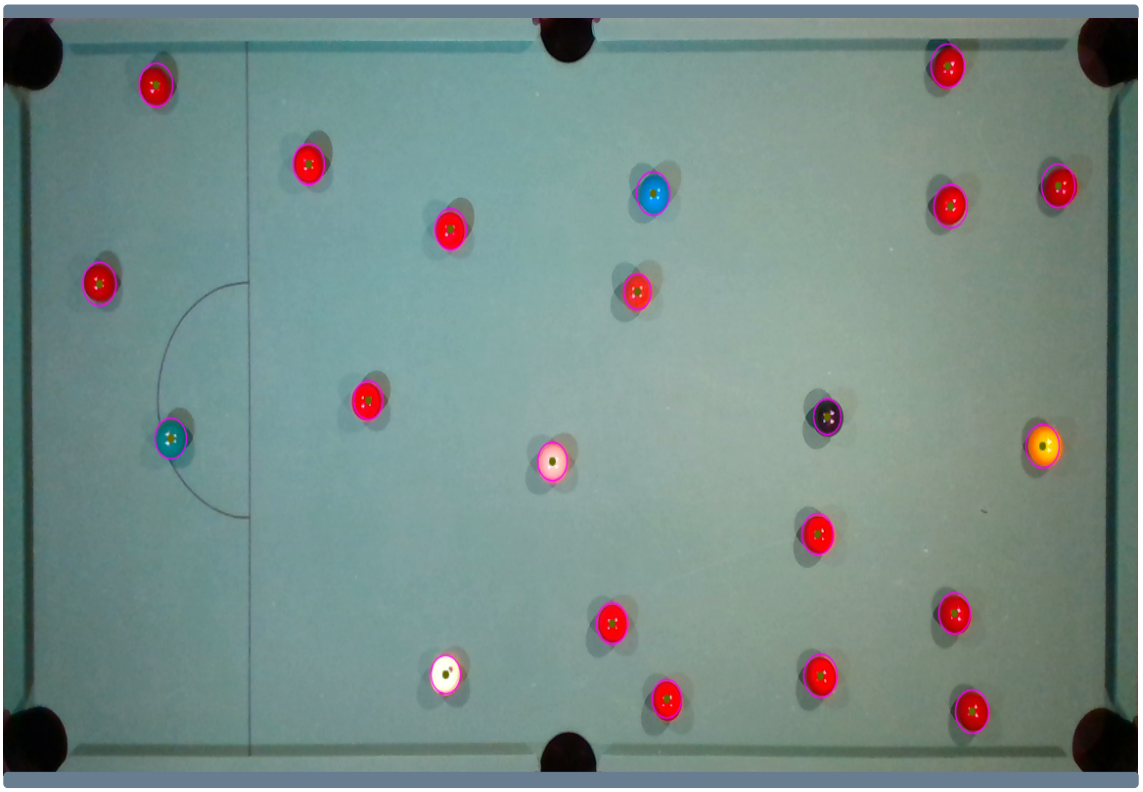
Berner
Fachhochschule



Billiard-AI

Ein intelligenter Billardtisch

BSc Thesis

Studienrichtung:	Informatik - Computer Perception and Virtual Reality
Autor:	Lukas Seglias, Luca Ritz
Dozent:	Markus Hudritsch
Experte:	
Datum:	24. September 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung

TODO: Zusammenfassung

2 Einführung

Wie vieles andere ist auch das Erlernen des Billardspiels eine schwierige Sache. Es stellen sich Fragen wie „Welche Kugel soll man anspielen?“, „Wie soll man die Kugel anspielen?“ oder „Wie hält man den Queue richtig?“. Darauffolgend gibt es noch diverse weitere Überlegungen, welche den Profi vom Anfänger unterscheiden. Wie in anderen Spielen auch, ist hier Weitsicht gefragt. Es geht also nicht nur darum, eine Kugel zu versenken, sondern auch den Spielstand so zu verändern, dass optimal weitergespielt werden kann. Das Stichwort ist im Billard vorallem die Platzierung der weissen Kugel.

