A close up of a logo

Description automatically generated

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

Professur für Wirtschaftsinformatik, insb. Business Engineering ODER   
Informationssysteme in Industrie und Handel

**The Impact of AI Technology on Algorithmic Trading**

**Masterarbeit** ODER **Diplomarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades „*Master of Science/Diplom XYZ*“ ODER

**Belegarbeit** ODER

**Seminararbeit**

*Name der Lehrveranstaltung*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Eingereicht von: | Nachname, Vorname(n) |
|  | E-Mail: | [vorname.nachname@mailbox.tu-dresden.de](mailto:vorname.nachname@mailbox.tu-dresden.de) |
|  | Matrikelnummer: | 1234567 |
|  | Studiengang: | Bezeichnung des Studiengangs |
|  | Referent/in: | Prof. Dr. Susanne Strahringer ODER Prof. Dr. Martin Wiener |
|  | Betreuer/in: | Name der Betreuerin bzw. des Betreuers |
|  | Bearbeitungszeit: | TT.MM.JJJJ – TT.MM.JJJJ |

Abstract

Der Abstract führt das Thema der Arbeit und die Forschungsziele/-fragen ein (inkl. einer kurzen Motivation), stellt den eingesetzten methodischen Ansatz kurz dar und fasst die wesentlichen Ergebnisse sowie den Forschungsbeitrag der Arbeit zusammen. Die Länge des Abstracts ist auf eine Textseite (max.) beschränkt.

Inhaltsverzeichnis

[Abbildungsverzeichnis III](#_Toc124512876)

[Tabellenverzeichnis IV](#_Toc124512877)

[Formelverzeichnis V](#_Toc124512878)

[Abkürzungsverzeichnis VI](#_Toc124512879)

[1 Einleitung (Überschrift 1) 1](#_Toc124512880)

[2 Verwendung der Vorlage 1](#_Toc124512881)

[2.1 Überschriften (Überschrift 2) 1](#_Toc124512882)

[2.2 Standardtext und Hervorhebungen 1](#_Toc124512883)

[2.3 Aufzählungen und Nummerierungen 1](#_Toc124512884)

[2.4 Abbildungen, Tabellen und Formeln 2](#_Toc124512885)

[2.4.1 Abbildungen (Überschrift 3) 2](#_Toc124512886)

[2.4.2 Tabellen 2](#_Toc124512887)

[2.4.3 Formeln 3](#_Toc124512888)

[2.5 Fußnoten 3](#_Toc124512889)

[2.6 Kopfzeilen 3](#_Toc124512890)

[2.7 Abkürzungen 3](#_Toc124512891)

[2.8 Literaturverweise 3](#_Toc124512892)

[2.9 Verzeichnisse 4](#_Toc124512893)

[2.10 Eidesstattliche Erklärung 4](#_Toc124512894)

[Literaturverzeichnis 5](#_Toc124512895)

[Anhang A: Titel des Anhangs VII](#_Toc124512896)

[Anhang B: Titel des Anhangs VIII](#_Toc124512897)

Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1: Aussagekräftige Bildunterschrift (Quelle, 1979, S. 25) 2](#_Toc35520628)

[Abbildung 2: Hinweis zum Setzen der korrekten Seitenzahl im Anhang 4](#_Toc35520629)

Tabellenverzeichnis

[Tabelle 1: Aussagekräftige Tabellenbeschriftung 2](#_Toc35520630)

[Tabelle 2: Einsatz arabischer und römischer Seitenzahlen 4](#_Toc35520631)

Formelverzeichnis

[Formel 1: Binomialformel 3](#_Toc35520632)

Abkürzungsverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| Abk. | Abkürzung |
| … | … |

