dort nun nachhaltig in 42 Perioden Hasen- und Fuchsjagd betrieben werden, mit dem Ziel, in dieser Zeit insgesamt einen möglichst hohen Erlös zu erzielen. Der Gesamterlös setzt sich dabei aus dem Verkaufserlös, der in den 42 Perioden erlegten Füchse (Anzahl der erlegten Füchse mal Fuchspreis), dem Verkaufserlös der erlegten Hasen (Anzahl der erlegten Hasen mal Hasenpreis) und dem Verkaufserlös des Endbestands an Fuchs- und Hasenbestand zu den jeweiligen Preisen zusammen.

$$\text{Gesamterlös} = \text{Erlegte Füchse} \times \text{Preis Fuchs} + \text{Erlegte Hasen} \times \text{Preis Hase} \\ + \text{Endbestand Füchse} \times \text{Preis Fuchs} + \text{Endbestand Hasen} \times \text{Preis Hase}$$

Das Ziel ist es, diesen Erlös zu maximieren, in dem jeweils zu Beginn einer Periode bestimmt wird, wie viele Füchse und wie viele Hasen in dieser Periode gejagt werden sollen.

Das Zusammenleben der Füchse mit ihrer Beute, den Hasen, folgt den aus der Natur bekannten Gesetzmäßigkeiten. Im gegebenen Biotop gilt also folgendes:

- Bei 20 Füchsen und 40 Hasen bleiben die Bestandszahlen unverändert,
- bei mehr als 40 Hasen nimmt der Fuchsbestand zu,  
bei weniger als 40 Hasen nimmt der Fuchsbestand ab,
- bei mehr als 20 Füchsen nimmt der Hasenbestand ab,  
bei weniger als 20 Füchsen nimmt der Hasenbestand zu,
- der Hasenbestand ist nach oben hin mit 80 begrenzt.

Die Jagd findet stets zu Beginn einer Periode statt, in der restlichen Periode entwickelt sich der Bestand entsprechend den obigen Gesetzmäßigkeiten. Es dürfen jeweils maximal 10 Füchse und 10 Hasen gejagt werden. 2 Füchse sowie 2 Hasen müssen stets übrig bleiben.

Um Entwicklungen aus den Entscheidungen der Teilnehmer besser ablesen zu können, wurde das Experiment ca. 8mal von jedem Teilnehmer durchgeführt. Die Teilnehmer konnten auch von stabilen Marktpreisen über alle 42 Perioden ausgehen, welche ihnen am Anfang mitgeteilt wurde. Es wurden drei verschiedene Preiskombinationen für die beiden Populationen ausgewählt, welche den insgesamt 73 Teilnehmern willkürlich zugeordnet wurden.

## 6.2 EXPERIMENTABLAUF

Das Experiment war in drei Teile gegliedert, wie in Abbildung 8 zur Übersicht dargestellt ist. Zu Beginn wurde die Persönlichkeitsstruktur der Versuchsteilnehmer mittels des Hamburger Persönlichkeitsinventars (HPI) getestet. Dann kam die Durchführung der Räuber-Beute Simulation und abschließend wurde den Teilnehmern ein eigens entwickelter Fragebogen, bezogen auf das Experiment, vorgelegt. Während der HPI zur allgemeinen Persönlichkeitscharakterisierung dient, war es das Ziel des Fragebogens, das konkrete Entscheidungsverhalten und die Strategieüberlegungen zu erfassen. Wie bereits erwähnt, haben insgesamt 73 Personen an dem Experiment teilgenommen, welches im Max-Jung-Labor am Institut für Statistik und Operation Research an der Karl-Franzens Universität Graz durchgeführt wurde.

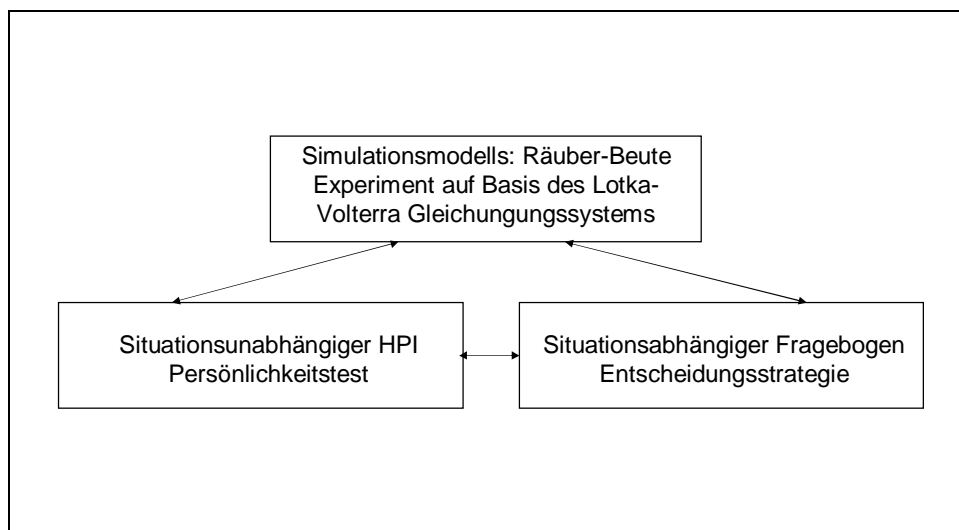


Abbildung 8: Räuber- Beute Experimentaufbau

Der erste Teil des Experiments bildet das Hamburger Persönlichkeitsinventar (HPI) von Andresen. Um zusätzlich zum dokumentierten Beobachtungsmaterial des Entscheidungsverhaltens im eigentlichen Experiment, möglichst viel Information zu den einzelnen Teilnehmern selbst zu erhalten, wurde der HPI zur Persönlichkeitscharakterisierung ausgefüllt.<sup>63</sup> Nachdem die Räuber Beute Simulation bereits beschrieben wurde, wird nun näher auf den HPI und den experimentbezogenen Fragebogen eingegangen.

Der HPI, welcher aufgrund der untersuchten Dimensionen auch NEOCAR-Basisfaktor System genannt wird, beruht auf den „Big Five“ und gilt als Verfeinerung dieses Modells, da es durch einen sechsten Faktor der Risikobereitschaft erweitert wurde. Zu den ursprünglichen Basisfaktoren Nervosität (N), Extraversion (E), Offenheit (O), Kontrolliertheit (C) und Altruismus (A) kam der sechste Faktor Risikobereitschaft und Wettbewerbsneigung (R) dazu. Die Durchführung dieses Persönlichkeitsinventars ist für Personen ab einem Alter von 16 Jahren geeignet. Der Test beinhaltet 84 persönlichkeitspsychologische Fragen, in denen die Versuchsperson sich selber von einer Skala von 1 (völlig unzutreffend) bis 4 (völlig zutreffend) charakterisieren soll. Der Zusammenhang zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und dem Verhalten der Teilnehmer im Experiment soll somit analysiert werden.

---

<sup>63</sup> Vgl. Andresen (2002) S.13ff.



Den sechs Basisfaktoren entsprechend kann eine Einschätzung der Persönlichkeit gemacht werden, welche nun näher erläutert werden.<sup>64</sup>

- N (Neuroticism): Nervosität, Sensibilität und emotionale Instabilität
- E (Extraversion): Extraversion, Lebhaftigkeit, Kontaktfreude und Erlebnisbereitschaft
- O (Openness): Offenheit für Erfahrung in Bezug auf kreative und kulturelle Aspekte
- C (Conscientiousness): Kontrolliertheit und Normorientierung
- A (Agreeableness): Altruismus, Fürsorglichkeit und Hilfsbereitschaft
- R (Risk): Risiko- und Kampfbereitschaft, Wettbewerbsneigung

Dem letzten Basisfaktor der Risikobereitschaft wird in dieser Arbeit am meisten Beachtung geschenkt, da diese Dimension das wettbewerbsorientierte Verhalten behandelt.

Im Gegensatz zur Klassifizierung der Persönlichkeitsstruktur, unabhängig von der konkreten Aufgabenstellung, zielt der selbsterstellte Fragebogen auf konkrete Fragen bezüglich des Entscheidungsverhaltens im Experiment ab. Mit Hilfe einer schriftlichen Befragung nach der Räuber Beute Simulation wurde nun versucht, Informationen bezüglich der Spielstrategie, Entscheidungsgewohnheiten und Spielmotivation zu bekommen. Der selbstentworfene Fragebogen ist im Anhang ersichtlich.

---

<sup>64</sup> Vgl. Andresen (2002) S.75f.

### 6.3 PREISKONSTELLATIONEN IM EXPERIMENT

Die optimale Strategie zur Bewirtschaftung des ökologischen Systems ist abhängig von der Preiskonstellation von den zwei Populationen. Die vorliegende Relation der Preise bestimmt, ob eine Fokussierung auf die Räuberpopulation oder auf die Beutetiere vorteilhafter ist. Wenn der Preis der Beutetiere im Gegensatz zu dem der Räuber gering ist, ist eine indirekte Nutzung der Beute als Futter für die Räuber von Vorteil. In diesem Fall würde es zu keiner oder nur zu einer begrenzten direkten Entnahme der Beutetiere kommen. In diesen Überlegungen widerspiegeln sich die Interdependenzen der beiden Populationen in einem Lotka-Volterra Biotop, die bei der Bestimmung der Optimalstrategie beachtet werden müssen.

Abhängig von der Preiskonstellation bezieht sich die Optimalstrategie entweder auf einen Räuber- oder Beutefokus. Bei relativ geringer Beutewertigkeit sollte man sich auf den Räuber konzentrieren und die Beute nur indirekt als Nahrung nutzen. Während anderenfalls, wenn die Beute relativ viel wert ist, diese direkt gejagt werden sollte. Sowohl bei Räuber- als auch bei Beutefokussierung sind am Anfang der Bewirtschaftung die Räuber zu reduzieren um eine Vermehrung der Beute zu ermöglichen.

In dieser Arbeit wurden den Experimentteilnehmern eine von drei unterschiedlichen Preiskonstellationen vorgelegt, die alle einen Räuberfokus als Optimalstrategie haben. Es besteht der Verdacht eines Fallacy Effekts, ein irrationales Fehlverhalten basierend auf der Tendenz sich eher auf die Beute zu fokussieren als auf die Räuber. Es wurden die Auswirkungen der verschiedenen Preisrelationen auf das Verhalten der Teilnehmer analysiert, wobei die Räuberpopulation immer die teurere Population war. Die Durchführung des Experiments erfolgte in den in Tabelle 3 ersichtlichen Versionen:

<b>Version</b>	<b>Preis Räuber - Füchse</b>	<b>Preis Beute - Hasen</b>	<b>Anzahl der Experimentteilnehmer</b>
Version 1	5	1	30
Version 2	4	1	26
Version 3	5	2	17

Tabelle 3: Preiskonstellationen des Experiments

Die Optimallösungen des Experiments gliedern sich in zwei Phasen auf. Durch gezielte Eingriffe werden in der Anfangsphase die Bestände beider Populationen auf eine Ebene gebracht, so dass danach eine optimale Bewirtschaftung bei konstanter Jagdmenge möglich ist. In der Stabilitätsphase wird also bei gleichbleibenden Populationsbeständen eine Fangmenge gewählt, welche zum maximalen Periodenertrag führt. Abhängig von der Preiskonstellation sind die Optimalstrategien für die Bewirtschaftung des Biotops unterschiedlich.

Um ein gutes Spielergebnis zu bekommen, ist es notwendig schnell die optimalen Bestände beider Populationen zu erlangen, um anschließend konstante Jagdmengen bis zum Spielende zu erreichen. In der Anfangsphase werden die optimalen Bestände mittels einer kurzfristigen Reduktion der Füchse erreicht, da dies die Hasen bis zur Kapazitätsgrenze anwachsen lässt. Wenn die künstliche Kapazitätsgrenze der Beutetiere erreicht ist, vermehren sich die Räuber wieder und folglich sind höhere konstante Jagdmengen möglich. Durch kontinuierliches Eingreifen in das Biotop wird das Ergebnis in der Stabilitätsphase maximiert. Bei den optimalen Jagdmengen erholen sich Bestände der beiden Populationen restlos und der Eingriff in das Biotop wird durch natürliches Wachstum kompensiert.

Tabelle 4 stellt die Optimallösung für die im Experiment durchgeführten Preiskonstellationen, welche alle drei durch einen Räuberfokus gekennzeichnet sind, dar. Wie bereits erwähnt, lässt sich die Optimallösung in eine Anfangs- und eine Stabilitätsphase unterteilen. Die Anfangsphase des Spieles, welche 5 Perioden umfasst, wird in Einzelperioden gegliedert. Die anfangs starke Reduzierung der Räuber lässt die Beute bis zur Kapazitätsgrenze von 80 ansteigen, um später in der Stabilitätsphase konstant 10 Füchse und 7 Hasen jagen zu können. Das Biotop regeneriert sich bei diesen Beständen in jeder Periode und so bleiben die Bestände bis zur letzten 42. Periode gleich.

