



OSTBAYERISCHE
TECHNISCHE HOCHSCHULE
REGENSBURG

Entwicklung einer künstlichen Intelligenz für Brettspiele und deren Anbindung an eine Touch-Hardware über mobile Endgeräte

An der Fakultät für Informatik und Mathematik der
Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg
im Studiengang
Technische Informatik

eingereichte

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades des
Bachelor of Science (B.Sc.)

Vorgelegt von: Korbinian Federholzner
Matrikelnummer: 3114621

Erstgutachter: Prof. Dr. Carsten Kern
Zweitgutachter: Prof. Dr. Daniel Jobst

Abgabedatum: 31.08.2020

Erklärung zur Bachelorarbeit

1. Mir ist bekannt, dass dieses Exemplar der Abschlussarbeit als Prüfungsleistung in das Eigentum der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg übergeht.
2. Ich erkläre hiermit, dass ich diese Abschlussarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Regensburg, den 12. Oktober 2020

Korbinian Federholzner

Zusammenfassung

In der folgenden Arbeit wird ...

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis	VIII
1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufgabenstellung	1
1.3	Struktur dieser Arbeit	1
2	Grundlagen	2
2.1	Dame	2
2.1.1	Varianten des Spieles	2
2.1.2	Internationale Dame	2
2.2	Die gegebene ReversiXT Applikation	3
2.3	Künstliche Intelligenz Algorithmen	5
2.3.1	Minimax	5
2.3.2	Iterative Deepening	7
2.3.3	Alpha-Beta Pruning	7
2.3.4	Zugsortierung	8
2.3.5	Monte Carlo Tree Search (MCTS)	9
3	Architektur der Software	11
3.1	Überblick	11
3.2	Gameserver	12
3.2.1	Softwareaufbau des Gameservers	12
3.2.2	Erweiterung um weitere Spiele	13
3.2.3	Server Kommunikation	14
3.2.4	Zeitlimits für Spieler	15
3.3	Webapp	17
3.3.1	Frontend	18
3.3.2	Backend	19
3.3.3	Reverse Proxy	19
3.4	Gameclient	19
3.4.1	Genereller Aufbau	20
3.4.2	KI Logik	21
3.4.3	Verbindung zum Server	22
3.5	Dame Spiellogik	22
3.6	Netzwerkkommunikation	23
3.6.1	Kommunikation zwischen den Software-Teilen	24
3.6.2	Kommunikation abhängig vom gewählten Spielmodus	25

4	Hardware	27
4.1	Raspberry Pi	27
4.2	Touch Monitor	27
5	Implementierung	28
5.1	Programmiersprachen und Frameworks	28
5.1.1	React.js	28
5.1.2	Node.js	28
5.1.3	Typescript	29
5.1.4	C/C++ Node Addons	29
5.2	Kommunikation	29
5.2.1	Verwendete Technologie	29
5.2.2	Kommunikationsprotokoll des Gameservers	29
5.3	GUI Dame Erweiterung	30
5.4	Verwendete KI-Algorithmen	30
5.4.1	Minimax	31
5.4.2	Minimax Erweiterungen Alpha-Beta-Pruning und Zugsortierung	32
5.4.3	MCTS	32
5.5	Dame Spiellogik Implementierung	33
5.5.1	Der Unterschied zwischen MoveApplier und CheckersRules	33
6	Testing und Simulation	33
6.1	Simulation	33
6.1.1	ELO	34
6.1.2	Aufbau der Simulationsoftware	35
6.1.3	Interpretation der Ergebnisse	35
6.2	Testing	37
6.2.1	Gameserver	37
6.2.2	Gameclient	38
7	Fazit und Ausblick	40
	Anhang	I
A	Anforderungsanalyse	I
A.1	Anwendungsszenario	I
A.2	Anforderungen an die Software	I
A.2.1	Funktionale Anforderungen	I
A.2.2	Nichtfunktionale Anforderungen	II
A.2.3	Zusammenfassung der Anforderungen	III
B	UML Klassendiagramm vom Gesamten Projekt	IV

C	Sequenzdiagramme über die Kommunikation der Komponenten	V
D	Nachrichten Protokoll des Gameservers	VII

Abbildungsverzeichnis

1	DameSpielfeld	3
2	Das Hauptmenü der Anwendung	3
3	Das Auswahlmenü eines Reversi Spieles	4
4	Ein gestartetes Reversi Spiele	4
5	Minimax-Baum mit Spielfeldzustand als Knoten	6
6	Minimax-Baum mit Bewertung der Stellungen	6
7	Ablauf des Iterativen Deepenings	7
8	Gewinn durch Alpha-Beta Pruning	8
9	Beispiel einer Zugsortierung	9
10	Minimax-Baum mit Bewertung der Stellungen	10
11	Die Anwendung als Verteilungsdiagramm	12
12	ClassDiagram	13
13	Das Sequenzdiagramm zum Ablauf der Serververbindung	15
14	ReversiXTGUI	17
15	KIClient	21
16	Das Paket Checkers welches die Spiellogik beinhaltet	23
17	Auswahlmenü	25
18	SequenceDiagram	26
19	Der Aufbau einer Nachricht	30
20	Auswahlmenü	30
21	Ergebnisse der Simulation der .csv Datei	37
22	Beispiel aus den Unit Tests des Gameservers	38
23	UML Klassendigramm aller Komponenten des Projekts	IV
24	UML Sequenzdiagramm von Benuzter gegen Benutzer	V
25	UML Sequenzdiagramm von KI gegen KI	VI

Tabellenverzeichnis

1	Anforderungstabelle	III
---	-------------------------------	-----

I Abkürzungsverzeichnis

1 Einleitung

Das Thema dieser Arbeit ist die Implementierung einer künstlichen Intelligenz für diverse Brettspiele. Dabei soll die resultierende Software auf einem von einem Raspberry Pi gesteuerten Touch-Bildschirm laufen, durch welchen ein Benutzer die künstliche Intelligenz herausfordern kann. Außerdem gibt es die Möglichkeit, sich mit der Hardware über ein mobiles Endgerät wie einem Smartphone zu verbinden, um die KI oder den Spieler, der den Touch-Bildschirm bedient, herauszufordern.

1.1 Motivation

Das Feld der künstlichen Intelligenz ist momentan eines der sich am schnellsten entwickelnden Felder der Informatik. Dabei spielt die Spieltheorie schon seit Anfang eine große Rolle. So bieten klassische Brettspiele wie z. B. Schach, Dame oder Mühle nicht nur eine klar definierte Abstraktion von Problemen der realen Welt, sondern sie können auch von dem Großteil der Bevölkerung verstanden und gespielt werden. Das Meistern einer dieser Brettspiele wird auch oft mit hohem Grad an Intelligenz gleichgesetzt. Viele Algorithmen, die in der Spieltheorie entwickelt wurden, haben sich auch erfolgreich auf andere Felder der Informatik übertragen lassen. Ebenso hat sich die Art, wie Brettspiele gespielt werden, durch das Verwenden von künstlicher Intelligenz auch verändert, da die KI Züge in Betracht zieht, die auf den ersten Blick recht ungewöhnlich und nachteilhaft aussehen, sich aber als extrem stark herausstellen. Diese Arbeit versucht eine künstliche Intelligenz für das Brettspiele Dame zu implementieren.

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Bachelorarbeit soll eine künstliche Intelligenz entwickelt werden, welche das Brettspiele Dame spielen kann. Gegeben ist eine Software, bei welcher man in der Lage ist, das Spiel ReversiXT (Reversi Extreme) gegen eine KI, sowie sich selbst zu spielen. Diese Software soll um einen Game Server, die KI und das neue Spiel in der GUI, erweitert werden. Außerdem soll ein Benutzer in der Lage sein, sich mit seinem Smartphone mit der Hardware zu verbinden, um neue, sowie die alte KI herausfordern zu können.

1.3 Struktur dieser Arbeit

Die Arbeit ist folgendermaßen aufgebaut:

Kapitel 2 befasst sich mit den Grundlagen zu Dame, sowie den verwendeten künstliche Intelligenz Algorithmen. Dabei werden zu Dame auch die Grundregeln der verwendeten Variante erklärt. Bei den KI Algorithmen handelt es sich um die Algorithmen, die in der Arbeit verwendet und miteinander verglichen werden.

In Kapitel 3 werden die Anforderungen, welche gefordert sind, vorgestellt.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die theoretischen Grundlagen, die für das Verständnis dieser Arbeit notwendig sind. Zunächst werden die Grundregeln des behandelten Brettspieles vorgestellt. Darauf folgt eine Erklärung der künstlichen Intelligenz Algorithmen, welche für folgenden Kapitel von großer Relevanz sind. [SR12]

2.1 Dame

Dame ist eines der ältesten Brettspiele, wobei erste Varianten 3000 v. Chr. im irakischen Ur entdeckt wurden, welche sich jedoch stark vom Modernen Dame unterscheiden. Das Dame so wie es Heutzutage bekannt ist, stammt vermutlich vom Spiel Alquerque ab. Da damals nicht jeder ein Spielbrett für Alquerque hatte, wurden die verfügbaren Schachbretter mit den Backgammon Steinen verwendet [Gru85]. Dieses Spiel wurde später mit Regeln wie Schlagzwang erweitert, was zur Entstehung des Heutigen Dame führte. Auch in der Heutigen Zeit gibt es noch hunderte Varianten von Dame welche sich Weltweit unterscheiden.

2.1.1 Varianten des Spieles

Das Spiel Dame so wie es im Deutschsprachigen Raum gespielt wird, findet auf einem 8x8 Schachbrett statt. International wird jedoch ein 10x10-Brett und in der Kanadsichen Dame ein 12x12-Brett verwendet. Normalerweise können Figuren nur Diagonal Ziehen, jedoch gibt es auch Abwandlungen des Spieles wie bei Türkischer Dame, bei welcher Spielsteine horizontal und vertikal gezogen werden können. Das Spiel unterscheidet sich des weiteren durch die Fähigkeiten des Dame-Spielsteins, welcher in einigen Varianten nur eine Feld in beliebige Richtung ziehen darf, in anderen So viel Felder wie möglich. Die Art wie geschlagen ist bei diesen Varianten ebenso anders, so erlauben einige Varianten das Schlagen eines normalen Spielsteines in die Rückwärtsrichtung, andere verbieten jedoch diesen Zug. Außerdem gibt es Spielformen wie Baschni, eine Form der Russischen Dame bei welcher durch schlagen eines Spielesteines, dieser nicht vom Spiel entfernt wird sondern auf den Spielstein der ihn geschlagen hat gesetzt wird. Wird dieser “Turm” aus mehreren Spielsteinen geschlagen, so wird nur der oberste Stein entfernt. Bei der Variante, welche für diese Arbeit verwendet wird, handelt es sich um Internationale Dame, da diese Spielvariante im Vereinssport und Internationalen Wettbewerben verwendet wird. [Dra]

2.1.2 Internationale Dame

In dieser Variante des Spieles wird auf einem 10x10 Brett mit Schachbrett-Muster gespielt. Siehe Abbildung 1. Die Spielsteine sind scheibenförmig und in zwei Farben vorhanden, meist schwarz und weiß und dürfen nur auf den dunklen Feldern des Schachbrettes bewegt werden. Es gibt zwei Arten von Spielsteinen. Normale Spielsteine, welche nur in Richtung des Gegners bewegt werden, aber Rückwärts schlagen dürfen, und Damen, welche in alle Richtungen beliebig viele Felder fahren und schlagen dürfen. Allgemein herrscht Schlagzwang, was bedeutet, dass falls

ein Spieler die Möglichkeit hat zu schlagen, er auch schlagen muss. Spielsteine die geschlagen wurden, werden aus dem Spiel entfernt und nicht wie bei anderen Varianten auf den Schlagenden Spielstein gestapelt. Ein normaler Spielstein wird zur Dame, falls er in die hinterste Reihe des Gegners kommt. Ziel des Spieles ist es, entweder alle Steine des Gegners zu schlagen, oder den Gegner in eine Situation zu zwingen, in der er keine Züge mehr machen kann. [Int]

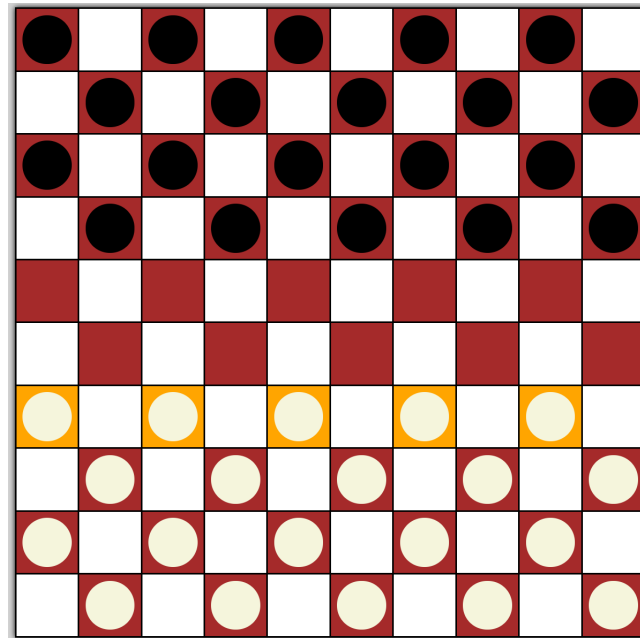


Abbildung 1: Das 10x10 Spielfeld aus der Anwendung

2.2 Die gegebene ReversiXT Applikation

Wie zuvor im Kapitel 1.2 auf Seite 1 erwähnt, ist das Ziel der Arbeit, das Erweitern der ReversiXT Software um das Spiel Dame. Diese Software ist eine auf Webtechnologie basierte Anwendung, welche es dem Benutzer erlaubt das Spiel Reversi zu spielen. Startet man die die Anwendung zum ersten mal wird man vom Hauptmenü begrüßt, siehe Abbildung 2.

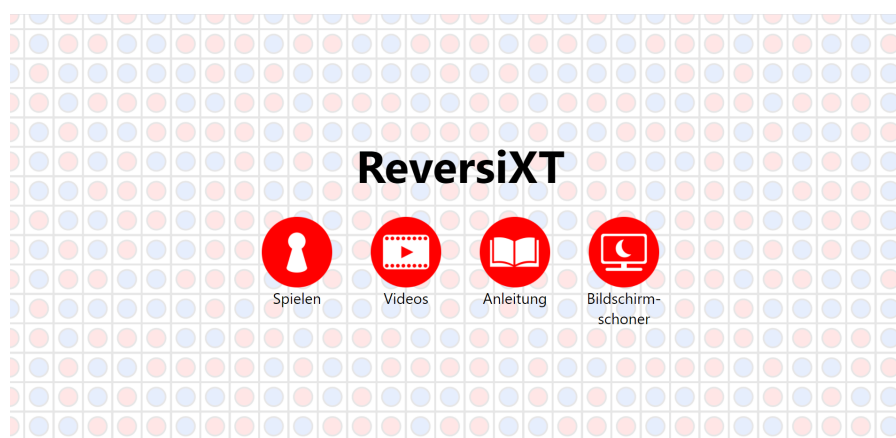


Abbildung 2: Das Hauptmenü der Anwendung

Über dieses Menü kann man entweder den Bildschirmschoner, die Anleitungen, die Videos oder ein Spiel starten. Der Bildschirmschoner zeigt Spiele bei, welchen zwei KIs gegeneinander spielen, oder Videos welche in der Video Kategorie gespeichert sind. Wird Spielen aufgerufen, so wird man auf eine Seite weitergeleitet, welche ein Auswahlmenü zum starten eines Reversi Spieles bietet, siehe 3.

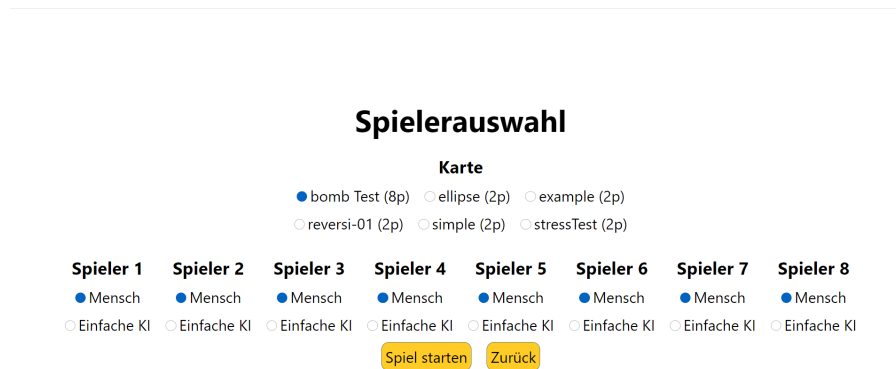


Abbildung 3: Das Auswahlmenü eines Reversi Spieles

In diesem Menü kann der Benutzer aus verschiedenen Karten und Spielern ein Spiel auswählen und starten. Jede Karte hat eine Anzahl an Spieler in Klammern dahinter stehen, so hat “bomb Test (8p)” eine Anzahl von 8 Spielern zur Auswahl. Die Auswahl der Spieler unterscheidet hierbei zwischen “Mensch”, den Benutzer und “Einfache KI”, eine Einfach implementierte Reversi KI. Wird “Spiel starten” gedrückt, wird ein neues Spiel Reversi gestartet und man wird auf eine Seite, die das Spielbrett darstellt weitergeleitet, siehe Abbildung 4.

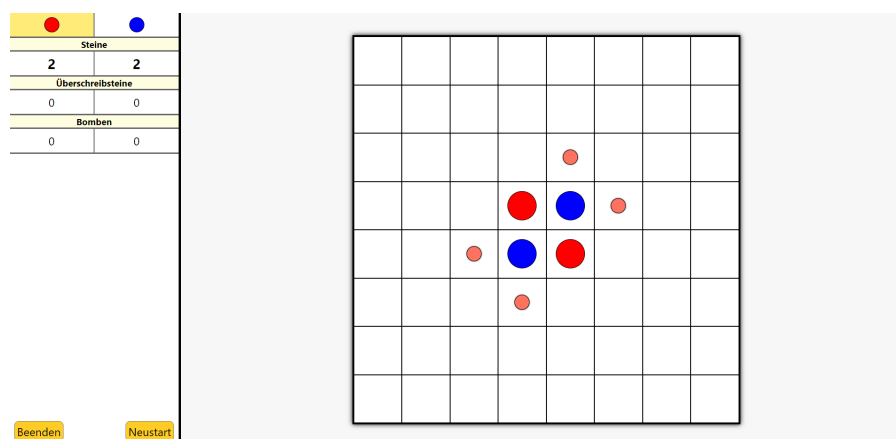


Abbildung 4: Ein gestartetes Reversi Spiele

Die Seite des Spieles ist unterteilt in ein Informationsmenü, welches informationen zum laufenden Spiel darstellt und dem Spielbrett mit dem Momentanzustand des Spieles. Falls der Benutzer an der Reihe ist, kann durch klicken auf das Spielfeld ein neuer Zug ausgeführt werden. Des weiteren bietet das Infomenü eine Möglichkeit das Spiel neuzustarten oder zu beenden.