# Einleitung

## Motivation

In den letzten Jahrzehnten hat sich der algorithmische Handel allmählich zu einem Trend im Finanzhandel entwickelt (1-1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass erhebliche Zeit und Ressourcen in die Gestaltung und Implementierung algorithmischer Handelssysteme investiert wurden, was es den Investoren ermöglicht, sich auf den Finanzmärkten einen wettbewerbsfähigen Informationsvorsprung zu verschaffen (s-1-2). Allerdings sind Finanzmärkte von Natur aus komplex, unsicher und dynamisch (s-1-4), was den Handel erschwert. Faktoren wie wirtschaftliche Indikatoren, die Stimmung der Investoren sowie das Verhalten anderer Marktteilnehmer beeinflussen den Finanzhandel (s-1-15). Um höhere Handelsgewinne zu erzielen, werden kontinuierlich neue Technologien und Algorithmen in die Handelsstrategien integriert. Im Vergleich zu traditionellen Handelsmethoden bietet der algorithmische Handel Vorteile hinsichtlich Geschwindigkeit, Genauigkeit, Rationalität, Verarbeitungskapazität und Wachsamkeit (s-1-4).

Seit dem Aufstieg von generativen KI-Systemen, wie zum Beispiel ChatGPT, hat sich das Interesse von Forschern aus unterschiedlichen Fachgebieten an den Anwendungen und Auswirkungen von KI in ihren jeweiligen Bereichen deutlich verstärkt. KI verändert auch zunehmend sämtliche Aspekte des täglichen Lebens und befreit die Menschen von komplexen Aufgaben. Aufgrund seiner inhärenten Komplexität ist der Finanzsektor bereits seit vielen Jahren ein beliebtes Anwendungsfeld für KI-Forschung. Zahlreiche Finanzinstitutionen, darunter Banken, Fondsverwaltungsgesellschaften und Vermögensverwalter, messen KI-Technologien wie maschinellem Lernen, Deep Learning und Reinforcement Learning eine hohe Priorität bei, um damit ihre Investitionsstrategien zu optimieren (2).

Algorithmischer Handel hat sich von der anfänglichen Abhängigkeit von statistischen Modellen und ökonometrischen Modellen (g-1, 1-2) sowie Hochfrequenzhandel (s-1-10), mit dem das Ziel der Maximierung der Rendite bei Einzelanlagen verfolgt wurde, zu einer Phase entwickelt, in der investitionsunterstützende Werkzeuge auf der Basis von Deep Reinforcement Learning zum Einsatz kommen (s-1-4). Die Entwicklung von KI-Technologien ist dabei ein unverzichtbarer Treiber. In modernen algorithmischen Handelsstrategien werden KI-Technologien, darunter maschinelles Lernen und Deep Learning, mittlerweile breit zur Datenverarbeitung und Vorhersage eingesetzt, um Handelssignale zu identifizieren (1-1). Dies liegt daran, dass maschinelles Lernen in der Lage ist, die Schwächen traditioneller Methoden bei der Entdeckung versteckter Zusammenhänge und Muster zu überwinden (1-3).

Obwohl bereits viele Wissenschaftler durch praktische Fallstudien eine tiefgehende Untersuchung der Anwendung von KI-Technologien im algorithmischen Handel vorgenommen haben, gibt es unterschiedliche Herangehensweisen. Einige Forscher neigen dazu, durch Vergleichsexperimente die Leistungsunterschiede verschiedener KI-Technologien in Bezug auf die Steigerung von Anlagerenditen und die Senkung von Handelsrisiken zu analysieren. So hat beispielsweise (1-1) die Performance eines hybriden Ansatzes, bestehend aus recurrent reinforcement learning und einem BiLSTM-Modell, im Vergleich zu Einzelmethoden am US-Aktienmarkt untersucht. Andere Forscher konzentrieren sich auf die Entwicklung spezieller algorithmischer Handelsmodelle für bestimmte Finanzmärkte. So haben (1-5) und Kollegen etwa eine Handelsstrategie für Kryptowährungen entwickelt, die genetische Algorithmen mit KI-Technologien kombiniert.

