Berufliches Schulzentrum für Gesundheit, Technik und Wirtschaft des Erzgebirgskreises „Erdmann Kircheis“

Berufliches Gymnasium

Fachrichtung Informations- und Kommunikationssysteme

**Belegarbeit**

**im Fach Informatiksysteme**

**Titel**

**Wie Schachcomputer durch Machine Learning menschlichen Spielern überlegen sind**

Verfasser: Kevin Braun

Klasse: BG22C

Kurs: IfKo2

Schuljahr: 2023/24

Betreuer: H. Lepski

Abgabe an Ort, Datum: 09376 Oelsnitz im Erzgebirge, 03.04.2024

**Inhaltsverzeichnis**

Seite

1 Einführung und Zielstellung 1

2 Geschichte der Schachcomputer 2-5

2.1 Der Schachtürke (1769) 2

2.1.1 Funktionsweise 2

2.2 Der Schachspieler (1914) 2

2.2.1 Funktionsweise 2

2.3 Fidelity Chess Challenger 1 (1977) 3

2.3.1 Funktionsweise 3

2.4 Deep Blue (1997) 3

2.4.1 Funktionsweise 3, 4

2.5 Stockfish (ab 2008) 4

2.5.1 Funktionsweise 4

2.5.2 Neuronale Netze 4, 5

3 Arten von Schachcomputern 5-6

3.1 Kategorisierung 5

4 Projekt 5-6

4.1 Projektübersicht 5, 6

4.2 Projektumsetzung 6

4.3 Projektfazit

5 Schlussfolgerung

6 Literaturverzeichnis

7 Anhang

8 Selbstständigkeitserklärung

**1 Einführung und Zielstellung**

In der Geschichte der Menschheit hatten Schachcomputer schon seit dem 18. Jahrhundert Relevanz. Der „Schachtürke“ sei das erste geschichtliche Vorkommnis einer Maschine gewesen, die das Schachspiel beherrschen könne. Allerdings würde sich herausstellen, dass dieser letztendlich nur von einem Menschen gesteuert wurde.[[1]](#footnote-1)

Seither durchliefen Schachcomputer eine immense Entwicklung. Im Mai des Jahres 1997 sollte es „Deep Blue“, ein Schachcomputer des IT-Unternehmens International Business Machines Coporation (kurz: IBM) schaffen, Garry Kasparow, den Weltmeister im Schach von 1985-1933, zu besiegen. Von diesem Punkt an sollte kein Mensch mehr in der Lage sein, einem Schachcomputer das Wasser zu reichen.[[2]](#footnote-2)[[3]](#footnote-3) Kasparow schreibt: „Twelve years later I was in New York City fighting for my chess life against just one machine, a $10 million IBM supercomputer nicknamed ‘Deep Blue’. […] Deep Blue was intelligent the way your programmable alarm clock is intelligent. Not that losing to a $10 million alarm clock made me feel any better. “[[4]](#footnote-4) Zu Deutsch: „Zwölf Jahre später kämpfte ich in New York City um mein Schachleben gegen eine einzige Maschine, einen 10 Millionen Dollar teuren IBM-Supercomputer mit dem Spitznamen 'Deep Blue'. [...] Deep Blue war so intelligent, wie Ihr programmierbarer Wecker intelligent ist. Nicht dass ich mich besser gefühlt hätte, gegen einen 10-Millionen-Dollar-Wecker zu verlieren. “

Diese Belegarbeit soll eine Exkursion in die Welt der Schachcomputer darstellen. Sie soll hinterfragen, begründen, und vor allem einen Einblick in die Funktionsweise von Schachcomputern geben. Um das Thema zu verstehen ist ein grundlegendes Wissen in die Geschichte der Schachcomputer notwendig. Aufgrund dessen wird diese in Kapitel 2 aufgegriffen. Ein großer Schwerpunkt wird außerdem beim sogenannten „Machine Learning“, also dem maschinellen Lernen liegen. Worum es sich dabei genau handelt, wird im späteren Verlauf noch geklärt. Vor allem soll aber beantwortet werden:

* Wie schaffen es Schachcomputer, menschlichen Spielern überlegen zu sein?
* Wie funktioniert Machine Learning bei Schachcomputern?

