

Echtzeit-Bewertung von Optionen

mit Marktpreisen

durch Web-Mining und Neurosimulation

Dem Fachbereich Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Hannover  
zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Wirtschaftswissenschaften**

- Doctor rerum politicarum -

vorgelegte Dissertation

von

**Dipl.-Ök. Patrick Bartels**

geboren am 31. August 1976 in Hannover

Erstgutachter: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Zweitgutachter: Prof. Dr. Klaus-Peter Wiedmann

2007

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Vorwort</b> .....	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Verzeichnis wichtiger Symbole</b> .....	<b>XII</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>2</b>
1.1 Marktpreismodelle an Finanzmärkten.....	2
1.2 Zielsetzung und Anwendungsfälle.....	9
1.3 Vorgehensweise.....	11
<b>2. Grundlagen</b> .....	<b>13</b>
2.1 Das Internet als Datenbasis.....	13
2.1.1 Geschichte	13
2.1.2 Funktionsweise	16
2.1.3 Darstellung der Inhalte und deren Dokumentenformate	20
2.1.3.1 Semi-Strukturierte Dokumentenformate	20
2.1.3.2 Strukturierte Dokumentenformate	21
2.1.3.3 Weitere Dokumentenformate und -typen	22
2.1.4 Dynamische Webseiten	26
2.1.5 Suchen und Finden von relevanten Internetseiten	29
2.1.6 Preise für Echtzeitkurse	32
2.1.7 Das unsichtbare Internet – Deep Web	33
2.1.8 Relevante Finanzmarktplattformen im Internet	38
2.2 Software Agenten.....	38
2.3 Web-Mining.....	47
2.3.1 Einführung Web-Mining	48
2.3.2 Stand der Forschung im Web-Content-Mining	57
2.3.2.1 Künstliche neuronale Netze zur Informationsextraktion	59
2.3.2.2 Sprachen zur Informationsextraktion	60
2.3.2.3 Systeme mit HTML-Bewusstsein	63
2.3.2.4 NLP-basierende Programme	69
2.3.2.5 Wrapper Induction Tools	70
2.3.2.6 Modellbasierende Programme	72
2.3.2.7 Ontologie-basierende Programme	73
2.3.2.8 Kategorieübergreifende Systeme	74
2.3.3 Bewertung der vorgestellten Werkzeuge	75
2.3.4 Abschlussbetrachtung und Zusammenfassung	83
2.4 Neuronale Netze und Neurosimulation.....	88
2.4.1 Grundlagen der neuronalen Simulation	88
2.4.2 Neuronen als zentrales Element künstlicher neuronaler Netze	90
2.4.3 Neuronale Netze und Topologien	93

2.4.4 Neurosimulation und Lernverfahren	98
2.4.5 Zusammenfassung	102
2.4.6 Neurosimulator FAUN	103
2.5 Optionen.....	110
2.5.1 Geschichtlicher Hintergrund des Optionshandels	110
2.5.2 Unterstützte Handelsplätze	113
2.5.3 Unterstützte Finanztermininstrumente	115
2.5.4 Grundlagen des Optionsgeschäfts	116
2.5.5 Bewertungsmodelle für Optionen	123
2.5.5.1 Empirisch-ökonometrische Modelle	123
2.5.5.2 Gleichgewichtsmodelle	126
2.5.5.3 Numerische Verfahren	134
2.5.6 Aktien-Indizes als Basiswert	137
2.5.7 Optionspreise in der Praxis	139
2.6 Optionsbewertung mit künstlichen neuronalen Netzen.....	143
2.6.1 Einleitung	143
2.6.2 Basiswerte	145
2.6.3 Optionstyp	146
2.6.4 Datenauswahl	147
2.6.4.1 Eingabewerte	147
2.6.4.2 Ausgabewerte	153
2.6.4.3 Datenaktualität und -aufbereitung	154
2.6.5 Betrachtete Zeiträume	157
2.6.6 Trainings-, Validierungs- und Generalisierungsmuster	157
2.6.7 Topologien	158
2.6.8 Trainingsprozess	161
2.6.9 Verwendete Infrastrukturen	161
2.6.10 Auswertung	162
2.6.11 Wesentliche Ergebnisse	167
<b>3. Systementwicklung.....</b>	<b>171</b>
3.1 Softwarequalität: Qualitätsziele und -sicherung.....	171
3.2 Analyse.....	177
3.2.1 Auswahl betrachteter Finanzmarktplattformen	177
3.2.2 Softwareanforderungen	180
3.2.2.1 Darstellungsschicht	180
3.2.2.2 Logikschicht	182
3.2.2.2.1 Web-Content-Mining	182
3.2.2.2.2 Datenvorverarbeitung	188
3.2.2.2.3 Neurosimulation	191
3.2.2.2.4 Auswertung	192
3.2.2.3 Persistenzschicht	193
3.2.3 Auswahl bestehender Java-Bibliotheken	198

3.2.3.1 Grafik-Erzeugung	198
3.2.3.2 HTTP-Client	199
3.2.3.3 HTML-Parser	200
3.2.3.4 Excel	201
3.2.3.5 XML	202
3.2.3.6 Datenbank	203
3.3 Entwurf.....	205
3.3.1 Grobentwurf – Softwarearchitektur und Schnittstellenentwurf	205
3.3.2 Feinentwurf – Datenkatalog und Softwareentwurf	209
3.3.2.1 PISA (Web-Content-Mining)	210
3.3.2.1.1 Funktionsweise der Komponente	210
3.3.2.1.2 Crawling-Prozess zum Auffinden relevanter Internetseiten	212
3.3.2.1.3 Extraktionsprozess	214
3.3.2.2 SqlPanel (Datenvorverarbeitung)	219
3.3.2.3 FAUN (Neurosimulation)	222
3.3.2.4 Internes Datenmodell	224
3.4 Softwareimplementierung .....	226
3.4.1 Web-Mining (Pisa)	226
3.4.2 Datenvorverarbeitung	228
3.4.3 Neurosimulation (FAUN)	231
3.4.4 Analyse	237
3.5 Test.....	237
<b>4. Optionsbewertung am Beispiel von DAX-Call-Optionen .....</b>	<b>241</b>
4.1 Datenauswahl.....	241
4.2 Extraktion.....	244
4.3 Datenvorverarbeitung für Trainingsprozess.....	246
4.4 Durchführen des Trainings.....	249
4.5 Explorative Datenanalyse.....	251
4.6 Ergebnisse.....	254
4.6.1 Web-Content-Mining und Datenaufbereitung	254
4.6.2 Vergleich der Ergebnisse der Marktpreismodelle mit anderen Wissenschaftlern	255
4.6.3 Emittenten	257
4.6.4 Vergleich der Ergebnisse mit Black/Scholes- und Cox/Ross/Rubinstein-Modell	261
4.6.5 Weiteres Optimierungspotenzial	265
<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>267</b>
<b>6. Kritische Würdigung .....</b>	<b>276</b>
<b>7. Ausblick .....</b>	<b>283</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>286</b>