Hat ein Spieler gewonnen, wird ein Info-Fenster eingeblendet, welches den Benutzer über den Sieger informiert.

2.3 Künstliche Intelligenz Algorithmen

Um ein Brettspiel wie Dame als künstliche Intelligenz abzubilden, gibt es viele mögliche Algorithmen. Diese reichen von Machinelearning bis zu in dieser Arbeit verwendeten Baum-Algorithmen. Baum-Algorithmen bei Brettspielen zeichnen sich dadurch aus, dass diese einen Spielbrettzustand als Knoten abbildet. Dabei hat jeder Knoten einen oder mehrere Nachfolerknoten welche wiederum alle Züge, die aus seiner Stellung gespielt werden können, darstellen. Die Schwierigkeit hierbei ist die Auswahl des besten Pfades zum Sieg und dabei zu beachten, dass die Algorithmen so wenig wie möglich Rechenzeit dafür brauchen.

2.3.1 Minimax

Der Minimax Algorithmus wird verwendet, um einen optimalen Spielzug in Spielen mit perfekter Information, bei zwei Spielern zu finden. Dazu wird eine Baumstruktur verwendet, welche den Zustand des Spielbrettes als Knoten hat, siehe Abbildung 5. Alle Züge, die von einer Stellung aus möglich sind, werden in den Kindknoten des jeweiligen Knotens gespeichert. Der Wurzelknoten beschreibt den momentanen Zustand des Spieles bei dem der Algorithmus aufgerufen wird. Die Blattknoten am Ende des Baumes entsprechen entweder einer Stellung in der das Spiel beendet wurde, oder der Stellung bei einer Tiefe, bei der der Algorithmus aufgehört hat zu suchen. Die Angabe einer Tiefe ist nötig, da Spiele wie Schach oder Dame einen extrem großen Suchbaum zur Folge hätten und das Suchen eines Endzustandes in diesen sehr viel Zeit beansprucht. [MSC82]

Zum Beispiel kann die Abbildung 5 durch den Baum aus der Grafik 6, mit einer Suchtiefe von vier, dargestellt werden. Dabei wird jeder Terminal-Knoten, ein Knoten bei dem das Spiel vorbei ist oder die Endtiefe erreicht wurde (im Beispiel Grün markiert), mit einer Bewertungsfunktion bewertet:

- Normale Figur: +1 für Weiß und -1 für Schwarz
- Dame: +3 für Weiß und -3 für Schwarz
- Spielende: ∞ für Weiß und $-\infty$ für Schwarz

Ein Dreieck mit der langen Seite nach unten, steht für eine Maximierung der Kindknotenwerte, das andere Dreieck für eine Minimierung. Die Bewertungen in den Endzuständen werden nach oben durchgereicht und je nachdem, ob der Elternknoten ein Maximierer oder ein Minimierer ist, bekommt er einen neuen Wert zugewiesen. Im Beispiel kann man sehen, dass egal welche Züge gewählt werden es immer zu einem Materialverlust von Weiß kommt. Würde Weiß die zweite Option wählen, so ist das Spiel nach dem Nächsten Zug von Schwarz schon entschieden und Weiß verliert.

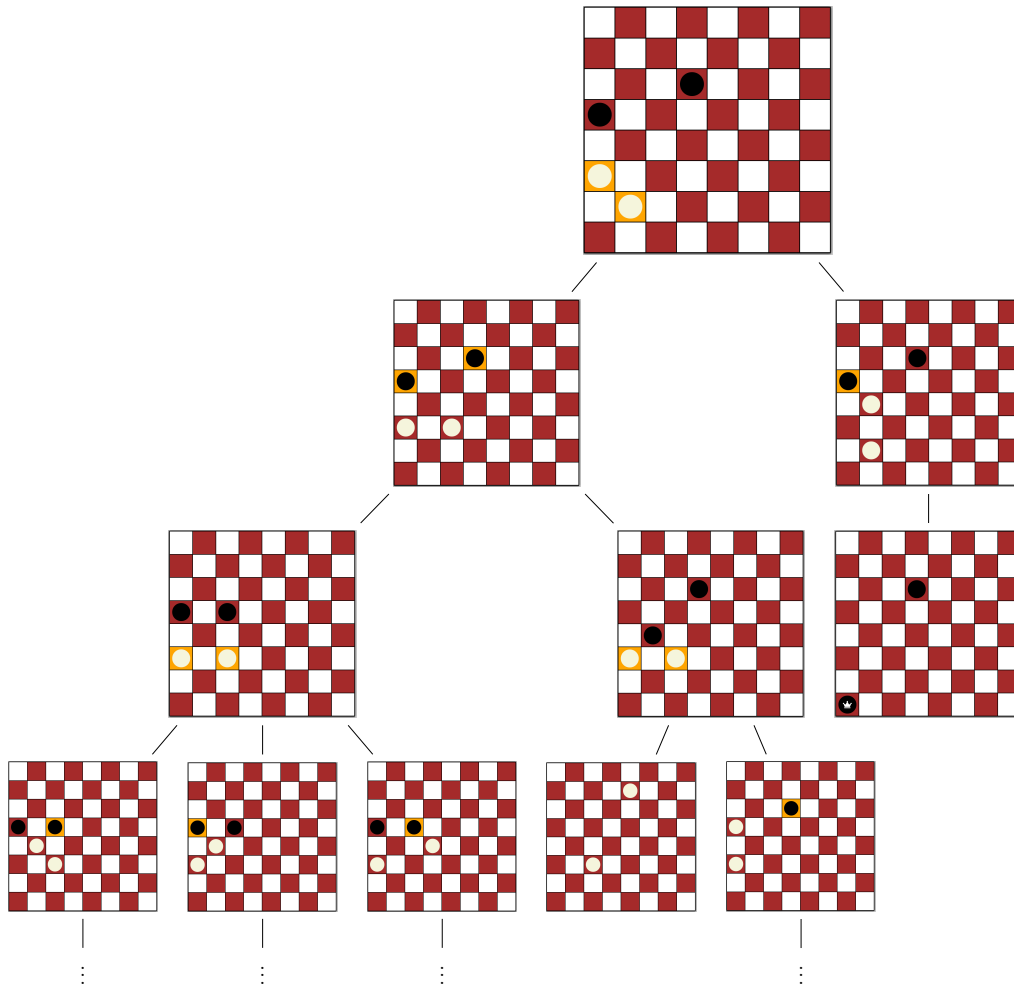


Abbildung 5: Minimax-Baum mit Spielfeldzustand als Knoten

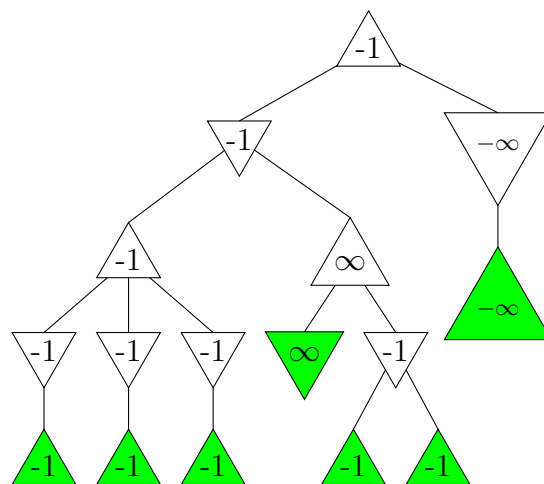


Abbildung 6: Minimax-Baum mit Bewertung der Stellungen

2.3.2 Iterative Deepening

In komplexeren Spielen wie Go, Schach oder Dame ist es wegen des Rechenaufwands sehr schwer, den kompletten Baum von Minimax bis zu den Endzuständen aufzubauen. Deswegen wird in diesen Spielen der Baum nur bis zu einer gewissen Tiefe aufgebaut. Da es aber bei einer gleichen Tiefe für verschiedene Stellungen zu unterschiedlichen Dauern der Suche kommen kann, ist es problematisch eine fixe Suchtiefe anzugeben, vor allem wenn mit Zeitlimits gearbeitet wird. Iterative Deepening hilft hierbei, der Ablauf des Algorithmus ist wie folgt: Zuerst führe Minimax für eine Tiefe von eins aus. Danach, verwirfe alle generierten Knoten des Baumes und starte erneut von Anfang, aber dieses Mal bis zu einer Tiefe von zwei. Dieses verwerfen und neu starten wird so oft wiederholt bis ein Zeitlimit erreicht wird, siehe Abbildung 7. Der letzte aufgebaute Baum, bevor neugestartet wird, wird zwischengespeichert und falls Minimax bis zum Ablauf des Zeitlimits nicht fertig ist, wird die momentane Berechnung verworfen und der letzte gespeicherte Baum verwendet. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass der Rechenaufwand der ersten Tiefen verschwendet wird, da diese Ergebnisse verworfen werden. Jedoch beeinflusst diese verschwendete Rechenzeit nicht die asymptotische Laufzeit des Algorithmus, da die meiste Arbeit in der untersten Tiefe der Suche gebraucht wird. [Kor85].

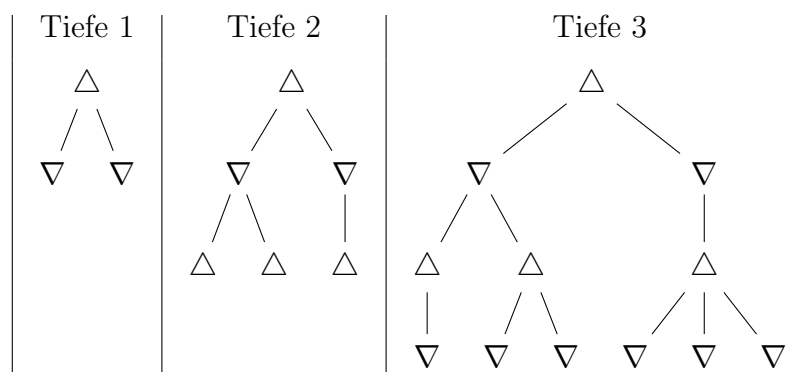


Abbildung 7: Ablauf des Iterativen Deepenings

2.3.3 Alpha-Beta Pruning

Das Alpha-Beta Pruning ist eine Optimierung zum Minimax Algorithmus. Die Idee des Algorithmus ist, dass manche Zweige des Suchbaums nicht untersucht werden müssen, da für den anderen Spieler diese Züge nicht in Frage kommen. Hierbei ist α der Wert für den Spieler, für den die niedrigen Werte besser sind und β für den anderen Spieler. Für jeden Knoten, je nachdem, ob er ein maximierender oder ein minimierender Knoten ist, wird überprüft, ob ein Kind-Knoten, welcher einen neuen Wert erhalten hat, nicht mehr vom Knoten beachtet werden muss. Der Vorteil des Alpha-Beta Prunings zu Minimax ist, dass der verbrauchte Speicher weniger wird, da vom Baum Zweige nicht beachtet werden müssen. Was wiederum zur Folge hat das die Ausführungszeit des Algorithmus schneller ist und gleichzeitig auch dasselbe Ergebnis wie Minimax zur Folge hat. [SPS]

Wenn man Abbildung 5 und 6 als Beispiel nimmt und den Alpha-Beta Pruning Algorithmus anwendet, so kann der Zweig mit dem Wert ∞ ignoriert werden, siehe Abbildung 8. Der gelbe Knoten bekommt eine -1 durch seinen linken Zweig vorübergehend zugewiesen. Da der Knoten des Rechten Zweiges ein Maximierer ist, also immer den Wert des Kindknotens mit dem höchsten Wert nimmt, und dieser bereits einen Knoten mit dem Wert ∞ gefunden hat, wird sein Wert definitiv mindestens ∞ sein. Der restliche rechte Zweig des gelben Knotens kann nun ignoriert werden, da der linke Zweig mit -1 definitiv kleiner sein wird.

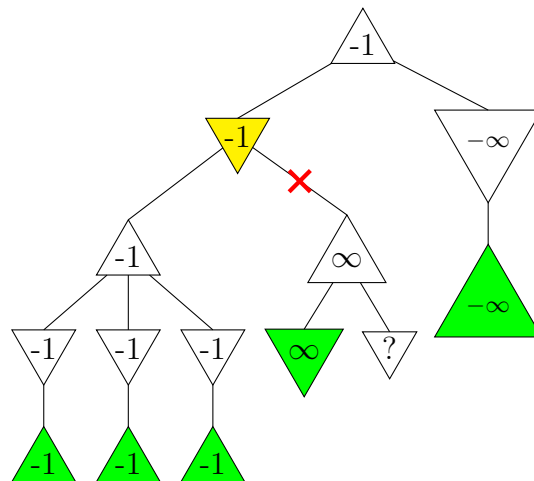


Abbildung 8: Gewinn durch Alpha-Beta Pruning

2.3.4 Zugsortierung

Zugsortierung ist eine Erweiterung zur Alpha-Beta Suche. Da Alpha-Beta Pruning abhängig von der Reihenfolge, in der die Zustände untersucht werden, ist es sinnvoll die Nachfolger zu wählen, welche die besten Werte erbringen. Den besten Nachfolger findet man, in dem man eine weitere Bewertungsfunktion einbaut, die nicht so genau wie die Bewertungsfunktion an den Terminalknoten sein muss. Wenn ein Knoten also alle möglichen Nachfolgezüge als Kinder bekommt, werden auf diese die vereinfachte Bewertungsfunktion angewandt und je nach Ergebnis der Funktion werden die Nachfolger sortiert. Dadurch, dass der beste Zug nun sehr weit am Anfang steht, ist es sehr wahrscheinlich, dass die anderen Züge durch Alpha-Beta Pruning ignoriert werden. [SR12]

Auf der Linken Seite der Abbildung 9 kann man erkennen, dass Alpha-Beta Pruning keinen Effekt auf die beiden gelben Knoten hätte. Ändert man jedoch die Reihenfolge der Knoten, so kann der Knoten mit dem Wert 42 ignoriert werden. Bei der Bewertungsfunktion könnte man die bedrohte Figuren als Faktor haben, um auf dieses Ergebnis zu kommen.

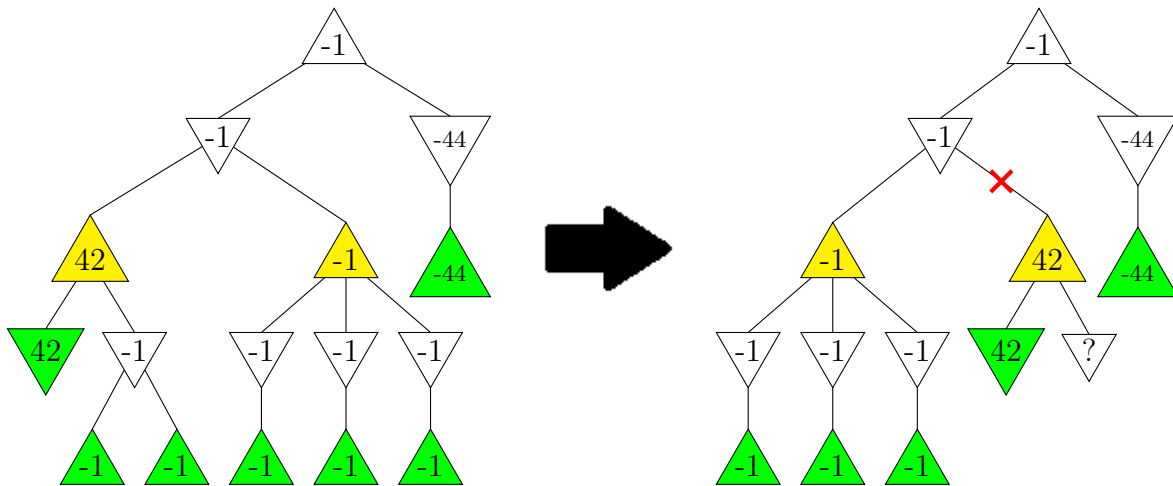


Abbildung 9: Beispiel einer Zugsortierung

2.3.5 Monte Carlo Tree Search (MCTS)

Der Monte Carlo Tree Search Algorithmus, ist ein heuristischer Algorithmus, bei welchem von einem Zustand eines Spieles zufällig endlich viele Simulationen durchgeführt werden. Die Simulation endet, wenn ein Ergebnis des simulierten Spieles feststeht. Das Wiederholen der Simulationen aus verschiedenen Knoten hat zur Folge, dass das Ergebnis immer genauer wird. Am Ende wird der Knoten gewählt, bei dem die Simulationen die besten Ergebnisse für den momentanen Spieler gezeigt haben. Ein Vorteil des MCTS-Algorithmus gegenüber Minimax ist, dass erst am Ende eines Durchlaufs eine Bewertungsfunktion benötigt wird. Allgemein besteht der Algorithmus aus vier Schritten:

- *Selektion*: Versucht wird, einen Zustand zu finden der noch erweiterbar ist, also einen Zustand zu finden, der kein Endzustand ist und noch nicht besuchte Züge hat.
- *Expansion*: Der Spielbaum wird zufällig um einen noch nicht besuchten Zug erweitert.
- *Simulation*: Von dem gewählten Knoten aus wird nun ein Spiel zufällig bis zum Ende simuliert.
- *Backpropagation*: Das Ergebnis der Simulation wird den vorhergehenden Knoten mitgeteilt und diese werden mit diesem aktualisiert.

Da man im Normalfall nicht beliebig viel Zeit hat, alle Möglichkeiten zu simulieren, versucht man die limitierte Zeit so gut wie möglich zu nutzen, um die richtigen Knoten zum Expandieren zu wählen. Dazu wird der *upper confidence bound for trees* (UCT) verwendet. Die UCT Formel lautet:

$$w + c \sqrt{\frac{\log N}{n}} \quad (1)$$

Wobei w die prozentuale Anzahl an Gewinnen des Knotens, N die Anzahl der gesamten Ex-

pansionen und n die Expansionen nur an dem betrachteten Knoten sind. Die Aufgabe der UCT Formel ist das Erreichen von zwei im Konflikt stehenden Zielen. Das erste Ziel ist es die Knoten die bisher die höchsten Chancen auf den Gewinn haben, tiefer zu simulieren, um eine bessere Genauigkeit des besten Zuges zu haben. Das zweite Ziel ist, Knoten die noch nicht sehr oft besucht worden sind genauer zu untersuchen, da diese vielversprechender sein könnten als gedacht. Für die Balancierung der beiden Ziele gibt es den Parameter c [MP19].

Als Beispiel wird die zuvor verwendete Stellung aus 5 benutzt, aus welcher der MCTS-Baum in Abbildung 10 entsteht. „B“ steht für die Siege aus Schwarzer und „W“ für Siege aus Weißen Sicht, nach der Beendigung von 33 Simulationen. Weiß entscheidet sich in diesem Baum für den gelben Knoten, da dieser bei Betrachtung der Gewichtung von Siegen eine höhere Gewinnchance für ihn hat.