Obwohl die Erzielung hoher Anlagerenditen durch den Einsatz fortschrittlicher KI-Technologien eine bedeutende Rolle in der Forschung zum algorithmischen Handel spielt, sind die durch technologische Veränderungen hervorgerufenen Auswirkungen ebenfalls von erheblichem Forschungsinteresse. Dank des breiten Zugangs zu großflächig verfügbaren, qualitativ hochwertigen Finanzdaten sowie den bahnbrechenden Fortschritten im Bereich der KI konnten neue, komplexere algorithmische Handelsstrategien entwickelt werden (1-3). Mit der kontinuierlichen Entwicklung von KI-Technologien in den letzten Jahrzehnten umfasst der algorithmische Handel nahezu alle Finanzmärkte, darunter Aktienmärkte, Terminmärkte, Kryptowährungsbörsen und viele weitere.

Derzeit fehlt es jedoch in der akademischen Welt an einer zusammenfassenden Analyse der durch KI bedingten Auswirkungen im algorithmischen Handel aus technischer Sicht. Dies liegt daran, dass der algorithmische Handel als komplexe interdisziplinäre Disziplin nicht nur die Wirtschaftswissenschaften und Finanzwissenschaften, sondern auch die Informatik umfasst. Gleichzeitig erschwert die Komplexität des algorithmischen Handels den Zugang für Forscher aus unterschiedlichen akademischen Hintergründen zu diesem Forschungsfeld. Daher zielt diese Studie darauf ab, durch eine systematische Literaturanalyse die neuesten Forschungsergebnisse zu Methoden und Praktiken im algorithmischen Handel zu untersuchen. Auf dieser Grundlage soll weiter erforscht werden, welche Chancen und Herausforderungen die Entwicklung von KI-Technologien für die algorithmische Handelsbranche mit sich bringt.

## Zentrale Begriffe

In diesem Abschnitt werden die in dieser Studie verwendeten gängigen Konzepte kurz erläutert und voneinander abgegrenzt, um Lesern aus unterschiedlichen Forschungsbereichen ein grundlegendes Verständnis der in Zusammenhang mit dem algorithmischen Handel stehenden Fachtermini zu ermöglichen. Gleichzeitig werden die spezifischen Bedeutungen dieser Konzepte, wie sie in dieser Studie verwendet werden, festgelegt, um Missverständnisse zu vermeiden. Diese Konzepte werden entsprechend ihrer fachlichen Zugehörigkeit in zwei Kategorien unterteilt: Konzepte im Zusammenhang mit den Finanzmärkten und Konzepte im Zusammenhang mit KI-Technologien.

### Algorithmisches Handeln

Im Bereich der quantitativen Finanzwissenschaften gibt es mehrere ähnliche Konzepte, wie etwa den quantitativen Handel, den algorithmischen Handel, den Hochfrequenzhandel und den automatisierten Handel. Um Verwechslungen dieser Begriffe zu vermeiden, werden ihre spezifischen Definitionen hier ausführlich erläutert. Obwohl einige Wissenschaftler diese Konzepte streng voneinander abgrenzen, stellen sie in der Praxis unterschiedliche Anwendungen von KI im Investitionsbereich dar. Quantitativer Handel nutzt Computeralgorithmen und Programme, die auf einfachen oder komplexen mathematischen Modellen basieren, um Handelsmöglichkeiten zu identifizieren und davon zu profitieren. Algorithmischer Handel führt Aufträge basierend auf Zeit, Preis und Volumen mit vorprogrammierten Handelsanweisungen aus. Hochfrequenzhandel, oft mit HFT abgekürzt, ist eine Form des Handels, die hochentwickelte Computeralgorithmen verwendet, um eine große Anzahl von Aufträgen in sehr kurzer Zeit (innerhalb von Sekundenbruchteilen) auszuführen. Ein automatisiertes Handelssystem (ATS), eine Form des algorithmischen Handels, nutzt Computersoftware, um Kauf- und Verkaufsaufträge zu erteilen und automatisch an eine Marktbörse oder ein Handelszentrum zu senden (2).