<b>Start:</b> 20 Raubtiere, 40 Beutetiere	<b>Periode</b>	<b>Jagdmengen</b>	
		<b>Räuber Fuchs</b>	<b>Beute Hasen</b>
<b>Optimale Eingriffe in der Anfangsphase</b>	$t_1$	<b>10</b>	<b>0</b>
	$t_2$	<b>7</b>	<b>0</b>
	$t_3$	<b>2</b>	<b>0</b>
	$t_4$	<b>2</b>	<b>7</b>
	$t_5$	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Optimale Eingriffe in der Stabilitätsphase</b>	$t_6-t_{42}$	<b>10</b>	<b>7</b>

Tabelle 4: Optimale Jagdmengen für alle drei Preiskonstellationen

In Tabelle 5 sind die optimale Jagdmenge und der Periodenertrag in der Stabilitätsphase für die im Experiment durchgeführten Preiskonstellationen ersichtlich, sowie im Vergleich dazu zwei weitere konstante suboptimale Jagdmengen, eine mit Beutefokus und eine neutrale Version.

	<i>Preis Fuchs</i>	<i>Preis Hase</i>	<i>Optimale Jagdmenge und Periodenertrag in der Stabilitätsphase</i>			<i>Suboptimale Jagdmenge und Periodenertrag in der Stabilitätsphase</i>					
			<i>Fuchs</i>	<i>Hase</i>	<i>Ertrag</i>	<i>Fuchs</i>	<i>Hase</i>	<i>Ertrag</i>	<i>Fuchs</i>	<i>Hase</i>	<i>Ertrag</i>
<i>Version 1</i>	5	1	10	7	57	9	9	54	8	10	50
<i>Version 2</i>	4	1	10	7	47	9	9	45	8	10	42
<i>Version 3</i>	5	2	10	7	64	9	9	63	8	10	60

Tabelle 5: Jagdmengen und Periodenerträge in der Stabilitätsphase

Die drei Preiskonstellationen weisen die gleiche Optimallösung mit einem Räuberfokus auf mit optimalen Beständen in der Stabilitätsphase von 21 Füchsen und 80 Hasen. Bei der neutralen suboptimalen Jagdmenge mit jeweils 9 Füchsen und Hasen betragen die konstanten Bestände 19 Füchse und 79 Hasen. In der anderen suboptimalen Lösung mit Beutefokus beträgt der Fuchsbestand 17 und der Hasenbestand 80. Die detaillierten Auflistungen der Optimalstrategien und suboptimalen Strategien aller drei Versionen sind im Anhang ersichtlich.

#### 6.4 STRATEGIEAUSRICHTUNG

Die Strategieausrichtung der Experimententeilnehmer wird aufgrund der unterschiedlichen Populationsbestände und deren Entwicklung erschwert. Auf der einen Seite sind die Beutetiere in großer Zahl vorhanden und vermehren sich auch rasch bei niedriger Räuberpopulation. Auf der anderen Seite gibt es nur wenige Räuber, welche sich auch nicht so schnell vermehren. Es könnte daher also die Tendenz entstehen die Räuber zu schonen, weil es davon weniger gibt und die Nachwuchsdynamik geringer ist, obwohl mit ihnen ein höherer Erlös erzielt werden kann. Ein relativ höherer Preis der Räuberpopulation ist also nicht automatisch mit einer

bevorzugt gefangenen Population gleichzustellen. Sehr zu berücksichtigen sind die Populationsbestände und die Interdependenzen zwischen den Räubern und Beutetieren. Generell kann gesagt werden, dass eine Räuberfokussierung ab dem dreifachen Preis der Füchse gegenüber den Hasen vorteilhaft ist. Ansonsten wird ein optimales Ergebnis mit einer bevorzugten Jagd der Hasen erzielt, wenngleich diese in jeder Preiskonstellation einen geringeren Wert haben.

Es liegt der Verdacht vor, dass die Teilnehmer die zahlenmäßig stärkere Population zur Jagd bevorzugen. Es wird untersucht, ob die Experimentteilnehmer stärker jene Population jagen, welche in großer Anzahl vorhanden ist. Ist der Preis der mengenmäßig stärkeren Population, der Hasen, deutlich unter jenem der mengenmäßig schwächeren Population, der Füchse, so ist diese Strategie nicht von Vorteil. Es wurde daher in dieser Arbeit bewusst jene Preiskonstellationen gewählt, in welchen das der Fall ist und beobachtet, ob die Teilnehmer diesen Verdacht bestätigen oder widerlegen.

Die in der Mehrzahl vorhandenen Beutetiere sollen im geringeren Ausmaß gejagt werden und stattdessen auch indirekt als Futter für die teurere Population dienen. Es wird vermutet, dass diese indirekte Nutzung der Hasen, um von dem resultierenden Wachstum der teuren Füchse zu profitieren, für die Teilnehmer weniger offensichtlicher ist. Dieses eingeschränkte Verhalten der direkten Jagd der Hasen, mit welchem ein geringerer Erlös erzielt wird, steht der Optimalität gegenüber. Es benötigt eine gewisse Risikobereitschaft auf die sicheren Erlöse der Hasen zu verzichten und auf die höheren Erträge, erzielt durch die Fuchsjagd, zu spekulieren. Dies war Gegenstand der Untersuchung, die im weiteren Teil dieser Arbeit analysiert wird.

## 7 ERGEBNISSE DES RÄUBER-BEUTE EXPERIMENTS

Um das Experiment analysieren zu können, wurde einerseits eine detaillierte Untersuchung des Entscheidungsverhaltens einzelner Teilnehmer und andererseits eine Gesamtergebnisbetrachtung, in der ausschließlich die Spielergebnisse in Betracht gezogen wurden, gemacht. Mittels statistischer Methoden wurde eine Individualanalyse ausgewählter Bestspiele getrennt nach Versionen gemacht. Das Verhalten der Experimentteilnehmer wurde nach bestimmten Kriterien, die in weiterer Folge dargestellt werden, beurteilt. Diese Verhaltensbeurteilung steht der darauffolgenden Ergebnisbeurteilung gegenüber. Anhand der Gesamterlöse aller Einzelspiele wird der Erfolg, getrennt nach Versionen, beurteilt.

### 7.1 INDIVIDUALANALYSE

Die Analyse erfolgt getrennt nach Versionen, obgleich die Optimalstrategie in allen drei Versionen gleich ist, aber das Ergebnisniveau, abhängig von der Preiskombination, abweicht. Es werden alle Spielrunden der ausgewählten Versuchspersonen verbal beschrieben und die Spielsystematik analysiert. Es werden die Daten, welche durch den HPI erhoben wurden, sowie die Auswertung des Fragebogens bei der Einzelanalyse berücksichtigt. Für die Analyse einzelner Teilnehmer wurden folgende Kriterien herangezogen.

- Die festgelegten Kriterien für die Individualanalyse umfassen erstens die Leistung der Teilnehmer. Dabei wird die beste Runde jedes Teilnehmers gewertet und in Relation zur Optimallösung gesetzt um so den Prozentsatz zu errechnen. Die Leistungsbewertung erfolgt in diesen Intervallen:

- *Gut* : 100 – 90%
- *Mittelmäßig*: 90 - 50%
- *Schlecht*: unter 50%

- Weiters wird die Vorgangsweise im Spiel betrachtet. Die Strategie, das Vorhandensein eines gewissen Konzepts, wird als zweites Kriterium festgelegt. Vor allem das Vorgehen in der Anfangsphase ist wichtig, in der versucht werden soll, die Populationen anwachsen zu lassen, um dann später bei hohen konstanten Beständen einen optimalen Erlös erzielen zu können. Die Frage ist also, wie optimal die Vorgangsweise in den ersten Perioden hinsichtlich der Anpassung der Populationsbestände an den konstanten optimalen Bewirtschaftungsbestand war? Es wird analysiert, ob die Teilnehmer ein gezieltes Wachstum der Beute in der Anfangsphase ermöglichen.
- Anhand des dritten Kriteriums der Nachhaltigkeit wird analysiert, inwiefern die Teilnehmer das Biotop mit einer Regelmäßigkeit kontrollieren. Wie konstant erfolgte in der Stabilitätsphase die optimale nachhaltige Steuerung des Systems? Die Schwankung der Jagdmengen von Räubern und Beutetiere in der Stabilitätsphase spiegelt eine konkrete Spielstrategie wider und zeigt ob eine stabile Bestandskombination erreicht wird.

### 7.1.1 BESTANDSENTWICKLUNG BEI OPTIMALSTRATEGIE

Bevor die Individualanalysen durchgeführt werden, wird die Entwicklung der Bestände in der Optimalstrategie, die für alle drei Versionen gleich ist, dargestellt. Ausgehend von dem Gleichgewicht mit 40 Hasen und 20 Füchsen erfolgt in der Darstellung weiters ein Vergleich zwischen der Optimalstrategie, also dem optimalen Eingriff, und der Jagdstrategie des Bestspiels von Version 1. Die jeweiligen Bestspiele der einzelnen Versionen werden später im Detail analysiert.



Wie in Abbildung 9 und 10 ersichtlich, erfolgt in beiden Bestandsentwicklungen in der Anfangsphase eine Reduktion der Füchse bei gleichzeitiger Schonung der Hasen. Auf diese Weise wird im besten Fall eine Bestandskombination von 80 Hasen und 21 Füchsen erreicht. In der Stabilitätsphase erfolgt eine Bewegung auf der Verbindungslinie 80/21 und 73/11, weil bei einer Jagd von 7 Hasen und 10 Füchsen sich das Biotop selbständig und vollständig regeneriert. Im Vergleich dazu besteht der vollständige Populationsnachwuchs zwischen den Beständen 79/19 und 70/10, also einer Entnahme von jeweils 9 Räubern und Beutetiere.