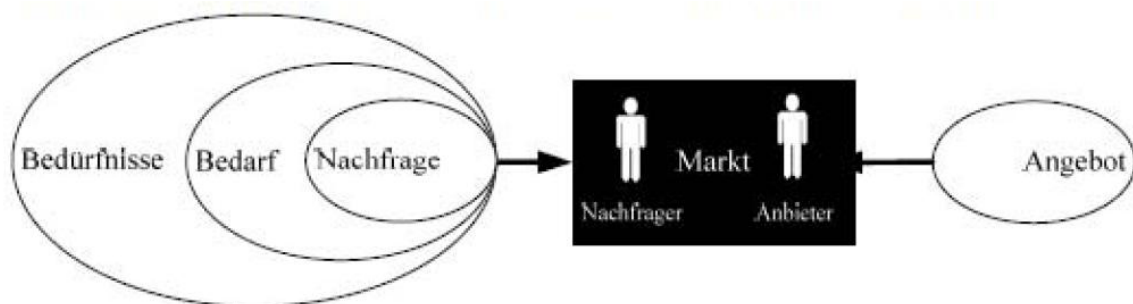
*„Man kann entweder einige Investoren dauernd täuschen  
oder alle von ihnen für kurze Zeit hinters Licht führen,  
aber niemals alle immerfort verdummen.“  
(Abraham Lincoln)*

## 1. Einleitung

### 1.1 Marktpreismodelle an Finanzmärkten

Ein Markt entsteht vereinfacht ausgedrückt überall dort, wo Anbieter und Nachfrager zwecks Tauschs/Handels zusammentreffen. Ein Markt ist in der Regel anhand der Güter bezeichnet, welche auf ihm gehandelt werden. Ein Preis ist dabei der Tauschwert der Ware, in Geld ausgedrückt. Auf einem Pferdemarkt werden Pferde gehandelt, auf einem Automarkt Automobile und auf einem Finanzmarkt folglich „Finanzen“. Dies ist lediglich ein Oberbegriff, der sich weiter konkretisieren lässt. Unter anderem werden Finanztermingeschäfte ausgehandelt; das sind Geschäfte, bei denen Anbieter und Nachfrager ein Geschäft aushandeln, das erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden wird. Das Tauschgut können dabei unter anderem Waren, Währungen oder Zinsen sein.

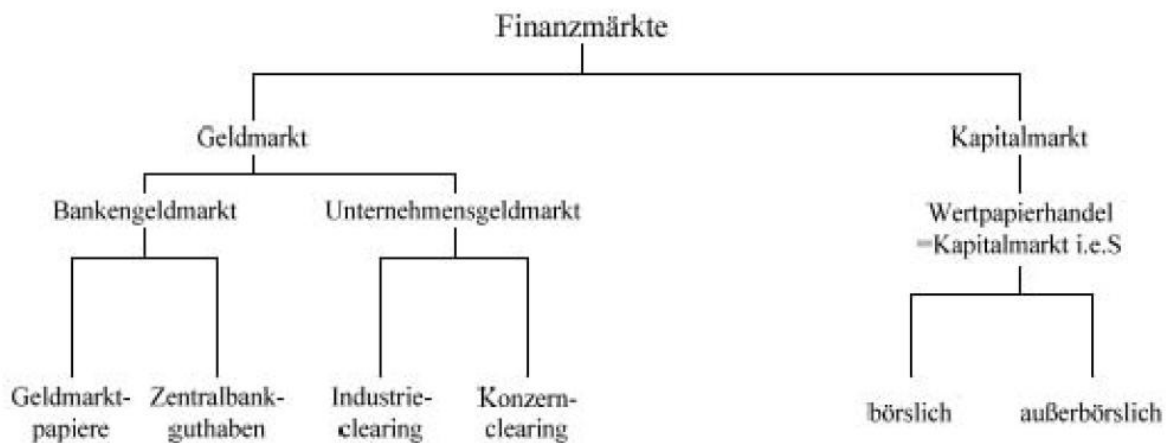
Nachfrager auf Märkten haben Bedürfnisse: Bei Finanzmärkten ist dies oft die Absicherung gegen zukünftige Risiken. Nur wenn ihnen die Bedürfnisse auch bewusst werden, entwickeln sie sich zu einem Bedarf. Wird dieser dann am Markt kommuniziert, indem ein entsprechendes Finanzprodukt nachgefragt wird, entsteht eine Nachfrage. Nachfrager können sowohl private als auch institutionelle oder öffentliche Organisation sein. Die Anbieter versuchen, die Bedürfnisse der Nachfrager zu erfüllen, indem sie entsprechende Finanzprodukte anbieten. Dabei versuchen sie gleichzeitig, die Nachfrage zu steuern. Vielfach werden solche Bedarfe nicht als Nachfrage geäußert, weil der Nachfrager von einem bedarfserfüllenden Gut keine Kenntnis hat oder den Bedarf falsch einschätzt. So versuchen die Anbieter, das Nachfrageverhalten zu steuern, indem sie für jeden identifizierten Bedarf ein erfüllendes Produkt anzubieten versuchen. Damit aus einem Bedarf eine Nachfrage entsteht, müssen Markteintrittsbarrieren überwunden werden. Marktpreismodelle, insbesondere, wenn sie frei und für jeden verfügbar sind, können helfen, diese Eintrittsbarrieren zu verringern. Vor allem für private oder semiprofessionelle Marktteilnehmer sind diese daher interessant. Der Zusammenhang aus Bedürfnis, Bedarf, Nachfrage und Angebot ist in Abbildung 1.1 vereinfacht dargestellt.



**Abbildung 1.1:** Überblick über die wesentlichen Marktbestandteile und -teilnehmer.

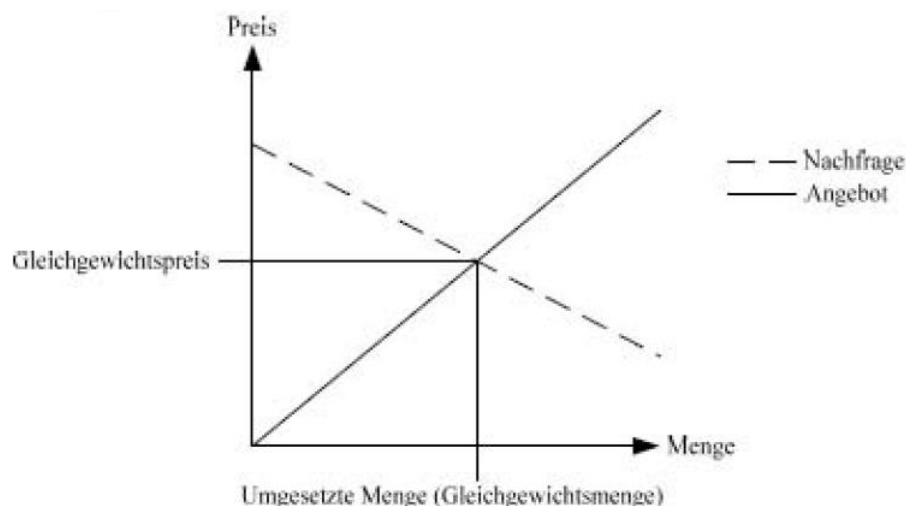
Finanzmärkte können in unterschiedliche Bereiche aufgeteilt werden, in denen Anbieter und Nachfrager in ihrer Rolle als Anleger, Investoren und andere Marktteilnehmer aktiv sind. Der Geldmarkt umfasst kurzfristige Anlagen und Aufnahmen von Geld. Dabei wird zwischen dem Bankengeldmarkt (dem Geldmarkt im eigentlichen Sinne) und dem Unternehmensgeldmarkt unterschieden. Am Bankengeldmarkt werden Geldmarktpapiere, das sind Wertpapiere privater und öffentlicher Schuldner, und Zentralbankguthaben gehandelt. Auf dem Unternehmensgeldmarkt handeln Konzerne Geldbeträge untereinander (Industrieclearing), um damit Zwi-