Obwohl es klare Grenzen bei den genauen Definitionen dieser Konzepte gibt, darf ihre gegenseitige Beziehung nicht ignoriert werden. So kann beispielsweise auch die Forschung und Praxis des Hochfrequenzhandels (HFT) durch KI-Technologien umgesetzt werden (s-1-10). Tatsächlich zeigen die Ergebnisse der Literaturrecherche, dass in den meisten Studien der letzten fünf Jahre keine klare Unterscheidung zwischen algorithmischem Handel und Hochfrequenzhandel vorgenommen wurde. Daher wird in dieser Studie, die sich auf den Einfluss von KI auf den algorithmischen Handel konzentriert, die Definition aus (1-7) verwendet. Das bedeutet, dass Hochfrequenzhandel in dieser Studie als eine Unterkategorie des algorithmischen Handels betrachtet wird.

Einige Wissenschaftler sind der Ansicht, dass der algorithmische Handel auch als "Black-Box-Handel" oder "automatisierter Handel" bezeichnet werden kann und Investitionsentscheidungen durch auf Computern implementierte KI-Modelle oder vordefinierte quantitative Handelsregeln unterstützt werden (1-3). Das bedeutet, dass algorithmischer Handel sowohl auf der Grundlage vordefinierter Regeln als auch durch maschinelles Lernen umgesetzt werden kann (s-1-4, s-1-5). In seiner traditionellen Form basiert der algorithmische Handel auf den Erfahrungen menschlicher Experten oder auf festgelegten Regeln, wie etwa Trendfolge- oder Mean-Reversion-Strategien (1-1). In modernen algorithmischen Handelssystemen, die auf maschinellem Lernen basieren, wird der Computer zunächst auf historischen Daten trainiert und handelt dann ohne menschliches Eingreifen (s-1-4). Dieser Handelsprozess kann als ein Entscheidungsprozess betrachtet werden, der das Ziel verfolgt, den Gewinn zu maximieren und gleichzeitig das Risiko zu minimieren (1-1). Da der Entscheidungsprozess der KI im Gegensatz zu dem des Menschen nicht von emotionalen Schwankungen beeinflusst wird, bleibt die Investitionsentscheidung des Computers frei von den negativen Auswirkungen von Emotionen (s-1-4).

Der Sharpe-Quotient ist ein Indikator zur Bewertung der Performance einer einzelnen Transaktion, der die Effektivität einer Handelsstrategie messen kann (s-1-3). Die Berechnung des Sharpe-Quotienten erfolgt durch die folgende Formel:

wobei  und  jeweils die Rendite des Portfolios und die risikofreie Rendite in der aktuellen Transaktion darstellen, während der Nenner die Standardabweichung der Portfoliorendite  bezeichnet.

### KI-Technologien

Um den Lesern ein grundlegendes Verständnis dieser Studie zu ermöglichen, ist es notwendig, die verschiedenen Konzepte im Zusammenhang mit Künstlicher Intelligenz (KI) klar zu unterscheiden. KI umfasst alle Techniken, die es Computern ermöglichen, menschliches Verhalten nachzuahmen und Entscheidungen zu treffen, um komplexe Aufgaben unabhängig oder mit minimalem menschlichem Eingreifen zu lösen (1 Russell und Norvig 2021). In der untenstehenden Abbildung wird das Verhältnis der KI-bezogenen Konzepte dargestellt. Dabei umfasst KI maschinelles Lernen, während Deep Learning und Reinforcement Learning Unterkategorien des maschinellen Lernens sind.

Maschinelles Lernen ist ein breit gefasstes Konzept, und viele Forscher setzen in ihren Arbeiten maschinelles Lernen mit KI gleich oder verwenden den Oberbegriff maschinelles Lernen, um spezifischere Techniken wie Deep Learning und Reinforcement Learning zu bezeichnen. In dieser Studie wird eine klare Definition verwendet, wonach maschinelles Lernen als eigenständiges Konzept neben anderen KI-Technologien steht. Wenn der Begriff "maschinelles Lernen" als Oberbegriff verwendet wird, um andere KI-Technologien zu umfassen, wird in dieser Studie stattdessen der Begriff KI verwendet.