TODO: Weiter schreiben

3 Ziele

Ins Billard-Spiel einzusteigen ist nicht ganz einfach. Zu Beginn lässt es sich schlecht abschätzen, welchen Weg eine Kugel nehmen wird, wenn man sie anschlägt und den optimalen Stoss über mehrere Züge hinaus zu planen, erst recht. Denn bei fortgeschrittenen Spielen ist es oft wichtig, dass die weisse Kugel optimal für den nächsten Stoss platziert wird.

Es soll ein System entstehen, das dem Spieler den optimalen Stoss vorschlägt basierend auf Kriterien und optional einer festgelegten Tiefe des Spielstands. Dazu soll eine Kamera den Spielstand auf dem Billiartisch erkennen, verarbeiten und dem Spieler Hilfestellungen mittels eines Projektors anzeigen.

Diese Arbeit setzt auf bereits geleisteter Tätigkeit aus „Projekt 2“ auf[Luk21a]. Die Tätigkeiten werden nachfolgend beschrieben.

Vorschlag eines optimalen Stosses Es wird ein Stoss vorgeschlagen, welcher anhand der gewählten Kugel möglichst optimal ist. Dieser Stoss kann direkt (einfach) oder indirekt (erweitert) sein.

Es ist weiterhin anzumerken, dass es in erster Linie um Snooker-Billard geht. Dies hat mehrere Gründe. Einerseits soll in dieser Arbeit nicht die Klassifikation der Kugeln im Zentrum stehen, sondern die Suche nach einem optimalen Stoss. Es wird angenommen, dass dies mit Snooker-Kugeln einfacher ist als mit Pool-Billard-Kugeln. Andererseits wird das Projekt zusammen mit einem Unternehmen durchgeführt, welches eventuell auch einen kommerziellen Ansatz verfolgen will. Da grössere Turniere wie Weltmeisterschaften in Snooker ausgetragen werden, kam schnell der Wunsch auf, das Hauptaugenmerk darauf zu legen. Nichtsdestotrotz wird die Anwendung so abstrakt gehalten, dass sie mit wenig Aufwand auf Pool-Billard portiert werden könnte. Dies bildet jedoch kein Ziel der Bachelor-Thesis.

3.0.1 Planung

Die initiale Planung beinhaltet eine Auflistung der Tätigkeiten, dem zugewiesenen Meilenstein sowie deren Schätzung in PT (Personen-Tage). Jedem Arbeitspaket wird eine ID zugewiesen, welche bei der Zeiterfassung verlinkt wird. Das Total der zu vergebenden PT beträgt 90.

ID	Name	Meilenstein	Schätzung in PT
T-1	Klassifikation der Kugeln	M-1	6
T-2	Aufsetzen Dokumentation	M-1	2
T-3	Beschreibung Suchalgorithmus	M-1	3
T-4	Implementation Suchalgorithmus	M-1	5
T-5	Beschreibung der physikalischen Eigenschaften für die einfache Suche	M-1	6
T-6	Implementation der einfachen Suche und deren Bewertungsfunktion	M-1	10
T-7	Beschreibung der physikalischen Eigenschaften für die erweiterte Suche	M-2	6
T-8	Implementation der erweiterten Suche und deren Bewertungsfunktion	M-2	8
T-9	Überprüfen/Verbessern der Detektionsgenauigkeit	M-1	6
T-10	Video erstellen	M-3	2
T-11	Plakat schreiben	M-3	2
T-12	Booklet-Eintrag schreiben	M-3	1
T-13	Präsentation des Finaltags vorbereiten	M-3	2
T-14	Präsentation der Verteidung vorbereiten	M-3	2
T-15	Finalisieren Dokumentation andere Arbeiten	M-3	4
T-16	Projektmanagement	Kein	4
T-17	Effizienz Erfassung und Steigerung der einfachen Suche	M-1	4
T-18	Effizienz Erfassung und Steigerung der erweiterten Suche	M-2	2
T-19	Dokumentation der Resultate der einfachen Suche	M-1	6
T-20	Dokumentation der Resultate der erweiterten Suche	M-2	2
T-21	Umbau in Unity	M-1	6
O-1	Suche über mehrere Spielstände	M-2	
O-2	Detektion des Queues in 2D	M-2	
O-3	Detektion des Queues in 3D	M-2	
O-4	Stossberechnung anhand detektiertem Queue in 2D	M-2	
O-5	Stossberechnung anhand detektiertem Queue in 3D	M-2	
O-6	Spielerabhängige Heuristik	M-2	
O-7	Live-Verfolgung und Darstellung der Kugeln	M-2	
	Total		90

Tabelle 3.1: Ziele

3.0.1.1 Meilensteine

Es werden drei Meilensteine definiert, welche auch aus optionalen Zielen bestehen können. Die Deadlines ergeben sich aus den Schätzungen der zugewiesenen Arbeitspakete.