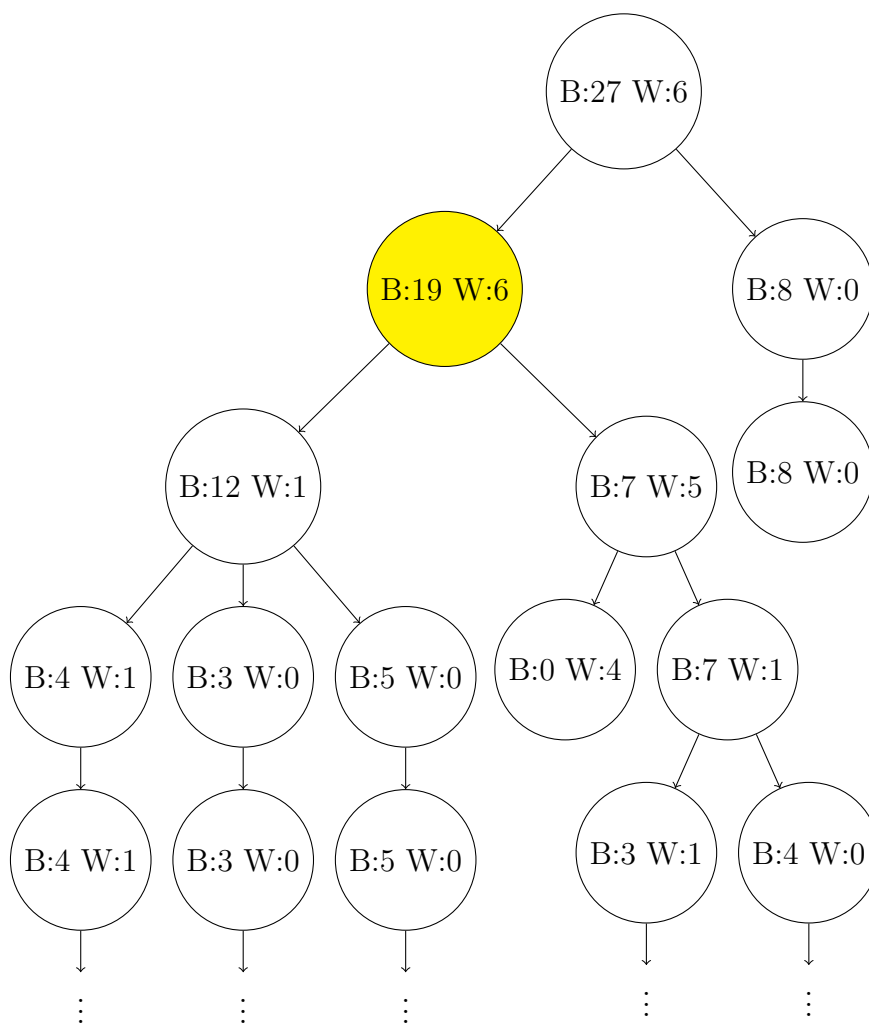


Abbildung 10: Minimax-Baum mit Bewertung der Stellungen

3 Architektur der Software

Dieses Kapitel setzt sich mit der Softwarearchitektur auseinander. Um die Architektur richtig umzusetzen, wird sich an den Anforderungen an die Software orientiert, siehe Kapitel A auf Seite I des Anhangs.

3.1 Überblick

Dadurch, dass es sich bei der ReversiXT Software um ein Projekt handelt, welches bereits eine Implementierung einer Reversi Spieleoberfläche besitzt und um Dame erweitert werden soll, muss die Software Modular und Erweiterbar genug sein, um durch weitere Spiele erweitert werden zu können. Die Voraussetzungen um ein neues Spiel hinzuzufügen, ist das Vorhandensein eines Gameservers, welcher die Spiellogik, den Zustand, sowie die Zugreihenfolge des Spieles verwaltet. Desweiteren wird ein Gameclient benötigt, welcher die KI-Logik zur Berechnung neuer Züge bereitstellt. Bei diesen beiden Komponenten handelt es sich um eigene Anwendungen, was den Vorteil hat, dass sie einfach durch neue Implementierungen ausgetauscht werden können. Möchte man das Spiel Dame um extra Regeln erweitern, welche in anderen Ländern gespielt werden und das Umschreiben des alten Gameservers vermeiden, so kann man ihn einfach durch einen neuen ersetzen, welcher das gleiche Protokoll der Kommunikation unterstützt, jedoch eine andere Implementierung aufweist. Gleiches gilt auch den Gameclient, bei welchem die Softwarekomponente durch eine andere KI ersetzt werden kann, welche zum Beispiel Machinelearning anstatt Graphalgorithmen unterstützt.

In Abbildung 11 ist das Projekt als Verteilungsdiagramm dargestellt. Neben den oben bereits erwähnten Gameserver und Gameclient, handelt es sich bei der Webapp um den Teil der Anwendung, der das Starten und Stoppen der Spiele verwaltet. Der Frontend Teil der Webapp übernimmt die Darstellung der Graphischen Oberfläche der Website. Das Backend ist für die Kommunikation zu den anderen Bestandteilen verantwortlich. Außerdem beinhaltet die Software einen Reverse Proxy, welcher wegen der Anbindung externer Mobilegeräte verwendet wird.

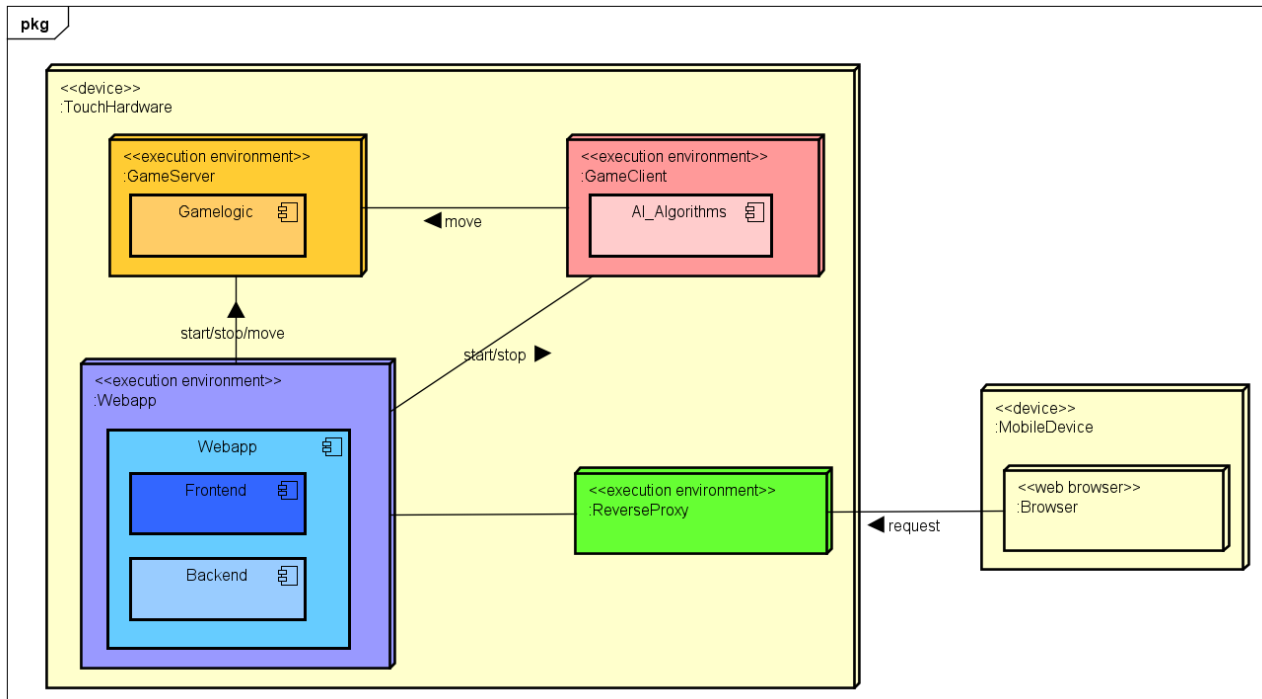


Abbildung 11: Die Anwendung als Verteilungsdiagramm

3.2 Gameserver

Als Gameserver wird der Teil der Software betrachtet, welcher für das einhalten der Spielregeln und die Verwaltung der Spielfeldzustandes, verantwortlich ist.

3.2.1 Softwareaufbau des Gameservers

Die Software des Gameservers ist in zwei Pakete aufgeteilt, in das **Gamerulebook**- und **Serverconnection**-Paket. Der **Serverconnection** Teil ist für die Verbindung und das Dekodieren der Nachrichten der Clients verantwortlich, siehe Abbildung 12. Nachdem ein Client verbunden ist und seine Nachrichten schickt, wird diese dekodiert und falls das Protokoll korrekt eingehalten wird, an den **Gamerulebook** Teil weitergeleitet. Das **Gamerulebook** Paket verwaltet den Spielzustand, sowie die Spielregeln des laufenden Spieles. Das Spielfeld wird in **GameStatus** gespeichert und wird bei neu eintreffenden Nachrichten mit neuen Zügen mit diesen aktualisiert. Bevor ein neu eingetroffener Zug das Spielfeld aktualisiert, wird er erst über die Realisierungen des **GameRules** Interface überprüft. Diese Realisierungen ist im Diagramm durch die Spiele Dame und Mühle dargestellt und befinden sich in den Paketen **Checkers** und **NineMensMorris**. Über den weiteren Inhalt des **Checkers** Paketes wird im Kapitel 3.5 auf Seite 22 berichtet, da es redundant in der Applikation vorzufinden ist und auch für den Gameclient von relevanz ist.

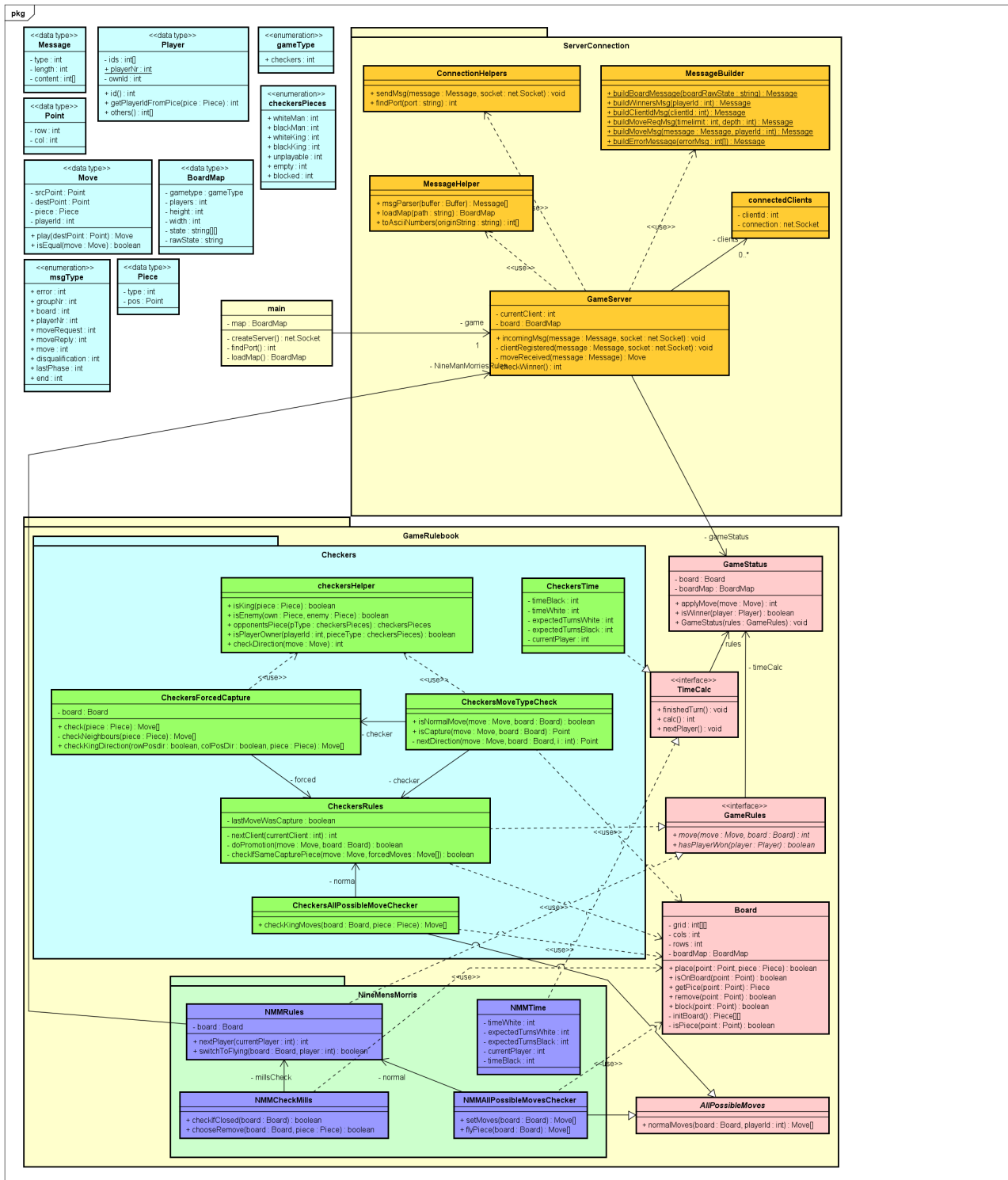


Abbildung 12: Das UML Klassendiagramm des Gameservers

3.2.2 Erweiterung um weitere Spiele

Ein beliebiges Spiel kann mittels des Interfaces **GameRules** zur Anwendung hinzugefügt werden, was dem Gameserver die Eigenschaft gibt um beliebig viele Spiele erweiterbar zu sein, siehe Abbildung 12. Welche Implementierung des Interfaces gewählt wird, wählt der Server

anhand der Spiel-Karte, die an ihn als Übergabeparameter übergeben wird aus. Wird ein neuer Zug registriert, wird abhängig vom Spiel die jeweilig implementierten Methoden `move` und `hasPlayerWon` aufgerufen. Die `move` Methode, übernimmt die Validierung und Aktualisierung des Zuges am Spielbrett und die `hasPlayerWon` Methode wird verwendet, um zu prüfen ob die Voraussetzungen eines Spielendes erfüllt sind. Klassen wie `Board` und `Move` sind vom Spielertyp unabhängig, es muss nur ein bestimmter Typ (wie z.B. `checkersPieces`) für die `Piece` Klasse gewählt werden, um das Spielfiguren auf dem Spielfeld zu repräsentieren.

3.2.3 Server Kommunikation

Für die Kommunikation des Servers ist das zuvor erwähnte Paket `Serverconnection` (Abbildung 12) verantwortlich. Der Ablauf einer Verbindung eines Spieles mit zwei Spielern ist in Abbildung 13 dargestellt. Dieser Ablauf ist unabhängig von der Art des Spieles und immer, also auch für Dame oder Mühle, gleich. Die beiden dargestellten Clients, `Client1` und `Client2` können zwei beliebige Applikationen sein, welche as Selbe Protokoll wie der Gameserver sprechen.

Nachdem der Gameserver gestartet wird, ist das erste was er macht macht in den Wartemodus überzugehen, dabei lauscht er an seinem Port ob sich irgendjemand mit ihm verbunden hat. Nachdem die geforderte Anzahl an Spielern für ein gewähltes Spiel mit `register` verbunden sind, im Beispielfall der Abbildung zwei, startet er ein neues Spiel und sendet eine Zugaufforderung, `moveRequest` an den Spieler der sich zuerst registriert hat. Kommt eine Nachricht mit einer Zugantwort zurück wird der nächste Spieler benachrichtigt, der an der Reihe ist. Dieser Ablauf wird so lange wiederholt, bis zum Spielende, wobei die Spieler über das Resultat, mittels `gameResult`, des Spieles informiert werden.

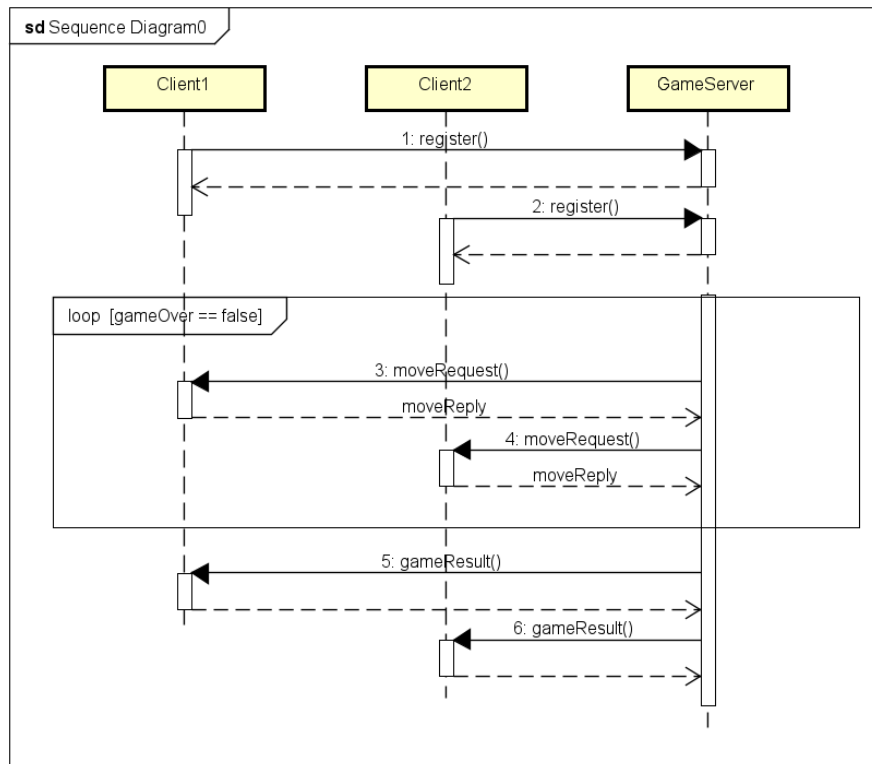


Abbildung 13: Das Sequenzdiagramm zum Ablauf der Serververbindung

3.2.4 Zeitlimits für Spieler

Da in vielen Brettspielen, die auf Wettkampfbasis betrieben werden, Zeituhren verwendet werden, gibt es auch ein Interface `TimeCalc`, welches für die Zeitüberprüfung für der Clients verwendet wird, siehe Abbildung 12 von Seite 13. Vorallem bei Künstlichen Intelligenzen ist eine Zeitüberprüfung notwendig, da eine Verzicht auf ein Zeitlimit zu einer sehr langen Berechnungsdauer führen kann. So kann es sein dass ein Algorithmus wie Minimax mit einer Suchtiefe von 7, bei einfachen Stellungen nur wenige Sekunden braucht, aber bei weitaus Komplexeren Stellungen mehrere Stunden. Das `TimeCalc` Interface behandelt zwei Fälle, den Spielverlust auf Zeit und die Dauer die ein KI für den Nächsten Zug brauchen soll. Der Spielverlust auf Zeit ist relative einfach erklärt, braucht ein Teilnehmer länger als die vorgesehene Zeit, verliert er das Spiel. Die Berechnete Dauer des Nächsten Zuges der KI gibt an wieviel Zeit die KI zur Verfügung hat um ein Ergebnis zu liefern und soll anhand der für den jeweiligen Spieltyp über das Interface `TimeCalc` implementiert werden. So kann anhand des Spielsituation, mehr oder weniger Zeit dem Nächsten Zug zugewiesen werden, z.B. könnte man einer KI in der Eröffnung-Phase mehr und zum Spieleende weniger Zeit geben. Die Entscheidung die Berechnung der KI-Zeit im `GameServer` und nicht im `GameClient` auszuführen hat den Hintergrund, dass zum ersten, die gesamte Zeitberechnung im Server zusammengefasst ist und zum anderen, wenn die Applikation um ein Spiel erweitert wird, kann die Zeitberechnung eines schon implementieren Spieles verwendet werden.