Um das Verständnis hinter der Funktionsweise von Schachcomputern zu erweitern, wird im Rahmen der Belegarbeit ein Schachcomputer mit Hilfe der Programmiersprache sowie Entwicklungsumgebung Delphi Embarcadero 11.3 entwickelt, der den sogenannten Minimax-Algorithmus verwendet, um eine Stellungsbewertung durchzuführen und so den besten Zug errechnet. Abschließend folgt eine Auswertung des Projekts sowie eine Schlussfolgerung.

**2 Geschichte der Schachcomputer (1769)**

**2.1 Der Schachtürke**

Das Schachspiel hat seine Ursprünge bereits vor dem 6. Jahrhundert.[[5]](#footnote-5) Bei einem Spiel, welches Jahrhunderte lang gespielt und selbst heute nicht vollständig gelöst[[6]](#footnote-6) ist, erschließt sich der Grund, warum die Menschen schon sehr früh nach einem Weg suchten, eine Maschine spielen zu lassen. Der erste Versuch war der sogenannte „Schachtürke“.[[7]](#footnote-7) Der Hofbeamte Wolfgang von Kempelen baute den Automaten 1769 und dieser soll, während seiner „Lebzeit“, gegen berühmte Persönlichkeiten wie Maria Theresia oder Napoleon Bonaparte gespielt haben. Er bestand aus einem Holzmann in orientalischen Kleidern sowie einem Turban.[[8]](#footnote-8)

**2.1.1 Funktionsweise**

Im Inneren der Maschine versteckte zwar komplexe Maschinerie, aber solche die den Schachtürken haben echt wirken hat lassen, nicht etwa der erste Schachalgorithmus. Tatsächlich saß nämlich ein Schachspieler im Inneren, der durch magnetische Figuren die Züge mitgeteilt bekommen hat. Durch Schnüre, die dieser auch kontrolliert hat, konnten Züge ausgeführt und der Schachtürke bewegt worden werden.8

**2.2 Der Schachspieler (1914)**

Der erste richtige Schachalgorithmus wurde von Torres Quevedo, einem spanischen Gelehrten, im Jahr 1914 erfunden. Sein Ziel war die Demonstration eines künstlichen Systems. Die Maschine konnte noch kein ganzes Spiel spielen, beherrschte aber das Verfahren, aus einer beliebigen Position mit Turm und König gegen einen Turm ein Schachmatt zu erzwingen. Der spanische Name übersetzte sich einfach zu „Der Schachspieler“[[9]](#footnote-9)

**2.2.1 Funktionsweise**

Seine Funktion erreichte der Automat durch mechanische Hilfsmittel sowie durch Relais und Motoren. Dahinter stand ein Algorithmus, der auf Torres‘ Automatentheorie beruhte, die er im Rahmen des „Laboratorio de Automatica“ in Madrid erschloss, welches unter seiner Leitung stand.

**2.3 Fidelity Chess Challenger 1 (1977)**

Der erste kommerzielle Schachcomputer war der Fidelity Chess Challenger. Dieser ging 1977 für 200 US-Dollar auf den Markt. Sein Aussehen ist in Anhang 2 einzusehen. Programmiert wurde er vom US-Amerikaner Ron Nelson.[[10]](#footnote-10)

**2.3.1** **Funktionsweise**

Der Fidelity Chess Challenger 1 war der erste seiner Art, denn er lief mit einem programmierten Algorithmus über einen integrierten Prozessor mit einer Taktfrequenz von 2 Megahertz.10 Seine Spielstärke wurde auf bis zu 1000 Elo geschätzt.[[11]](#footnote-11) Zwar konnte dieser nur mit schwarzen Figuren spielen, hatte vertauschte Koordinaten sowie einen Programmfehler, konnte aber ein ganzes Schachspiel zu Ende bringen.10 Leider ist der genaue Algorithmus nicht dokumentiert, weshalb man über die genaue Funktionsweise nur raten kann, aber das Projekt in Kapitel 4 wird versuchen, eine ähnliche Funktionsweise aufzugreifen.