schenhändler auszuschalten, die Gebühren erheben könnten/würden. Ferner gleichen Konzerne auf dem Unternehmensgeldmarkt Liquiditätsdefizite und -überschüsse zwischen Konzerntöchtern und -müttern aus. Auf dem Kapitalmarkt im eigentlichen Sinn, dem Wertpapiermarkt, werden Wertpapiere aller Art gehandelt. Dies kann entweder an einer Börse geschehen oder außerbörslich.<sup>2</sup> Abbildung 1.2 verdeutlicht die Unterteilung. In der vorliegenden Arbeit steht der Wertpapiermarkt im Fokus der Untersuchungen.



**Abbildung 1.2:** Übersicht über die Aufteilung der Finanzmärkte.<sup>3</sup>

Der Preis wird auf den Kapitalmärkten in der Regel durch Angebot und Nachfrage der entsprechenden Produkte ermittelt. Jeder Nachfrager hat einen maximal akzeptierten Preis, den er für ein Produkt seiner Wahl zu bezahlen gewillt ist und der sich an dem Nutzen des Guts in Bezug auf die Erfüllung der oben genannten Bedürfnisse orientiert. Der Preis, zu dem alle Nachfrager befriedigt worden und alle angebotenen Güter verkauft sind, ohne dass ein Nachfrager den Preis akzeptiert hätte, aber kein entsprechendes Gut bekommt, nennt man Gleichgewichtspreis. Im Angebots- und Nachfrage diagramm in Abbildung 1.3 kann dieser Preis als Schnittpunkt der Angebots- und Nachfragekurve abgelesen werden. Auf einem vollkommenen Markt kommt dieser Gleichgewichtspreis ohne staatliche Regulierung und Steuern zustande und wird Marktpreis genannt.



**Abbildung 1.3:** Darstellung der Entstehung des Marktpreises.

<sup>2</sup> Vgl. für eine kurze Einführung in die verschiedenen Finanzmarktplätze auch BINGHAM und KIESEL 2004, S. 5f, HULL 2003, S. 157.

<sup>3</sup> In Anlehnung an PERRIDON und STEINER 1999, S. 165.

Auch auf dem Finanzmarkt bilden sich Preise durch den Ausgleich von Anbietern und Nachfragen. Da auf den Finanzmärkten keine Lagerhaltung der gehandelten Produkte erfolgt, handelt es sich bei dem markträumenden Preis um den so genannten Marktpreis. Der Begriff des Marktpreises hat das Konzept des fairen oder gerechten Preises abgelöst. Der gerechte Preis wurde bereits von Aristoteles und später auch von Thomas von Aquin sowie Albertus Magnus betrachtet und bezeichnet einen nach ethisch-normativen Kriterien gebildeten Preis für ein Gut. Frühe Ökonomen forderten gar, dass der Staat diesen Preis für die gehandelten Güter festlegen sollte. Das Konzept des Marktpreises hingegen basiert auf der Überlegung, dass, wenn auf dem Markt alle Güter verkauft sind, der Preis, der dies gerade noch ermöglicht, ohne dass Nachfrager leer ausgehen, die zu dem aktuellen Preis gekauft hätten, dies ein zu den gegebenen Präferenzen gerechter Preis ist, siehe oben. JEVONS<sup>4</sup> schrieb 1871 sein Gesetz vom einheitlichen Marktpreis<sup>5</sup>, das besagt, dass ein Gut an einem Ort und zu einer Zeit auch nur einen Preis haben kann.<sup>6</sup> Auf Finanzmärkten ist dieser teilweise deswegen besonders schwer zu ermitteln oder zu beobachten, weil die gehandelten Produkte trotz identischer sichtbarer Eigenschaften zusätzlich versteckte Eigenschaften, beispielsweise Image oder Marktgröße des Emittenten bei Optionen, mittelbar besitzen können, so dass es sich eben doch nicht um dieselbe Art von Gut oder Produkt handelt.

Anbieter und Nachfrager passen ihr Verhalten entsprechend den Marktverhältnissen an. Folglich ist es wichtig, dass die Marktteilnehmer über die Preise eine genaue Vorstellung haben, wie diese zustande kommen und nach Möglichkeit auch, wie sie sich entwickeln. Dazu sind Marktpreismodelle notwendig. Ein Modell ist, vereinfacht ausgedrückt, eine unkomplizierte Abbildung der Realität. Dabei werden die in der Realität bestimmenden Faktoren als Variablen in diesem Modell realisiert. So können mittels *Ceteris paribus*-Annahme<sup>7</sup> Märkte untersucht werden. Ein Marktpreismodell ist folglich ein Modell, das einen bestimmten Markt abbildet, im Fall der vorliegenden Arbeit den Terminmarkt. Dabei stehen die Zusammenhänge, die den Marktpreis erklären, im Zentrum der Betrachtung. Grundsätzlich können solche Modelle für jedes Gut auf dem Terminmarkt erstellt werden. Hier erfolgt eine Eingrenzung auf Finanzderivate am Beispiel Optionen, die in der zunehmenden Bedeutung von Optionsgeschäften begründet ist. Die Betrachtungen und Erkenntnisse lassen sich zu Teilen auch auf andere Finanzderivate wie Futures oder Forwards übertragen.