Meilenstein 1 - 15.11.2021 Das Ziel ist eine sehr einfache simple Suche. Darunter zu verstehen ist eine Lösung, welche einen direkten Treffer findet (Weiss -> Kugel -> Loch).
Code Deliverables:

Klassifikation - T-1
: Alle Kugeln können entsprechend ihrere Farbe klassifiziert werden.

Suchalgorithmus für einfache Suche - T-4, T-6, T-17
: Ein direkter Stoss wird in akzeptabler Zeit gefunden.

Unity-Umbau - T-21
: Unity ist bereit für den Einsatz. Zum Umbau gehören insbesondere die Farbe der Markierung der Kugeln und deren Bahnen. Weiterhin muss Unity mehrere Suchergebnisse anzeigen können.

Dokumentation Deliverables:

Klassifikation - T-1
Das Vorgehen der Klassifikation wie deren Resultate und Genauigkeit sind dokumentiert.

Suchalgorithmus für Suche - T-3
Der Algorithmus der Suche ist theoretisch und mit Pseudocode beschrieben. Die theoretische Beschreibung muss nicht gänzlich mit der effektiven Implementation übereinstimmen, da diese auf Performance optimiert wird.

Resultate der einfachen Suche - T-19
In den Resultaten ist die Genauigkeit und Performance des einfachen Suchvorgangs beschrieben.

Physik der einfachen Suche - T-5
Die benötigte Physik der einfachen Suche ist beschrieben.

Bewertungsfunktion - T-6
Die Bewertungsfunktion der einfachen Suche ist dokumentiert.

Meilenstein 2 - 13.12.2021 Das Ziel ist eine erweiterte Suche, die auch indirekte Stösse über weitere Kugeln oder Banden finden kann. Optional sollen auch mehrere Stösse berücksichtigt werden.
Code Deliverables:

Suchalgorithmus für erweiterte Suche - T-8, T-18
Ein indirekter Stoss wird in akzeptabler Zeit gefunden.

Suchalgorithmus über mehrere Stösse - O-1
Es werden mehrere Spielstände bei der Suche berücksichtigt.

Queue in 2D detektieren - O-2
Der Queue wird als 2D-Objekt detektiert.

Queue in 3D detektieren - O-3
Der Queue wird mittels Tiefeninformationen der Kamera als 3D-Objekt detektiert.

Stossberechnung anhand detektiertem 2D-Queue - O-4
Der Stoss wird je nach Haltung des Queues in 2D berechnet. Es wird angenommen, dass der Queue zentral auf die weisse Kugel gerichtet ist.

Stossberechnung anhand detektiertem 3D-Queue - O-5
Der Stoss wird je nach Haltung des Queues in 3D berechnet. Der Queue muss nicht mehr zentral auf die weisse Kugel gerichtet sein.

Spielerabhängige Heuristik - O-6
Je nach Spieler kann eine andere Heuristik zur Bewertung der Stösse eingestellt werden. Durch die Unterscheidung können für professionelle Spieler erfolgsversprechendere schwerer durchzuführende und für Anfänger eher leichtere Stösse gefunden werden.

Live-Verfolgung und Darstellung der Kugeln - O-7
Die Kugeln werden ohne Benutzereingabe getrackt und deren Position über den Projektor dargestellt.

Dokumentation Deliverables:

Physik der erweiterten Suche - T-7
Die benötigte Physik der erweiterten Suche ist beschrieben.

Resultate der erweiterten Suche - T-20
In den Resultaten ist die Genauigkeit und Performance des erweiterten Suchvorgangs beschrieben.