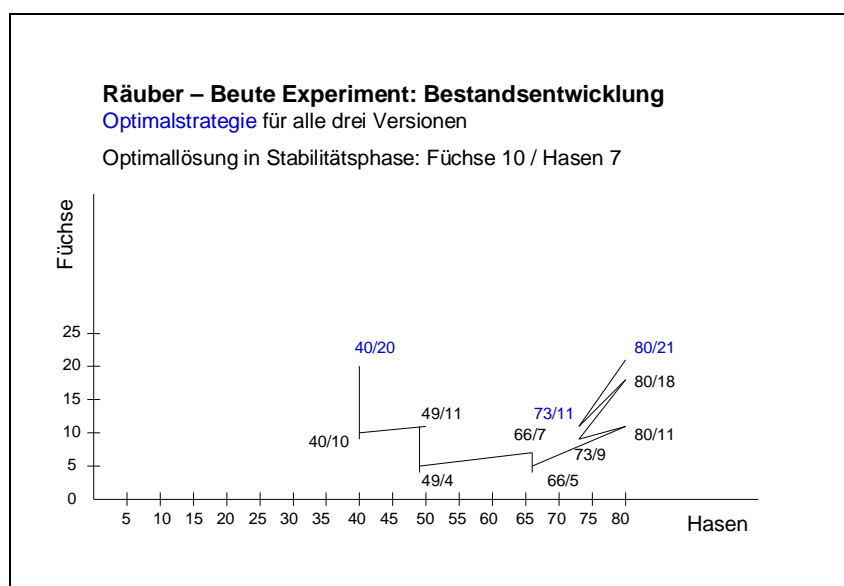


Abbildung 9: Bestandsentwicklung bei Optimalstrategie

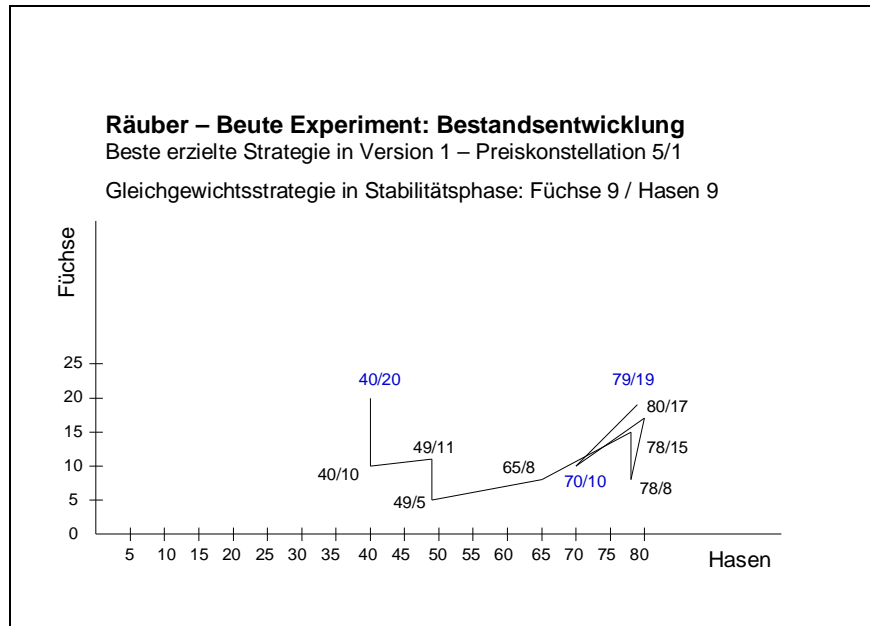


Abbildung 10: Bestandsentwicklung bei Beststrategie in Version 1

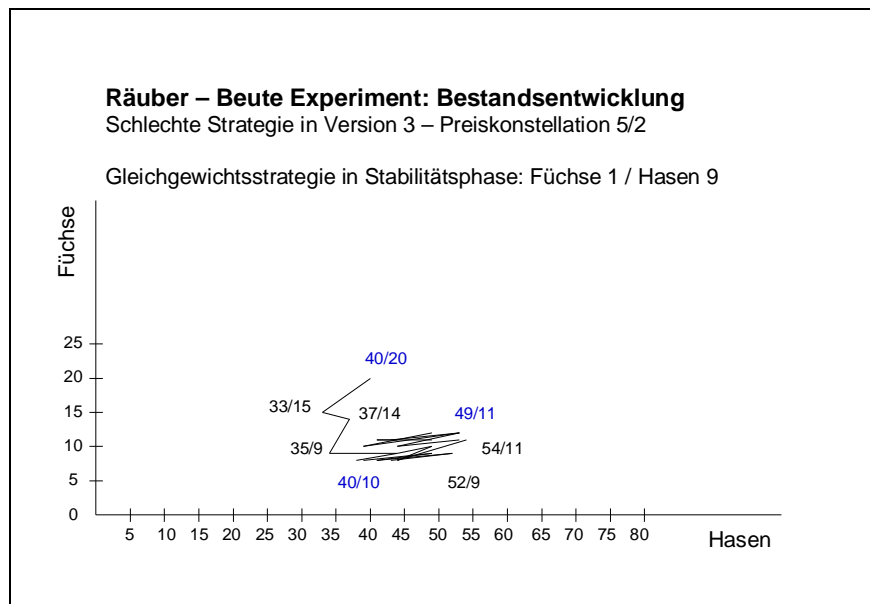


Abbildung 11: Bestandsentwicklung bei schlechter Strategie in Version 3

Um einen Vergleich zwischen einer guten und einer schlechten Strategie zu erhalten, zeigt die letzte Grafik in Abbildung 11 die Bestandsentwicklung, mit der der Teilnehmer ein schlechtes Ergebnis erzielt hat. Es wurde bis zur 14. Periode keine Gleichgewichtsstrategie gefunden und so dauerte die

Anfangsphase 13 Perioden lang bis dann in der Stabilitätsphase konstant 1 Fuchs und 9 Hasen gejagt wurden. In dieser Phase bleiben die Bestände von 11 Füchsen und 49 Hasen gleich, da sich das Biotop selbst regeneriert. Die künstliche Kapazitätsgrenze der Hasenpopulation von 80 wurde mit dieser Strategie bei weitem auch nicht ausgeschöpft. Das angeführte Beispiel für eine schlechte Strategie mit einem Ergebnis, das lediglich 42,09% der Optimalstrategie erzielte, wurde in Version 3 gespielt.

### *7.1.2 ANALYSE DER VERSION 1 – PREISKONSTELLATION 5/1*

In dieser Version ist der Fuchs 5 GE und der Hase 1 GE wert. Zunächst werden zum Überblick die ausgewerteten Daten von Version 1 in Tabelle 4 dargestellt. Insgesamt haben 30 Versuchspersonen (VP) das Experiment mit Version 1 gespielt, wobei ausgehend vom jeweiligen Bestspiel 7 VP ein gutes Ergebnis, 19 VP ein mittelmäßiges und 4 VP ein schlechtes Ergebnis erzielten. Der Maximalerlös, welcher mit der Optimallösung mit einem Räuberfokus erreicht werden kann, beträgt 2448 GE. Mit dieser Preiskonstellation hat keiner der Teilnehmer das Maximum erreicht, insofern hat keiner die Optimalstrategie mit den konstanten Eingriffen von 10 Füchsen und 7 Hasen in der Stabilitätsphase verfolgt. Der prozentuelle Anteil am Erlös der Optimallösung wird für jedes Bestspiel der Teilnehmer aufgelistet.

In den letzten beiden Spalten der Tabelle 6 werden die Einzeleingriffe in der Stabilitätsphase, welche 36 Perioden umfasst, untersucht. Um die Strategie der Teilnehmer identifizieren zu können, werden die Einzeleingriffe beider Populationen überprüft und als Gleichgewichtsstrategie definiert, wenn der häufigste Wert mehr als 75% erreicht. Erreicht der häufigste Wert weniger als 75%, so wird dieser mit einem X gekennzeichnet.

<b>VP Nummer</b>	<b>Erlös im Bestspiel</b>	<b>Anteil an Optimallösung</b>	<b>Leistungs- bewertung</b>	<b>Räuber- eingriff</b>	<b>Beute- eingriff</b>
0511.01	2332	95,26%	Gut	9	9
0511.08	2313	94,49%	Gut	9	9
1411.06	2288	93,46%	Gut	9	9
1211.13	2277	93,01%	Gut	X	10
1111.06	2249	91,87%	Gut	9	9
0511.07	2215	90,48%	Gut	X	X
1011.12	2205	90,07%	Gut	X	10
0511.10	2135	87,21%	Mittelmäßig	9	9
1111.01	2113	86,32%	Mittelmäßig	8	10
1111.07	2080	84,97%	Mittelmäßig	10	X
1211.11	2017	82,39%	Mittelmäßig	X	10
0511.05	1951	89,70%	Mittelmäßig	8	10
1111.08	1874	76,55%	Mittelmäßig	7	9
0511.02	1854	75,74%	Mittelmäßig	X	8
1111.09	1805	73,73%	Mittelmäßig	X	10
1111.03	1782	72,79%	Mittelmäßig	X	X
1111.10	1760	71,90%	Mittelmäßig	6	10
1111.05	1755	71,69%	Mittelmäßig	X	10
0511.04	1743	71,20%	Mittelmäßig	X	10
1011.13	1724	70,42%	Mittelmäßig	X	10
1011.11	1714	70,02%	Mittelmäßig	X	X
1111.02	1713	69,98%	Mittelmäßig	X	X
1211.09	1645	67,20%	Mittelmäßig	6	10
1211.12	1599	65,32%	Mittelmäßig	X	X
0511.03	1480	60,46%	Mittelmäßig	X	X
1211.10	1252	51,14%	Mittelmäßig	X	X
0511.06	1180	48,20%	Schlecht	X	X
1111.04	762	31,13%	Schlecht	X	0
1411.05	659	26,92%	Schlecht	X	10
0511.09	598	24,43%	Schlecht	X	X

Tabelle 6: Ausgewertete Daten der Version 1 ( Preiskonstellation 5/1): Ergebnisse der Stabilitätsphase

Anschließend werden die einzelnen Runden mit der einhergehenden Spielstrategie des Experimentteilnehmers, welcher das beste Ergebnis erzielt hat, im Detail analysiert. Wie in Tabelle 6 ersichtlich, werden die Bestergebnisse der besten drei Teilnehmer mit einer neutralen Gleichgewichtsstrategie von 9 Füchsen und 9 Hasen erreicht. Wie bereits erwähnt, wurde die Optimalstrategie mit einem Räuberfokus von keinem der Teilnehmer in dieser Version gewählt.

### *7.1.3 VERSION 1: SPIELANALYSE DES ERSTPLATZIERTEN*

Der Experimentteilnehmer ist männlich, 22 Jahre alt und hat das Spiel 8mal wiederholt. Das beste Ergebnis wurde in der 6. Runde mit einem Erlös von 2332, entspricht 95,26% der Optimallösung, erzielt. Ausgehend von einer 1. Versuchsrunde, in der noch keine Gleichgewichtsstrategie angewandt wurde, steigerte sich der Teilnehmer in der 2. Runde mit einer nachhaltigen Gleichgewichtsstrategie in der Stabilitätsphase von 8 Füchsen und 9 Hasen. In den weiteren 2 Runden konnte das Ergebnis nicht verbessert werden, bis in der 6. Runde das beste Spiel absolviert wurde. In dieser Runde benötigte der Teilnehmer 5 Perioden um von der Anfangsphase in die Stabilitätsphase mit einer nachhaltigen Gleichgewichtsstrategie von 9 Füchsen sowie 9 Hasen zu gelangen.

In der Anfangsphase wurden keine Hasen gejagt, damit der Hasenbestand von Periode zu Periode kontinuierlich anwachsen konnte. In der 5. Periode wurden ein Fuchsbestand von 19 und ein Hasenbestand von 79 erreicht, welche in weiterer Folge eine konstante nachhaltige Bewirtschaftung in der Stabilitätsphase ermöglichten. In den letzten beiden Runden wurde ebenfalls auf die Gleichgewichtsstrategie von 9 Füchsen und 9 Hasen hingearbeitet, jedoch benötigte der Teilnehmer in der 8. Runde 12 Perioden bis er die gewünschten Populationsbestände erreicht hatte. In der letzten Runde begann die Stabilitätsphase bereits nach 7 Perioden und es wurde in den letzten 3 Perioden jeweils 10 Füchse sowie 10 Hasen gejagt. Der

ansteigende Periodenerlös zum Schluss konnte jedoch nicht mit dem niedrigeren Erlös der Anfangsphase im Vergleich jener von Runde 6 kompensiert werden.

Der Experimentteilnehmer hat angegeben, dass ihm ein hohes Spielergebnis zu erzielen wichtig ist, und dass er selbst seinen Erfolg eher hoch einschätzt. Wie sich auch in der Spielanalyse widerspiegelt hat der Teilnehmer angegeben, die Systematik im Spiel ab der 2. Runde gefunden zu haben. Seine Strategie im Spiel um ein möglichst hohes Ergebnis zu erzielen, lag im Anwachsen der Hasen um später möglichst viele Füchse jagen zu können, weil diese mehr wert sind. Der Teilnehmer hat angegeben ein Wachstum der Hasen als Futter für die Füchse angestrebt zu haben. Bei der Steuerung der Populationsbestände wurden beide Populationen ins Kalkül gezogen. Abschließend lagen die Bemühungen des Teilnehmers darin, sich stärker auf das teurere Tier zu konzentrieren, jedoch hat er den Fokus mit der gewählten neutralen Gleichgewichtsstrategie auf beide Populationen gelegt.

Folgend werden die Persönlichkeitsmerkmale des Teilnehmers, welche mittels des HPI erhoben wurden, aufgezeigt. Anhand des sogenannten Profilbogens können die Persönlichkeitsmerkmale grafisch betrachtet werden. Der Wert 7 spiegelt dabei den neutralen Wert des Persönlichkeitsinventars wider. So können sehr hohe und niedrige Ausprägungen einzelner Merkmale gezeigt werden.

In Abbildung 12 sind die Ausprägungen der Persönlichkeitsmerkmale von VP Nummer 0511.01 ersichtlich, wobei wenig starke Ausprägungen bis auf den Faktor E zu sehen sind. Die starke Ausprägung hinsichtlich der Extrovertiertheit zeigt, dass der Teilnehmer nicht vor etwas Neuem zurückscheut. Der besonders niedrige Wert bei Dimension N bedeutet, dass der Teilnehmer eher nicht nervös ist und wenig emotionale Schwankungen hat.

Wenn nun die Risikoeinstellung des Teilnehmers betrachtet wird, kann gesagt werden, dass ein Skalenwert von 9 tendenziell durch eine höhere Risiko- und Kampfbereitschaft gekennzeichnet ist. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse des Profilbogens mit denen des Spielverhaltens im Experiment übereinstimmen. Die Analyse der Spielrunden zeigt, dass dem Teilnehmer bewusst war, dass eine Gleichgewichtsstrategie zum Erreichen des Ertragmaximums verfolgt werden muss.