**2.4 Deep Blue (1997)**

Der wohl bekannteste Schachcomputer der Welt war IBMs „Deep Blue“. Dieser trat im Jahr 1997 gegen einen der bis heute besten Schachspieler an: Garry Kasparow. Er gewann mit einem Punktestand von 3,5 zu 2,5 und markierte damit den Zeitpunkt, an dem die Menschen die Maschinen nicht mehr schlagen konnten. „Deep Blue“s Elo-Stärke lag in ihrer finalen Version bei ungefähr 2700.[[12]](#footnote-12)

**2.4.1 Funktionsweise**

In der technischen Ausstattung übertrifft „Deep Blue“ alle bis jetzt genannten Vorgänger bei Weitem. Neben dem Alpha-Beta-Suchalgorithmus[[13]](#footnote-13), der den Minimax-Algorithmus erweitert, war er auch hardware-technisch beeindruckend. Es waren 216 Prozessoren verbaut, die 36 Knoten mit je 1 Gigabyte Random Access Memory und 4 Gigabyte Festplattenspeicher abrufen konnten.[[14]](#footnote-14)

**2.5 Stockfish (ab 2008)**

Stockfish ist einer der Vertreter der heutigen modernen Schachcomputer. Version 1.0 wurde im November 2008 von Marco Costalba auf Basis des Glaurung 2.1 Schachcomputers entwickelt. Hinzu kamen die Entwickler Tord Romstad und Joona Kiiski. Heute ist Stockfish bei Version 16.1 angelangt und wird von vielen als der beste Schachcomputer der Welt anerkannt. Entwickelt wird es mittlerweile als öffentliches Projekt mit einsehbarem Programmcode.[[15]](#footnote-15)

**2.5.1 Funktionsweise**

Stockfish basiert auf Deep Machine Learning, dem tiefen maschinellen Lernen. Dies gehört zum Bereich der künstlichen Intelligenz. Es wird nicht mehr jede Möglichkeit fest einprogrammiert, sondern Modelle werden trainiert. Diese können dann geübte Entscheidungen treffen.

Im Fall von Stockfish geschieht dies über eine Stellungsbewertung. Eine gegebene Stellung wird betrachtet und evaluiert. Dabei steht beispielsweise eine Bewertung von +1 für einen kleinen Vorteil für Weiß, wobei eine Bewertung von -5 für einen erheblichen Vorteil für Schwarz steht. Der Schachcomputer geht dann mögliche Varianten durch und versucht die Variante zu errechnen, bei dem die Stellungsbewertung für die gespielte Farbe am Besten ist. Die Grundlage dafür ist auch der Minimax-Algorithmus und der Alpha-Beta-Suchalgorithmus, doch der Unterschied ist hierbei, dass das Modell auf Basis der zuvor gespielten Spiele, mit denen es trainiert wurde, handelt. [[16]](#footnote-16) Die Elo-Stärke von Stockfish wird mit über 3700 angegeben.[[17]](#footnote-17)

**2.5.2 Neuronale Netze**

Der Prozess des Machine Learning umfasst neuronale Netze, ein Begriff, den es wichtig ist, zu klären. Neuronale Netze, auch künstliche neuronale Netze oder simulierte neuronale Netze, sind die Basis des Machine Learning. Sie basieren auf den Neuronen des menschlichen Gehirns und senden Signale untereinander. Sie bestehen aus mehreren Schichten (siehe Bild in Anlage 3).

Dabei wird jeder Knoten als eigenes Modell einer linearen Regression betrachtet. Es gibt eine Aktivierungsfunktion, die bestimmt, ob ein Knoten aktiviert wird und Daten an die nächste Schicht übergibt.

Neuronale Netze können verschiedene Typen haben, darunter Mehrschicht-Perzeptrone (MLP), Convolutional Neural Networks (CNN) und Recurrent Neural Networks (RNN). Außerdem beschreibt der Begriff Deep Machine Learning im Gegensatz zu Machine Learning (ohne „Deep“) neuronale Netze mit mehr als 3 Schichten.[[18]](#footnote-18)

**3 Arten von Schachcomputern**

**3.1 Kategorisierung**

Nachdem wir nun einiges über die Geschichte und Grundlagen der Schachcomputertechnik erfahren haben, ist es uns möglich, eine eigene Kategorisierung von Schachcomputersystemen zu erstellen.

Kategorie-1-Schachcomputer sollen im Weiterführenden als solche bezeichnet werden, wenn sie die Grundlagen des Schachspiels beherrschen.

Kategorie-2-Schachcomputer sollen im Weiterführenden als solche bezeichnet werden, wenn sie durch eine Art des Machine Learning funktionieren.