Bewertungsfunktion - T-8
Die Bewertungsfunktion der erweiterten Suche ist dokumentiert.

Meilenstein 3 - 17.01.2022 Das Ziel ist der Abschluss aller Arbeiten zu denen auch Plakat, Booklet oder Video gehören.
Deliverables:

Video - T-10
Das finale Video ist erstellt.

Plakat - T-11
Das Plakat ist erstellt.

Booklet - T-12
Der Booklet-Eintrag ist erstellt.

Präsentation für Finaltag - T-13
Die Präsentation/Ausstellung für den Finaltag ist vorbereitet.

Präsentation für Verteidigung - T-14
Die Präsentation für die Verteidigung ist vorbereitet.

Finalisieren der Arbeiten - T-15
Die Dokumentation wie auch der Code sind abgeschlossen.

4 Billiard-AI

4.1 Risikoanalyse

Es gibt diverse Risiken, die während dieser Arbeit eintreten können. Um das Bewusstsein dafür zu stärken, wird vorgängig eine Risikoanalyse durchgeführt, wobei es um die Identifikation wie auch die Zuordnung deren Auftretenswahrscheinlichkeit und Auswirkungen geht. Weiterhin werden geeignete Massnahmen definiert, die entweder die Eintrittswahrscheinlichkeit reduziert oder bei Auftreten angegangen werden kann.

Die Risiken werden im Detail aufgelistet. Die Spalte „WK“steht für die Eintrittswahrscheinlichkeit, welche in den Wahrscheinlichkeiten „Gering“, „Möglich“, „Wahrscheinlich“, „Sehr Wahrscheinlich“ angegeben wird. Die Spalte „AW“ steht für die Auswirkungen, welche in den Grössen „Klein“, „Mittel“, „Gross“ angegeben wird.

ID	Risiko	Massnahme	WK	AW
R-1	Verlust von Programm-Sourcen	Führen eines Repositories auf GIT, welches das Wiederherstellen eines bestimmten Standes erlaubt. Zudem wird jeden Freitag ein Backup des GIT-Standes auf eine externe Festplatte geschrieben, sollte der unwahrscheinliche Fall eintreten, dass GIT nicht mehr verfügbar sein sollte oder seine Bestände verliert.	Möglich	Mittel
R-2	Ausfall der Arbeitsgeräte	Es stehen Ersatzgeräte bereit, welche sofort zum Einsatz kommen könnten.	Möglich	Klein
R-3	Krankheitsausfall der Teammitglieder	Es wird wenn möglich von Zuhause aus gearbeitet, um das Risiko einer Ansteckung zu vermindern.	Möglich	Gross
R-4	Parallele Entwicklung derselben Funktionen	Durch eine anfängliche Planung der Arbeitspakete, wie auch den ständigen Austausch und Einsatz von Pair-Programming an geeigneten Stellen, wird das Risiko stark reduziert. Sollte es trotzdem Eintreten, sind die Auswirkungen marginal, da die ständige Kommunikation dies sofort aufdecken wird.	Gering	Klein
R-5	Unterschätzen der Komplexität	Um zumindest ein brauchbares Resultat vorweisen zu können, wurde der erste Meilenstein möglichst simpel gehalten.	Wahrscheinlich	Gross
R-6	Verpassen wichtiger Termine	Es wird ein Kalender mit allen Terminen geführt, welcher mehrmals eine Erinnerung anzeigt.	Gering	Gross

Tabelle 4.1: Risiken

Die identifizierten Risiken werden in der Abbildung 4.1 für eine bessere Übersicht eingetragen.