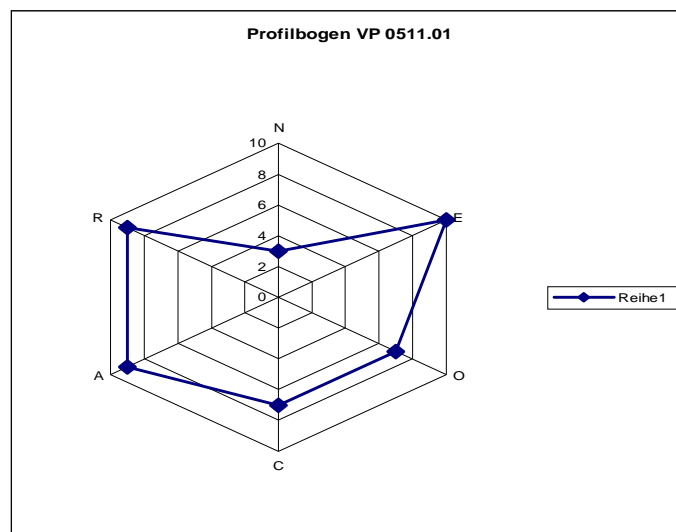


Abbildung 12: Profilbogen 1 basierend auf der Auswertung des HPI

#### 7.1.4 ANALYSE DER VERSION 2 – PREISKONSTELLATION 4/1

In dieser Version ist es ebenfalls aufgrund des relativ niedrigen Preises der Hasenpopulation von 1 GE gegenüber der Fuchspopulation von 4 GE vorteilhafter sich auf die Räuber zu spezialisieren. Die Optimallösung impliziert eine höhere Jagdmenge an Füchsen und eine indirekte Nutzung der Hasen als Futter für die wertvollere Population. Obwohl es zwischen der ersten und zweiten Version keine strukturellen Unterschiede gab, hat der beste Experimentteilnehmer mit dieser Preiskonstellation sich auf die Räuber fokussiert und den Maximalerlös erzielt. Insgesamt haben 26 Teilnehmer mit der Version 2 gespielt, wobei 5 Versuchspersonen mit ihrem Bestspiel über

90% und somit ein gutes Ergebnis erreicht haben. Das Bestspiel von 17 weiteren Teilnehmern war mit einem mittelmäßigen Ertrag über der 50% Grenze. 4 Versuchspersonen haben schlechte Erlöse erwirtschaftet und lagen damit unter 50% der Optimallösung.

<i>VP Nummer</i>	<i>Erlös im Bestspiel</i>	<i>Anteil an Optimallösung</i>	<i>Leistungs- bewertung</i>	<i>Räuber- eingriff</i>	<i>Beute- eingriff</i>
1011.01	2029	100%	Gut	10	7
1011.09	1953	96,25%	Gut	9	9
1011.10	1953	96,25%	Gut	9	9
1011.08	1834	90,39%	Gut	10	4
0511.14	1826	90%	Gut	10	10
1411.03	1824	89,90%	Mittelmäßig	8	10
0511.13	1818	89,60%	Mittelmäßig	8	10
1011.05	1770	87,24%	Mittelmäßig	X	10
1411.01	1728	85,17%	Mittelmäßig	X	10
0511.12	1684	83%	Mittelmäßig	10	10
1211.01	1664	82,01%	Mittelmäßig	X	X
1011.03	1663	81,96%	Mittelmäßig	X	10
1211.04	1554	76,59%	Mittelmäßig	X	X
1211.05	1534	75,60%	Mittelmäßig	6	10
1211.07	1508	74,32%	Mittelmäßig	6	10
0611.12	1508	74,32%	Mittelmäßig	X	10
1211.06	1502	74,03%	Mittelmäßig	X	X
1211.03	1412	69,60%	Mittelmäßig	X	10
0511.15	1392	68,61%	Mittelmäßig	X	10
1211.02	1320	65,06%	Mittelmäßig	X	X
1011.06	1294	63,78%	Mittelmäßig	X	X
1011.04	1171	57,71%	Mittelmäßig	X	10
0611.13	943	46,48%	Schlecht	X	X
0511.11	735	36,22%	Schlecht	X	X
1011.07	549	27,06%	Schlecht	X	X
1211.08	385	18,97%	Schlecht	X	X

Tabelle 7: Ausgewertete Daten der Version 2 ( Preiskonstellation 4/1): Ergebnisse der Stabilitätsphase



Der Erlös der Optimallösung mit der Preiskonstellation 4/1 beträgt 2029 GE. Wie bereits erwähnt, verfolgte der beste Teilnehmer die Optimalstrategie mit den konstanten Eingriffen von 10 Füchsen und 7 Hasen in der Stabilitätsphase in mehreren Runden, welche später näher analysiert werden. In Tabelle 7 werden die Bestspiele aller Teilnehmer, welche Version 2 gespielt haben, sowie deren gewählten Strategien aufgelistet.

Auffällig ist, dass im Gegensatz zu den besten Spielstrategien in Version 1, die Versuchspersonen, welche ein gutes Ergebnis erzielten, dies aufgrund einer Räuberfokussierung bzw. eines neutralem Fokus erreichten. In Version 1 hingegen wurde die Gewichtung auf die Räuberjagd sozusagen negiert. In Version 2 hat nur der erstplatzierte Spieler die Optimalstrategie angewandt und somit den maximalen Erlös erzielt. Dessen einzelne Spielrunden sowie Strategien werden nun im Detail analysiert.

#### *7.1.5 VERSION 2: SPIELANALYSE DES ERSTPLATZierten*

Beim Erstplatzierten handelt es sich um einen 25jährigen, männlichen Experimentteilnehmer, der das Spiel 12mal absolviert hat. Aus dem Spielverlauf ist ersichtlich, dass sich der Erlös von Runde zu Runde kontinuierlich steigert, bis auf einen sehr geringen Erlösverlust in der 6. sowie in der 10. Runde, bevor der Maximalerlös in der letzten Runde erzielt wurde. Die 1. Runde kann als Proberunde gewertet werden und bereits ab der 2. Runde wurden die nachhaltigen konstanten Jagdmengen von 10 Füchsen und 7 Hasen in der Stabilitätsphase betrieben.

Die Erlössteigerung in den weiteren 8 Runden basiert auf Unterschiede in der Anfangsphase. Obgleich ab der 2. Runde die Beutetiere anfangs verschont wurden um ihr Wachstum bis zur künstlichen Kapazitätsgrenze zu ermöglichen, dauerte es in Runde 2 19 Perioden um zu den optimalen Beständen von 21 Füchsen und 80 Hasen zu gelangen. In der 3. bis zur 9. Runde pendelt die Dauer der Anfangsphase zwischen 8 bis 5 Runden, bis

die Stabilitätsphase mit einer nachhaltigen konstanten Bewirtschaftung beginnt.

In der Anfangsphase der letzten Runde sind zunächst viele Füchse und keine Hasen, dann wenig Füchse sowie wenig Hasen abgeschossen worden, um dann mit 10 Füchsen und 7 Hasen pro Periode zur Optimallösung zu kommen. Auffällig in dem gesamten Spielverlauf ist, dass der Teilnehmer ab der 2. Runde die Optimallösung gespielt hat. Er ist also sehr rasch zum Optimum gekommen und hat auch keine weiteren Strategien ausprobiert.

Aufgrund des Experimentbezogenen Fragebogens ist ersichtlich, dass dem Teilnehmer der Erfolg, basierend auf einem hohen Spielergebnis, sehr wichtig war. Außerdem hat die Versuchsperson selber ihr Ergebnis sehr hoch eingeschätzt und angegeben, eine Systematik im Spiel ab der 3. Runde gefunden zu haben. Der Erfolg wurde vom Teilnehmer sehr zutreffend eingeschätzt, jedoch ist bereits die angewandte Strategie, zuerst den Hasenbestand zu maximieren um später jede Runde 10 Füchse sowie 7 Hasen abzuschöpfen, in der 2. Runde zum Einsatz gekommen. Auch wurde erkannt, dass bei dieser Version die Hasenpopulation indirekt als Futter für die wertvolleren Füchse verwendet werden soll. Bei der Steuerung der Bestände wurden beide, Beute- und Räuberpopulationen, miteinbezogen und die Konzentration lag auf der teureren Tierart.

Aus den bisherigen Analysen des Experimentteilnehmers kann ein kontrolliertes, beständiges Verhalten angenommen werden. Wenn die Auswertung des HPI, dargestellt als Profilbogen in Abbildung 13, betrachtet wird, so lässt sich dies bestätigen. Herausstechend im Profilbogen ist die Ausprägung bezüglich der Nervosität und Kontrolliertheit. Ein kontrolliertes Vorgehen der Versuchsperson ist im Steuerungsverhalten definitiv ersichtlich. Die Ausprägung in Richtung Nervosität in Verbindung mit dem Spielverlauf zu bringen ist schwer zu beurteilen, da man nicht weiß, ob der Teilnehmer in seinem Verhalten, bedingt durch irgendwelche Stressfaktoren,

nervös agierte. Auf der anderen Seite ist keine Ausprägung hinsichtlich der Risikoeinstellung erkennbar.

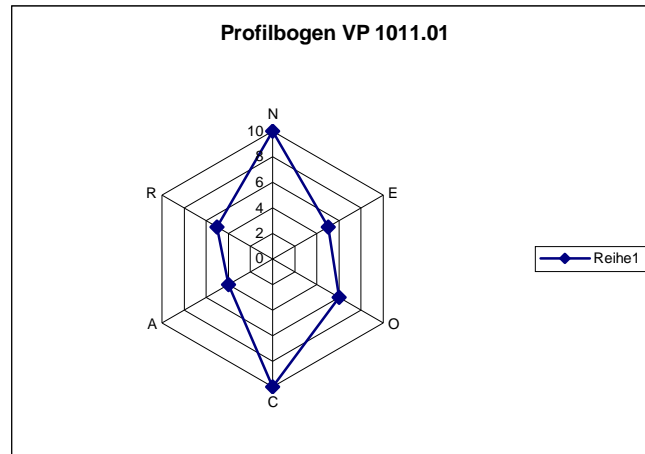


Abbildung 13: Profilbogen 2 basierend auf der Auswertung des HPI

#### 7.1.6 ANALYSE DER VERSION 3 – PREISKONSTELLATION 5/2

Wie auch in den beiden vorherigen Versionen ist in dieser Version aufgrund derselben Optimallösung ein Räuberfokus von Vorteil. Der Preis für einen Fuchs beträgt 5 GE, während sich der Preis für einen Hasen auf 2 GE erhöht. Mit dieser Preiskonstellation haben 17 Teilnehmer das Experiment absolviert. Dennoch konnte keiner den maximalen Erlös erzielen und das Bestspiel des Erstplatzierten erreichte 98,82% der Optimallösung. Drei Teilnehmer konnten ein gutes Ergebnis von über 90% erreichen, ein mittelmäßiges Ergebnis erzielten 11 Versuchspersonen und unter der 50% Grenze lagen drei Personen mit schlechten Erlösen.

Der Ertrag der Optimallösung beträgt mit dieser Preiskonstellation 2802 GE. Wie in der Version 1, verfolgte keiner der Teilnehmer die Optimalstrategie mit einer Bewirtschaftung von 10 Füchsen und 7 Hasen in der Stabilitätsphase und so konnte auch nicht der Maximalerlös erreicht werden. In Tabelle 8 ist ersichtlich, dass von den Experimentteilnehmern mit einem guten Ergebnis eine neutrale Gleichgewichtsstrategie gewählt bzw. eine Beutefokussierung bevorzugt wurde.

<b>VP Nummer</b>	<b>Erlös im Bestspiel</b>	<b>Anteil an Optimallösung</b>	<b>Leistungs- bewertung</b>	<b>Räuber- eingriff</b>	<b>Beute- eingriff</b>
1211.15	2768	98,82%	Gut	9	9
1411.04	2694	96,18%	Gut	9	9
1111.13	2690	96,04%	Gut	X	10
0611.05	2506	89,47%	Mittelmäßig	X	10
0611.07	2475	88,36%	Mittelmäßig	9	7
0611.10	2340	83,54%	Mittelmäßig	X	10
0611.03	2315	82,65%	Mittelmäßig	6	10
1211.14	2275	81,22%	Mittelmäßig	6	10
0611.06	2274	81,19%	Mittelmäßig	X	10
0611.09	2256	80,54%	Mittelmäßig	X	X
0611.02	2161	77,15%	Mittelmäßig	X	10
0611.01	1979	70,65%	Mittelmäßig	X	X
1111.12	1835	65,51%	Mittelmäßig	X	10
1111.11	1497	53,45%	Mittelmäßig	X	X
1411.02	1372	48,98%	Schlecht	X	X
0611.08	1179	42,09%	Schlecht	1	9
0611.04	1126	40,20%	Schlecht	X	X

Tabelle 8: Ausgewertete Daten der Version 3 (Preiskonstellation 5/2): Ergebnisse der Stabilitätsphase

Allgemein kann festgestellt werden, dass auch die Teilnehmer, welche Version 3 gespielt haben, einen Beutefokus gegenüber dem Räuberfokus bevorzugen. Sehr oft wurden 10 Hasen in der Stabilitätsphase gejagt, während die Füchse eher verschont wurden. Abgesehen von den beiden besten Ergebnissen, welche mit einer neutralen Gleichgewichtsstrategie erzielt wurden und dem fünftplatzierten Spiel mit einer Strategieweichenrichtung auf die Räuberpopulation, wurde der Beutefokus bevorzugt. Für die Detailsauswertung wird wiederum der Spielverlauf aller Runden der erstplatzierten Versuchsperson, diesmal in Version 3, näher betrachtet.