**4 Projekt**

**4.1 Projektübersicht**

Im Rahmen des Projektes soll ein Schachcomputer der ersten Kategorie[[19]](#footnote-19) programmiert werden. Dies erfolgt mithilfe der Entwicklungsumgebung Embarcadero Delphi beziehungsweise RAD Studio und wird in der Programmiersprache Delphi 11.3 realisiert. Dabei finden Prinzipien der objektorientierten Programmierung Anwendung, was hier besonders wichtig ist, damit die Modularität der Software gewährleistet werden kann.

Die grafische Benutzeroberfläche verwendet das VCL-Framework von Delphi und soll die Eingabe von Schachzügen über die Computermaus ermöglichen. Dabei wird der Nutzer die Kontrolle über die weiße Seite übernehmen; der Computer steuert die schwarzen Figuren.

Des Weiteren sind 2 Algorithmen von bedeutender Wichtigkeit. Zum anderen kommt der Minimax-Algorithmus zum Einsatz, der in der Informatik bereits sehr etabliert ist. Dieser vergleicht die Stellungsbewertungen des ersten Algorithmus und wählt jene aus, die am niedrigsten ist, da der bestmögliche Stellungsausgang für Schwarz ermittelt werden soll.[[20]](#footnote-20)

Die Kombination aus diesen beiden Algorithmen wird im Folgenden Schachcomputer genannt.

**4.2 Projektumsetzung**

Vor der Erstellung des Schachcomputers muss das Schachspiel in Delphi umgesetzt werden. Dazu wird zur Laufzeit ein Spielfeld generiert, welches aus Objekten des Typs TField besteht. Dieser Typ wird in der TField-Klasse definiert. Die Klasse basiert auf dem Typ TShape[[21]](#footnote-21), welcher geometrische Formen verwirklichen soll. Sie wurde modifiziert, um den Ansprüchen als Schachfeld gerecht zu werden und ist mit nützlichen Funktionen wie dem Hervorheben von Feldern ausgestattet.[[22]](#footnote-22) Die einzelnen Felder erhalten bereits hier ihre Feldnamen, a1 bis h8.

Zur Verwirklichung der einzelnen Figuren ist es im Rahmen der objektorientierten Programmierung notwendig, jede einzelne Figur in einer separaten Klasse darzustellen. Da manche Eigenschaften von allen Figuren geteilt werden, wird eine abstrakte Klasse TFigur eingesetzt, die von TImage[[23]](#footnote-23) erbt und weitere wichtige Elemente definiert, die jede Figur benötigt. Danach werden die Figuren in einzelne Klassen unterteilt, die die Methode zur Zugberechnung überschreiben und jeweils ihre legalen Züge speichern.[[24]](#footnote-24)

Zur Stellungsevaluierung werden die bereits beschriebenen Algorithmen verwendet.[[25]](#footnote-25)

**Literaturverzeichnis**

**gedruckte Quellen:**

Hsu, Feng-Hsiung; Kleinberg, Jon: Behind Deep Blue: Building the Computer That Defeated the World Chess Champion. New Jersey 2022

Kasparow, Garry; Greengard, Mig: Deep Thinking: Where Machine Intelligence Ends and Human Creativity Begins. New York 2017

Yazgac, Nick H.: Schachcomputer: was sie wirklich können. Eltmann 1989

**Internetquellen:**

Bellinghausen, Yves: Der Tag, an dem die Maschine gewann. Online unter: https://www.zeit.de/digital/2022-05/deep-blue-ibm-schachcomputer-garri-kasparov-kuenstliche-intelligenz, eingesehen am 02.05.2024

Berger, Heiko: Fidelity Chess Challenger (1). Online unter: https://www.schachcomputer-online-museum.de/index-1/fidelity/fidelity-chess-challenger-1-1977/ sowie https://www.schaakcomputers.nl/hein\_veldhuis/database/files/10-1976%20[A-2620]%20Fidelity%20-%20Chess%20Challenger%20(prototype).pdf, eingesehen am 02.05.2024

Hahn, Martin: Ist Schach gelöst? Und wenn nein, wie lange dauert das noch?. Online unter: https://perlenvombodensee.de/2020/02/03/ist-schach-geloest-und-wenn-nein-wie-lange-dauert-das-noch/, eingesehen am 02.05.2024

Hamzah, Mohammad: Game Theory: How Stockfish Mastered Chess. Online unter: https://blogs.cornell.edu/info2040/2022/09/30/game-theory-how-stockfish-mastered-chess/, eingesehen am 02.05.2024