3.3 Webapp

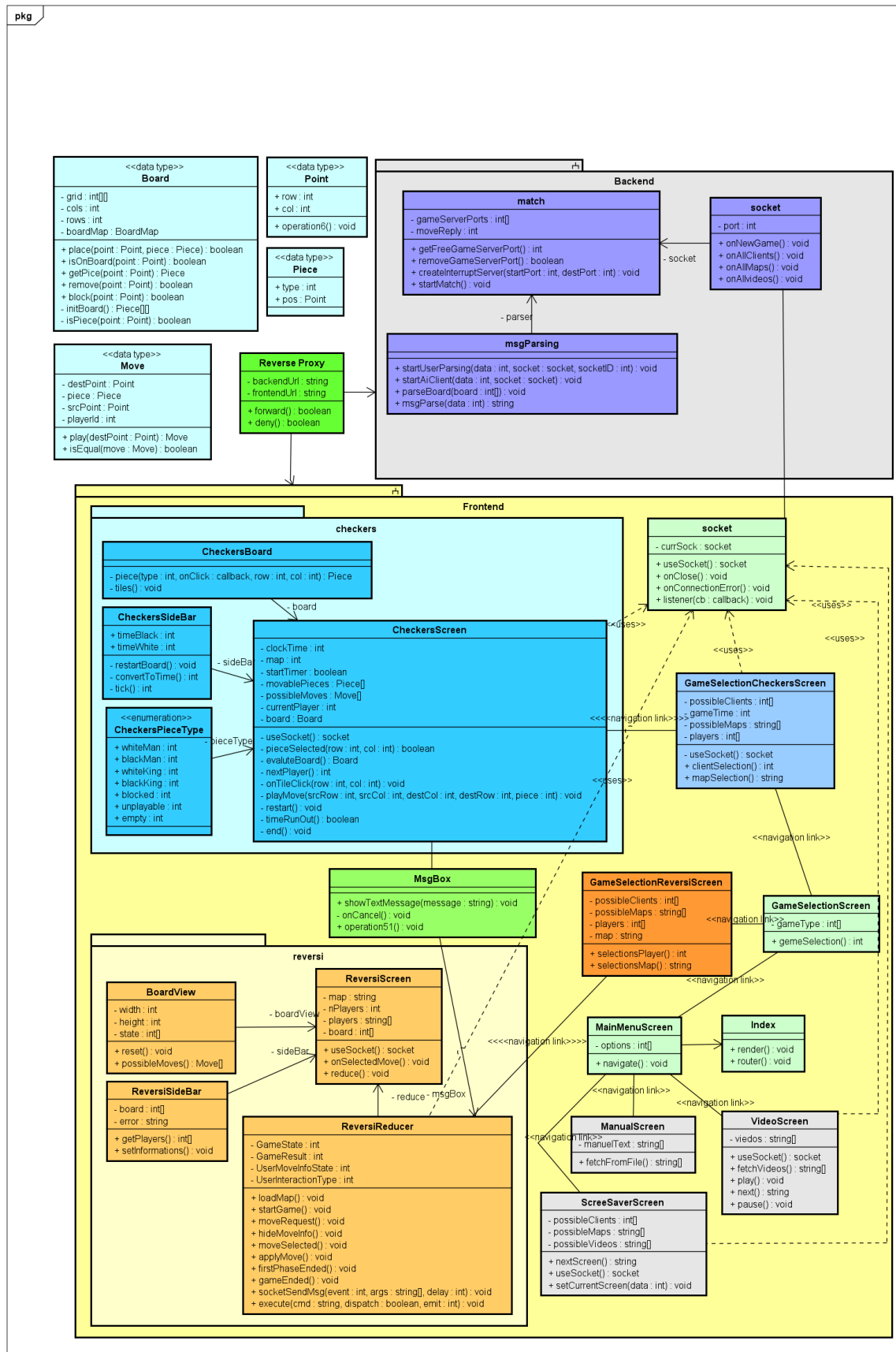


Abbildung 14: Das UML Klassendiagramm der ReversiXT GUI

Die Webapp ist der Teil der Software der für die eigentliche Userinteraktion verwendet wird. User können über die GUI Spiele starten, bei welchen sie gegen KI's oder andere User spielen können. Dabei setzt sich die Webapp aus einem Frontend und einem Backend zusammen, siehe Abbildung 14. Das Frontend wird zur Darstellung der Graphischen Oberfläche (GUI) der Anwendung verwendet. Über Interaktion mit der GUI können Benutzer ein Spiel auswählen und Einstellungen treffen, welche die Spielregeln des Spieles verändern. Wird ein Spiel gestartet, wird ein Spielfeld mit Zugmöglichkeiten geboten, welche es dem Benutzer erlauben Züge auszuführen. Diese Ausgewählten Optionen und Züge werden an das Backend weitergeleitet, welches den Gameserver und Gameclient startet und diese über die Aktionen des Benutzers an der GUI informiert.

3.3.1 Frontend

Das Frontend, in Abbildung 14 als gelbes Paket gekennzeichnet, ist wie schon zuvor erwähnt die GUI Komponente der gesamten Anwendung. Da die Aufgabe dieses Projektes, die Erweiterung der Software um das Spiel Dame ist, wird die Struktur des Frontendes übernommen und durch weitere Menüs, sowie dem Spielfeld erweitert. Dabei bleibt der vorhandene Teil der Software gleich und aus Sicht der Architektur nicht weiter beschrieben.

Die erste Veränderung ist das Einbauen eines neuen Menüs, über welches das Spiel ausgewählt werden kann, in Abbildung 14 handelt es sich hierbei um die Klasse **GameSelectionScreen**. Vorher wurde über den Menübutton "Spielen" direkt das Auswahlmenü **GameSelectionReversiScreen** (siehe Abbildung 2 und 3 auf Seite 3) zum Konfigurieren eines Reversi Spieles erreicht, nun soll der **GameSelectionScreen** davor geschaltet sein. Dieses weitere Menü beinhaltet nun Möglichkeiten nur Navigation, zu allen weiteren Spielen. Würde man das Projekt um ein weiteres Spiel erweitern wollen, so müsste man lediglich eine weitere Option zum **GameSelectionScreen** hinzufügen und der eigentliche Spielfeldaufbau und Spielfluss kann in ein weiteres eigenes Paket hinzugefügt werden welches nur über dieses Menü erreichbar ist.

Um das Spiel Dame konfigurieren zu können, also ob Benutzer oder KI antreten soll und welche auf welcher Karte gespielt wird, gibt es ein eigenes Menü, in welchem diese Einstellungen vorgenommen werden können. **GameSelectionCheckersScreen** beschreibt genau dieses Menü und bietet die Schnittstellen zum **Checkers** Paket, welches die Darstellung des eigentlichen Spieles beinhaltet. Wichtig ist hier noch zu erwähnen, dass das **GameSelectionCheckersScreen** Menü über die **Socket** Klasse direkten Zugriff auf das Backend hat. Über diesen Zugriff werden nachdem alle Einstellungen getroffen sind und ein Spiel gestartet wird, jeweils die anderen Komponenten der Software wie Gameserver und Gameclient gestartet. In Kapitel 3.6.2 auf Seite 25 wird nochmal genauer auf wann welche Komponente gestartet wird eingegangen.

Das Paket **Checkers** setzt sich aus dem **CheckersBoard** dem eigentlichen Spielfeld und **CheckersSideBar** den Informationen zum laufenden Spiel zusammen. Das **CheckersBoard** ist abhängig von der gewählten Karte und passt seine Form und Größe der Karte an. Jeder Zug der auf dem Spielfeld ausgeführt wird, muss an die **CheckersScreen** Klasse geschickt werden, welche dann die Informationen ans Backend weitergibt. Die **CheckersSideBar** verwaltet Informationen wie Zeit-

limits und Spielerfarben. Ist ein Spiel zuende, oder ein Fehler tritt auf, wird die Klasse `MsgBox` benötigt, über diese Klasse werden Spielinformationen, welche das Spiel beenden dargestellt.

3.3.2 Backend

Das Backend, in Abbildung 14 als graues Paket dargestellt, verwaltet die Kommunikation zu den anderen Komponenten der Anwendung. Es ist eine eigene Anwendung, welche parallel zum Frontend läuft und mit diesem über seine `socket` Klasse kommuniziert. Die Besonderheit liegt hierbei auf der `match` Klasse, welche verwendet wird um ein Spiel zu verwalten. Diese Klasse startet abhängig von der gewählten Einstellung Gameserver und Gameclient und verbindet sich mit beiden, das Kapitel 3.6.2 auf Seite 25 erläutert dies im Detail. Spielzüge aus dem Frontend werden somit an den Gameserver weitergeleitet und Züge die von anderen Komponenten an den Gameserver geschickt wurden und von diesen angenommen sind, kommen zurück zum Frontend. Da der Gameserver, der Gameclient und das Backend die gleiche Codierung benutzen müssen um Nachrichten austauschen zu können, wird die Klasse `msgParsing` Dekodieren und Encodieren der Nachrichten benötigt.

3.3.3 Reverse Proxy

Eine der Anforderungen ist, dass es für den Benutzer möglich sein muss, sich mit einem Mobilegerät an die Software zu verbinden und als Spieler eine Dame Partie spielen zu können. Diese Mobilerverbindung muss sicher gehalten werden, wodurch nur bestimmte Anfragen an die Anwendung durchgelassen werden. In Abbildung 14 ist der Reverse Proxy in grün dargestellt.

Ein Reverse Proxy wird verwendet um Anfragen an den Server weiterzuleiten und die geforderten Ressourcen an den Client zurückzuschicken. Dabei bleibt die wahre Adresse des Servers dem Client verborgen, da dieser nur über den Reverse Proxy mit dem ihm kommunizieren kann. Erhält der Proxy eine Anfrage, welche der Nutzer nicht stellen darf, so verweigert er den Zugriff auf den Server.

Da die Architektur der Software für eine Web Anwendung gedacht ist und der Nutzer extern mit seinem Mobil Gerät auf die Website zugreift, muss dieser über diese Website auf das Backend der Webapp zugreifen, um Daten wie Züge holen zu können. Da über die Webanwendung am Server, immer wenn ein Spiel ausgewählt wird ein Gameserver gestartet wird, könnte ein böswilliger mit einem selbstgeschriebenen Programm, welches das Protokoll des Servers einhält beliebig viele Gameserver starten und somit die Anwendung zum Absturz bringen. Der Proxy ist eine Absicherung, dass der Benutzer sich nicht direkt auf das Backend ohne Website verbinden kann und somit keinen Unfug auf dem Server anstellen kann.

3.4 Gameclient

Der Gameclient beinhaltet die Logik der Künstlichen Intelligenz der Applikation. Wird ein Spiel gegen einen Gameclient gewählt, so wird dieser gestartet und agiert als Gegenspieler zum User. Der User kann auch ein Spiel bei welchem zwei KI's gegeneinander spielen starten, wodurch zwei

Clients gestartet werden. Da im Projekt mehrere verschiedene KI-Algorithmen implementiert sind, ist auch hier eine Modulare Architektur wichtig.

3.4.1 Genereller Aufbau

Der Gameclient besteht aus drei Paketen, **CheckersAiLogic**, **Checkers** und **Server**, siehe 15. In **Checkers** befindet sich die Spilelogik, welche einen Momentanzustand des Spielbrettes, sowie Möglichkeiten dieses nach belieben zu modifizieren beinhaltet und ist in Kapitel 3.5 genauer erklärt, da es sich um das gleiche wie im Gameserver verwendete Paket handelt. Für die Verbindung zum Gameserver wird das **Server**-Paket gebraucht, eingehende Nachrichten sowie ausgehende werden hier übertragen. Der Kern des Clients befindet sich in **CheckersAiLogic**, hier befinden sich die Algorithmen welche zur Berechnung von neuen Zügen benutzt werden.

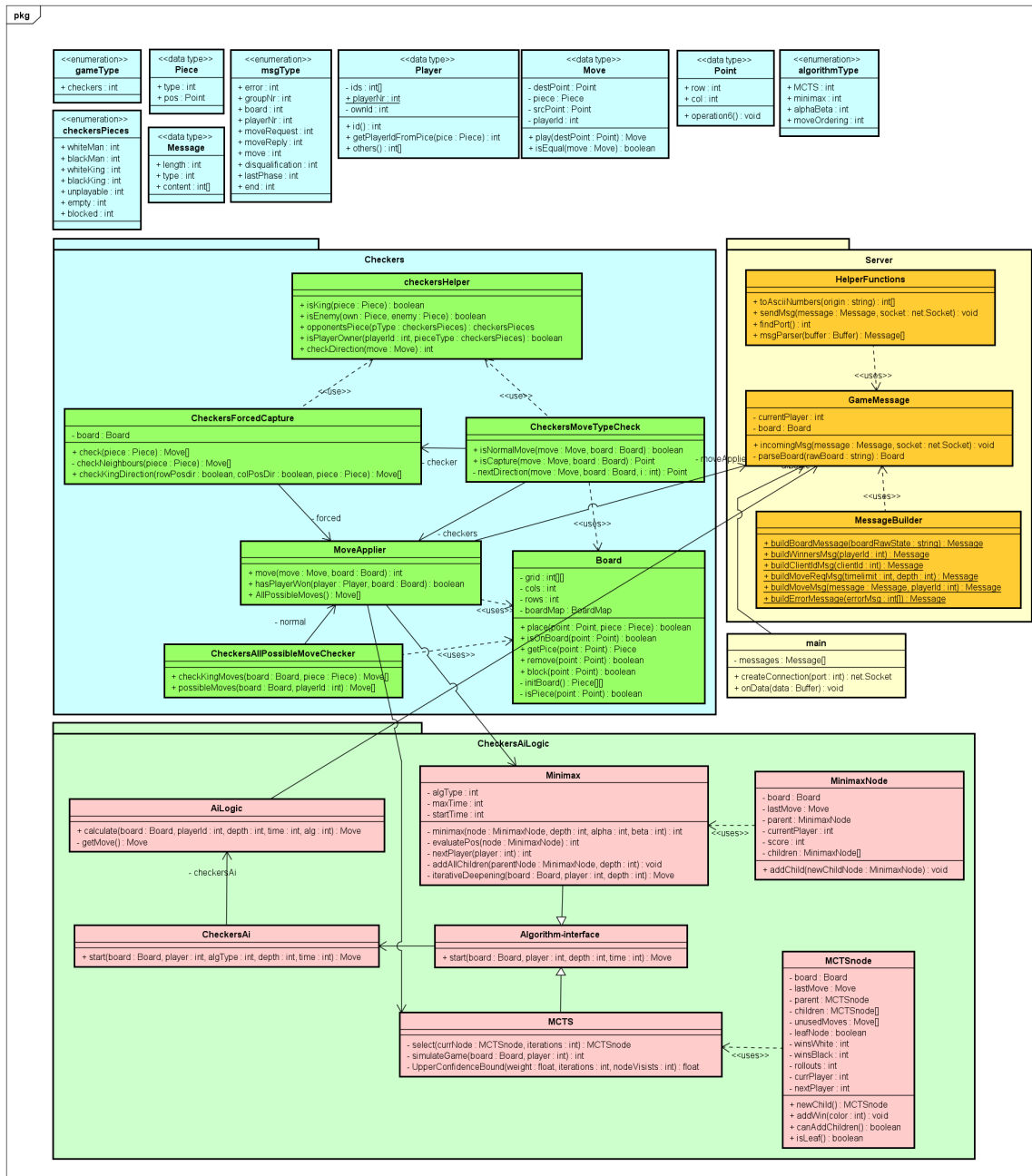


Abbildung 15: Das UML Klassendiagramm des KI Clients

3.4.2 KI Logik

In Abbildung 15, erkennt man das in grün eingefärbte Paket **CheckersAiLogic**, welches für die KI Logik der Applikation verantwortlich ist. Jeder KI-Algorithmus der zur Applikation hinzugefügt wird, muss das **Algorithm-interface** implementieren, die Methode **start** ist dabei für die Berechnung verantwortlich. Die Grundvoraussetzung die dabei jeder Algorithmus bekommt, ist das Spielfeld, der Spieler der am Zug ist, die Tiefe und die Zeit wie lange gesucht werden darf. Als Ergebnis wird ein Zug erwartet, welcher aus Sicht der KI der Beste Zug in der jeweiligen Stellung ist. Dadurch ist es möglich die Applikation durch beliebig weitere

Algorithmen, wie Deeplearning, einfach zu erweitern. Viele KI-Algorithmen brauchen, damit sie neue Stellungen evaluieren, oder aus einer Stellung anderen Stellungen simulieren können eine Möglichkeit um das Spielfeld mittels Züge verändern zu können. Die Klasse **MoveApplier** aus dem **Checkers** Paket, erreicht genau dieses Vorhaben, indem sie es erlaubt Züge auf einem Spielfeld auszuführen, sowie alle Züge die aus einer Stellung heraus möglich sind anzuzeigen. In der zuvor erwähnten Abbildung sind auch zwei dieser Algorithmen zu sehen, dabei handelt es sich um Minimax und MCTS. Da diese beiden Algorithmen zu den Baum-Algorithmen gehören, haben beide ihre “Node”-Klassen. Dabei ist die Klasse eine Beschreibung der Knoten des Baumes, welcher im Laufe der Berechnung aufgebaut wird. Zur Auswahl der Algorithmen, findet man die Klasse **AiLogic** vor, welche eine Auswahl der verschiedenen Algorithmen bietet. Die Besonderheiten dieses Paketes befinden sich in der Implementierung, welche in Späteren Kapiteln genauer erläutert wird (Kapitel 5.4 auf Seite 30).

3.4.3 Verbindung zum Server

Das Paket **Server** aus Abbildung 15 ist zur Verbindung mit dem Gameserver gedacht, dabei spricht es das vom Gameserver geforderte Protokoll. Die genauen Details des Protokolls werden durch die Klasse **MessageBuilder** versteckt, welche statische Methoden anbietet Nachrichten zu generieren. **GameMessage** ist die Zentrale Komponente zur Kommunikation, hier werden Nachrichten encodiert und decodiert und je nach Nachrichteninhalte Züge mittels des **CheckersAiLogic** Paket generiert.