#### *7.1.7 VERSION 3: SPIELANALYSE DES ERSTPLATZIERTEN*

In Version 3 wurde das beste Ergebnis von einem 23 Jahre alten, männlichen Teilnehmer erzielt. Insgesamt wurde das Experiment 12mal durchgeführt und in der letzten Runde wurde der beste Erlös erwirtschaftet. Die Versuchsperson konnte anhand der verbesserten Spielstrategie den Erlös in jeder folgenden Runde vermehren. Eine Ausnahme gibt es in der 5. auf die 6. Runde, in der der Erlös kurzfristig gesunken, jedoch in der 7. Runde wieder angestiegen ist. Eine Systematik im Spielverlauf wurde in der 3. Runde gefunden, dementsprechend können die ersten 2 Runden als Versuchsdurchgänge bezeichnet werden.

Auffallend ist, dass in den 10 weiteren Runden die Spielstrategie mehrmals geändert bzw. weiterentwickelt wurde. In den Runden 3 bis einschließlich 8 wird eine Gleichgewichtsstrategie von 5 Füchsen und 10 Hasen in der Stabilitätsphase verfolgt. Diese konstante Bewirtschaftung war bei Populationsbeständen von 15 Füchsen und 66 Hasen möglich, wobei ersichtlich wurde, dass die Kapazitätsgrenze der Beutepopulation noch nicht vollständig ausgenutzt wurde. In der 9. Runde erhöhte der Teilnehmer die Eingriffsmengen auf 7 Füchse sowie 10 Hasen. In den zwei darauf folgenden Runden wurden verschiedene Eingriffskombinationen ausgetestet, bis in der

11. Runde von der Gleichgewichtsstrategie, 8 Füchse und 10 Hasen, auf die Strategie von jeweils 9 Füchsen sowie Hasen umgeschwenkt wurde.

In den beiden letzten Runden wird diese neutrale Gleichgewichtsstrategie nun weiterverfolgt. Der Erlösunterschied zwischen der 12. und 13. Runde resultiert aus den Unterschieden in den Anfangsphasen. Während in der vorletzten Runde 6 Perioden bis zur Stabilitätsphase benötigt wurden, wird das beste Ergebnis in diesem Spielverlauf nur mit 4 Runden für die Anfangsphase erzielt. Hinsichtlich der Strategieausrichtung in der Anfangsphase kann gesagt werden, dass in jeder Runde sehr wenig Hasen und dafür mehr Füchse gejagt wurden. Wahrscheinlich um so den Hasenbestand möglichst groß anwachsen lassen zu können.

Wie auch schon die vorherigen Erstplatzierten in Version 1 und 2 gibt dieser Teilnehmer an, dass ihm ein hohes Spielergebnis sehr wichtig war. Ebenfalls wurde von ihm seine eigene Spielleistung richtigerweise als eher hoch eingeschätzt. Die Selbsteinschätzung wann eine Systematik im Spiel gefunden wurde, stimmt mit der tatsächlich angewandten Strategie ab der 3. Runde überein. Die Spielstrategie des Teilnehmers war es, einen möglichst hohen Gleichgewichtspunkt zu finden, wobei bei der Steuerung der Bestände beide Populationen in Betracht gezogen wurden.

Weiters gibt die Versuchsperson an, ein Wachstum der Hasen primär als Futter für die Füchse angestrebt zu haben, wobei dies sich mit der Spielstrategie in den mittleren Runden nicht deckt. Es stellt sich die Frage, warum der Teilnehmer nicht schon früher versucht hat die Hasenpopulation bis zur Kapazitätsgrenze anwachsen zu lassen und stattdessen seinen Fokus auf die Jagd der Beutetiere gelegt hat. Auf der einen Seite wollte die Versuchsperson die Beutetiere indirekt als Futter für die Räuber verwenden, auf der anderen Seite aber konzentrierte er sich nach eigenen Angaben eher nicht auf die teurere Population.

Anhand der Detailanalyse der einzelnen Runden des Teilnehmers lässt sich ein bewusst zielgerechtes Handeln feststellen, welches auch mit dem Profilbogen des Teilnehmers, in Abbildung 14 dargestellt, übereinstimmt. Wie im Profilbogen ersichtlich, zeigt sich eine stärkere Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Kontrolliertheit. Außerdem ist eine erhöhte Ausprägung Richtung Risiko zu erkennen, was eine Neigung zur erhöhten Risikobereitschaft bedeutet. Daraus könnte man schließen, dass ein kontrolliertes, zielgerechtes sowie risikoorientiertes Handeln zum Erfolg führt und den Spielverlauf positiv beeinflusst.

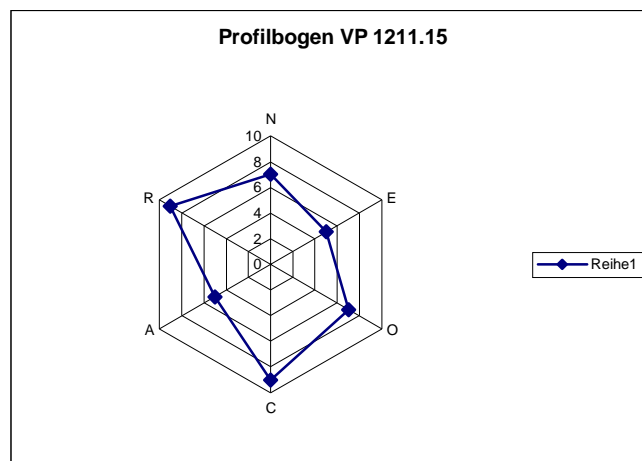


Abbildung 14: Profilbogen 3 basierend auf der Auswertung des HPI

Alle Auswertungen jedes einzelnen Experimentteilnehmers hinsichtlich der Persönlichkeitsmerkmale, welche anhand des HPI erhoben wurden, sind im Anhang ersichtlich.

## 7.2 ERGEBNISANALYSE

Für die Gesamtergebnisanalyse wurde für jeden Teilnehmer der Erlös der besten Spielrunde ermittelt. Anschließend wurde dieser in Relation zum Erlös der Optimallösung der jeweiligen Version gesetzt und dies in den folgenden Abbildungen grafisch veranschaulicht. Die Bestspiele der Versuchspersonen werden kategorisch in schlechte, mittelmäßige und gute Ergebnisse auf der x-Achse eingeteilt. Auf der y-Achse ist die prozentuelle Anzahl der Teilnehmer aufgetragen.

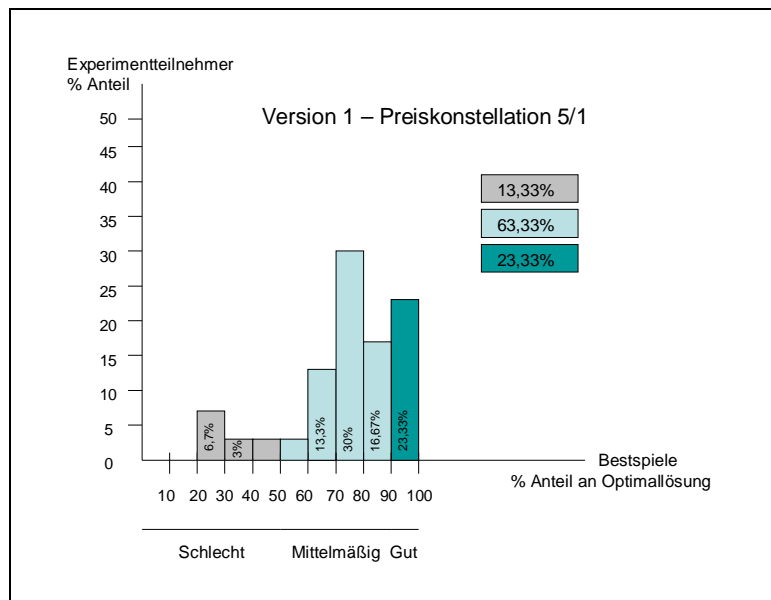


Abbildung 15: Bestspiele der Experimentteilnehmer in Version 1

Insgesamt haben 30 Teilnehmer mit der Preiskombination 5/1 das Spiel absolviert. Wie in Abbildung 15 ersichtlich, haben die meisten ein Bestergebnis zwischen 70% und 80% erspielt und knappe 64% haben einen mittelmäßigen Erlös erwirtschaftet. Im Gegensatz zu den anderen beiden Versionen ist hier auffallend, dass 10% mehr Teilnehmer ein gutes Ergebnis erreicht haben, wie ein schlechtes.



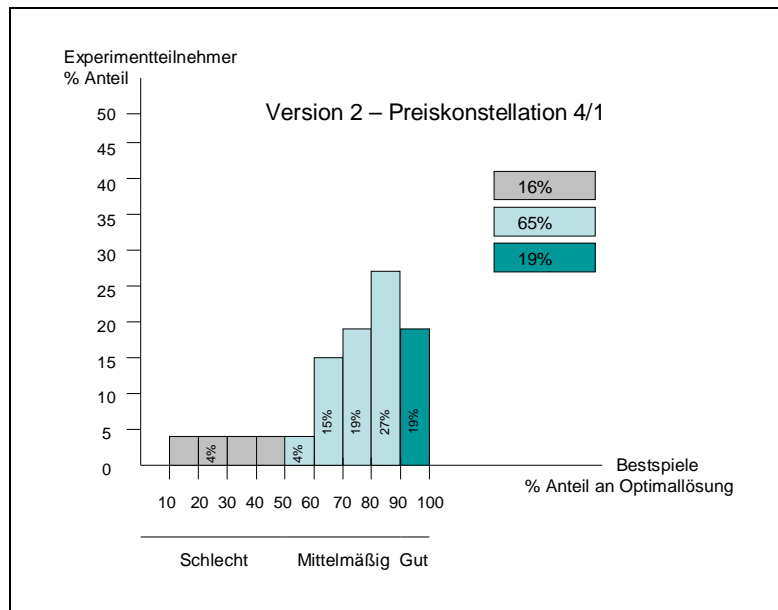


Abbildung 16: Bestspiele der Experimentierteilnehmer in Version 2

Das Experiment in Version 2, also mit einer Preiskombination 4/1, wurde von 26 Versuchspersonen durchgeführt. In dieser Version gab es verhältnismäßig weniger gute sowie mehr schlechte Ergebnisse, wobei der Anteil an mittelmäßigen Bestspielen im Vergleich zu Version 1 gleich blieb. Abbildung 16 zeigt, dass in dieser Version ein Teilnehmer die Optimalstrategie angewandt und somit den Maximalerlös erzielt hat. Der größte Prozentsatz der Versuchspersonen hat einen Ertrag mit ihrem Bestspiel zwischen 80% und 90% erreicht.

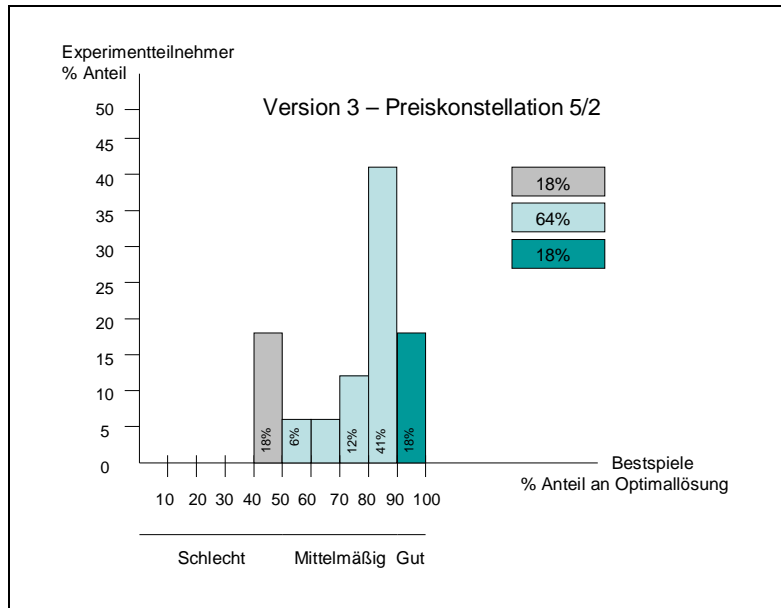


Abbildung 17: Bestspiele der Experimentteilnehmer in Version 3

Die letzte Version 3 mit einer Preiskombination 5/2 wurde von 17 Teilnehmern gespielt. Gleich wie in den vorherigen Versionen bewegen sich 64% der Bestspiele im Mittelfeld, wie in Abbildung 17 dargestellt wird. Es gab gleich viele gute wie schlechte Ergebnisse, jedoch auffallend ist, dass keiner der Teilnehmer einen Erlös erzielt hat, welcher unter 40% der Optimallösung lag. Hervorstechend ist auch, dass sich mehr als 40% der Bestspiele aller Teilnehmer dieser Version zwischen 80 und 90% befinden. Obgleich in dieser Version der maximale Erlös nicht erreicht wurde, haben fast 60% der Teilnehmer ein Ergebnis über 80% erzielt.