Hermann, Sven: Die ELO-Zahl. Online unter: https://www.chess.com/de/terms/elo#:~:text=Die%20Elo%20misst%20die%20relative,seiner%20Spieler%20ma%C3%9F%2C%20zu%20verbessern., eingesehen am 02.05.2024

Herold, Sonja: Alle Schachweltmeister., Online unter: https://schachfan.com/schachweltmeister/, eingesehen am 02.05.2024

IBM Corporation: Was sind neuronale Netze? Online unter: https://www.ibm.com/de-de/topics/neural-networks, eingesehen am 02.05.2024

Karcher, Josef: 05.07.1854: In Philadelphia verbrennt der „Schachtürke“. Online unter: https://www.swr.de/swrkultur/leben-und-gesellschaft/swr2-zeitwort-2023-07-05-100.pdf, eingesehen am 02.05.2024

Ketterling, Hans-Peter: Die Schachautomaten des Torres Quevedo. Online unter: https://schachklub-tempelhof.de/die-schachautomaten-des-torres-quevedo/, eingesehen am 02.05.2024

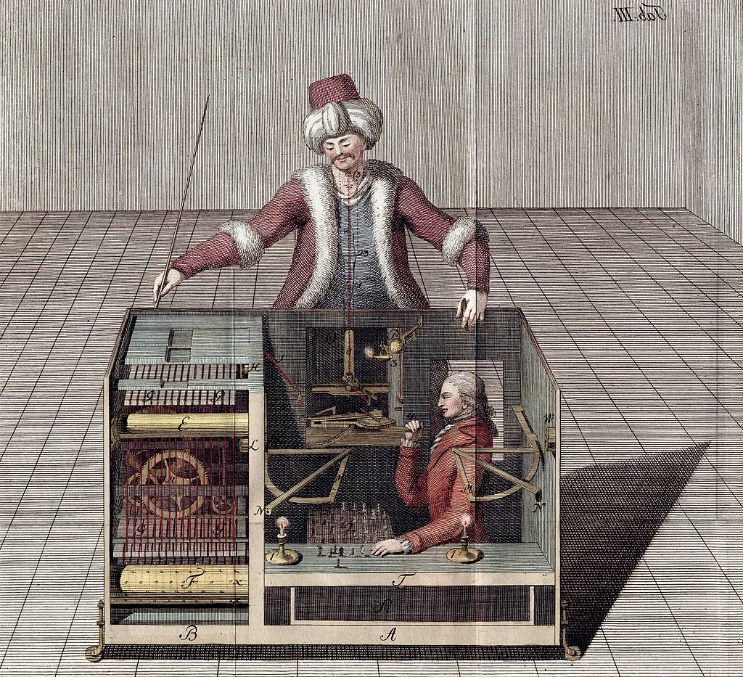
Maleika, Leonard: Deep\_Blue vs Kasparov: So stark war der Schach-Computer. Online unter: https://praxistipps.chip.de/deep-blue-vs-kasparov-so-stark-war-der-schach-computer\_175683, eingesehen am 02.05.2024

Nixdorf, Franziska: Der Schachtürke: Diese Geschichte steckt hinter dem Wunderwerk. Online unter https://praxistipps.focus.de/der-schachtuerke-diese-geschichte-steckt-hinter-dem-wunderwerk\_155460, eingesehen am 02.05.2024

Stapczynski, Colin: Die Geschichte des Schachs | Von den Anfängen bis Magnus. Online unter: https://www.chess.com/de/article/view/die-geschichte-des-schachs#:~:text=Die%20Urspr%C3%BCnge%20des%20Schachs,wir%20heute%20als%20Schach%20kennen., eingesehen am 02.05.2024

Yang, Daylen: About. Online unter: https://stockfishchess.org/about/, eingesehen am 02.05.2024

**Anlagenverzeichnis**

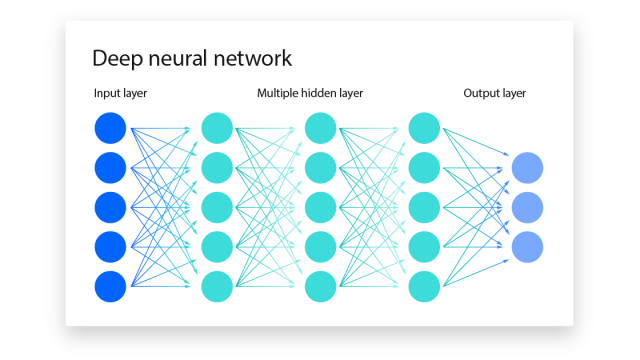


Anlage 1: „Der Schachtürke“ – Racknitz, Josef: Kupferstich von Racknitz. Racknitz 1789, Online unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Schacht%C3%BCrke#/media/Datei:Racknitz\_-\_The\_Turk\_3.jpg, eingesehen am 02.05.2024

Ein Bild, das Hallensportarten, Brettspiel, Spiele, Tabletopspiel enthält.