Finanzderivate gewinnen zunehmend an Bedeutung, da weltweit seit Jahren die Schwankungen für Zins- und Währungskurse zunehmen. Gleichzeitig steigt die weltweite Vernetzung der Märkte, wodurch der Einfluss, den Zinsen und Währungen auf den wirtschaftlichen Erfolg von Unternehmungen haben, ebenfalls steigt.<sup>8</sup> Heute ist es egal, ob ein Kunde eines in Deutschland produzierenden Unternehmens in Niedersachsen, Frankreich oder Indien beheimatet ist. So kostet der Transport eines Pfunds Kaffee vom Ernteland nach Deutschland derzeit anteilig nur Cent-Beträge. Durch die Abhängigkeit von internationalen Geschäften steigt die Schadenshöhe für unvorhergesehene Ereignisse, die zu unternehmerischen Verlusten auf Basis der angeführten Zins- oder Währungsrisiken führen, an. Gleichzeitig nimmt die Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse durch die zunehmenden Schwankungen der Kurse zu. Zusammen ergibt sich folglich ein steigendes Risiko, bestehend aus Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit. Dadurch hat sich die Nachfrage nach Instrumenten zur Absicherung

---

<sup>4</sup> William Stanley Jevons (\* 1. September 1835 in Liverpool; † 13. August 1882 in Bexhill bei Hastings) war ein bedeutender englischer Ökonom und Philosoph. Er gilt als Vertreter der Cambridger Schule der Neoklassik.

<sup>5</sup> Andere Bezeichnungen sind: Gesetz von der Unterschiedslosigkeit der Preise, Gesetz des einheitlichen Preises, Gesetz vom einheitlichen Marktpreis, Gesetz des Einheitspreises.

<sup>6</sup> Vgl. JEVONS 1871, S. 22-28. Für eine zusammenfassende Erläuterung der Voraussetzungen eines vollkommenen Markts siehe ELLER und DEUTSCH 1998, S. 41ff. Eine HTML-Version der dritten Auflage von JEVONS 1871 ist zudem im Internet unter <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Jevons/jvnPEContents.html> verfügbar.

<sup>7</sup> lateinisch für „alles andere gleich“.

<sup>8</sup> Vgl. PERRIDON und STEINER 1999, S. 301f.

dieser Risiken deutlich erhöht. Erste Ansätze diesbezüglich entstanden bereits sehr früh in Form von Finanztermingeschäften, mit denen sich Anbieter und Nachfrager für zukünftige Kontrakte abgesichert haben. Die Bedeutung von Optionen im Risikomanagement ist weiter gestiegen, seitdem an der CME seit 1988 Optionen mit Fälligkeiten zu jedem Monat gehandelt werden und nicht nur mit Fälligkeit zum Quartalsende. Diese Entscheidung führte zu einer höheren Markteffizienz und einer besseren Anpassbarkeit der Risikoabsicherungsstrategie an die unternehmerischen Bedürfnisse. Heute können an den weltweiten Börsen und OTC-Märkten nahezu alle Arten von Risiken abgesichert werden. Im Zuge von Basel II und Sarbanes-Oxley-Act (SOX, auch als SOA und SarbOx abgekürzt) kommt es zunehmend darauf an, dass Finanzderivate regelkonform bewertet werden. Das International Accounting Standards Board (IASB) schreibt dazu vor, dass zur Bilanzierung Aktienoptionen erfolgswirksam bilanziert werden müssen, so dass das Bewertungsergebnis direkten Einfluss auf die unternehmerische Ertragslage hat. Für den Fall, dass kein Marktpreis zur Verfügung steht, soll die Bewertung mit anerkannten Optionsbewertungsmodellen erfolgen. Explizit genannt sind dabei das Black/Scholes-Modell und das Binomialmodell.<sup>9</sup> In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Angemessenheit der theoretischen Optionspreise, die mittels dieser Modelle errechnet wurden. Beide Modelle besitzen in der Praxis allgemein bekannte Schwächen, die an späterer Stelle noch detailliert beschrieben werden. Aus diesen ergeben sich zahlreiche Spielräume zur Bilanzierung, die auf den Ungenauigkeiten der Modelle basieren.<sup>10</sup> Ein übergeordnetes Interesse an einer fairen Bewertung von Optionen haben folglich sowohl Anbieter als auch Nachfrager. Hinzu kommt, dass das Black/Scholes-Modell nicht zur Bewertung aller Arten von Optionen geeignet ist.

Die Notwendigkeit der Modellierung von Preisen für Finanztermingeschäfte führte bereits Anfang des 20. Jahrhunderts zu den ersten Versuchen, mathematische Modelle zur Bewertung zu entwickeln. Die ersten Ansätze dazu stammen von BACHELIER 1900, BRONZIN 1908, die versuchen haben, die Brownsche Molekularbewegung als Grundlage für ihre Modelle zu verwenden.<sup>11</sup> Der derzeit wohl populärste und bereits erwähnte Ansatz stammt aus den 70-er Jahren von Fischer Black und Myron Scholes<sup>12</sup>, deren Ansätze später von Robert Merton erweitert wurden.<sup>13</sup> Zahlreiche Studien haben sich seit der Veröffentlichung des Black/Scholes-Modell mit der Korrektheit des Modells befasst. Neben Studien, die sich allgemein mit der Korrektheit und Angemessenheit des Black/Scholes-Modell befasst haben, gibt es Untersuchungen, die das Marktverhalten als Ganzes untersuchen. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen die Grenzen der Optionsbewertungstheorie. Insgesamt sind sich heute die meisten Forscher einig, dass die auf dem Black/Scholes-Modell aufbauenden Modelle richtig und wichtig sind, jedoch signifikante Mängel aufweisen.<sup>14</sup> Uneinigkeit herrscht vor allem in zwei Punkten. Zum einen in der Frage nach Art und Ausmaß der Ungenauigkeit in der Bewertung, zum anderen in der Frage nach den genauen Gründen. Manche Aspekte sind unumstritten und werden sogar von den Autoren selber mittlerweile anerkannt. Vor allem sind dies Annahmefehler, die den Theorien zu Grunde liegen. Hinzu kommt, dass das wettbewerbsmäßige Verhalten der Marktteilnehmer nicht mit berücksichtigt wird, um subjektive Preisfindungsmechanismen zu erkennen. Vor allem deshalb haben starre mathematische Methoden ihren Nachteil, da man menschliches Verhalten nur schwer in Formeln abbilden kann.

Die Motivation zu dieser Arbeit setzt neben der Nachfrage nach verlässlichen Bewertungsmodellen auch auf der Tatsache an, dass Unternehmen immer mehr nach „tailor made pro-

---

<sup>9</sup> Vgl. INTERNATIONAL ACCOUNTING STANDARDS BOARD -IASB 2002, S. 2.19.

<sup>10</sup> Vgl. PAPE und MERK 2003, S. 21f.

<sup>11</sup> Vgl. BACHELIER 1900, S. 32ff, BRONZIN 1908, S. 39ff (Teil II widmet sich den mathematischen Annahmen).

<sup>12</sup> Vgl. BLACK und SCHOLES 1972, BLACK und SCHOLES 1973.

<sup>13</sup> Vgl. MERTON 1973a.