3.5 Dame Spiellogik

Die Spiellogik für Dame ist in mehrfach in der Anwendung vorfindbar. Zum einen um Züge im KI-Client zu testen und zum anderen für den Gameserver, zur Überprüfungen und Aktualisierung der Züge. In den Abbildungen 15 auf Seite 21 und 12 auf Seite 13 befindet sich die Spiellogik im Paket **Checkers**. Diese Redundanz ist wichtig, da es sich beim Server und Client um eigenständige Prozesse handelt und diese nicht die gleiche Code-Basis haben. Eine Möglichkeit diese Redundanz zu vermeiden wäre, die Validierung in den Gameserver zu verschieben und dem Gameclient zu zwingen, dass jeder Zug von Gameserver validiert werden muss. Dies erhöht aber die Netzwerkkommunikation und verlangsamt das Finden eines Zuges, durch den daraus entstehenden Overhead.

In Abbildung 16 zeigt die Spiellogik vom Paket **Checkers** unabhängig von der Applikation in der es verwendet wird. Die Hauptklassen der Spiellogik sind, die **Board**-, **Move**- und **Player**-Klasse. Dabei hält die **Board**-Klasse die Information über das aktuelle Spielbrett, sowie Methoden um Spielsteine auf dem Spielbrett zu entfernen, oder zu bewegen. Die **Move**-Klasse dient zum repräsentieren eines Zuges, sie besteht aus dem Ursprungspunkt, den Zielpunkt, dem Spieler der den Zug getätigt hat und um welchem Spielstein es sich handelt.

Die Klassen **CheckersForceCapture** und **CheckersAllPossibleMovesChecker**, sind Klassen zum Finden von aller möglichen Züge die aus einer Stellung heraus gespielt werden können. Dabei ist **CheckersForceCapture** verantwortlich für Züge bei denen ein Spieler gezwungen

wird eine Figur zu schlagen und **CheckersAllPossibleMovesChecker** für alle Züge die keinen Schlagzwang haben. Die Aufteilung in zwei Klassen hat den Hintergrund, dass falls es sich um einen Schlagzwang handelt, braucht die **CheckersAllPossibleMoves**-Klasse nicht erzeugt werden um Züge zu finden. Um einen von der Netzwerkkommunikation eingehenden Zug zu überprüfen, werden die Methoden der **CheckersMoveTypeCheck**-Klasse verwendet. Sie vergleichen einen gegebenen Zug, den zum Beispiel der Benutzer getätigt hat, mit den Zügen die aus **CheckersForceCapture** und **CheckersAllPossibleMovesChecker** hervorgehen. Dieses Vergleichen ist sehr wichtig für den Gameserver, da alle Züge die von den Clients kommen valide sein müssen. Im Gameclient wird das Vergleichen nur als Extravalidierung verwendet um den gesendeten Zug aus dem Gameserver nochmal zu überprüfen und so Fehler zu minimieren. Das Anwenden und Validieren eines Spielzuges auf das Spielbrett wird mittels der **MoveApplier**-Klasse im Gameclient und mit der **CheckersRules**-Klasse im Gameserver getätigt. Beide verfolgen im Prinzip das selbe Ziel, der Unterschied wird im Implementierungskapitel 5.5.1 auf Seite 33 erklärt.

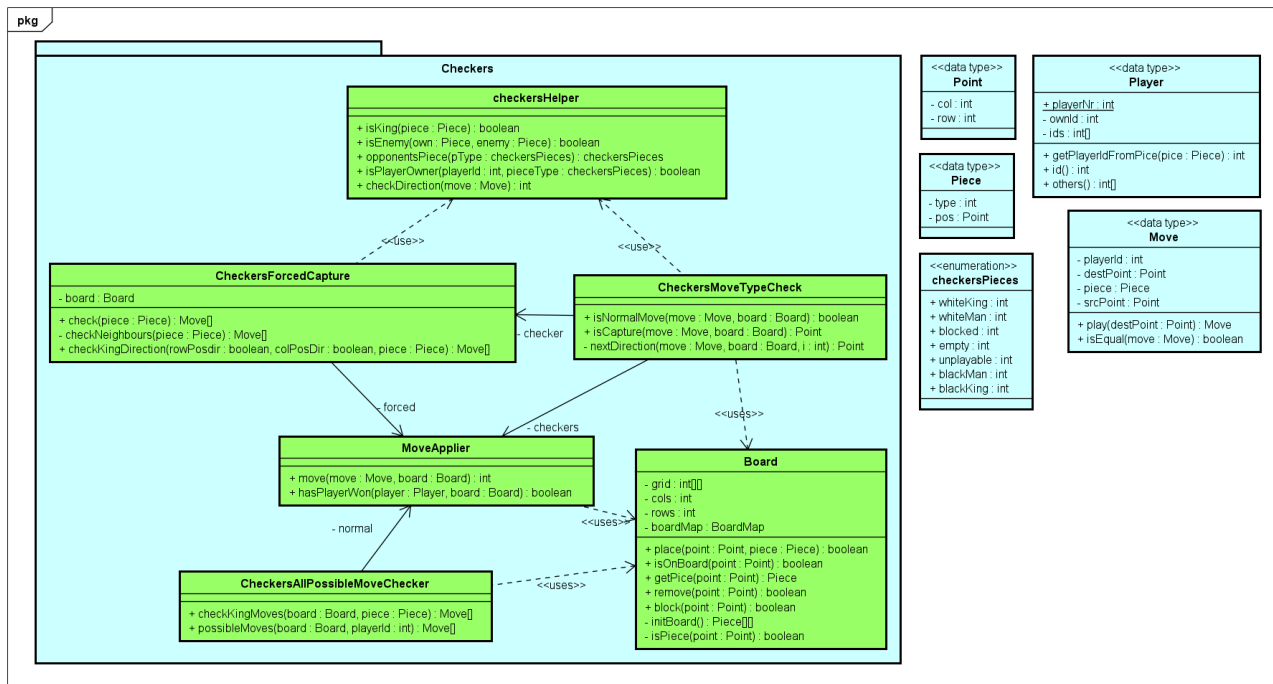


Abbildung 16: Das Paket Checkers welches die Spiellogik beinhaltet

3.6 Netzwerkkommunikation

Durch das Aufteilen der Anwendung in mehrere ausführbare Programme, teilen sich die Programme keinen gemeinsamen Quellcode und laufen parallel zueinander. Dies hat zur Folge, dass eine Netzwerkkommunikation zwischen den Programmen erforderlich ist, um den Ablauf zu regulieren.

3.6.1 Kommunikation zwischen den Software-Teilen

Die Kommunikation zwischen den drei Anwendungen ist in Abbildung 17 auf Seite 25 als Komponentendiagramm dargestellt. Dabei ist die gelbe Komponente der Gameserver, die blaue die Webapp, die rote der Gameclient und die grüne der Reverse Proxy. Der dunkelblaue eingefärbte Teil der Webapp, beinhaltet das Frontend, also die Graphische Oberfläche (GUI) der Anwendung. Die hellblauen Komponenten, beschreiben das Backend.

In der Kommunikation zwischen den Backend und dem Frontend der Webapp Komponente, werden Züge über das `incomingMove` Interface des Backends an das Frontend weitergereicht. Züge die von der Grafischen Oberfläche aus gespielt sind, kommen über das Interface `sendInstructions` an das Backend. Dieses Interface wird außerdem verwendet um Befehle wie starten und stoppen eines Spieles zu übermitteln. Die Webapp Komponente hat zwei Ports nach Außen, welche Nachrichten an das Backend weiterreichen. Der erste Port übernimmt alle Nachrichten, die mit Zügen in Verbindung stehen. So werden alle Züge die vom Gameserver angenommen werden und als Broadcast an alle Teilnehmer weitergegeben werden, sowie die Züge die aus dem Frontend heraus gespielt über diesen Port übertragen. Der zweite Port übernimmt das starten und stoppen des Gameservers und des Gameclients. Neben den Oben genannten Verbindungen des Gameservers, hat dieser außerdem eine Verbindung zum Gameclient. Über diese Verbindung werden Züge, die von der KI des Gameclients berechnet werden an den Gameserver gesendet.

Will sich ein Smartphone mit der Anwendung verbinden, so werden alle Anfragen an Frontend oder Backend der Webapp vom Reverse Proxy abgefangen und nach Überprüfung an diese Schnittstellen weitergegeben.

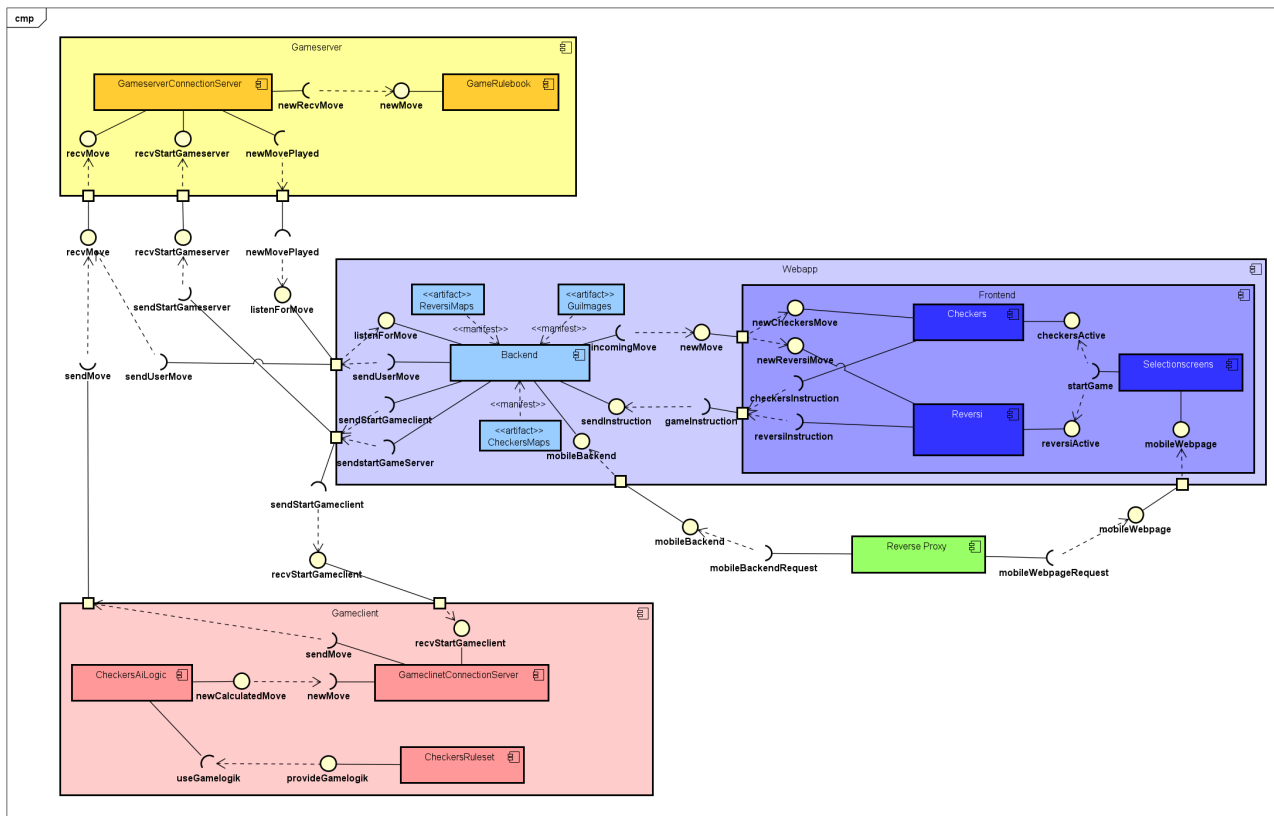


Abbildung 17: Die gesamte Anwendung im UML Komponentendiagramm

3.6.2 Kommunikation abhängig vom gewählten Spielmodus

Da die Applikation mit mehreren Spielmodi ausgestattet ist, ändert sich die Kommunikation und welche Komponente gestartet werden muss, abhängig vom Modus. Die verfügbaren Spielmodi sind:

- Benutzer gegen Benutzer
- Benutzer gegen KI
- KI gegen KI

Egal welche Option gewählt wird, der Gameserver wird immer gestartet, da dieser die Züge überprüft und Sieg oder Niederlage auswertet. Bei Benutzer gegen Benutzer wird die KI Komponente der Software nicht gestartet, es kommuniziert die GUI-Komponente direkt mit Gameserver. Wird sich für zwei KI Clients die gegeneinander spielen entschieden, so werden auch zwei gestartet. Die Kommunikation findet nur mehr von Gameserver mit den beiden KI-Clients statt, jedoch hat die GUI-Komponente eine Man-in-the-Middle-Funktion wodurch sie die Kommunikation abhört und die gespielten Züge darstellen kann. Das Szenario, welches den meisten Nutzen hat, ist das Spielen einer KI gegen den Benutzer.

Abbildung 18 stellt ein UML Sequenzdiagramm dar, bei welchem ein Benutzer gegen die KI spielt. Zuerst startet der Benutzer über die GUI mit dem Spielmodus ein Spiel, dadurch wird der

Gameserver gestartet, sowie ein Gameclient. Würde man stattdessen KI gegen KI als Parameter mitsenden würden zwei Gameclients gestartet werden. Der Gameserver wartet währenddessen bis zwei Spieler bei ihm registriert haben. Ist die Registrierung abgeschlossen, werden Züge abwechselnd von den Clients angefordert, bis ein Spieler gewonnen hat.

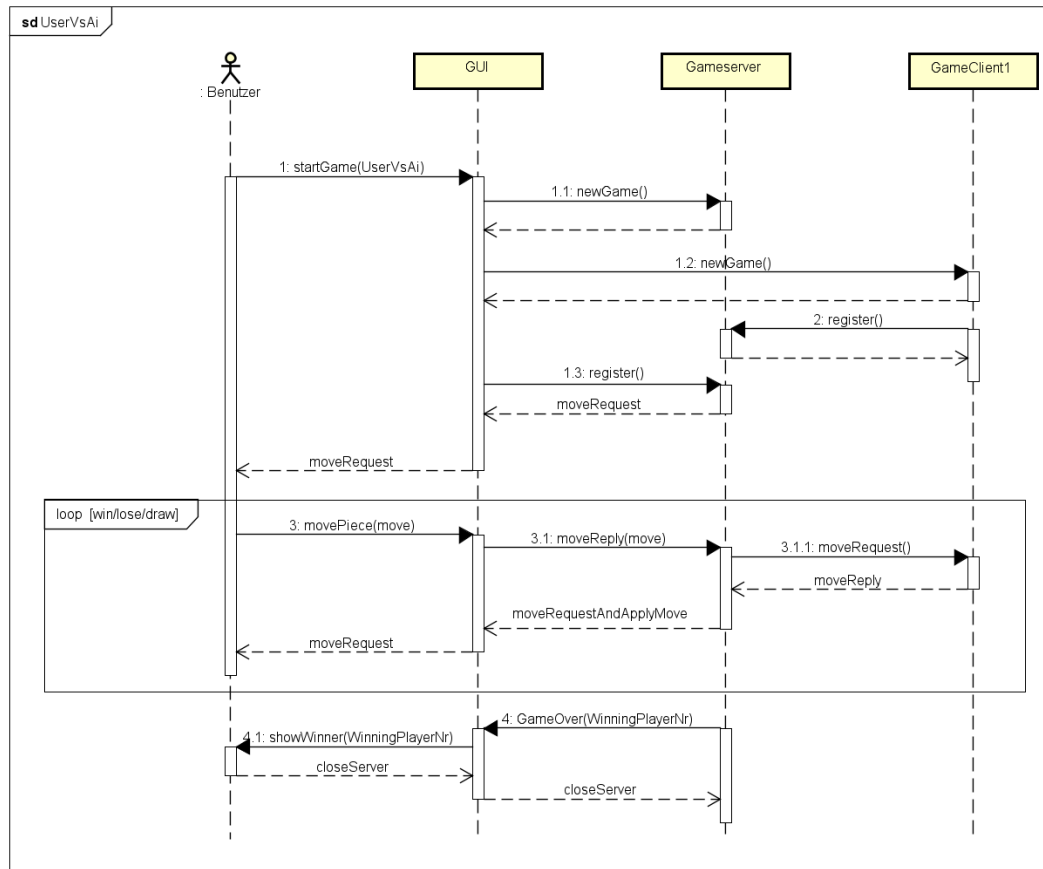


Abbildung 18: Das UML Sequenzdiagramm der Kommunikation von KI gegen Benutzer

Die Sequenzdiagramme für die Fälle KI gegen KI und Benutzer gegen Benutzer sind im Anhang im Kapitel C der Seite V zu finden.

4 Hardware

Dieses Kapitel handelt von der verwendeten Hardware für welche die Software erstellt worden ist. Die Ursprüngliche Idee des Projektes ist, einen Vorzeigegegenstand für Messen, wie den Tag der Informatik, zu haben. Um dies zu realisieren, besteht das Projekt aus einen Touchscreen, welcher in einem Tischförmigen Gerüst verankert und mit einen Raspberry Pi verbunden ist.

4.1 Raspberry Pi

Die Software wird auf einen Raspberry Pi Model 3 ausgeführt. Bei dem Betriebssystemen handelt es sich hierbei um Raspbian, ein auf Debian Basiertes Linux Betriebssystem. [Ras] Da die Software auch mit anderen Betriebssystem kompatibel ist, könnte man den Pi durch ein beliebig anderes Gerät ersetzen, dass entweder Linux oder Windows unterstützt. Der Raspberry Pi ist jedoch anhand seiner Kosten und Größe perfekt für das Projekt, da er in das Gerüst passt.

4.2 Touch Monitor

Die Bedienung der Benutzeroberfläche erfolgt hauptsächlich mit dem Touchscreen, jedoch kann die Software auch auf normalen Monitoren ausgeführt werden. Der Touch Monitor ist ...Eingaben können entweder durch Berührung des Touchscreens mit dem Finger, oder mit einer klassischen Computermouse ausgeführt werden. Für Texteingabe, kann entweder das integrierte Softwarekeyboard, oder eine normale Tastatur verwendet werden.

5 Implementierung

5.1 Programmiersprachen und Frameworks

Da die Software aus Mehreren individuellen Applikationen besteht, werden auch verschiedenste Programmiersprachen und Frameworks für diese verwendet. Im Folgenden werden alle Programmiersprachen und Frameworks die Verwendung finden erklärt.

5.1.1 React.js

Um die Software so kompatibel wie möglich zu gestalten, basiert die Software auf Webtechnologie. Dies bedeutet, jedes Endgerät, welches einen neuen Internetbrowser unterstützt kann die Software zu einem Teil ausführen. Da eine Webseite in reinen Javascript, HTML und CSS zu schreiben viel Aufwand benötigt, wird ein Framework wie React.js verwendet. Bei React handelt es sich um eine Javascript Library zum Erstellen von Benutzeroberflächen. Die Vorteile von React zu reinem Javascript sind:

- Einfach Dynamische Websites zu entwickeln
- Wiederverwertbare Komponenten
- Methoden und Markup gehören zusammen
- Funktionale Programmierung mit pure functions

Vor allem das erleichterte Erstellen von dynamischen Websites ist vorteilhaft, da die Benutzeroberfläche während ein Spiel gespielt wird, dynamisch gehalten werden muss. Im klassischen Javascript muss das Document Object Model (DOM), mühsam verändert werden. Diese DOM-Manipulationen sind sehr fehleranfällig und können Memoryleaks verursachen. React sitzt hingegen zwischen Komponenten und dem DOM und übernimmt die komplette DOM-Manipulation. Das Verwenden von Komponenten ist auch vorteilhaft, da zum Beispiel einzelne Spielfiguren als Komponenten festgelegt werden können und so Code mehrfach eingespart werden kann. [Rea].