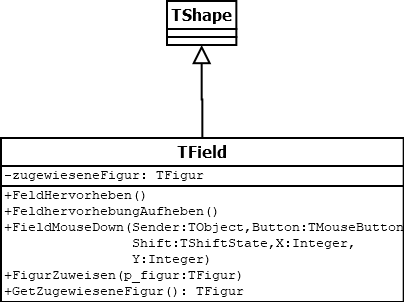
Automatisch generierte Beschreibung

Anlage 2: „Fidelity Chess Challenger (1)“ – Berger, Heiko (Online unter: https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/none/path/s866f15dc8d303943/image/i66dcc6e2f0628570/version/1490474025/image.jpg, eingesehen am 02.05.2024)

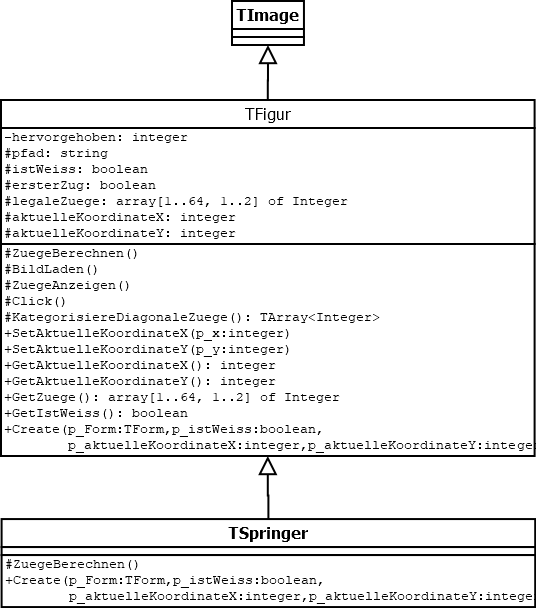


Anlage 3: „Die Schichten eines tiefen neuronalen Netzwerks“ – IBM Corporation, Online unter: <https://www.ibm.com/content/dam/connectedassets-adobe-cms/worldwide-content/cdp/cf/ul/g/3a/b8/ICLH_Diagram_Batch_01_03-DeepNeuralNetwork.component.simple-narrative-xl.ts=1694627445038.png/content/adobe-cms/de/de/topics/neural-networks/jcr:content/root/table_of_contents/body/content_section_styled/content-section-body/simple_narrative/image>

Anlage 4: Klassendiagramm der TField-Klasse



Anlage 5: Klassendiagramm einer der Figurenklasse TSpringer

****

Anlage 6: Struktogramm des Algorithmus, um den besten Zug zu finden

Ein Bild, das Text, Screenshot, Display, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Selbstständigkeitserklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als angegeben verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ort / Datum: Unterschrift:

1. vgl. Karcher, Josef: 05.07.1854: In Philadelphia verbrennt der „Schachtürke“. Online unter: https://www.swr.de/swrkultur/leben-und-gesellschaft/swr2-zeitwort-2023-07-05-100.pdf, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-1)
2. vgl. Bellinghausen, Yves: Der Tag, an dem die Maschine gewann. Online unter: https://www.zeit.de/digital/2022-05/deep-blue-ibm-schachcomputer-garri-kasparov-kuenstliche-intelligenz, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-2)
3. vgl. Herold, Sonja: Alle Schachweltmeister., Online unter: https://schachfan.com/schachweltmeister/, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-3)
4. Kasparow, Garry; Greengard, Mig: Deep Thinking: Where Machine Intelligence Ends and Human Creativity Begins. New York 2017, S. 2 [↑](#footnote-ref-4)
5. vgl. Stapczynski, Colin: Die Geschichte des Schachs | Von den Anfängen bis Magnus. Online unter: https://www.chess.com/de/article/view/die-geschichte-des-schachs#:~:text=Die%20Urspr%C3%BCnge%20des%20Schachs,wir%20heute%20als%20Schach%20kennen., eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-5)
6. vgl. Hahn, Martin: Ist Schach gelöst? Und wenn nein, wie lange dauert das noch?. Online unter: https://perlenvombodensee.de/2020/02/03/ist-schach-geloest-und-wenn-nein-wie-lange-dauert-das-noch/, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-6)
7. Bild siehe Anlange 1 [↑](#footnote-ref-7)
8. vgl. Nixdorf, Franziska: Der Schachtürke: Diese Geschichte steckt hinter dem Wunderwerk. Online unter https://praxistipps.focus.de/der-schachtuerke-diese-geschichte-steckt-hinter-dem-wunderwerk\_155460, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-8)
9. vgl. Ketterling, Hans-Peter: Die Schachautomaten des Torres Quevedo. Online unter: https://schachklub-tempelhof.de/die-schachautomaten-des-torres-quevedo/, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-9)
10. vgl. Berger, Heiko: Fidelity Chess Challenger (1). Online unter: https://www.schachcomputer-online-museum.de/index-1/fidelity/fidelity-chess-challenger-1-1977/ sowie https://www.schaakcomputers.nl/hein\_veldhuis/database/files/10-1976%20[A-2620]%20Fidelity%20-%20Chess%20Challenger%20(prototype).pdf, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-10)
11. Die Spielstärke wird im Schach durch das Elo-System bemessen. Dies hier ausführlich zu erläutern ist nicht notwendig für das Verständnis. Es wird jedoch empfohlen, folgenden Informationstext über die Elo-Zahlen zu lesen: Hermann, Sven: Die ELO-Zahl. Online unter: https://www.chess.com/de/terms/elo#:~:text=Die%20Elo%20misst%20die%20relative,seiner%20Spieler%20ma%C3%9F%2C%20zu%20verbessern., eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-11)
12. vgl. Bellinghausen 2022 [↑](#footnote-ref-12)
13. siehe: Hsu, Feng-Hsiung; Kleinberg, Jon: Behind Deep Blue: Building the Computer That Defeated the World Chess Champion. New Jersey 2022, S. Preface XIII-XV [↑](#footnote-ref-13)
14. vgl. Maleika, Leonard: Deep\_Blue vs Kasparov: So stark war der Schach-Computer. Online unter: https://praxistipps.chip.de/deep-blue-vs-kasparov-so-stark-war-der-schach-computer\_175683, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-14)
15. vgl. Yang, Daylen: About. Online unter: https://stockfishchess.org/about/, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-15)
16. vgl. Hamzah, Mohammad: Game Theory: How Stockfish Mastered Chess. Online unter: https://blogs.cornell.edu/info2040/2022/09/30/game-theory-how-stockfish-mastered-chess/, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-16)
17. vgl. Hermann, Sven: Stockfish. Online unter: https://schachlich.de/stockfish/, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-17)
18. vgl. IBM Corporation: Was sind neuronale Netze? Online unter: https://www.ibm.com/de-de/topics/neural-networks, eingesehen am 02.05.2024 [↑](#footnote-ref-18)
19. siehe 3.1 Kategorisierung [↑](#footnote-ref-19)
20. vgl. Adorf, Julius: Der Minimax-Algorithmus und die Alpha-Beta-Suche. Online unter: https://www.juliusadorf.com/pub/alphabeta-seminar-paper.pdf, eingesehen am 23.05.2024 [↑](#footnote-ref-20)
21. siehe: Embarcadero: Vcl.ExtCtrls.TShape. Online unter: https://docwiki.embarcadero.com/Libraries/Athens/en/Vcl.ExtCtrls.TShape, abgerufen am 23.05.2024 [↑](#footnote-ref-21)
22. Klassendiagramm siehe Anlage 4 [↑](#footnote-ref-22)
23. siehe: Embarcadero: Vcl.ExtCtrls.TImage. Online unter: https://docwiki.embarcadero.com/Libraries/Sydney/de/Vcl.ExtCtrls.TImage, eingesehen am: 23.05.2024 [↑](#footnote-ref-23)
24. Klassendiagramm siehe Anlage 5 [↑](#footnote-ref-24)
25. Struktogramm siehe Anlage 6 [↑](#footnote-ref-25)