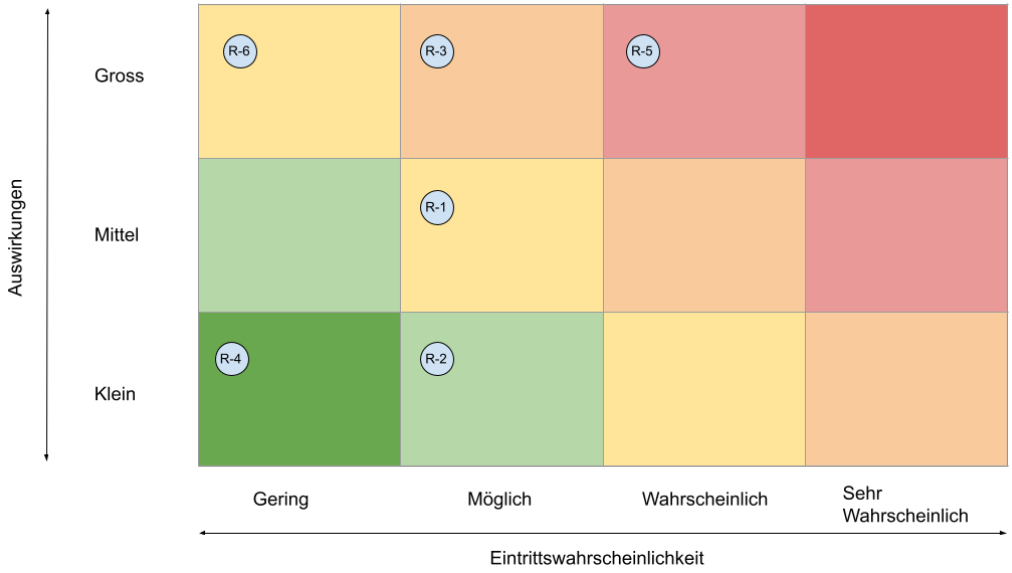


Abbildung 4.1: Risikoanalyse

4.2 Klassifikation

4.3 Modellierung physikalisches System

Der in Kapitel 4.4 beschriebene Algorithmus benötigt ein möglichst optimales Datenmodell, um effizient arbeiten zu können.

Das Modell beschreibt den Ablauf durch Effekte, wie zum Beispiel Kollisionen, welche auftreten. Das Modell wird in drei Teile gegliedert. Zum Einen gibt es Objekte, welche entweder variabel oder konstant sind. Variabel sind sie, sobald sie einen Energiewert besitzen, der sich über die Zeit oder durch Interaktionen mit anderen Objekten verändert. Konstant sind sie, wenn sie einen fixen Energiewert haben. Dieser kann auch 0 sein. Weiterhin gibt es Ereignisse (Events), welche Schlüsselveränderungen im System signalisieren. Zu guter Letzt existiert eine Kantenfunktion, die zwischen den Ereignissen auf den Status des Objekts angewendet werden kann.

4.3.1 Objekte

Wie bereits erwähnt existieren zwei Arten von Objekten:

Variabel Energiewert ändert sich. Variable Objekte werden dynamisch genannt, sofern sie einen Energiewert grösser 0 haben und werden statisch genannt, sobald der Energiewert 0 erreicht.

Konstant Energiewert ändert sich nicht.

4.3.2 Ereignisse und ihre Repräsentation

Das Ziel ist der Aufbau eines graphenähnlichen Konstrukts, welches aus Layern besteht und Zustandsübergänge variabler Objekte durch Knoten repräsentiert. Einige dieser Knoten treten bei Ereignissen wie einer Kollision oder das Verlassen des Systems auf. Andere Knoten dienen der reinen Abbildung des variablen Objekts innerhalb des Layers. Es werden die nachfolgenden Knoten definiert.

Energy-Input-Node: Dieser Node beschreibt das Auftreten eines Energie-Inputs von Aussen.

Energy-Transfer-Node (Collision-Node): Dieser Node beschreibt die Übergabe von Energie auf die beteiligten Objekte.

Der Energy-Transfer-Node wird in drei Schichten aufgeteilt. Bei der Input-Schicht wird die Kantenfunktion (siehe S. 11) angewendet. Diese berücksichtigt den Energieverlust bis zum Auftreten des Ereignisses. Die mittlere Schicht beschreibt die Übergabefunktion der beteiligten Objekte. Die dritte Schicht repräsentiert das Resultat, also den Status der Objekte nach der Energieübergabe.