5.1.2 Node.js

Der Gameserver, der Gameclient und die Serverlogik der GUI, sind mit Node.js implementiert. Node.js ist eine asynchrone ereignisgesteuerte Javascript-Laufzeitumgebung, welche Javascript-Code außerhalb des Webbrowsers ausführen kann. Node.js wird hauptsächlich zur Programmierung von Netzwerkanwendungen, wie Webservern verwendet. Da ein Großteil der Anwendung die Kommunikation der einzelnen Komponenten ausmacht, ist Node.js perfekt für dieses Szenario. Ein weiterer Vorteil von Node ist, dass Node.js unabhängig vom Betriebssystem ist. Dies bedeutet, kann die V8 Javascript-Laufzeitumgebung auf dem Betriebssystem ausgeführt werden, so kann man auch die Node-Applikation dort zum Laufen bringen. [Noda]

5.1.3 Typescript

Node.js wird eigentlich in reinem Javascript geschrieben, jedoch leidet Javascript darunter, dass es keine Typisierung hat und sich somit leicht Fehler einschleichen können. Typescript ist eine auf Javascript basierende Programmiersprache, welche statische Typisierung unterstützt. Ähnlich wie bei C und C++ ist valider Javascript-Code auch valider Typescript code wodurch Typescript eine Obermenge von Javascript ist. Nachdem Typescript-Code geschrieben wird, kann er in reines Javascript kompiliert werden. Der Gameserver und der Gameclient sind in Typescript geschrieben um Fehler durch die Typsicherheit zu verhindern.

5.1.4 C/C++ Node Addons

Da Javascript eine im Vergleich sehr langsame Programmiersprache ist, wäre es sinnvoll den künstliche Intelligenz Teil der Applikation, welcher für die Berechnung der nächsten Züge verantwortlich ist, in einer Performanteren Sprache welche auch Memorymanagement bietet, wie C oder C++ zu schreiben. Node.js bietet hierfür die Möglichkeit an Module mittels C++ zu implementieren und von deren Geschwindigkeit zu profitieren [Nodb]. Ein C++ Node Addon wird zu Maschinencode kompiliert, welcher von der normalen Node-Anwendung, über eine Javascript-Funktion ausgeführt werden kann. Der Vorteil hierbei zum reinen C++ ist, dass der Code in der V8 Laufzeitumgebung ausgeführt wird, was ihn Plattformunabhängig macht. [Cno]

5.2 Kommunikation

in Kapitel 3.6 von Seite 23 ist bereits auf die Kommunikation geschildert, im folgenden wird die genauere Implementierung beschrieben

5.2.1 Verwendete Technologie

Da der Gameserver, der Gameclient und die GUI eigenständige Prozesse sind, die nach Bedarf gestartet und gestoppt werden, brauchen sie eine Möglichkeit Nachrichten auszutauschen. Dafür werden die von Node.js bereitgestellten TCP-Sockets verwendet. Der Vorteil von TCP-Sockets gegenüber zum Beispiel UDP, ist dass aufrechterhalten einer Verbindung. So muss sich der Client oder die GUI nur einmal zum Server verbinden und kann im Laufe eines gesamten Spieles diese Verbindung nutzen. Ist ein Spiel zu Ende, kann die TCP-Verbindung gekappt und die Sockets geschlossen werden. Da die GUI in zwei Softwarepakete getrennt ist siehe 14, der React.js Webapp und einem Node.js Server, verwenden diese Pakete auch eine eigene Netzwerkverbindung. Hierfür wird die Javascript library Socket.io verwendet, welche auf basis von Websockets basiert.

5.2.2 Kommunikationsprotokoll des Gameservers

Im Abschnitt 3.6 wird eine Kommunikation zwischen dem Gameserver und seinen Clients beschrieben, bei welcher der Server nur Anfragen eines festgelegten Protokolles Akzeptiert. Das Protokoll für den Server orientiert sich stark nach dem Protokoll des Reversi-Gameservers und ist nur in einigen Stellen erweitert worden.

Typ (8-Bit-Integer)	Länge der Nachricht n (32-Bit-Integer)	Nachricht (n Bytes)
---------------------	--	---------------------

Abbildung 19: Der Aufbau einer Nachricht

in Abbildung 19 ist der Aufbau einer Nachricht dargestellt. Es gibt insgesamt neun verschiedene Nachrichtentypen, dazu gehören neues Spiel starten, Zugaufforderung, Spiel Ende und viele weitere, siehe D auf Seite VII des Anhangs. Die meisten Nachrichten von einem gewissen Typ haben immer die selbe Länge, es gibt jedoch Ausnahmen, wie die Spielbrettnachricht, bei welcher ein 10x10 oder 8x8 Damenspielbrett gewählt werden kann. Die Nachricht selber entspricht dann den eigentlichen Daten, die übertragen werden, wie zum Beispiel, den Feldern welche besetzt sind beim Spielfeld, oder das Ursprungsfeld und das Zielfeld bei einer Zugantwort.

5.3 GUI Dame Erweiterung

Da die Anwendung vor der Erweiterung um das Spiel Dame nur Reversi als Spiel hatte, musste ein Extra Menü implementiert werden, über welches man Dame auswählen kann. Des weiteren wird ein weiteres Menü benötigt, bei welchem der Algorithmus und die Spielbrettgröße gewählt werden kann, siehe Abbildung 20. Dieses Menü zeigt eine Auswahl für Spielfeldgrößen,

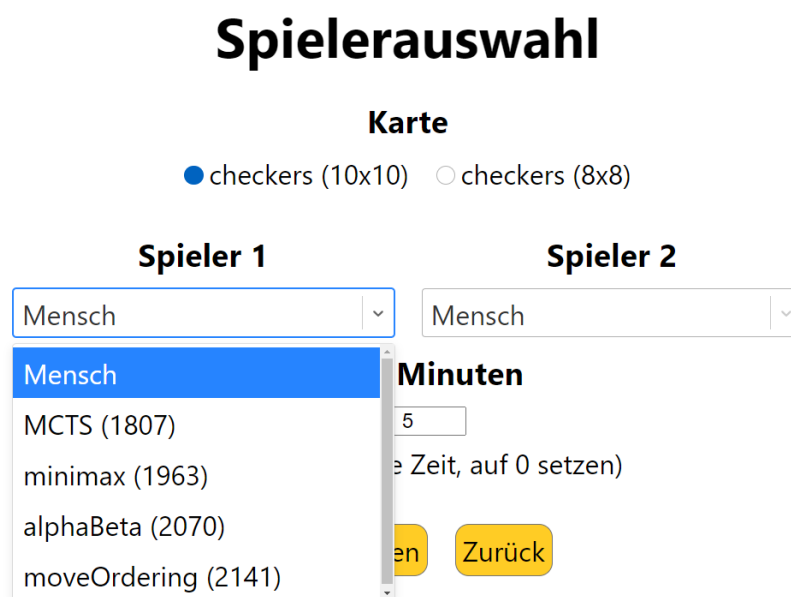


Abbildung 20: Das Auswahlmenü für ein Damespiel

5.4 Verwendete KI-Algorithmen

In Kapitel 2 wurden einige künstliche Intelligenz Algorithmen beschrieben, welche auch im Dame-Spiel der Applikation implementiert sind. Die Applikation bietet vier Algorithmen zur Auswahl an, gegen die der Spieler antreten kann, siehe 20. Diese Algorithmen sind: Minimax, Alpha-Beta-Pruning, Zugsortierung und MCTS. Aus Abbildung 15 kann man entnehmen, dass

es zwei Hauptalgorithmen in dem Paket CheckersAiLogik gibt, Minimax und MCTS. Diese Aufteilung kann vorgenommen werden, da Alpha-Beta-Pruning und Zugsortierung auf Minimax basieren.

5.4.1 Minimax

Der Minimax-Algorithmus wird im wie in 2.3.1 erklärt, durch einen Baum repräsentiert. Dadurch, dass jeder Knoten einen Spielbrettzustand repräsentiert und durch den Algorithmus einen Wert zugewiesen bekommen, hat die Applikation eine MinimaxNode-Klasse. Diese Klasse ist hauptsächlich für das Speichern der Informationen zuständig, welche dann einfach von der eigentlichen Minimax-Klasse zur Berechnung verwendet werden können. Damit ein vollständiger Baum aufgebaut werden kann, enthält die Minimax-Node-Klasse ein Array mit Zeigern auf allen Kindknoten, was eine Vorwärtstraversierung des Baumes erlaubt. Um eine Berechnung zu starten, braucht die start-Funktion ein Spielbrett, den Spieler der an der Reihe ist, eine Tiefe bis zu der berechnet werden soll und oder ein Zeitlimit. Ist ein Zeitlimit angegeben, so benutzt die start-Funktion Iterative Deepening, siehe 2.3.2, dadurch kann die Berechnung so gut wie Möglich die komplette Zeit ausnutzen. Ist kein Zeitlimit angegeben, so wird spezifizierte Tiefe dem Minimax übergeben und dieser rechnet so lang bis er diese erreicht. Wird Minimax mit Iterative Deepening gestartet, so wird ein Zeitwert zum Anfang gespeichert. Dieser Zeitwert wird während der Berechnung von Minimax mit dem momentanen Zeitwert verglichen, ist die Differenz größer oder gleich des Zeitslimits, wird ein mittels einer C++ Exception die Momentane Berechnung abgebrochen und nachdem der zurückkehren in den Catch-Block der letzte komplett berechnete Zug verwendet. Wird Minimax gestartet, holt sich der Algorithmus mittels der Verwendung der Funktion AddAllChildren, alle Kinderspielbretter. Diese definieren sich aus allen möglichen Zügen die von einer Stellung aus möglich sind, siehe Kapitel 3.5. Der Vorgang wird rekursiv wiederholt, bis die geforderte Tiefe erreicht wird und die Bewertungsfunktion aufgerufen wird. Die Ergebnisse werden dann rekursiv rückwärts in den MinimaxNodes des Baumes eingetragen.

Um mit Minimax den besten Zug berechnen zu können wird eine gute Bewertungsfunktion benötigt, die verwendete hat folgende Eigenschaften:

- Normale Figur: +1 für Weiß und -1 für Schwarz
- Dame: +3 für Weiß und -3 für Schwarz
- Spielende: +40 für Weiß und -40 für Schwarz

Erweiterungsmöglichkeiten wären, Bedrohte Figuren, sowie Figuren in der Spielmitte und in den Grundreihen mit in die Berechnung miteinfließen zu lassen. Man muss ich aber immer vor Augen halten, dass eine komplexere Bewertungsfunktion mehr Berechnungszeit benötigt, aber bessere Ergebnisse liefern könnte.

5.4.2 Minimax Erweiterungen Alpha-Beta-Pruning und Zugsortierung

Dadurch, dass Alpha-Beta-Pruning und Zugsortierung Erweiterungen von Minimax sind, können diese beiden Algorithmen mit in die Minimax-Klasse gepackt und über Übergabeparameter des Konstruktors an- und ausgeschaltet werden. Dadurch hat man weniger Code, kann aber trotzdem noch verschiedenen Algorithmen mit unterschiedlicher Stärke im Menü wählen. Da Minimax rekursiv implementiert ist, kann Alpha-Beta-Pruning sehr elegant mit wenigen Zeilen Code geschrieben werden. In Listing 1 sieht man die Einfache Implementierung des Alpha-Beta-Prunings im Maximierer Teil von Minimax. Zuerst wird überprüft ob es sich um reinen Minimax handelt, oder um Alpha-Beta oder Zugsortierung. Danach wird der Alpha Wert mit dem Maximum aus dem alten Alpha-Wert und dem durch die Bewertungsfunktion berechneten eval Wert berechnet. Das Codestück im Minimierer hätte an dieser Stelle ein Min anstelle des Max. Das Pruning finden für den fall dass Beta kleiner gleich Alpha ist statt, dadurch wird der Teil dieses Zweiges nicht weiter untersucht.

```

1  if(algType != MINIMAX) {
2      alpha = std::max(alpha, eval);
3      if (beta <= alpha) {
4          break;
5      }
6  }
```

Listing 1: Code der Implementierung des Alpha-Beta-Prunings

Um eine Zugsortierung im Minimax zu erreichen, wird im Teil von AddAllChildren des Minimax die Bewertungsfunktion der Zugsortierung aufgerufen. Dadurch dass es sich um Array von Zeigern handelt, welche auf die Kindknoten zeigen muss nur dieses Array unter Berücksichtigung der Bewertungsfunktion sortiert werden, was durch die Hilfe der Standardbibliothek sehr einfach zu implementieren ist. Die Verbesserung wird nun durch das Aufrufen des Alpha-Beta-Prunings erreicht, siehe Kapitel 2.3.4.

5.4.3 MCTS

Der MCTS-Algorithmus ist ein auf Simulation basierender Algorithmus, er ist in Kapitel 2.3.5 erklärt worden. Ähnlich wie beim Minimax-Algorithmus verwendet der MCTS-Algorithmus auch einen Baum mit Knoten welche den Spielbrettzustand halten. Der Unterschied liegt hierbei bei den Informationen, die ein Knoten hält. Eine MCTSnode hält die Anzahl an verlorenen und gewonnen Spielen, die aus der Simulation hervorgehen. Jeder Knoten hat ein Array mit Zeigern auf seine Kinderknoten, dadurch entsteht die bekannte Baumstruktur. Im Gegensatz zur MinimaxNode, werden nicht bei einer Iteration alle Kinder eines Knoten mit AddAllChildren hinzugefügt, sondern mittels des UCTS-Ergebnisse, wird der beste Kandidat gewählt. Für den Parameter c wird zwei gewählt, da in vielen gelungen anderen Spielen die Zahl zwei zu guten erfolgen geführt hat. Da der MCTS nicht unendlich lange simulieren soll, braucht er ein Zeitlimit oder eine Anzahl an Simulationen nach welchen er die Simulation abbrechen und das Ergebnis zurückliefern soll. Die Zeitüberprüfung wird ähnlich wie bei Minimax gehalten, ist der Zeitpunkt

zum abbruch gekommen wird eine C++ Exception geworfen, was zum Stop der Simulation führt. Um die Simulation Ausführen zu können werden die Methoden, welche in 3.5 beschrieben sind verwendet. Das Ergebnis des MCTS ist der Kindknoten, welcher den besten Wert nach den Simulationen hat, dieser wird auch vom Algorithmus zurückgegeben.

5.5 Dame Spiellogik Implementierung

5.5.1 Der Unterschied zwischen MoveApplier und CheckersRules

Im Kapitel 3.5 auf Seite 22 ist bereits der Aufbau der Spiellogik erklärt. Die Besonderheit bei der Implementierung ist, dass sich der Gameserver und der Gameclient in der Implementierung des **MoveAppliers** und **CheckersRules** unterscheiden. Der Grundliegende Unterschied ist, die Verwendung der **move** Methode der Klassen, siehe Abbildung B des Anhangs auf Seite IV. So wird die Methode im Gameclient verwendet um für einen KI-Algorithmus, einen Zug auf ein Spielfeld zur Baum-Suche anzuwenden, sowie zur Validierung eingehender Züge vom Gameserver. Wird also ein Minimax-Baum aufgebaut, welcher als Knoten einen Spielfeldzustand hat, so muss diese Methode für jeden möglichen Zug eines Spielfeldes aufgerufen werden, um alle seine Kindknoten zu erstellen. Bei solchen Bäumen mit hoher Suchtiefe kann es schnell passieren, dass diese Methode sehr oft ausgeführt wird. Beim Gameserver hingegen wird die Methode zur Validierung, mittels der Klasse **CheckersMoveTypeCheck** verwendet um eingehende Züge der Clients auf ihre Korrektheit zu überprüfen und falls sie Korrekt sind auf das Spielfeld Anzuwenden. Der Gameserver braucht also auch noch eine Variante für das Anwenden des Zuges auf das Spielfeld eines Knoten im Baum, welche ohne die Validierung Performance einspart, sowie eine Variante mit Validierung für eingehende Züge vom Gameserver über die Netzwerkverbindung. Dies wird mittels eines einfachen Flags erzielt, welches ermöglicht die Validierung aus oder einzuschalten.

6 Testing und Simulation

Folgendes Kapitel beschreibt, die Tests und Simulationen, welche benutzt wurden, um die Güte der Software zu verbessern. Die Simulationen wurden verwendet um die Spielstärke der KI-Algorithmen zu validieren und dadurch auch Fehler zu beheben, dass ein Algorithmus zu schlecht für seine Verhältnisse spielt. Die Tests sind zum verhindern von Fehler die in Spezialfällen eintreffen können. So gibt es Stellungen in Dame welche nicht häufig auftreten, aber zu Fehlerfällen führen könnten falls diese nicht beachtet werden.

6.1 Simulation

Bei der Implementierung von KI-Algorithmen, kann es schnell passieren, dass ein kleiner Fehler welcher sich in der Implementierung eingeschlichen hat, zwar nicht zum Absturz der Software führt, aber dazu dass die KI eine wesentlich schlechtere Performance aufweist. Da eine kleine Verschlechterung sehr schwer nachzuweisen ist, kann man auch keine Spezifischen Tests schreiben die dies prüfen können. Was aber in diesem Fall funktioniert, ist das Vergleichen der KIs

untereinander, um zu sehen ob sie die erwartete Spielstärke im Verhältnis zueinander aufzeigen. Ein Vorteil bei den Vergleichen von Algorithmen sind die Ergebnisse aus anderen Arbeiten die sich mit einem ähnlichen Thema befasst haben. Nimmt man diese Ergebnisse und lässt die KI-Algorithmen dieser Arbeit gegeneinander spielen, so kann man das ähnliche Resultate erwarten.

Im Laufe der Simulationen spielt jede KI gegen die anderen KI's. Um die Ergebnisse in Form von Stärke festzuhalten, bekommt jeder Algorithmus anhand seiner Performance eine ELO-Zahl zugewiesen.

6.1.1 ELO

Das Elo System ist eine Kennzahl für die relative Spielstärke die ein Spieler in einem Nullsummenspiel hat. Elo wird hauptsächlich in Schach und Go verwendet, findet aber auch immer mehr Anwendung in anderen Sportarten wie Tischtennis oder auch in Computerspielen. Bei der Berechnung von Elo wird ein Spiel von zwei Spielern untersucht, dabei ist die Elo-Zahl der Spieler die erwartete Spielstärke. Demnach wird von einem Spieler mit höherer Elo-Zahl als sein Gegner vielmehr ein Gewinn erwartet. Dementsprechend verhält sich auch die Elo-Änderung nach dem Spiel. Verliert ein Spieler A mit einer höheren Elo gegen einen Spieler B mit geringerer Elo, so verliert A viel Punkte und B bekommt viel Punkte dazu. Gewinnt jedoch A, so bekommt er nur sehr wenig Punkte hinzu und B verliert nur sehr wenig.