<sup>14</sup> Quelle zu den ersten Bewertungen suchen!!! .. Ende der 70-er und Anfang der 80-er!!!



ducts“, so genannten OTC-Optionen, suchen (OTC = over the counter). Dies sind Finanzmarktprodukte, die speziell auf die Bedürfnisse einzelner Unternehmen zugeschnitten sind, also quasi „Einzelstücke“. Gerade der Bereich Optionen hat hierbei eine besonders hohe Bedeutung, die auf verschiedenen Tatsachen beruht. Zum einen agieren Unternehmen immer globaler und müssen sich besonders gegen Währungsrisiken absichern, wenn die Zeitpunkte von Vertragsabschluss und -erfüllung weiter auseinander liegen. Diese Notwendigkeit geht damit einher, dass die Wechselkursmärkte immer dynamischer werden. Gleichzeitig verstärkt sich der Konkurrenzdruck zwischen Unternehmen, so dass monetäre Verluste besonders starke Auswirkungen haben können. Ferner werden die globalen Geschäfte immer individueller, so dass eine Absicherung mit Standardprodukten oft nicht passgenau möglich ist.

Mit zunehmender Leistungsfähigkeit moderner Computer gab es Mitte der neunziger Jahre Ansätze, nicht mehr geschlossene Modelle oder statistische Auswertungen als Basis zu Optionsbewertungstheorie zu verwenden, sondern künstliche neuronale Netze (engl. Artificial Neural Networks = ANN). Mittels Neurosimulationen sollten die Marktzusammenhänge durch Beobachten der Geschehnisse erlernt werden. Die resultierenden künstlichen neuronalen Netze sollten das Marktgeschehen dann quasi als Black-Box für den Nutzer approximieren. Die Verwendung von Techniken der Neurosimulation bei der Berechnung von Marktmodellen blickt auf eine mittlerweile mehr als zehnjährige Erfahrung zurück, seitdem HUTCHINSON, et al. 1994, MALLIARIS und SALCHENBERGER 1993, 1996 die ersten Versuche unternommen haben. HUTCHINSON, et al. 1994 argumentieren als erste ausführlich die Vor- und Nachteile des Einsatzes von ANN für die Berechnung von Optionspreisen.<sup>15</sup> ANN basieren nicht auf Annahmen, wie beispielsweise der Normalverteilung im Fall des Black/Scholes-Modells, sondern lernen die Zusammenhänge einzig aus den gegebenen Daten. Dies können neben den bekannten Abhängigkeiten auch unbekannt sein, die in den Datensätzen enthalten sind, wie zum Beispiel das sich ändernde Risikoverhalten der Marktteilnehmer. ANN sind zudem adaptiv und können sich neuen Begebenheiten und Zusammenhängen der Eingabewerte anpassen. Da die Grundzusammenhänge ähnlich sind, können ANN, wenn sie für Optionen eingesetzt werden können, für (fast) alle Derivate verwendet werden. Als Nachteile werden genannt, dass für den sehr seltenen Fall, dass die zu Grunde liegende Verteilung oder Volatilität bekannt ist, parametrische Methoden deutlich besser geeignet sind. Dies ist allerdings nur sehr selten der Fall. Das Training ist außerdem sehr datenintensiv, weshalb in der Regel ein recht großer Zeitabschnitt betrachtet werden muss, um ausreichend Daten für eine angemessene Trainingsmenge zu erhalten. Ferner sind als Trainingsdaten liquide Optionen deutlich besser geeignet als weniger liquide, da hier mehr gehandelte Kurse zur Verfügung stehen. Dieser Argumentation steht allerdings gegenüber, dass ANN auch sehr gut zur Interpolation von Zusammenhängen geeignet ist. Daher ließen sich aus den erstellten Modellen auch nichtliquide Optionen berechnen. Bezüglich der Interpolationsfähigkeit von ANN wird darüber hinaus in der Literatur als problematisch angeführt, dass oft schwierige Marktsituationen von den Wissenschaftlern manuell herausgefiltert wurden, um die Trainingsergebnisse zu verbessern. Beispiele für solche Marktsituationen sind der so genannte „schwarze Montag“ und der 11. September 2001. BARUCCI, et al. 1996 urteilen, dass ANN das Rauschen, das durch Fehleinschätzungen seitens der Marktteilnehmer entstanden und in den Marktdaten enthalten ist, mitlernen könnten, so dass diese manuelle Filterung nicht vorgenommen werden sollte. Ferner sei es schwierig, ein bestimmtes Derivat zum Lernen zu verwenden und diese Erkenntnisse dann auf ein anderes Derivat zu übertragen und dessen Preis mit diesem Modell zu bestimmen, da wesentliche Eigenschaften sich unterscheiden könne, die nicht mit im Modell enthalten sind.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Vgl. zur Argumentation der Vor- und Nachteile von ANN bei der Berechnung von Optionspreisen HUTCHINSON, et al. 1994, S. 852.

<sup>16</sup> Vgl. BARUCCI, et al. 1996, S. 77.

Ein Marktmodell mittels Neurosimulation basiert folglich vor allem auf zwei Voraussetzungen: Zum einen müssen genügend geeignete Ausgangsdaten vorliegen, aus denen das Marktverhalten erlernt werden kann, zum anderen muss ausreichend Rechenleistung verfügbar sein, um die Beobachtungen auszuwerten und ein Marktmodell daraus erlernen zu können. Um auf genügend Ausgangsdaten für das Erlernen eines Marktmodells zugreifen zu können, müssen die Daten in ausreichender Menge am Markt verfügbar sein. Dies war lange Zeit nicht der Fall, da die Umsätze von entsprechenden Daten zu gering waren, so dass sehr lange Zeiträume betrachtet werden mussten. Erst Mitte der 90-er Jahre kamen elektronische Handelssysteme auf, die zu einer deutlichen Steigerung der Umsätze beigetragen und gleichzeitig eine automatisierte Weiterverarbeitung der früher händisch verarbeiteten Kursdaten ermöglicht haben. Ferner wurden die Kurse beziehungsweise Preise erst mit den elektronischen Handelssystemen auch innerhalb eines Tages als so genannte Intradaykurse bestimmt. Dennoch waren die Umsätze immer noch nicht ausreichend groß, um in Echtzeit ausreichend viele Marktdaten bereitzustellen und zu verarbeiten, um Bewertungsmodelle in Echtzeit zu realisieren. Dies wurde erst deutlich später möglich, als die zunehmende elektronische Vernetzung der weltweiten Börsen zu einem weiteren Umsatzplus führte und gleichzeitig die Verarbeitungsdauer durch zunehmende Rechenleistung weiter sank. Aus den bis heute zahlreich durchgeführten Studien lässt sich entnehmen, dass die zunehmende Verfügbarkeit von Marktdaten dazu geführt hat, dass bei der Generierung von Bewertungsmodellen für Optionen die verwendete Datenbasis immer weiter vergrößert wurde. Damit einhergehend erhöht sich die Problemkomplexität, da auch Vergangenheitsdaten mit berücksichtigt werden, die keine aktuelle Relevanz mehr haben. Proportional mit der Problemkomplexität steigt auch die Verarbeitungsdauer, so dass Echtzeitmodelle bislang von keinem Wissenschaftler betrachtet wurden. Hinzu kommt, dass viele der Ansätze die als unzureichend betrachteten Parameter der analytischen Modelle, hauptsächlich des Black/Scholes-Modells, in ihre Modelle einbeziehen, was die Problemkomplexität ebenfalls erhöht und das Modell letztendlich verfälscht. Darüber hinaus hat kein Wissenschaftler bislang die von Marktteilnehmern allgemein vermuteten subjektiven Bewertungsunterschiede zwischen den Emittenten berücksichtigt. Im Rahmen dieser Arbeit soll daher eine Software erstellt werden, die Echtzeitmodelle generiert, mit denen die Bewertungsunterschiede der Emittenten ebenso berücksichtigt werden können, wie marktspezifische Bewertungsunterschiede.