### 7.2.1 AUSWERTUNG DES HPI

Der erste Teil des Experiments bestand aus dem Hamburger Persönlichkeitsinventar, welche von allen 73 Teilnehmern vollständig ausgefüllt wurde. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die deskriptiven Ergebnisse des HPI. Es wurde der Mittelwert separat für Frauen und Männer ermittelt, sowie allgemein der Median berechnet und der Maximalwert bzw. Minimalwert jedes Persönlichkeitsfaktors angegeben wurde.

<b>HPI Statistik</b>						
	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>R</b>
Mittelwert w	6,17	8,06	6,94	8,56	7,36	7,81
Mittelwert m	5,81	7,97	6,19	7,92	5,78	8,43
Mittelwert	5,99	8,01	6,56	8,23	6,56	8,12
Median	6,00	8,00	7,00	8,00	7,00	8,00
MAX	13	13	11	13	12	13
MIN	1	1	2	3	1	3

Tabelle 9: Auswertung der Daten des HPI

Die Mittelwerte der einzelnen Persönlichkeitsdimensionen sind bei den Frauen bis auf die letzte Dimension Risiko immer höher als die bei den Männern. In den Persönlichkeitsfaktoren Nervosität und Extraversion wurde die Skala von 1 bis 13 vollständig ausgeschöpft. Bei den anderen Faktoren ist ebenfalls ein breites Spektrum vorhanden. Im Allgemeinen stimmen die Ausprägungen der Persönlichkeitsdimensionen ungefähr mit der Grundstichprobe, Skalenwert von 7, überein.

### 7.2.2 ÜBERSICHT DER EINGRIFFKOMBINATIONEN

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, ist die Optimalstrategie zur Bewirtschaftung des Biotops stark von der Preiskombination der Populationen abhängig. Die Relation des Fuchs- und Hasenpreises bestimmt also, ob vorwiegend der Fokus auf die Räuber oder auf die Beute gelegt werden soll. In allen drei Preiskombinationen, mit welchen das Experiment in dieser Arbeit durchgeführt wurde, ist es aufgrund der relativ niedrigen Preise der Beutepopulation vorteilhafter, diese indirekt als Futter für die wertvolleren Räuber zu nutzen. Dementsprechend impliziert in allen Versionen die Optimalstrategie einen Räuberfokus.

Abbildung 18 dokumentiert sämtliche mögliche Eingriffe für alle 3 Versionen. Interessant ist die Frage, ob eher auf Beutetiere oder auf Raubtiere zugegriffen worden ist. Die Diagonale von 0/0 bis 10/10 werden neutrale Kombinationen genannt. Unterhalb der Diagonale ist der Bereich mit Räuberfokus und oberhalb der mit Beutefokus.

Die bereits geäußerte Vermutung, dass die Experimente Teilnehmer eher jene Population jagen, welche mengenmäßig überwiegt, wurde in der nachstehenden Tabelle 10 bestätigt. Obwohl es der Optimalstrategie widerspricht, wurde in allen Spielen insgesamt 5565 Hasen gejagt. Die am häufigst gewählten Kombinationen als suboptimales Verhalten waren 6 Füchse und 10 Hasen, gefolgt von 8 Füchsen und 10 Hasen sowie eine Jagd auf 5 Füchse und 10 Hasen. Ganz vernachlässigt wurde beispielsweise die Strategie 9 Füchse und 4 Hasen zu jagen. In allen 8901 gespielten Perioden wurde lediglich in 368 Runden (4,1%) die Optimalstrategie mit 10 Füchsen und 7 Hasen angewandt. Allgemein beträgt die Gewichtung auf einen neutralen Fokus 15,1%, auf einen Räuberfokus 22,4% und die Fokussierung auf die Beutepopulation 62,5%.

0/0	196	Neutral	3/0	72	Räuberfokus	6/0	90	Räuberfokus	9/0	45	Räuberfokus
0/1	21	Beutefokus	3/1	15	Räuberfokus	6/1	8	Räuberfokus	9/1	2	Räuberfokus
0/2	27	Beutefokus	3/2	15	Räuberfokus	6/2	7	Räuberfokus	9/2	12	Räuberfokus
0/3	25	Beutefokus	3/3	4	Neutral	6/3	1	Räuberfokus	9/3	4	Räuberfokus
0/4	14	Beutefokus	3/4	7	Beutefokus	6/4	10	Räuberfokus	9/4	2	Räuberfokus
0/5	65	Beutefokus	3/5	27	Beutefokus	6/5	10	Räuberfokus	9/5	15	Räuberfokus
0/6	24	Beutefokus	3/6	30	Beutefokus	6/6	9	Neutral	9/6	20	Räuberfokus
0/7	16	Beutefokus	3/7	11	Beutefokus	6/7	9	Beutefokus	9/7	29	Räuberfokus
0/8	32	Beutefokus	3/8	15	Beutefokus	6/8	66	Beutefokus	9/8	34	Räuberfokus
0/9	49	Beutefokus	3/9	47	Beutefokus	6/9	29	Beutefokus	9/9	783	Neutral
0/10	282	Beutefokus	3/10	224	Beutefokus	6/10	966	Beutefokus	9/10	X	Beutefokus
1/0	69	Räuberfokus	4/0	56	Räuberfokus	7/0	48	Räuberfokus	10/0	289	Räuberfokus
1/1	44	Neutral	4/1	4	Räuberfokus	7/1	9	Räuberfokus	10/1	37	Räuberfokus
1/2	36	Beutefokus	4/2	6	Räuberfokus	7/2	7	Räuberfokus	10/2	19	Räuberfokus
1/3	23	Beutefokus	4/3	1	Räuberfokus	7/3	2	Räuberfokus	10/3	13	Räuberfokus
1/4	20	Beutefokus	4/4	6	Neutral	7/4	6	Räuberfokus	10/4	111	Räuberfokus
1/5	59	Beutefokus	4/5	9	Beutefokus	7/5	23	Räuberfokus	10/5	68	Räuberfokus
1/6	17	Beutefokus	4/6	9	Beutefokus	7/6	6	Räuberfokus	10/6	31	Räuberfokus
1/7	17	Beutefokus	4/7	9	Beutefokus	7/7	9	Neutral	10/7	368	Räuberfokus
1/8	26	Beutefokus	4/8	42	Beutefokus	7/8	218	Beutefokus	10/8	X	Räuberfokus
1/9	47	Beutefokus	4/9	18	Beutefokus	7/9	153	Beutefokus	10/9	X	Räuberfokus
1/10	154	Beutefokus	4/10	172	Beutefokus	7/10	441	Beutefokus	10/10	X	Neutral
2/0	97	Räuberfokus	5/0	114	Räuberfokus	8/0	33	Räuberfokus		1882	
2/1	30	Räuberfokus	5/1	46	Räuberfokus	8/1	7	Räuberfokus			
2/2	24	Neutral	5/2	7	Räuberfokus	8/2	10	Räuberfokus			
2/3	15	Beutefokus	5/3	7	Räuberfokus	8/3	6	Räuberfokus			
2/4	19	Beutefokus	5/4	2	Räuberfokus	8/4	3	Räuberfokus			
2/5	91	Beutefokus	5/5	49	Neutral	8/5	34	Räuberfokus			
2/6	29	Beutefokus	5/6	10	Beutefokus	8/6	19	Räuberfokus	<b>Gesamt</b>		
2/7	14	Beutefokus	5/7	16	Beutefokus	8/7	14	Räuberfokus	<b>Räuberfokus</b>		<b>1993</b>
2/8	33	Beutefokus	5/8	29	Beutefokus	8/8	219	Neutral	<b>Beutefokus</b>		<b>5565</b>
2/9	39	Beutefokus	5/9	31	Beutefokus	8/9	219	Beutefokus	<b>Neutral</b>		<b>1343</b>
2/10	177	Beutefokus	5/10	677	Beutefokus	8/10	710	Beutefokus	<b>Total</b>		<b>8901</b>

Tabelle 10: Gesamtübersicht der Eingriffskombinationen im Räuber-Beute Experiment

Ohne die neutralen Gleichgewichtsstrategien liegt der Beutefokus bei 73,63% gegenüber dem Räuberfokus mit nur 26,37%. Die Neigung der Teilnehmer, sich bei der Bewirtschaftung des Biotops auf die Hasen zu konzentrieren, wird mit diesen Zahlen bestätigt. Dies wird zum Abschluss in der folgenden Grafik in Abbildung 18 dargestellt.

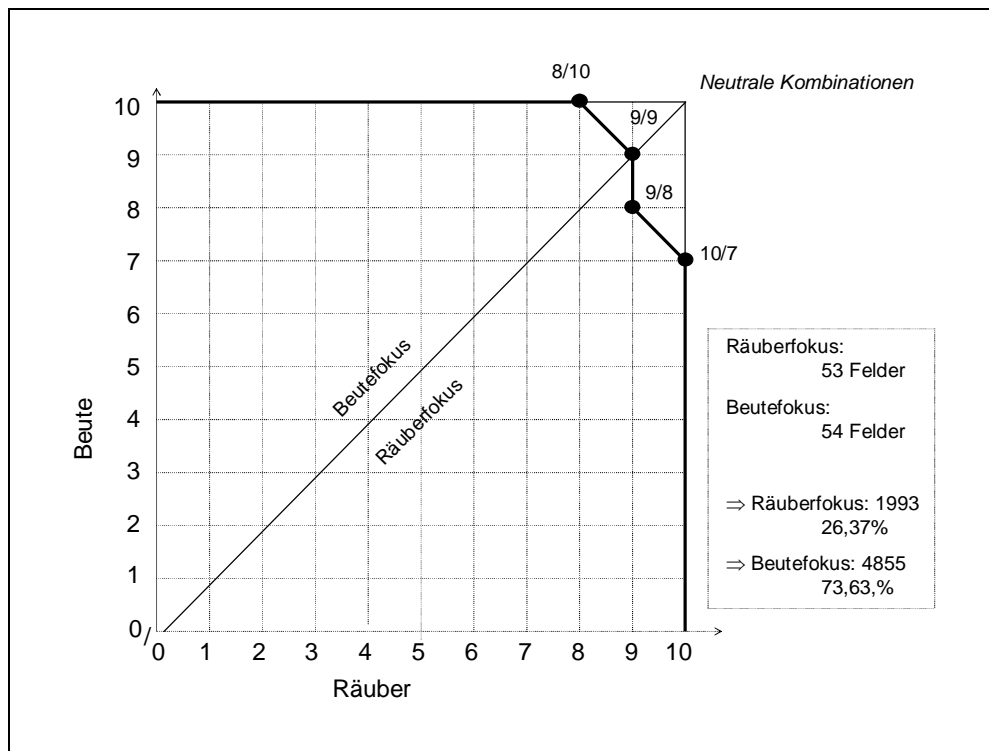


Abbildung 18: Kombinationen möglicher Eingriffe: Optimallösung und suboptimale Lösungen

Von den insgesamt 121 möglichen Räuber-Beute Kombinationen werden 11 neutrale Kombinationen abgezogen und weitere 3 Strategien sind aufgrund der Experimentannahmen nicht möglich nachhaltig anzuwenden. Es bleiben 53 Strategien mit Räuberfokus sowie 54 mit Beutefokus übrig, welche in der Stabilitätsphase konstant verfolgt werden können. Aus den Daten der vorherigen Tabelle ist ersichtlich, dass trotz der ausgewogenen Kombinationsmöglichkeiten mit Räuber- und Beutefokus und der Optimalstrategie mit einer Räuberfokussierung, in 5565 Spielrunden mit ca. 74% die Hasenpopulation zu jagen, bevorzugt wurde. Die Frage, warum sich

die Teilnehmer vorrangig gegen die Raubtierpopulation und somit auch gegen die optimale Strategie entschieden haben, bleibt offen.

Es wird viel über die möglichen Ursachen dieser Fallacy bzw. dieses irrationalen Verhaltens der Probanden diskutiert. Um es nochmals hervorzuheben, wurde basierend auf der Tabelle 19 ein Kreisdiagramm bezüglich der Populationsfokussierung in Abbildung 19 erstellt. Es ist ersichtlich, dass trotz des optimalen Räuberfokus in allen drei gespielten Versionen des Experiments, sich lediglich 26% dafür entschieden haben. Hingegen weisen die 74%, die sich auf die Beutepopulation spezialisiert haben, auf ein eingeschränktes Verhalten hin.