Die in der Applikation verwendete Elo Zahl wird wie folgt berechnet:

$$R_1 = 10^{\frac{E_1}{400}} \quad (2)$$

$$R_2 = 10^{\frac{E_2}{400}} \quad (3)$$

$$F_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$E_{neu1} = E_1 + k \cdot (S_1 - F_1) \quad (6)$$

$$E_{neu2} = E_2 + k \cdot (S_2 - F_1) \quad (7)$$

Dabei entspricht:

E = Elo Zahl

F = Wahrscheinlichkeit das der Spieler gewinnt

k = K-Faktor

S = Sieg oder Niederlage (1 oder 0)

Der K-Faktor gibt eine Aussage darüber wie stark sich ein Spiel auf die Eloänderung auswirkt.

In der Applikation wurde ein K-Faktor von 30 verwendet, da dieser auch in Turnierschach für Spieler unter 2100 Elo verwendet wird [Elo].

6.1.2 Aufbau der Simulationsoftware

Für die Simulation wurde eine Eigene Software geschrieben, welche unabhängig von der ReversiXT GUI arbeitet und nur den Gameserver sowie den Gameclient zur Berechnung der Ergebnisse benötigt. Dies hat den Vorteil, dass Simulationen parallel zur eigentlichen Applikation laufen können. So kann gerade ein Benutzer ein Spiel gegen eine KI gestartet haben, im Hintergrund läuft auch die Simulation die ihre eigenen Instanzen des Gameservers und Gameclients hat und mit diesen arbeitet. Die KI-Algorithmen welche spielen müssen werden zufällig gewählt und müssen sich unterscheiden. Ein Spiel zwei gleicher KIs hätte keine Auswirkung auf das Ergebnis, da sich die Wertung nicht verändern würde. Außerdem wird ist die Auswahl auf Schwarz und Weiß so gewichtet, dass jedes Aufeinandertreffen von zwei Algorithmen beide gleich oft die jeweilige Farbe bekommen, denn Weiß hat immer einen Vorteil, da es den ersten Zug machen darf, auch wenn dieser Vorteil nur sehr gering ist, kann er bei der Simulation einen Unterschied machen.

Zum starten der Simulation muss ein Simulationsanzahl angegeben werden, was dazu führt dass die Software so lange simuliert, bis diese Anzahl erreicht wird. Nach jedem abgeschlossenen Spiel wird das Ergebnis berechnet und zwischengespeichert, dadurch kann eine Simulation abgebrochen werden ohne die vorherigen Ergebnisse zu verlieren. Außerdem arbeitet die Simulation mit den bereits berechneten Elo werten Weiter, so kann ist die Anzahl der am Anfang angegebenen Spiele nur von Relevanz, wie lange man die Simulation laufen haben will, sowie zum Speichern von Statisiken und nicht wie akurat das Ergebnis nach nur diesen Simulationen sein soll. Die Ergebnisse einer Session werden neben der Aktualisierung der Elo Zahlen ausßerdem nach der Beendung der Simulationssoftware in eine .csv Datei geschrieben. Diese Datei zeigt die Details in den Spielen gegeneinander an, die in dieser Simulationssession stattgefunden haben. Da es eventuell vom Vorteil sein kann diese Sessions unabhängig zu bewerten und das zusammenfügen mehrerer .csv Dateien sehr einfach ist, wird dabei jedes mal eine eigene Datei angelegt. Ein Problem welches hier auftreten kann, ist das sich Dateien eventuell überschreiben würden, deswegen bekommt jede Datei den Namen "statistics" gefolgt von einem Universally Unique Identifier (UUID).

Damit der Benutzer auch weis wie stark die Algorithmen in Verhältnis zueinander sind, wird das Berechnete Ergbnis der Simulationen im Auswahlmenü der Algorithmen als Elo Zahl mit angegeben, um somit den Benutzer eine Akkurate Repräsentation der Stärke anzuzeigen.

6.1.3 Interpretation der Ergebnisse

Damit die Ergebnisse auch wirklich Sinn im Vergleich zueinander machen, werden sie nach einigen Simulationen mit den Erwarteten Werten verglichen. Hier wurden um die 500 Simulationen ausgeführt um ein möglichst genaues Ergebnis zu erzielen. Natürlich würde die Genauigkeit der Ergebnisse besser werden, je öfter man die Simulation weiderholt, aber das Ergenbiss nach 500

Simulationen bestätigt bereits die Erwartungen. Da die Software eventuell zu einem Späteren Zeitpunkt um weitere Algorithmen erweitert wird, sind die in dieser Simulation verwendeten die folgenden:

- MCTS
- Minimax
- Alpha-Beta Pruning
- Alpha-Beta mit Zugsortierung

Da Alpha-Beta eine Verbesserung des Minimax ist, kann man erwarten, dass es auch eine Besser Performance Abliefert, da ein großer Teil der Bäume immer ignoriert werden kann und somit Rechenzeit eingespart werden kann. Ebenso sollte Alpha-Beta mit Zugsortierung besser als das normale Alpha-Beta Pruning sein, da es wieder eine weitere Verbesserung dieses Algorithmuses ist. MCTS ist etwas schwieriger einzuschätzen, da es über Simulationen läuft, doch Ergebnisse aus anderen Arbeiten bestätigen, dass MCTS im Vergleich zu Minimax vorallem bei Spielen wie Dame schwächer abschneidet [HB].

Die Ergebnisse mit den Zuvor erwähnten Elo-Formeln lauten:

- MCTS: 1807
- Minimax: 1963
- Alpha-Beta Pruning: 2070
- Alpha-Beta mit Zugsortierung: 2141

Bei diesen Ergebnissen wurde ein Basiswert von 2000 Elo verwendet, mit einem kleinen K-Faktor, da sehr viele Spiele simuliert werden können und einzelne Spiele keine so große Auswirkung haben sollen. Wie man Sieht stimmen die Ergebnisse mit den Annahmen überein.

In Abbildung 21 sieht man die Darstellung der .csv Datei im Programm Excel. Die Anzahl an Simulierten Spielen beläuft sich hierbei auf 39. Da die 500 Simulationen nicht in einer Session möglich sind zu Simulieren, dies würde mehrere Tage in Anspruch nehmen, wurden die Simulationssessions in mehrere unterteilt welche immer um die 50 Spiele umfassen. Jede Zeile gibt die Siege eines Algorihtmus gegen die anderen an und jede Spalte dessen Niederlagen. Wichtig ist, dass eine Große Zahl nicht automatisch eine Gute Performance bedeutet, so hat Minimax zwar die meisten Siege gegen MCTS, das liegt aber an der Zufallszuteilung wer gegen wen spielen muss. Wichtiger ist hier zu bemerken, dass Minimax mehr Spiele gegen Alpha-Beta Pruning und Alpha-Beta mit Zugsortierung verloren, als gewonnen hat.

	A	B	C	D	E
1	NAME	MCTS	minimax	alphaBeta	moveOrdering
2	MCTS	0	0.5	0.5	0.5
3	minimax	8.5	0	2	1
4	alphaBeta	5.5	7	0	1
5	moveOrdering	4.5	4	4	0

Abbildung 21: Ergebnisse der Simulation der .csv Datei

6.2 Testing

Was Simulationen leider nicht schaffen, ist das finden von größeren Fehler, um so einen Programmabsturz zu vermeiden. Um die Stabilität der Software zu Verbessern werden deswegen Tests im Form von Modultests, oder auch Unit Tests genannten, in die Software integriert. Dabei beschreibt ein Unit Test das Testen der funktionalen Einzelteile eines Computerprogrammes, auf ihre korrekte Funktionalität. Was soviel bedeutet, wie einzelne Module eines Programmes werden isoliert ohne Interaktion mit anderen getestet. Dabei kann es sein das externe Komponenten wie zum Beispiel Datenbanken oder Unterprogramme simuliert werden müssen. [Mes09]

In der Applikation werden diese Unit Tests in den Kritischen Softwarebestandteilen verwendet, welche der Gameserver und der Gameclient sind. Die Webapp, ist weniger Fehleranfällig, da es sich lediglich um eine Graphische Oberfläche handelt, welche hauptsächlich zur Informationsdarstellung verwendet wird. Am kritischsten sind dabei die Implementierungen der Spiellogik, der KI-Algorithmen-Logik, sowie die Netzwerkkommunikation zwischen den Komponenten.

6.2.1 Gameserver

Im Gameserver ist der Zustand des Spieles und die Überprüfung der gespielten Züge. Die Besonderheit beim Testen, befindet sich hier in den Spezialfällen, die in gewissen Dame Stellungen entstehen können, so muss z.B. ein Spieler in Schlagzwang immer das Schlagen einer Figur ausführen, oder ein Spieler kann nicht noch einmal schlagen, wenn er mit einem Zug bei dem geschlagen worden ist, eine Dame erhält. Viele dieser Spezialfälle, müssen vor allem in der Implementierung beachtet werden und auch bei Änderung muss beachtet werden, dass diese Züge immernoch valide sind. Was dazu führt, dass die Unit Tests immer laufen sollten, nachdem Änderungen an der Spiellogik vorgenommen werden, um so zu garantieren das diese Spezialfälle immernoch funktionieren.

Da es sich beim Gameserver um eine Node.js Anwendung handelt, welche in Typescript implementiert ist, kann eine vorgefertigte Unit Test Library verwendet werden. Bei der Verwendeten Testing Framework handelt es sich um Mocha, welches zum Testen von Node.js und Javascript Browser Anwendungen benutzt wird. Für jeden Testfall einer Funktion wird das Ergebnis mit dem erwarteten Ergebnis verglichen und somit eine Statistik aufgestellt, wie viele Testfälle bestanden wurden und wieviele nicht korrekt waren. Ein Großer Vorteil den Mocha dabei zur Konkurrenz hat, ist dass die Test automatisiert ausgeführt werden können, sobald der Types-

criptcode in Javascript kompiliert wird.

Abbildung 22 zeigt das Ergebnis des Mocha Unit Tests, wobei alle 18 Testfälle erfolgreich abgeschlossen wurden. Bei der letzten Stellung, welche auch in der Abbildung dargestellt ist, wird getestet, ob die Software einen Fehler beim doppelt Schlagen erkennen würde. Weiß wird durch “o” und Schwarz durch “x” dargestellt, das Ausrufezeichen steht für eine Figur die im Zug davor geschlagen wurde. Beim ersten Spielfeld hat Weiß von Reihe 4 Spalte 3 nach Reihe 2 Spalte 5 eine Schwarze Figur geschlagen. Da im nächsten Zug die Schwarze Figur auf Reihe 3 Spalte 6 wegen Schlagzwang geschlagen werden muss, wird auch dieser Zug erwartet. Der Testfall testet, Falls der nächste Zug der and die Software übergeben wird, nicht der erwartete Weiße Zug ist, sondern ein Zug von Schwarz indem er die Bedrohte Figur zieht. Erwartet wird ein Fehler welcher, welcher auch erkannt wird und somit zählt der Testfall als “passed”, also bestanden.

```

CheckersRules:
  0 1 2 3 4 5 6 7
0 | - x - x - x - x
1 | x - x - x - x -
2 | - x - x - o -
3 | - - ! - x -
4 | - o - - -
5 | - - o - o -
6 | - o - o - - o
7 | o - o - o - o -
CheckersRules:
  0 1 2 3 4 5 6 7
0 | - x - x - x - x
1 | x - x - x - x -
2 | - x - x - o -
3 | - - ! - -
4 | - o - - x -
5 | - - o - o -
6 | - o - o - - o
7 | o - o - o - o -
{ nextPlayer: 0, errorMessage: '' } { nextPlayer: 0, errorMessage: '' }
  ✓ double capture #2

18 passing (545ms)

```

Abbildung 22: Beispiel aus den Unit Tests des Gameservers

6.2.2 Gameclient

Das Testen des Gameclients ist sehr wichtig, da kleinste Fehler zu einer enormen Verschlechterung der Performance des KI-Algorithmuses führen. Um den Gameclient zu testen, verwendet man ähnlich wie beim Gameserver Szenarien, in denen es schwierig ist den besten Zug zu finden, oder in sehr einfachen Situationen, bei dem der KI-Algorithmus nicht sehr lagen brauchen sollte um den Perfekten Zug ausfindig zu machen. Da die KI-Logik als Node.js Addon implementiert und dadurch in C++ geschrieben ist, kann man nicht einfach ein C++ Testframework benutzen, denn es sind Codeschnipsel enthalten, welche für die Kompatibilität zu Node.js sorgen und nicht mit nativen C++ Kompiler zum laufen gebracht werden können. Dazu ist sind die Unit

Tests, dieser Anwendung als eine Applikation implementiert, welche auf den reinen Nativen Teile der Berechnung Zugreifen und dies Modular testen.

Das Testen der Module läuft ähnlich wie beim Gameserver ab, es wird eine entweder eine Komplizierte Stellung oder eine sehr einfach Stellung allen KI-Algorihtmen übergeben, diese berechnen anhand ihrerer Implementierung den Zug den sie in dieser Stellung spielen würden und geben diesen zurück. Er wird daraufhin überprüft und verglichen mit dem zuvor definierten Zug welcher erwartet wird, oder welcher in Komplexen Stellungen definitiv nicht gespielt werden soll. Beispielsweise in einer Komplexen Stellung sind sechs Züge möglich, davon sind drei sehr schlecht, ein Zug ist durchschnittlich gut und die beiden anderen etwas besser. Erwartet wird vom Algorithmus, dass er wenigstens keinen der drei schlechten Züge auswählt. In sehr einfachen Szenarien, muss der Algorihtmus den einzigen guten Zug finden, der nicht zum Verlust der Partie führt. Außerdem werden in der Testsoftware Parameter der Tiefe und Zeit verändert, dabei muss jeder Algorithmus auch bei geringem Zeitlimit, die sehr einfachen Stellungen richtig berechnen. Am Ende wird wie beim Testframework Mocha, eine Liste ausgegeben mit allen Fällen die Korrekt berechnet wurden und eine Detaillierte Ausgabe, falls ein Testfall fehlgeschlagen ist.

7 Fazit und Ausblick

Literaturverzeichnis

- [Bal09] Helmut Balzert. *Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements Engineering (German Edition)*. Spektrum Akademischer Verlag, 2009.
- [Gru85] Frederic V. Grunfeld. *Spiele der Welt I - Geschichte, Spielen, Selbermachen*. Fischer Taschenbuch Verlag, 1985.
- [HB] Mark Winands Hendrik Baier. *Monte-Carlo Tree Search and Minimax Hybrids*. Techn. Ber. Maastricht University.
- [Kor85] Richard E. Korf. *Depth-First Iterative-Deepening: An Optimal Admissible Tree Search*. Techn. Ber. University of Columbia, 1985.
- [Mes09] Gerard Meszaros. *xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code*. The Addison-Wesley Signature Series, 2009.
- [MP19] Kevin Ferguson Max Pumperla. *Deep Learning and the Game of Go*. Manning, 2019.
- [MSC82] T. A. Marsland M. S. Campbell. *A Comparison of Minimax Tree Search Algorithms*. Techn. Ber. University of Alberta, 1982.
- [SPS] M. Sridevi Shubhendra Pal Singhal. *Comparative study of performance of parallel Alpha Beta Pruning for different architectures*. Techn. Ber. National Institute of Technology, Tiruchirappalli.
- [SR12] Peter Norvig Stuart Russell. *Künstliche Intelligenz ein moderner Ansatz*. Pearson, 2012.

Quellenverzeichnis

- [Cno] *C++Node*. Node C++ Addons. URL: <https://nodejs.org/api/addons.html>.
- [Dra] *Mindsports*. Die Geschichte von Dame. URL: <http://www.mindsports.nl/index.php/arena/draughts/478-the-history-of-draughts>.
- [Elo] *Chessmetrics Formulas*. Die Berechnung der Elo Zahlen. URL: <http://www.chessmetrics.com/cm/CM2/Formulas.asp>.
- [Int] *World Draughts Federation*. official FMJD rules for international draughts 100. URL: <http://www.fmjd.org/?p=v-100>.
- [Noda] *Node*. Node. URL: <https://nodejs.org>.
- [Nodb] *NodeC++Performance*. Node C++ Performance. URL: <https://medium.com/the-node-js-collection/speed-up-your-node-js-app-with-native-addons-5e76a06f4a40>.
- [Ras] *Raspberry*. Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org/>.
- [Rea] *Reactjs*. React.js. URL: <https://reactjs.org/>.

Anhang

A Anforderungsanalyse

In diesem Kapitel des Anhangs wird zuerst ein beispielhaftes Szenario gezeigt, bei welchem die Software eingesetzt werden soll. Anschließend werden anhand dieser Szenarios Anforderungen definiert, die von der Software erfüllt werden müssen.

A.1 Anwendungsszenario

Will ein Benutzer gegen den KI Client spielen, kann er über das Menü auf dem Touch Monitor den KI Algorithmus auswählen und diesen herausfordern. Dazu kann er, falls er mit seinem Smartphone spielen will einen QR-Code auf dem Monitor aufrufen, diesen einscannen und dann das Spiel beginnen. Andernfalls kann der Benutzer auch direkt am Monitor das Spiel starten und auf diesen mittels Touch Züge ausführen. Die KI Algorithmen welche auf dem KI Client implementiert sind haben eine ELO Zahl hinterlegt, welche Auskunft über die Spielstärke gibt. Fühlt sich der Benutzer also über oder unterfordert, kann er den geeigneten Gegner auswählen. Gibt es mehrere Benutzer welche gegen einander spielen wollen, haben diese die Möglichkeit entweder abwechselnd auf dem Monitor, oder beide mittels QR-Code über ihr Smartphone ein Spiel zu starten. Will ein Benutzer zwei KI's beim Spielen beobachten, so kann er diese am Monitor auswählen und diese gegeneinander Antreten lassen.

A.2 Anforderungen an die Software

Aus dem oben beschriebenen Anwendungsszenario lassen sich konkrete Anforderungen ableiten, die für die Software von Relevanz sind. Hierbei wird zwischen funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen unterschieden [Bal09].

A.2.1 Funktionale Anforderungen

- */F10/ Menü zum Auswählen des Spieles:* Die Grafische Oberfläche soll dem Benutzer die Möglichkeit geben, das ein Spiel auszuwählen. Dazu soll es ein Menü geben welches die möglichen Spiele, wie z.B. Reversi oder Dame zur Auswahl stellt.
- */F11/ Auswählbares Menü für verschiedene KI Algorithmen:* Die Applikation muss ein leicht bedienbares Grafisches Interface bieten, bei welchem verschiedene künstliche Intelligenz Algorithmen ausgewählt und herausgefordert und werden können.
- */F12/ QR-Code fürs verbinden mit dem Smartphone:* Um einen unkomplizierten Verbindungsaufbau vom Raspberry mit dem Smartphone zu gewährleisten, soll es eine Menü-Option geben, bei der ein QR-Code angezeigt wird. Nach dem Scannen des QR-Codes soll eine Verbindung aufgebaut werden, welche bis zum Beenden bestehen bleibt.
- */F13/ Variable Zeiteinstellung im Menü:* Dem Benutzer soll es möglich sein über das Menü eine Zeit einstellen zu können, welche jeder Spieler im Spiel zur Verfügung für seine

Züge hat. Als Spieler können entweder Benutzer oder KI Clients agieren.