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist die ursprüngliche Idee von Prof. Dr. Michael H. Breitner in BREITNER 2000 und BREITNER 2003, der die Absicht beschreibt, die Marktpreisberechnung von Optionen mittels neuronalen Netzen weitgehend zu automatisieren und in Form einer Software der Nutzung durch professionelle und private Anwender zugänglich zu machen. Das Projekt, das damals unter dem Projektnamen Warrant Pro I skizziert wurde, wird im Folgenden kurz umrissen.<sup>17</sup> Als Inputdaten sollten Daten aus der Software Market Maker 98 oder automatisch von kostenlosen Webseiten entnommen werden. Die Kernidee, kostenlose Internetseiten als Datenquelle zu verwenden, ist durch die zunehmende Forschung im Bereich des Web-Content-Mining aus heutiger Sicht eindeutig zu favorisieren, da diese eine weitaus höhere Flexibilität bietet als ein proprietäres Programm. Das Training sollte mit dem Neurosimulator FAUN (Fast Approximation with Universal Neural Networks) erfolgen und weitgehend automatisiert sein. Ein erfolgreiches Training von Marktpreismodellen für Optionen konnte bereits in BREITNER 2000 realisiert werden. Die Ergebnisse des Marktpreismodells sollten in Microsoft Excel oder Lotus-1-2-3 bereitgestellt werden.<sup>18</sup> Die Software sollte weitestgehend

---

<sup>17</sup> Vgl. BREITNER 2000, S. 329, BREITNER 2003, S. 295f.

<sup>18</sup> Lotus 1-2-3 der Firma Lotus Development Corporation war eines der ersten Tabellenkalkulationsprogramme, das später von Microsoft Excel als Defacto-Standard abgelöst wurde. Aufgrund des heutigen geringen Marktanteils von Lotus 1-2-3 wird im weiteren auf eine spezielle Unterstützung verzichtet und statt dessen eine Standardschnittstelle auf Basis von Textdateien realisiert.

plattformunabhängig sein. Das in BREITNER 2003 beschriebene Projekt wird mit dieser Arbeit in die Praxis umgesetzt. Dabei steht folgender Prozess im Fokus:

1. Daten werden mittels einer Web-Mining-Software aus dem Internet extrahiert. Dabei soll das System so anpassbar sein, dass verschiedene Seiten und auch beliebige Finanzmarktprodukte extrahiert werden können. Web-Mining bezeichnet dabei die automatische Extraktion von Marktdaten aus dem Internet (Web).
2. Die extrahierten Daten bilden eine Datenbasis, die ausgewertet werden kann, damit unterschiedliche Analysen möglich sind.
3. Das Training der ANN mittels FAUN erfolgt mittels einstellbarer Parameter. Dabei werden die ANN als Marktpreismodelle ausgegeben.
4. Nach dem Training können die Marktmodelle ausgewertet werden. Dabei kommen gängige statistische Verfahren zum Einsatz, die vom Programm Warrant Pro I unterstützt werden. Exportfunktionen in die gängigen Dateiformate sind möglich.

Der beschriebene Prozess weist einen hohen Automatisierungsgrad auf und beinhaltet ein hohes Maß an intelligenter Datenverarbeitung im Bereich des Web-Minings und der Neurosimulation. Ferner soll Warrant Pro I als autarkes System weitgehend ohne Benutzerinteraktion auskommen und als eine Art Dienstleister für den Nutzer Marktpreismodelle für Optionen bereitstellen. Damit erfüllt Warrant Pro I wesentliche Eigenschaften eines Softwareagenten. Vereinfacht ausgedrückt sind Softwareagenten mehr oder weniger intelligente Systeme, die den Menschen bei arbeitsintensiven Aufgaben unterstützen. Die heutigen Einsatzszenarien sind vielfältig und nahezu nicht mehr zählbar. Solche Softwareagenten werden unter anderem bei der automatisierten Preisverhandlung eingesetzt.<sup>19</sup>

Die Kombination aus Web-Content-Mining mit Neurosimulation ist für die Anwendung auf Optionsmarktpreise bislang einzigartig. In Tabelle 1.1 ist eine Übersicht über die Ergebnismengen einer Schlagwortsuche in Google dargestellt, welche auf die Bedeutung des Themas hinweist. Als Vergleichszahlen sind die Ergebnisse einer Umfrage aus EYMANN und VOLLAN 2001 dargestellt.<sup>20</sup> Die deutliche Steigerung der Ergebnismengen ist nur zum Teil auf die gesteigerte Anzahl Publikationen zurückzuführen. Hinzu kommen technische Verbesserungen in den Suchalgorithmen von Google und eine gestiegene Digitalisierungsrate der Veröffentlichungen. Vor allem die Kombination von Web-Mining und neuronalen Netzen zur Marktpreisbestimmung von Optionen ist sehr selten zu finden. Dennoch eignet sich das Ergebnis gut, um die jeweilige Bedeutung der betrachteten Bereiche Softwareagenten, Marktpreise für Optionen und Neurosimulation zu verdeutlichen und gleichzeitig zu zeigen, dass die Kombination aus den genannten Bereichen recht wenig präsent ist.

Suchbegriff	Treffer in allen Sprachen		Treffer in Deutsch	
„Software Agents“	914.000	(55.200)	22.800	(1.090)
Software Agenten	1.160.000	(15.400)	1.060.000	(13.300)
Softwareagenten	248.000		237.000	
„Multi-Agent-Systems“	962.000	(30.200)	31.000	(345)
„Multiagent Systems“	710.000	(10.100)	17.700	(131)
Multi Agenten Systeme	49.800.000	(1.520)	543.000	(1.400)
Künstliche Intelligenz	1.220.000		1.390.000	

<sup>19</sup> Für einen Einblick in die diversen Forschungs- und Anwendungsbereiche sei dem interessierten Leser das Schwerpunktheft „Anwendungen von Softwareagenten“ der Zeitschrift Künstliche Intelligenz: KI sowie das Heft 02/2001 der Zeitschrift Wirtschaftsinformatik

<sup>20</sup> Vgl. EYMANN und VOLLAN 2001, S. 192.