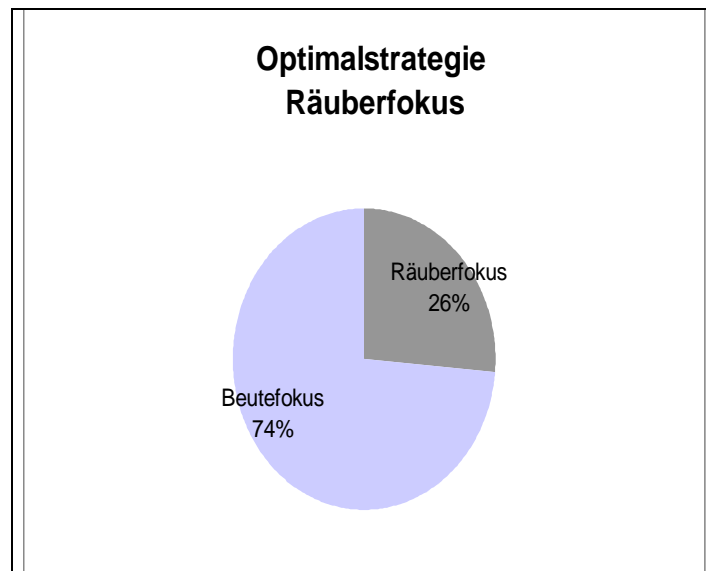


Abbildung 19: Bevorzugung des Beutefokus

Eine Begründung des Phänomens den Räuberfokus zu vernachlässigen, basiert auf der Verfügbarkeitsheuristik oder auch Availability Bias, welche im Kapitel der Entscheidungsforschung bereits erwähnt wurde. Diese Heuristik, formuliert von Tversky und Kahnemann, beinhaltet eine gedächtnispsychologisch erklärbare Urteilsverzerrung.<sup>65</sup> Die Verzerrung des

---

<sup>65</sup> Vgl. Tversky, Kahneman (1973) S.207f.

Urteils erfolgt aufgrund einer höheren subjektiven Gewichtung bestimmter Ereignisse bzw. Informationen, welche eher in Erinnerung gerufen werden, als andere Ereignisse. Das Entscheidungsverhalten wird davon beeinflusst, wie verfügbar ein Ereignis ist. Ereignisse, an welche sich Menschen schnell erinnern, scheinen wahrscheinlicher zu sein als jene, welche den Menschen weniger schnell einfallen. Die Folge ist eine Überschätzung der Wahrscheinlichkeiten der höher verfügbaren Ereignisse, was schliesslich zur Entscheidungsverzerrung führt. Ein Erklärungsansatz für die aus dem Experiment resultierende Fallacy könnte die Verfügbarkeitsheuristik bieten, da viel mehr Beutetiere wie Räuber vorhanden sind.



## **8 SCHLUSSBEMERKUNG**

Der Ausgangspunkt dieser Arbeit stellt das Experiment dar, in welchem die Teilnehmer vor der Aufgabe standen ein komplexes System in einen stabilen Zustand zu bringen und nachhaltig optimal zu steuern. Besonders interessant ist das Entscheidungsverhalten der Probanden mit welchem sie das System steuern bzw. optimieren. Aufgrund von einer einseitigen bzw. falschen Fokussierung auf nur eine der beiden Variablen wird ein solches System größtenteils nicht optimal genutzt. Dementsprechend sind die Fragen, wie Akteure ein System bewirtschaften, auf welchen Grundlagen und nach welcher Strategie sie ihre Entscheidungen treffen, von großer Bedeutung.

Das Ziel dieser Arbeit war es, das Verhalten der Probanden in komplexen Situationen zu beobachten und zu analysieren. Die daraus gewonnene Erkenntnis soll den Ausgangspunkt für das Prognostizieren von Verhaltensweisen und Entscheidungsfindung darstellen. Zusammenhänge zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und dem Entscheidungsverhalten zu finden, steht im Mittelpunkt der Experimentellen Wirtschaftsforschung.

## 9 BIBLIOGRAPHIE

- Arbenz, Peter: Einführung in die Matlab. Paper. Computer Science Department. ETH Zürich. 2007/2008.
- Becker, Otwin; Leopold-Wildburger, Ulrike: 17 Some New Lotka-Volterra-Experiments. *Operations Research*. Vol 95, 482-486. Springer Berlin. 1996.
- Becker, Otwin; Leopold-Wildburger, Ulrike; Schütze, Jörg: 32 Some New Lotka-Volterra Experiments. *Central European Journal of Operations Research*. Vol. 12, 187-196, 2004.
- Dörner, Dietrich: Die Logik des Misslingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen. Rowohlt Taschenbuchverlag. 1997.
- Eibl-Eibesfeldt, Irenäus: Grundriss der vergleichenden Verhaltensforschung. 7. Auflage. Piper Verlag. München. 1987.
- Goodwin, Richard: A Growth Cycle in: Feinstein, C.H.: Socialism, Capitalism and Economic Growth. Cambridge. 1976.
- Goodwin, Richard: Essays in economics dynamics. The Macmillan Press Ltd. London. Basingstoke. 1982.
- Grabner, Christian; Hahn, Heiko; Leopold-Wildburger, Ulrike; Pickl, Stefan: Analyzing the Sustainability of Harvesting Behaviour and the Relationship to Personality Traits in a Simulated Lotka-Volterra Biotope. *European Journal of Operations Research*. Vol. 193, 3, 761-768, 2009.
- Gradwohl, Michael; Kößlbacher, Christian: Komplexe dynamische Systeme in der Wirtschaftsforschung. Eine Untersuchung zur sozioökonomischen Dimension von Stabilität. Dissertation. Universität Graz. 2009.
- Güth, Werner; Kliemt, Hartmut; Weise, Peter; Witt, Ulrich: Ökonomie und Gesellschaft. Jahrbuch 19: Evolution in Wirtschaft und Gesellschaft. Metropolis Verlag. Marburg. 2006.
- Hoppensteadt, Frank: Predator - prey Model. Paper Scholarpedia 1 (10): 1563. Courant Institute of Mathematical Sciences. New York. 2006.

- Kappeler, Peter M.: Verhaltensbiologie. 2. Auflage. Springer Verlag. 2006.
- Kirchgässner, Gebhard: Rezension von Elinor Ostrom, Die Verfassung der Allmende in: Politische Vierteljahresschrift, VS Verlag für Sozialwissenschaften. Vol. 43. 2. 2002.
- Leopold-Wildburger, Ulrike: Some selected topics in Experimental Economics in: Intern Transactions in Operational Research. Vol. 4. Nr. 3. 1997.
- Lorenz, Konrad: Vergleichende Verhaltensforschung. Grundlagen der Ethologie. Springer Verlag. Wien. 1978.
- Lorenz, Wilhelm; Lange, Carsten: Simulierte Konjunkturzyklen. WiSt-Inforum 07/96. S.368-372. Hannover. 1996.
- Lotka, Alfred J.: Analytical Theory of Biological Populations. Springer Verlag. New York. 1998.
- Lotka, Alfred J.: Elements of Physical Biology. Waverly Press. Williams & Wilkins Company. Baltimore. 1925.
- March, James G.: A Primer on Decision Making. New York. 1994.
- Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Band 18. Biografisches Institut AG. Mannheim. 1976.
- Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Band 23. Biografisches Institut AG. Mannheim. 1978.
- Müller, Hans Joachim: Ökologie. Gustav Fischer Verlag. 2. Auflage. Jena. 1991.
- Murray, James D.: Mathematical Biology. I: An Introduction. 3 Edition. Springer Verlag. New York. 2002.
- Ostrom, Elinor: Governing the commons. The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press. Cambridge. 1990
- Peschel, Manfred; Mende, Werner: Leben wir in einer Volterra-Welt? Ein ökologischer Zugang zur angewandten Systemanalyse. Akademie Verlag. Berlin. 1983.

- Ricklefs, Robert E.: The Economy of Nature. 6. Edition. University of Missouri. St. Louis. W.H Freeman & Company. 2009.
- Tversky, Amos; Kahneman, Daniel: Availability: A heuristic for judging frequency and probability. Cognitive Psychology. Vol. 42, 207-232. 1973.
- Tietz, Reinhard: Experimentelle Wirtschaftsforschung – Wege zur Modellierung eingeschränkter Rationalität in Gijssels, Peter: Experiments in economics – Experimente in der Ökonomie. Jahrbuch 13 von Ökonomie und Gesellschaft. Campus Verlag. Frankfurt, New York. 1996.
- Tinbergen, Nikolaas: Instinktlehre: Vergleichende Erforschung angeborenen Verhaltens. 2 Auflage. Berlin. 1956.
- Volterra, Vito: Leçons sur la Théorie Mathématique de la Lutte pour la Vie. Éditions Jaques Gabay. 1990.
- Wickens, Christopher D.; Hollands, Justin G.: Engineering Psychology and Human Performance. Kapitel 8. 3 Edition. Prentice Hall. New Jersey. 2000.
- Wilson, Edward; Bossert, William: Einführung in die Populationsbiologie. Springer Verlag. Heidelberg. 1973.
- Wirsching, Günther J.: Gewöhnliche Differentialgleichungen. Teubner Verlag. Wiesbaden. 2006.
- Wuketits, Franz: Die Entdeckung des Verhaltens. Eine Geschichte der Verhaltensforschung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt. 1995.
- Ebner, Johannes: Nobelpreis für mehr Fische. In: [http://pixeloekonom.wordpress.com/2009/10/21/ein-nobelpreis-fur-mehr-fische-die-ideen-von-elinor-ostrom-konnten-die-fischbestande-der-weltmeere-retten\\_5.12.09](http://pixeloekonom.wordpress.com/2009/10/21/ein-nobelpreis-fur-mehr-fische-die-ideen-von-elinor-ostrom-konnten-die-fischbestande-der-weltmeere-retten_5.12.09)
- [http://www.ecotronics.ch/images/excHasFu.gif\\_1.12.09](http://www.ecotronics.ch/images/excHasFu.gif_1.12.09)
- [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/index.html\\_3.12.09](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/index.html_3.12.09)

## 10 ANHANG

### Beschreibung zum Räuber-Beute Experiment

Im Biotop BURGLEOB leben 20 Füchse (Räuber) und 40 Hasen (Beute). Es soll dort nun nachhaltig in **42** Perioden Hasen- und Fuchsjagd betrieben werden, mit dem Ziel, in dieser Zeit insgesamt einen möglichst **hohen Erlös** zu erzielen. Der Gesamterlös setzt sich dabei aus dem Verkaufserlös, der in den 42 Perioden **erlegten Füchsen** (Anzahl der erlegten Füchse mal Fuchspreis), dem Verkaufserlös der **erlegten Hasen** (Anzahl der erlegten Hasen mal Hasenpreis) und dem Verkaufserlös des **Endbestands** an Fuchs- und Hasenbestand zu den jeweiligen Preisen zusammen.

$$\text{Gesamterlös} = \text{Erlegte Füchse} \times \text{Preis Fuchs} + \text{Erlegte Hasen} \times \text{Preis Hase} \\ + \text{Endbestand Füchse} \times \text{Preis Fuchs} + \text{Endbestand Hasen} \times \text{Preis Hase}$$

Ihr Ziel ist es, diesen Erlös zu maximieren, in dem Sie jeweils zu Beginn einer Periode bestimmen, wie viele Füchse und wie viele Hasen in dieser Periode gejagt werden sollen.

Das Zusammenleben der Füchse mit ihrer Beute, den Hasen, folgt den aus der Natur bekannten **Gesetzmäßigkeiten**:

Im hier gegebenen Biotop gilt dazu numerisch:

Bei **20 Füchsen** und **40 Hasen** bleiben die Bestandszahlen unverändert,

bei **mehr als 40 Hasen** nimmt der **Fuchsbestand zu**,  
bei **weniger als 40 Hasen** nimmt der **Fuchsbestand ab**,

bei **mehr als 20 Füchsen** nimmt der **Hasenbestand ab**,  
bei **weniger als 20 Füchsen** nimmt der **Hasenbestand zu**,  
der Hasenbestand ist nach oben hin mit **80** begrenzt.

Die Jagd findet stets zu Beginn einer Periode statt, in der restlichen Periode entwickelt sich der Bestand entsprechend den obigen Gesetzmäßigkeiten. Es dürfen jeweils maximal 10 Füchse und 10 Hasen gejagt werden. 2 Füchse sowie 2 Hasen müssen stets übrig bleiben.

Hinweis zum Experiment:

Um Entwicklungen aus Ihren Entscheidungen ablesen zu können, sollte das Experiment mindestens 6-8 Mal durchgeführt werden. Sie können des Weiteren von stabilen **Marktpreisen** über alle 42 Perioden ausgehen, welche ihnen vom Spielleiter am Anfang mitgeteilt wurde.