- **/F20/ Benutzer soll Züge ausführen können:** Der Benutzer soll in der Lage sein, Züge gegen die KI spielen zu können. Dazu soll er entweder direkt über den Touch-Monitor oder über das Smartphone eine Eingabemöglichkeit haben. Diese soll den Momentanzustand des Spielbrettes zeigen, wodurch der Benutzer eine Entscheidung für seinen nächsten Zug treffen und diese über eine Touch-Berührung ausführen kann.
- **/F21/ Benutzer sollen gegen andere Benutzer spielen können:** Für mehrere Benutzer soll es möglich sein, gegeneinander spielen zu können. Dazu sollen sie entweder den Touch-Monitor verwenden, indem sie abwechselnd Züge ausführen, oder beide jeweils ein Smartphone.
- **/F22/ Der Benutzer kann KI's gegeneinander spielen lassen:** Der Benutzer soll in der Lage sein zwei KI-Algorithmen auszuwählen und diese gegeneinander spielen zu lassen. Damit man dieses Spiel sehen kann, sollen alle Züge die von beiden getätigt werden auf dem Spielbrett des Touch-Monitors angezeigt werden.
- **/F30/ Eine ELO Zahl soll die Spielstärke der Algorithmen angeben:** Damit der Benutzer eine für sich angemessene Herausforderung findet, sollen schwächere und stärkere KI-Algorithmen in der GUI gekennzeichnet werden. Um eine genaue Kennzahl für die Stärke zu erhalten, werden die ELO Zahlen durch Simulationen berechnet. Diese Simulationen sind Spiele der Algorithmen untereinander.

A.2.2 Nichtfunktionale Anforderungen

- **/Q10/ Robustheit der Smartphone Verbindung:** Nach der Verbindung mit dem Smartphone (mittels QR-Code /F12/) muss sichergestellt sein, dass die Verbindung nicht ohne Grund abbricht, sondern erst, wenn z.B. die Distanz zwischen Smartphone und Pi zu groß ist. Des weiteren soll nach einem Verbindungsabbruch, das Spiel nicht abgebrochen werden, sondern es soll eine Möglichkeit zum Wiederverbinden bestehen.
- **/Q20/ ELO Zahlen sollen Stärke widerspiegeln:** Die durch die Simulationen errechnete ELO Zahl von /F30/ soll auch in etwa dem Stärkegrad der Algorithmen entsprechen. Hat ein Algorithmus die sehr viel mehr ELO muss er auch dementsprechend stärker sein.
- **/Q30/ Zeiteinstellung soll von der KI Berücksichtigt werden:** Die Zeiteinstellung von /F13/ soll vom KI Client als Berechnungsdauer genutzt werden. Dieser soll dabei seine Rechenzeit so gut wie möglich an die Zeiteinstellung anpassen.
- **/Q40/ Reaktionszeit des Touch-Interfaces:** Das Berühren des Touch-Monitors soll zur sofortigen Ausführung des Befehls der Software führen.
- **/Q50/ Mobile Responsiveness:** Das Spielfeld soll auf egal welchem verbundenen Smartphone gleich skaliert aussehen. Das Verwenden von Tablets, oder das Drehen des Gerätes soll keinen Einfluss auf die Darstellung des Spielbrettes haben.

A.2.3 Zusammenfassung der Anforderungen

Die Identifizierten Funktionalen und Nichtfunktionalen Anforderungen werden in der Tabelle 1 zusammengefasst. Die Kürzel sind für die folgenden Kapitel von Relevanz da sie in diesen Referenziert werden.

ID	Funktionale Anforderung
/F10/	Menü zum Auswählen des Spieles
/F11/	Auswählbares Menü für verschiedene KI Algorithmen
/F12/	QR-Code fürs verbinden mit dem Smartphone
/F13/	Variable Zeiteinstellung im Menü
/F20/	Benutzer soll Züge ausführen können
/F21/	Benutzer sollen gegen andere Benutzer spielen können
/F22/	Der Benutzer kann KI's gegeneinander spielen lassen
/F30/	Eine ELO Zahl soll die Spielstärke der Algorithmen angeben
ID	Nichtfunktionale Anforderung
/Q10/	Robustheit der Smartphone Verbindung
/Q20/	ELO Zahlen sollen Stärke widerspiegeln
/Q30/	Zeiteinstellung soll von der KI Berücksichtigt werden
/Q40/	Reaktionszeit des Touch-Interfaces
/Q50/	Mobile Responsiveness

Tabelle 1: Anforderungstabelle

B UML Klassendiagramm vom Gesamten Projekt

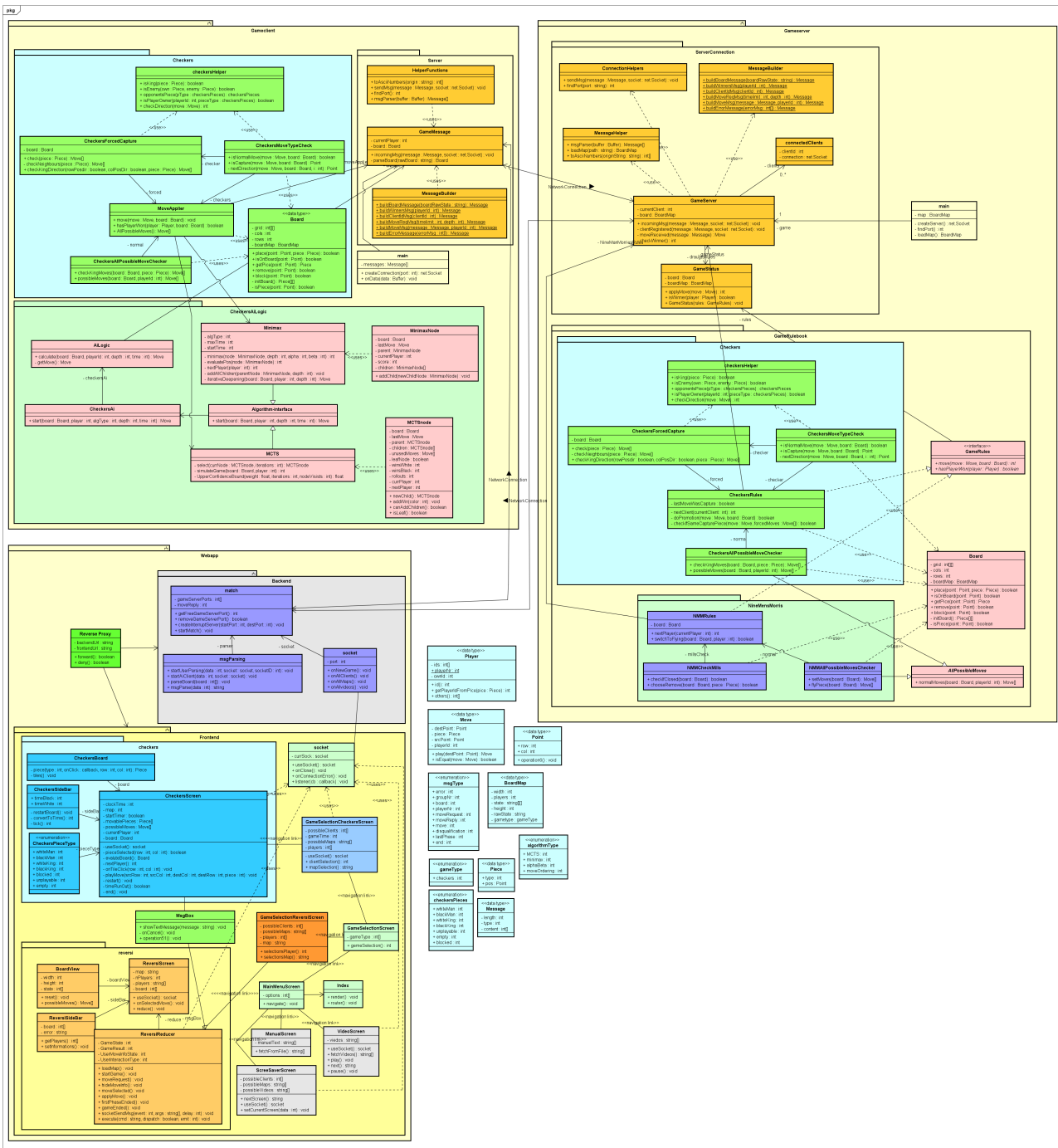


Abbildung 23: UML Klassendigramm aller Komponenten des Projekts

C Sequenzdiagramme über die Kommunikation der Komponenten

Die beiden Folgenden Abbildungen 24 und 25 zeigen die beiden anderen Fälle in denen entweder zwei Benutzer oder zwei KIs gegeneinander spielen.

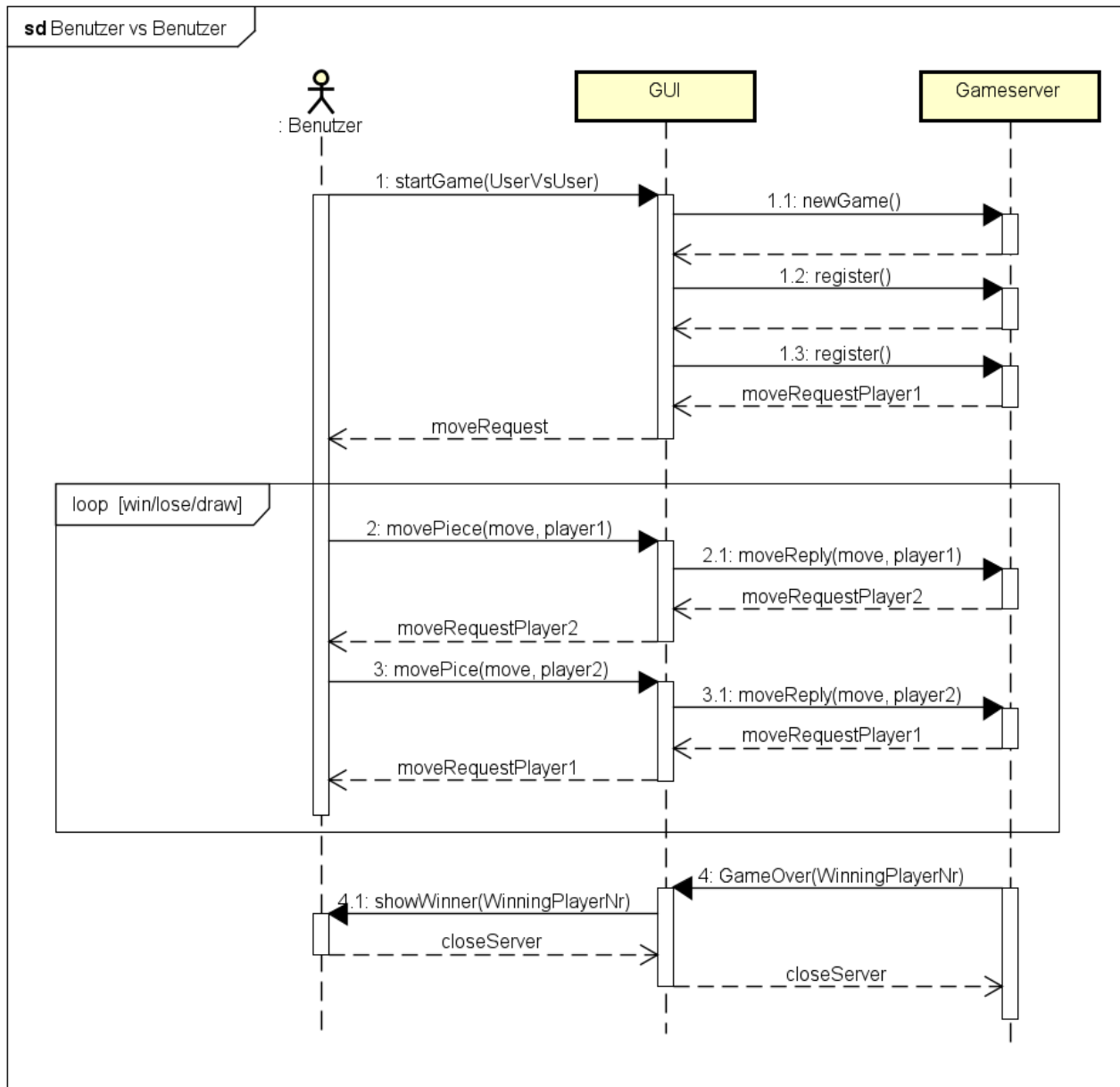


Abbildung 24: UML Sequenzdiagramm von Benutzer gegen Benutzer

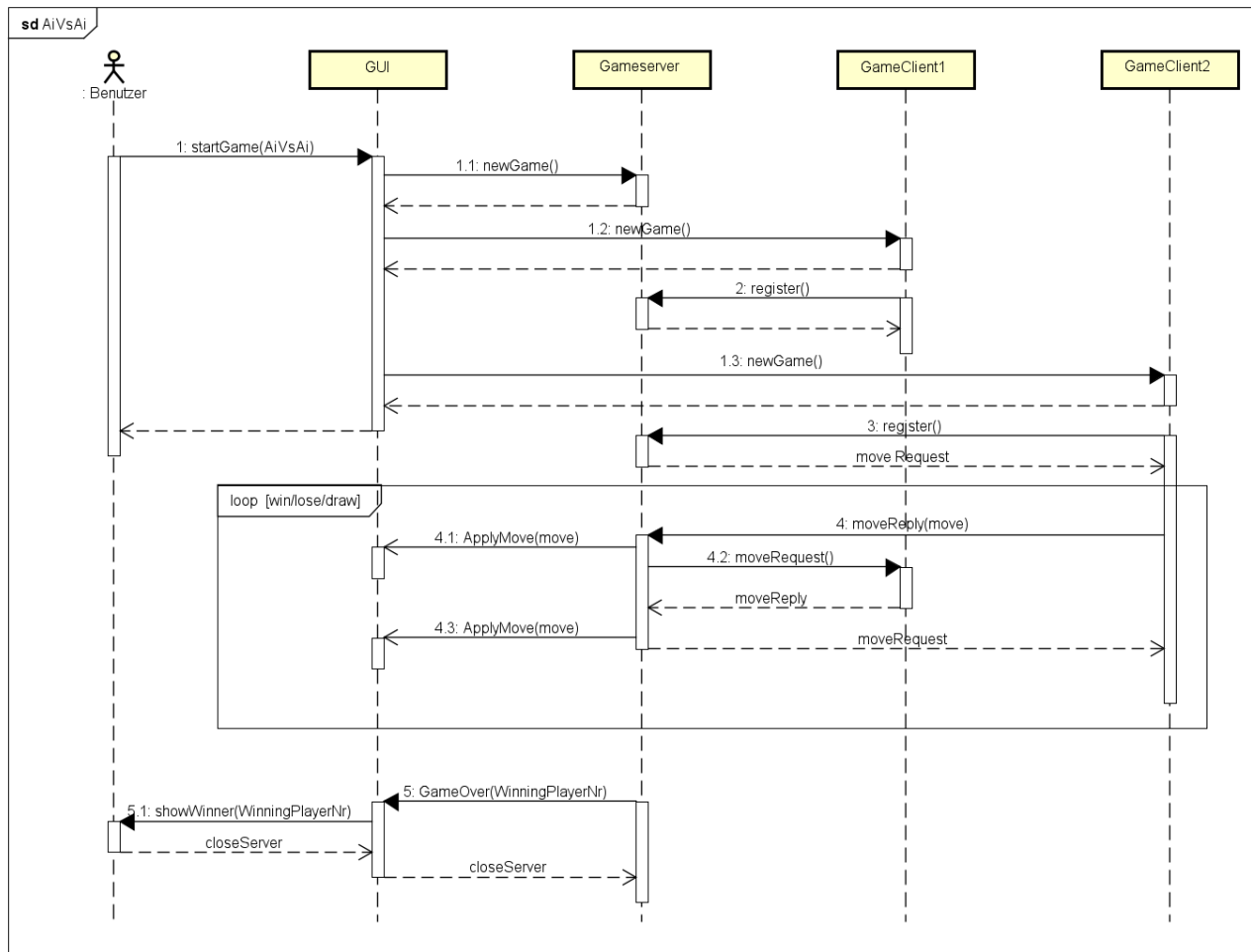


Abbildung 25: UML Sequenzdiagramm von KI gegen KI

D Nachrichten Protokoll des Gameservers

Das Nachrichten Protokoll des Gameservers besteht aus folgenden Nachrichtentypen:

- 0: Fehler, enthält die Fehlermeldung als String
- 1: Besteht aus der Zeit die ein Client zur Verfügung hat (32-Bit Integer) und der Gruppennummer des Clients (Vorzeichenloser 8-Bit Integer)
- 2: Spielfeld, zuerst die Art des Spieles als vorzeichenloser 8-Bit Integer (z.B 0 für Dame), dann ein vorzeichenloser 8-Bit Integer für die Anzahl an Spieler die beim Spiel Teilnehmen können, als nächstes zwei vorzeichenlose 8-Bit Integer für die Höhe und Breite des Spielfeldes (Achtung manche Spiele, wie Dame können nur von 2 Spielern gespielt werden!). Danach folgen alle Felder des Spielfeldes nach Spezifikation (nicht \0 terminiert!)
- 3: Spieler Nummer als vorzeichenloser 8-Bit Integer die dem Spieler zugewiesen wird
- 4: Zug Anforderung, bestehend aus einem 32-Bit Integer als Zeitlimit gefolgt von einem vorzeichenlosen 8-Bit Integer für die maximale Suchtiefe
- 5: Zug Antwort, besteht aus 4 vorzeichenlosen 16-Bit Integern, welche die Ursprungsspalte und die Ursprungsreihe, sowie die Zielspalte und Ziehreihe sind. gefolgt von einem vorzeichenlosen 8-Bit Integer für die Angabe der Spielfigurenart (z.B normale Figur oder Dame).
- 6: normaler Zug der Vom Server validiert worden ist und an alle Teilnehmer geschickt wird. Enthält den selben Inhalt wie die Zug Antwort (5), jedoch gefolgt von einem vorzeichenlosen 8-Bit Integer, welcher die Spieler ID beschreibt.
- 7: Disqualifikation, ein vorzeichenloser 8-Bit Integer mit der Spieler ID welcher disqualifiziert wird.
- 8: Letzte Phase, nachdem der Endzustand der ersten Phase erreicht wird (in Dame nicht verwendet, aber falls Mühle später relevant wird, z. B. um vom setzen der Steine zum Springen zu gelangen)
- 9: Spielende, enthält einen vorzeichenlosen 8-Bit Integer mit der Spieler ID des Spielers welcher gewonnen hat.