Suchbegriff	Treffer in allen Sprachen	Treffer in Deutsch
Artificial Intelligence	45.700.000	594.000
Neuronale Netze	455.000	418.000
„Neuronale Netze“	418.000	383.000
Optionsscheine Marktpreise	28.300	28.000
Optionsscheinpreise	394	256
„Option Pricing“	1.260.000	22.500
„Option Pricing“ „Neural Networks“	50.900	272
„Option Pricing“ „Neural Networks“ „Market Prices“	757	6
Softwareagenten Marktpreise Optionsscheine	4	4
Software Agents Market Prices Neural Networks	567.000	391
„Software Agents“ „Market Prices“ „Neural Networks“	160	2
„Web-Mining“ Neurosimulation	3	3
„Web-Mining“ „Option Prices“	97	1
„Web-Mining“ „Option Pricing“	342	18
„Web-Mining“ „Option Pricing“ Neurosimulation	1	1

**Tabelle 1.1:** Suchergebnisse einer Schlagwortsuche bei Google (Abfragedatum 5. Dezember 2006).<sup>21</sup>

## 1.2 Zielsetzung und Anwendungsfälle

Der im vorhergehenden Abschnitt genannte Anwendungsbereich bietet einen weiten Rahmen für die Entwicklung einer Software. Dieser Abschnitt konkretisiert daher die Zielsetzung der Optionspreisberechnung mit Web-Content-Mining und künstlichen neuronalen Netzen, die letztlich nur den Weg zum fachlichen Ziel in Form einer Software darstellen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt dabei auf Finanzmärkten, so dass auch die zu unterstützenden Anwendungsfälle sich auf solche beziehen. Eine Art Fachkonzept beschreibt daher an dieser Stelle die Anwendung des Systems aus Sicht des Nutzers und besteht aus konkreten Anwendungsfällen, die mit der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Software durchgeführt werden können sollen. Im Rahmen der Optionspreisbewertung mit neuronalen Netzen sollen, wie in Abschnitt 1.1 dargestellt wurde, Marktpreismodelle erzeugt werden. Dies sind aus technischer Sicht mathematische Funktionen, die zur Interpolation und Extrapolation verwendet werden können. Dabei können entweder ganze Märkte untereinander mit den erzeugten Modellen evaluiert werden oder einzelne Bereiche eines Marktes. Als Folge daraus leiten sich für den Nutzer die in Abbildung 1.4 dargestellten Anwendungsfälle ab, die im Folgenden noch näher erläutert werden. Die Besonderheit dabei ist, dass alle Anwendungen des Systems Warrant Pro I in Echtzeit oder annähernd in Echtzeit ausgeführt werden können, womit sich dieser Ansatz von allen bisher durchgeführten Studien unterscheidet.

Potenzielle Anwender für Marktpreismodelle, und damit auch des zu erstellenden Systems Warrant Pro I, sind, wie in Abschnitt 1.1 dargestellt, sowohl Anbieter als auch Nachfrager auf Finanzmärkten. Im Sinne der Anwendung können beide zur Gruppe der Marktteilnehmer generalisiert werden, da keine Unterschiede in der grundlegenden Fragestellung der Marktmodelle besteht. Jeder Anbieter ist letztlich gleichzeitig Nachfrager und andersherum, denn

<sup>21</sup> Die Werte in Klammern sind die Ergebnisse aus EYMANN und VOLLAN 2001, S. 192. Bei der Eingabe wurden die Schlagworte als zusammengesetzte Begriffe in Anführungsstrichen gesucht oder als einzelne Worte mit einer booleschen UND-Verknüpfung. Die Unterscheidung der Sprachen ist nur eine Ausgabeoption von Google und kann nur als grober Richtwert für die tatsächliche Anzahl gesehen werden.

der Anbieter eines Guts auf einem Markt fragt gleichzeitig einen Tauschwert nach und der Nachfrager nach einem Gut bietet im Tausch monetäre Zahlungsmittelnheiten an.



**Abbildung 1.4:** Ausgewählte Anwendungsfälle für Warrant Pro I.

Das Grundprinzip der Anwendung Warrant Pro I soll sein, dass aktuelle Marktpreisinformationen automatisch von einem autarken Web-Content-Mining-Programm aus frei zugänglichen Internetseiten extrahiert und anschließend zum Training neuronaler Netze verwendet werden. Die so erzeugten neuronalen Netze sind in der Lage, selbst vielschichtige mathematische Zusammenhänge zu erlernen, die einen Markt oder einen Marktausschnitt mathematisch beschreiben. Werden dabei Marktpreise als Hauptmerkmal für Güter, im Fall der vorliegenden Arbeit Optionen, als Eingabewerte und die das Gut beschreibenden Eigenschaften als Eingabewerte verwendet, handelt es sich um ein Marktpreismodell, mit dem alle darin enthaltenen Güter bewertet werden können. Ein Anwendungsszenario für solche Marktpreismodelle ist, dass jeweils ein Modell für einen bestimmten Markt erzeugt wird, das die Zusammenhänge dieses Marktes beschreibt. So lässt sich das Marktverhalten der Teilnehmer ebenso durch ein Modell beschreiben, wie die Preisentstehungsmechanismen. Somit soll es möglich sein, mittels der als neuronale Netze vorliegenden Marktmodelle zwei Märkte zu vergleichen. Ein Anwendungsbeispiel kann der Kauf oder Verkauf von Gütern oder Optionen sein, für den ein Preis für beide Märkte erzeugt werden kann, um eine gezielte Kaufs- oder Verkaufsentscheidung zu treffen. Ferner lassen sich so Arbitragemöglichkeiten zwischen Märkten beobachten, wenn der Verkaufspreis auf dem einen Markt einen entsprechenden Kaufpreis auf einem anderen Markt gegenübergestellt wird. Neben dem Vergleich zweier Märkte in Echtzeit kann ein Markt der Gegenwart mit demselben Markt in der Zukunft verglichen werden, indem eine Prognose von Zeitreihen die Entwicklung in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt. Besonders in Bezug auf Optionsmärkte ist die Bewertung der gehandelten Optionen mit theoretischen Modellen bis heute sehr schwierig, wie in Abschnitt 2.5.5 noch detailliert dargestellt wird. Werden Marktmodelle für einzelne Güter, hier Optionen, erstellt, könnten auch individuelle Optionen bewertet werden, ohne dass auf theoretische Modelle zurückgegriffen werden muss. Zusätzlich ließen sich die tatsächlich am Markt beobachteten Preise jenen gegenüberstellen, die mit theoretischen Modellen ermittelt wurden. Diesbezüglich hat es in den letzten Jahren zahlreiche Studiengabegeben, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit noch detailliert in Abschnitt 2.6 vorgestellt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Forschung diesbezüglich noch nicht ausreichend ist, da die Modelle vielfach mit nicht sinnvollen Annahmen oder Vorgehensmodellen arbeiten. Werden die Marktpreismodelle nicht für sämtliche Optionen erstellt, sondern jeweils für die Optionen eines Emittenten, kann ein Emittentenvergleich erfolgen, der unter anderem dazu genutzt werden kann, die in THIEL 2001 festgestellten Bewertungsabweichungen zwischen den Emittenten zu untersuchen. Marktmodelle, die individuelle Marktmodelle für Emittenten und Märkte beschreiben, können sowohl von Anbietern als auch von

Nachfragern zur Optimierung ihrer Anlagestrategie eingesetzt werden, indem Angebote detailliert verglichen werden können. Im Rahmen einer solchen Optimierung ist eine wichtige Funktion eines solchen Modells die Entscheidungsunterstützung, indem alternative Anlageentscheidungen sinnvoll und möglichst objektiv verglichen werden können.