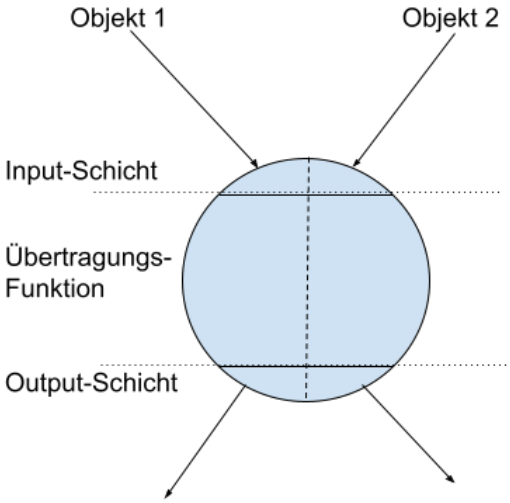


Abbildung 4.2: Der Energy-Transfer-Node

No-Energy-Node: Dieser Node wird eingesetzt, sobald der Energiewert eines variablen Objekts auf 0 sinkt und somit auch den Übergang von dynamisch zu statisch repräsentiert.

Out-Of-System-Node: Dieser Node wird eingesetzt, sobald ein variables Objekt das System verlässt.

Cutting-Node: Dieser Node ist ein spezieller Energy-Transfer-Node. Er wird bei variablen Objekten eingesetzt, die nicht an einem Ereignis beteiligt sind, wenn ein solches auftritt. Zum Ereigniszeitpunkt wird ein neuer Layer (siehe S. 12) geschaffen, welcher die Objekte, die am Ereignis beteiligt sind, in einem Energy-Transfer-Node festhält. Weiterhin wird der Status aller dynamsichen Objekte ebenfalls zu diesem Zeitpunkt festgehalten. Der Cutting-Node beschränkt sich auf ein Input- sowie Output-Objekt und beinhaltet als Energieübertragungsfunktion die Identitätsfunktion.

4.3.3 Kantenfunktion

Die Kantenfunktion beschreibt eine Energieabnahme über die Zeit oder den Weg.

4.3.4 Layer

Sobald ein Ereignis auftritt wird ein neuer Layer im System eingefügt. Dieser beinhaltet sämtliche Veränderungen der variablen Objekte und beschreibt den Status des Systems komplett. Der erste sowie der letzte Layer sind speziell, da diese eigentlich nur deren Halbe sind. Ein Layer wird grundsätzlich in zwei Bereiche aufgeteilt. Es gibt den Inputbereich, welcher den Status eines variablen Objektes vor der Energieübertragung, sowie den Outputbereich, welcher den Status eines variablen Objektes nach der Energieübertragung beschreibt. Um den aktuellen Stand eines Systems zu ermitteln, kann zwischen der Zeit des Outputbereichts von Layer $n-1$ wie der Zeit des Inputbereichst von Layer n interpoliert werden.

4.3.5 Beispiel eines Graphen

Das beschriebene Datenmodell kann als Graph[1] visualisiert werden. Als Beispiel wird die Idee eines Billardstosses in Abbildung 4.3 hinzugezogen. Auf dem Tisch liegt eine weisse wie auch zwei rote Kugeln. Die zweite rote Kugel wird an keiner Interaktion beteiligt sein, weswegen sie ihren Zustand nie verändert. Es ist ersichtlich, dass bei jedem Ereignis jeweils ein „Out-of-energy-Node“ eingefügt wird. Das erste Event beschreibt die Kollision des dynamischen Objekts „weisse Kugel“ sowie des statischen Objekts „rote Kugel“. Danach verliert die weisse Kugel sämtliche Energie und wechselt in den Status „Out-of-energy“. Da die rote Kugel zu diesem Zeitpunkt dynamisch ist, wird für sie ein „Cutting-Node“ eingefügt. Zuletzt verlässt die rote Kugel das System, für sie wird ein „Out-of-system-Node“ erstellt und das System hat sämtliche Energie verloren. Ein Endzustand wurde erreicht. Es gilt weiterhin die Beschreibung auf der linken Seite der Keyframes zu beachten. Ein Layer definiert immer deren zwei Keyframes, sofern es sich nicht um den Input- oder Output-Layer handelt. Um den Zustand des Systems zu einem beliebigen Zeitpunkt zu berechnen, kann jeweils zwischen den KeyFrames n und $n+1$ zweier Layer interpoliert werden.