Maschinelle Lernalgorithmen bieten im algorithmischen Handel ein sehr effektives Werkzeug, da sie die gleichzeitige Analyse einer Vielzahl von Indikatoren auf den Finanzmärkten ermöglichen (s-1-1). Dieser Analyseprozess erfolgt durch die Extraktion von Datenmustern auf den Finanzmärkten mittels maschineller Lernalgorithmen (2). Abhängig von der Art der zu lösenden Probleme und den verfügbaren Daten kann maschinelles Lernen in zwei Typen unterteilt werden: überwachtes und unüberwachtes Lernen (1). Im algorithmischen Handel kann überwachtes Lernen zur Vorhersage der zukünftigen Preisentwicklung eines Vermögenswerts verwendet werden. Allerdings besagt die Theorie der effizienten Märkte, dass die Aktienpreise alle aktuell verfügbaren Informationen widerspiegeln sollten, und daher sind Preisänderungen, die nicht auf neuen Informationen basieren, grundsätzlich unvorhersehbar (2).

Ein Bild, das Text, Schrift, Kreis, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung(2)

Deep Learning ist besonders nützlich in Bereichen mit großen und hochdimensionalen Daten, weshalb tiefe neuronale Netze flache maschinelle Lernalgorithmen in den meisten Anwendungen, bei denen Text-, Bild-, Video-, Sprach- und Audiodaten verarbeitet werden müssen, übertreffen (1 LeCun et al. 2015). Deep Learning verwendet typischerweise tiefe neuronale Netzwerke, die mehr als eine verborgene Schicht enthalten, wobei die künstlichen Neuronen in einer netzartigen Struktur eines tiefen neuronalen Netzwerks organisiert sind.

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen) konzentriert sich stärker auf zielgerichtetes Lernen durch Interaktion als andere Ansätze des maschinellen Lernens. Es beschäftigt sich mit der sequentiellen Interaktion eines Agenten mit seiner Umgebung. Zunächst beobachtet der Agent den Zustand der Umgebung, führt dann die auf seiner Policy basierende Aktion aus und erhält als Ergebnis seiner Aktion eine Belohnung (s-1-8).

Deep Reinforcement Learning (DRL) kombiniert die Wahrnehmungsfähigkeit des Deep Learning mit der Entscheidungsfindungskompetenz des Reinforcement Learning, um die Abbildung zwischen den Zuständen der Finanzmärkte und den Handelsentscheidungen durch die Interaktion mit der Umgebung zu erlernen (s-1-8).

## Forschungsbeitrag

Als eine interdisziplinäre Disziplin mit hohen Anforderungen an Mathematik und Computer-Algorithmen stellt der algorithmische Handel für Forscher und Anfänger aus verschiedenen Branchen ein erhebliches Eintrittshindernis dar. Beispielsweise fällt es Forschern aus dem Bereich der Finanzwissenschaften, die mit KI-Technologien wenig vertraut sind, schwer, Arbeiten über algorithmischen Handel und die entsprechenden KI-Technologien problemlos zu verstehen. Andererseits ist es für Entwickler und IT-Fachleute, die die Regeln der Finanzmärkte und Investitionsstrategien nicht verstehen, ebenso schwierig, leistungsfähige Werkzeuge für den algorithmischen Handel zu entwickeln. Auch bei der akademischen Diskussion zwischen Forschern aus unterschiedlichen Disziplinen gibt es häufig das Problem einer ineffizienten wechselseitigen Kommunikation.