Neben den genannten Einsatzmöglichkeiten, bei denen der Benutzer selbstständig aktiv werden muss, besteht die Möglichkeit, ein System zur Marktpreissynthese auch autark einsetzen zu können. Dabei kann die Anwendung autark arbeiten und dem Nutzer seine Hilfe immer dann anbieten, wenn dies aus Sicht des Nutzers sinnvoll ist.

### **1.3 Vorgehensweise**

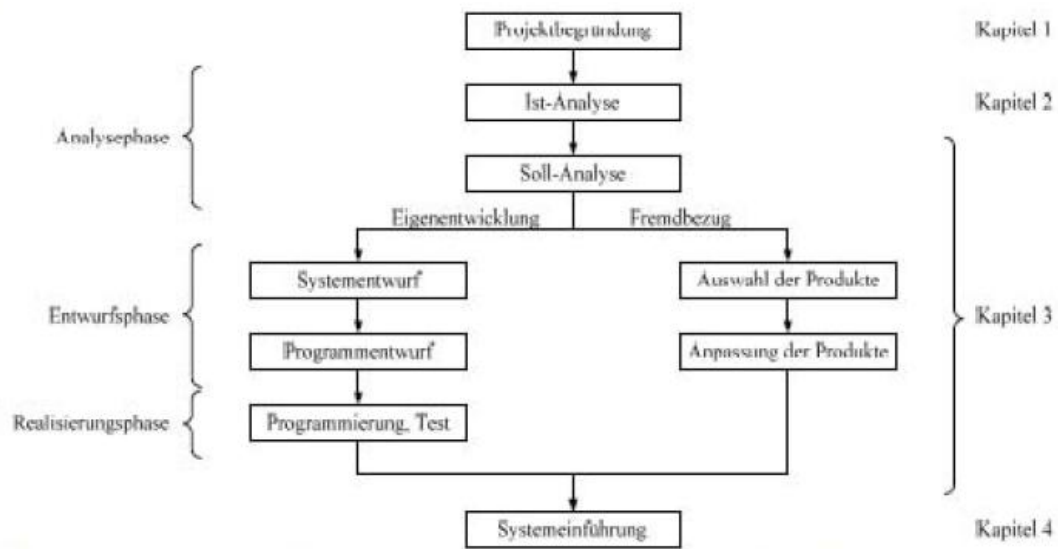
Vor der Realisierung des Systems Warrant Pro I erfolgt eine Abgrenzung auf die Zielgruppe, bezogen auf die betrachteten Marktteilnehmer, die sich in private und professionelle Anleger aufteilen. Neben der oben bereits erläuterten Motivation für institutionelle Anleger an korrekten Marktpreismodellen, erlangen auch die privaten Anleger immer mehr an Bedeutung auf den Finanzmärkten, so dass auch diese ein Interesse an Marktbewertungsmodellen haben. Es ist zu beobachten, dass die Markteintrittsbarrieren für private Anleger immer mehr sinken. Zum einen steht immer mehr Kapital zur Verfügung, das verwaltet, investiert und abgesichert werden muss. Gleichzeitig erleichtern elektronische Handelssysteme den Zugang zu den Finanzmärkten und den notwendigen Kenntnissen darüber. Dieselben Informations- und Kommunikationssysteme ermöglichen zudem den Zugang zu relevanten Finanzmarktdaten. In der Folge benötigen auch private Anleger Informationssysteme, die ihnen helfen, die Produkte und Preise richtig zu interpretieren. Daher sind neben den institutionellen Anlegern auch private Investoren eine wesentliche Zielgruppe für das Projekt Warrant Pro I.

Das wesentliche Ziel der Arbeit ist, das oben beschriebene System Warrant Pro I zu entwickeln und damit Echtzeitbewertungen von Optionen mit Marktpreisen durchzuführen. Die Marktpreismodelle werden zur Auswertung des gewählten Finanzmarkts verwendet. Dabei steht die Möglichkeit der in der Forschung bislang wenig betrachteten Untersuchung hinsichtlich emittentenspezifischer Preisunterschiede im Vordergrund. Gleichfalls sollen die oben erwähnten OTC-Optionen emittentenneutral bewertet werden können. Als weitere wesentliche Funktion wird die Prognosefähigkeit mittels Marktmodellen realisiert. Einsatzmöglichkeiten bieten sich hier beim Absichern (Hedging) durch Emittenten und institutionelle Anleger und bei der Optimierung des Kaufs- und Verkaufsverhaltens der Marktteilnehmer.

Neben der Konzeption und Entwicklung von Warrant Pro I erfolgt ein Vergleich mit den Ergebnissen der verwandten Forschung. Dazu zählen in erster Linie die Forschungsarbeiten zur Optionspreisbewertung mit künstlichen neuronalen Netzen. Darüber hinaus werden die Marktpreismodelle von Warrant Pro I mit den Ergebnissen aus den Studien zu emittentenspezifischen Preisunterschieden verglichen, die nicht auf neuronalen Netzen basieren.

Der weitere Verlauf der Untersuchung ist in vier große Kapitel aufgeteilt. Der Vorgehensprozess entspricht dabei weitestgehend dem Vorgehensmodell zur Softwareentwicklung aus STAHLKNECHT und HASENKAMP 2002, das in Abbildung 1.5 dargestellt ist. In Kapitel 2 erfolgt eine Analyse der derzeitigen Forschung. Dabei werden die Forschungsarbeiten der drei beteiligten Forschungsbereiche Web-Mining, Neurosimulation und Optionspreisbewertung allgemein betrachtet und die Optionsbewertung mit künstlichen neuronalen Netzen im Speziellen. Am Ende erfolgt eine Zusammenfassung des Forschungsstands, die in Kapitel 3 die Grundlage für das Soll-Konzept von Warrant Pro I liefert. Innerhalb des Soll-Konzepts werden Module identifiziert, die als Softwarekomponenten, beispielsweise in Form von frei verfügbaren Bibliotheken, bereits existieren und deshalb nicht entwickelt werden müssen. Bei der Umsetzung des Soll-Konzepts erfolgt daher eine Darstellung der Auswahl und Funktionsweise der bestehenden fremdentwickelten Programmteile. Abgeschlossen wird die Ent-

wicklung mit der Umsetzung und einem Test. In Kapitel 4 erfolgt die Darstellung der Anwendung des Systems inklusive einer Auswertung der Ergebnisse anhand zahlreicher Beispiele.



**Abbildung 1.5:** Vorgehensmodell der Systementwicklung und Aufbau der Arbeit.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> In Anlehnung an STAHLKNECHT und HASENKAMP 2002, S. 221.