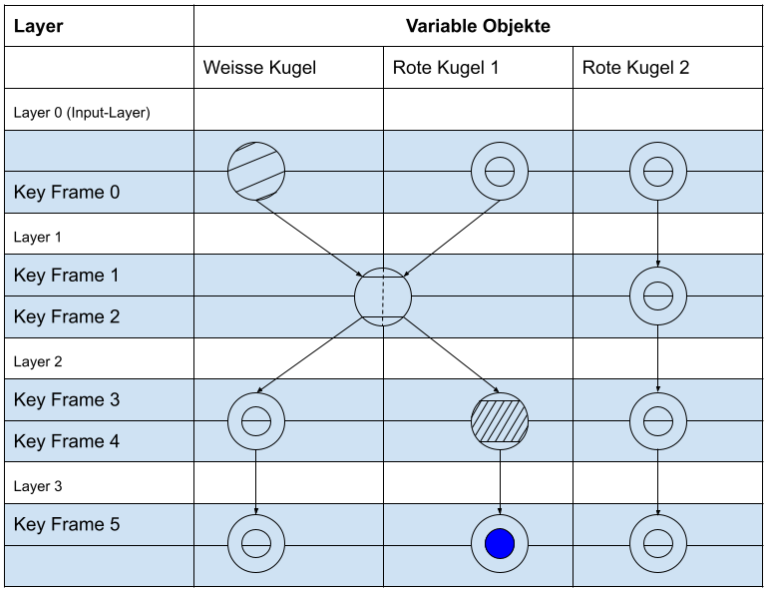


Abbildung 4.3: Beispiel für ein Resultat des Algorithmus 1

[1] Aus effizientsgründen wird auf einen Graphen in der Implementation verzichtet. Das System setzt sich aus verschiedenen Layern zusammen, bei welchen die Informationen der Events für jedes variable Objekt separat und mit Zugriffszeit $O(1)$ abgelegt werden.

```
Function simulate(start: Layer, constantObjects: list) ⟶ System
    system ⟵ System()
    system ⟵ appendLayer(system, start)
    while ! system.isStatic() do
        nextEvent ⟵ nextEvent(system.lastLayer(), constantObjects)
        layer ⟵ atMoment(nextEvent)
        system ⟵ appendLayer(system, start)
    end
    return system

Function nextEvent(layer: Layer, constantObjects: list) ⟶ Node
    nextEvent: Node ⟵ none
    for object in layer.dynamicObjects() do
        nextEvent ⟵ min(nextEvent, outOfEnergy(object))
        nextEvent ⟵ min(nextEvent, collision(object, layer.dynamicObjects()))
        nextEvent ⟵ min(nextEvent, collision(object, layer.staticObjects()))
        nextEvent ⟵ min(nextEvent, collision(object, constantObjects))
    end
    return nextEvent
```

Algorithm 1: Algorithmus zum Aufbau eines physikalischen Systems

In Algorithmus 1 wird die Grundidee erläutert. Als Input für die Funktion „simulate“ dient der erste Layer, welcher mehrere variable Objekte beinhalten kann, wobei mindestens ein Objekt dynamisch (energiereich) sein sollte. Dieser Layer wird direkt dem erzeugten System hinzugefügt und dieses wird solange bearbeitet, bis alle variablen Objekte statisch sind (das System hat keine Energie mehr). In jedem Schleifendurchlauf wird das nächste Event berechnet. Die Events können diverser Natur sein. Es werden Kollisionen mit dynamischen, statischen wie auch konstanten Objekten geprüft. Bei der Kollision mit konstanten Objekten können die Ereignisse „Energy transfer“ oder „Out of System“ auftreten. Weiterhin wird geprüft, ob ein dynamisches Objekt seine Energie durch die Kantenfunktion verliert. Auf Basis dieses Events wird dann ein neuer Layer generiert, welcher für die am Event beteiligten Objekte den entsprechenden Node einfügen und für die anderen variablen Objekte entweder ein „Cutting-Node“ oder ein „Out-of-energy-Node“ berechnet wird.