Das Ziel dieser systematischen Literaturrecherche besteht darin, durch die Analyse der neuesten Forschungsergebnisse und Best Practices im Bereich des algorithmischen Handels anderen Forschern häufig verwendete Lösungen und das für deren Umsetzung notwendige Grundlagenwissen bereitzustellen. Darüber hinaus strebt die Studie an, die mit der Einführung von KI verbundenen Chancen und Herausforderungen zu diskutieren, indem die Theorien und praktischen Ansätze anderer Forscher zusammengefasst werden. Die Bedeutung dieser Studie variiert je nach Perspektive für Marktteilnehmer im Finanzhandel und andere Stakeholder.

Vor diesem Hintergrund zielt die Studie darauf ab, in einer Ära der großflächigen Anwendung von KI-Produkten eine solide Wissensbasis für Forscher aus verschiedenen Bereichen zu schaffen und gleichzeitig eine Brücke der Kommunikation zwischen diesen Bereichen zu schlagen. Durch die Ergebnisse dieser Studie können Forscher aus dem Bereich der Finanzanalyse ein grundlegendes Verständnis der in algorithmischen Handelsstrategien verwendeten KI-Technologien erlangen, während Experten auf dem Gebiet der KI ihre Fachkenntnisse auf ein vielversprechendes Anwendungsfeld ausweiten können.

Auf der Grundlage der genannten Forschungsziele und bestehenden Forschungslücken hat diese Studie das Ziel, durch die Zusammenfassung und Analyse der in der Praxis weit verbreiteten KI-Technologien im algorithmischen Handel in Kombination mit den Eigenschaften der Finanzmärkte folgende zwei miteinander verbundene Forschungsfragen zu beantworten. Die erste Forschungsfrage konzentriert sich auf die Analyse der in den letzten fünf Jahren besonders beachteten KI-Technologien im algorithmischen Handel auf unterschiedlichen Finanzmärkten. Die Beantwortung dieser Frage soll Entwicklern und Forschern dabei helfen, einen klaren Leitfaden bei der Auswahl geeigneter algorithmischer Handelsstrategien für verschiedene Finanzmärkte zu finden. Zugleich trägt die Analyse der ersten Forschungsfrage auch zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage bei. Um die Chancen und Herausforderungen, die durch die Einführung von KI-Technologien entstehen, zu identifizieren, ist eine Analyse der Eigenschaften der verschiedenen KI-Technologien unverzichtbar. Da diese Technologien unterschiedliche Anforderungen an das Wissen der Forscher und Entwickler stellen und selbst die Hardware-Anforderungen zur Implementierung der Technologien stark variieren, müssen die Chancen und Herausforderungen der einzelnen KI-Technologien individuell betrachtet werden. Diese Studie zielt darauf ab, durch systematische Literaturanalysen sowohl die Chancen als auch die Herausforderungen der KI zu untersuchen, um den Praktikern zu helfen, das optimale Gleichgewicht zwischen Leistung und Kosten zu finden.

**RQ 1:** Welche Methoden und Praktiken des algorithmischen Handels existieren in der Literatur?

**RQ 2:** Welche Herausforderungen und Chancen bietet die Integration von KI in bestehende algorithmische Handelssysteme?

# Theoretischer Hintergrund

Bei der Verwendung dieser Vorlage werden grundlegende Kenntnisse mit MS Word vorausgesetzt. Im Folgenden wird daher lediglich auf Besonderheiten im Umgang mit den Formatvorgaben der Vorlage eingegangen.

## HFT

## Machine Learning

## Deep Learning

## Reinforcement learning

## Heuristik

## LLM

# Literaturverzeichnis

# Anhang A: Titel des Anhangs

Text

# Anhang B: Titel des Anhangs

Text

**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit mit dem Titel

„*Titel der Arbeit*“

selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der von mir angegebenen Quellen angefertigt zu haben. Alle aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde noch keiner Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt und wurde noch nicht veröffentlicht.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Arbeit mithilfe eines Softwaredienstes auf Plagiate untersucht wird.

Dresden, den TT.MM.JJJJ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Vorname Nachname Unterschrift