Abkürzungserklärung:

**fa:** Bestand am Beginn einer Periode (Fuchs)      **ha:** Bestand am Beginn einer Periode (Hase)  
**nf:** Jagdmenge am Beginn einer Periode (Fuchs)    **nh:** Jagdmenge am Beginn einer Periode (Hase)  
**fe:** Nach der Jagd verbleibende Bestand (Fuchs)    **he:** Nach der Jagd verbleibende Bestand (Hase)  
**g:** Erlös durch Jagd am Beginn der Periode        **gtot:** kumulierte Erlöse

## Fragebogen zum Räuber-Beute Experiment

**Vielen Dank** für die Teilnahme an unserem Experiment. Wir bitten Sie nun noch, uns einige **Fragen zu Ihren Gedanken** während des Spielens zu beantworten.

Alter: \_\_\_\_\_ Semester: \_\_\_\_\_ Geschlecht: \_\_\_\_\_ Studium: \_\_\_\_\_

1. Hat Ihnen das Spiel Spaß gemacht?

<i>Keinen Spaß</i>	<i>Etwas Spaß</i>	<i>Recht viel Spaß</i>	<i>Sehr viel Spaß</i>
1	2	3	4

2. Wie wichtig war es für Sie, ein hohes Spielergebnis zu erzielen?

<i>Ganz unwichtig</i>	<i>Eher unwichtig</i>	<i>Eher wichtig</i>	<i>Sehr wichtig</i>
1	2	3	4

a. Nennen Sie Gründe für Ihre Spieleinstellung (Konkurrenzkampf, Spielertyp, Geld, keine Zeit, unklare Angabe, sinnloses Spiel, etc.)

3. Wie verständlich fanden Sie die Spielbeschreibung?

<i>Sehr unverständlich</i>	<i>Eher unverständlich</i>	<i>Eher verständlich</i>	<i>Sehr verständlich</i>
1	2	3	4

a. Geben Sie eine Schätzung ab, ab dem wievielten Spiel Sie eine Systematik im Spiel gefunden haben?

4. Wie schätzen Sie Ihren Erfolg ein?

<i>Gering</i>	<i>Eher gering</i>	<i>Eher hoch</i>	<i>Hoch</i>
1	2	3	4

5. Mit welcher Strategie/Idee haben Sie das beste Ergebnis erzielt? Beschreiben Sie kurz die einzelnen Schritte dieser Strategie.

6. Haben Sie bei der Steuerung der Bestände eher auf die Füchse oder die Hasen geachtet oder jeweils beide Populationen ins Kalkül miteinbezogen?

Füchse	Hasen	Beide Populationen
--------	-------	--------------------

7. Aus welchem Grund haben Sie ein Wachstum der Hasen angestrebt/zugelassen?

Hab ich gar nicht	Um später umso mehr Hasen zu jagen	Als Futter für die Füchse	Aus beiden Gründen gleichermaßen	Sonstiges:
-------------------	------------------------------------	---------------------------	----------------------------------	------------

8. Wie würden Sie ihr Entscheidungsverhalten charakterisieren?

<i>Item</i>	<i>Völlig unzutreffend</i>	<i>Eher unzutreffend</i>	<i>Eher zutreffend</i>	<i>Völlig zutreffend</i>
	1	2	3	4
<i>Planvoll</i>				
<i>Gefühlsmäßig</i>				
<i>Zögerlich/Zurückhaltend</i>				
<i>Mutig</i>				
<i>Gewissenhaft</i>				
<i>Impulsiv/Spontan</i>				
<i>Begründbar</i>				
<i>Schnell</i>				
<i>Erfolgsorientiert</i>				
<i>Nachdenklich</i>				
<i>Risikobereit</i>				
<i>Experimentierfreudig</i>				
<i>Optimistisch</i>				
<i>Hartnäckig</i>				
<i>Irritierbar</i>				
<i>Ehrgeizig</i>				

9. Ich warte eher, bis sich eine von mir getroffene Maßnahme über kurz oder lang als richtig herausstellt, als dass ich schnell nachjustiere.

<i>Völlig unzutreffend</i>	<i>Eher unzutreffend</i>	<i>Eher zutreffend</i>	<i>Völlig zutreffend</i>
1	2	3	4

10. Ich spiele regelmäßig am Computer.

<i>Völlig unzutreffend</i>	<i>Eher unzutreffend</i>	<i>Eher zutreffend</i>	<i>Völlig zutreffend</i>
1	2	3	4

11. An der zuletzt getroffenen Entscheidung halte ich eher fest und möchte sie nicht gleich wieder ändern.

<i>Völlig unzutreffend</i>	<i>Eher unzutreffend</i>	<i>Eher zutreffend</i>	<i>Völlig zutreffend</i>
1	2	3	4

12. Mir war wichtig, eine oder beide Populationen anwachsen zu lassen, um später viel jagen zu können.

<i>Völlig unzutreffend</i>	<i>Eher unzutreffend</i>	<i>Eher zutreffend</i>	<i>Völlig zutreffend</i>
1	2	3	4

13. Ich habe mich in meinen Bemühungen stärker auf das teurere Tier konzentriert.

<i>Völlig unzutreffend</i>	<i>Eher unzutreffend</i>	<i>Eher zutreffend</i>	<i>Völlig zutreffend</i>
1	2	3	4

**Vielen Dank für Ihre Unterstützung!**

## Optimalstrategie für Version 1

=====

Erlös pro Fuchs = 5

Erlös pro Hase = 1

Pönale = 0

t	fa	nf	fa-nf	fe <sup>3</sup>	ha	nh	ha-nh	u	he <sup>3</sup>	g	gtot
1	20	10	10	11	40	0	40	0	49	50	50
2	11	7	4	7	49	0	49	0	66	35	85
3	7	2	5	11	66	0	66	0	80	10	95
4	11	2	9	18	80	7	73	0	80	17	112
5	18	7	11	21	80	7	73	0	80	42	154
6	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	211
7	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	268
8	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	325
9	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	382
10	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	439
11	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	496
12	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	553
13	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	610
14	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	667
15	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	724
16	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	781
17	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	838
18	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	895
19	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	952
20	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1009
21	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1066
22	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1123
23	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1180
24	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1237
25	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1294
26	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1351
27	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1408
28	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1465
29	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1522
30	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1579
31	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1636
32	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1693
33	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1750
34	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1807
35	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1864
36	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1921
37	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	1978
38	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	2035
39	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	2092
40	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	2149
41	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	2206
42	21	10	11	21	80	7	73	0	80	57	2263

Jagdbeute Füchse = 398

Jagdbeute Hasen 273

Verkaufserlös Endbestand = 185

Endgewinn insgesamt = 2448

Gesamtpönale = 0

Reingewinn = 2448



## Optimalstrategie für Version 2

=====

Erlös pro Fuchs = 4

Erlös pro Hase = 1

Pönale = 0

t	fa	nf	fa-nf	fe <sup>3</sup>	ha	nh	ha-nh	u	he <sup>3</sup>	g	gtot
1	20	10	10	11	40	0	40	0	49	40	40
2	11	7	4	7	49	0	49	0	66	28	68
3	7	2	5	11	66	0	66	0	80	8	76
4	11	2	9	18	80	7	73	0	80	15	91
5	18	7	11	21	80	7	73	0	80	35	126
6	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	173
7	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	220
8	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	267
9	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	314
10	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	361
11	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	408
12	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	455
13	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	502
14	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	549
15	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	596
16	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	643
17	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	690
18	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	737
19	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	784
20	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	831
21	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	878
22	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	925
23	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	972
24	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1019
25	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1066
26	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1113
27	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1160
28	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1207
29	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1254
30	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1301
31	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1348
32	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1395
33	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1442
34	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1489
35	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1536
36	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1583
37	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1630
38	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1677
39	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1724
40	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1771
41	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1818
42	21	10	11	21	80	7	73	0	80	47	1865

Jagdbeute Füchse = 398

Jagdbeute Hasen 273

Verkaufserlös Endbestand = 164

Endgewinn insgesamt = 2029

Gesamtpönale = 0

Reingewinn = 2029

### Optimalstrategie für Version 3

=====  
 Erlös pro Fuchs = 5  
 Erlös pro Hase = 2  
 Pönale = 0

t	fa	nf	fa-nf	fe <sup>3</sup>	ha	nh	ha-nh	u	he <sup>3</sup>	g	gtot
1	20	10	10	11	40	0	40	0	49	50	50
2	11	7	4	7	49	0	49	0	66	35	85
3	7	2	5	11	66	0	66	0	80	10	95
4	11	2	9	18	80	7	73	0	80	24	119
5	18	7	11	21	80	7	73	0	80	49	168
6	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	232
7	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	296
8	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	360
9	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	424
10	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	488
11	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	552
12	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	616
13	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	680
14	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	744
15	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	808
16	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	872
17	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	936
18	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1000
19	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1064
20	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1128
21	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1192
22	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1256
23	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1320
24	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1384
25	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1448
26	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1512
27	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1576
28	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1640
29	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1704
30	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1768
31	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1832
32	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1896
33	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	1960
34	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2024
35	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2088
36	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2152
37	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2216
38	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2280
39	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2344
40	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2408
41	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2472
42	21	10	11	21	80	7	73	0	80	64	2536

Jagdbeute Füchse = 398  
 Jagdbeute Hasen 273  
 Verkaufserlös Endbestand = 265  
 Endgewinn insgesamt = 2801  
 Gesamtpönale = 0  
 Reingewinn = 2801

## Auswertung des HPI Fragebogens aller 73 Experimententeilnehmer

Nr.	Version	Geschlecht	N	E	O	C	A	R
1	5/1	1	3	10	7	7	9	9
2	5/1	0	3	10	5	11	8	6
3	5/1	1	4	11	5	9	5	11
4	5/1	1	9	9	2	7	6	10
5	5/1	0	6	7	6	8	7	5
6	5/1	0	6	9	2	10	6	7
7	5/1	1	13	3	4	8	6	5
8	5/1	1	8	10	10	3	5	9
9	5/1	0	9	7	7	8	9	7
10	5/1	0	6	13	5	8	5	9
11	4/1	0	5	8	9	10	8	12
12	4/1	1	11	9	7	7	6	6
13	4/1	1	3	10	5	5	3	5
14	4/1	0	6	10	8	11	7	10
15	4/1	0	4	10	5	10	7	10
16	5/2	0	3	10	7	9	6	6
17	5/2	0	7	6	7	10	9	8
18	5/2	1	2	10	5	11	5	10
19	5/2	1	4	5	8	9	3	10
20	5/2	1	4	8	3	11	3	8
21	5/2	0	13	1	5	8	10	5
22	5/2	1	6	7	6	7	8	11
23	5/2	1	4	10	7	5	7	8
24	5/2	0	8	7	8	7	6	9
25	5/2	1	6	6	5	5	8	8
26	4/1	0	6	7	4	11	8	5
27	4/1	1	3	13	10	5	5	7
28	4/1	1	10	5	6	10	4	5
29	4/1	1	4	9	5	11	1	10
30	4/1	1	7	10	9	10	12	13
31	4/1	0	6	5	7	10	10	9
32	4/1	0	8	9	8	9	10	9
33	4/1	0	7	12	6	8	9	10
34	4/1	0	4	2	5	8	5	5
35	4/1	1	1	8	6	8	9	10
36	4/1	1	8	6	8	3	4	9
37	5/2	0	5	8	8	7	8	8
38	5/2	1	6	5	7	7	2	9
39	5/2	0	5	8	8	11	7	9
40	5/1	1	3	10	6	8	5	8
41	5/1	0	7	4	6	8	4	5
42	5/1	0	5	9	10	8	8	6
43	5/1	0	5	10	9	8	5	8
44	5/1	0	5	10	6	6	6	6
45	5/1	0	8	6	9	11	11	9
46	5/1	0	5	11	8	7	9	9

47	5/1	0	4	10	11	7	11	6
48	5/1	1	8	7	11	7	8	10
49	5/1	0	7	4	9	8	3	11
50	5/2	1	10	6	7	4	6	6
51	5/2	0	8	7	8	9	8	8
52	5/2	1	2	9	5	6	4	7
53	4/1	1	4	10	8	10	9	8
54	4/1	1	8	10	7	10	10	11
55	4/1	1	4	9	5	6	5	10
56	4/1	0	5	7	6	11	9	10
57	4/1	1	3	7	3	10	2	7
58	4/1	0	5	9	7	3	7	10
59	4/1	1	7	6	5	7	7	8
60	4/1	1	6	7	9	9	6	9
61	5/1	1	9	5	7	13	7	6
62	5/1	0	8	9	6	6	5	3
63	5/1	0	7	9	8	7	5	9
64	5/1	0	9	7	6	10	5	8
65	5/2	0	5	10	8	7	7	10
66	5/2	1	4	12	7	11	10	10
67	5/2	1	7	5	7	9	5	9
68	5/2	0	4	8	6	11	10	8
69	5/2	1	8	9	6	9	2	8
70	4/1	0	8	11	7	7	7	6
71	4/1	1	4	8	5	9	8	5
72	5/1	1	7	4	3	6	4	10
73	5/1	1	5	7	3	11	5	7