4.4 Suchalgorithmus

Die Suche wird über zwei Schritte durchgeführt. Der erste Schritt besteht aus der Suche nach einem Lösungskandidaten, wobei vom Ziel aus ein Stoss gesucht wird, welcher das Potenzial hat, eine Kugel in diesem Ziel zu versenken. Das Resultat dieses Schrittes ist lediglich der Geschwindigkeitsvektor der weissen Kugel. Ob dieser Stoss tatsächlich das Resultat zur Folge hat, welches er voraussagt, wird im zweiten Schritt geprüft. Der Geschwindigkeitsvektor der weissen Kugel kann mit unterschiedlichem Betrag in einen Simulationsschritt eingegeben werden. Der Simulationsschritt wird als Resultat ein physikalisches System wie in Kapitel 4.3 ergeben.
Im Nachfolgenden wird auf die verschiedenen Schritte und deren Funktionsweise sowie die optimale parallele Durchführung der Berechnungen eingegangen.

4.4.1 Kandidatensuche

Die Kandidatensuche, im Folgenden Suche genannt, wird über eine klassische Graphensuche durchgeführt, wobei diese vom Ziel aus gestartet wird. Der Root-Knoten definiert das zu treffende Ziel (Loch). Ein Knotenpunkt tieferer Ebene beinhaltet immer eine Kugel, welche als nächst zu treffendes Ziel gilt. Eine Suche gilt als beendet, wenn die weisse Kugel als Knotenpunkt definiert wurde. Der Expansionsschritt besteht darin, eine Kugel entweder direkt oder über die Bande anzuspielen, wobei in dem Fall in diesem Schritt die gesamte Anzahl an anzuspielenden Banden abgetastet werden muss.

Das Resultat der Expansion ist eine Abfolge von Knotenpunkten. Diese Knotenpunkte unterschieden sich von denen des Suchbaums insofern, dass sie jeden Zusammenstoss abbilden. Das heisst, dass auch jeder Zusammenstoss mit der Bande modelliert wird. Am Ende der Expansion wird die minimal dem System zuzugebende Energie in Form des Geschwindigkeitsvektors der weissen Kugel berechnet. Dazu wird das Resultat der Expansion vom Ziel aus abgearbeitet und nach jedem Knoten die Energie berechnet, welche benötigt wird, um das Resultat zu erreichen.

Um den Algorithmus vorzustellen, wird als Veranschaulichung ein Beispiel hinzugezogen. Es wird vereinfacht angenommen, dass der Tisch nur ein Ziel hat. Für mehrere Ziele ergeben sich mehrere Suchbäume. In Abbildung 4.4 erfolgt die Eingabe des

Suchalgorithmus in Form des Root-Knotens. Es wird nur das zu treffende Ziel definiert. Auf der rechten Seite des Tisches wird einerseits der Suchbaum in Spalte 1 und andererseits das Resultat des Algorithmus in Spalte 2 gezeigt. Das Resultat wird wiederum in Form von Ereignisknoten, wie in Kapitel 4.4 vorgestellt, angegeben.

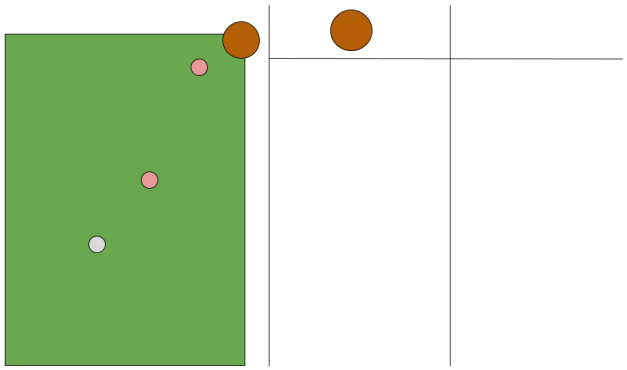


Abbildung 4.4: Kandidatensuche 1

In einem zweiten Schritt wird die einzulochende Kugel definiert. Es kommen zwei Kugeln in Frage, wobei sich für eine entschieden wird. Abbildung 4.5 zeigt, dass der Suchbaum um einen Knoten erweitert wurde, das Resultat definiert nun ebenso einen Endzustand. Dieser Endzustand bildet das Entfernen eines Objekts aus dem System aufgrund der Kollision der Kugel mit dem Ziel ab.

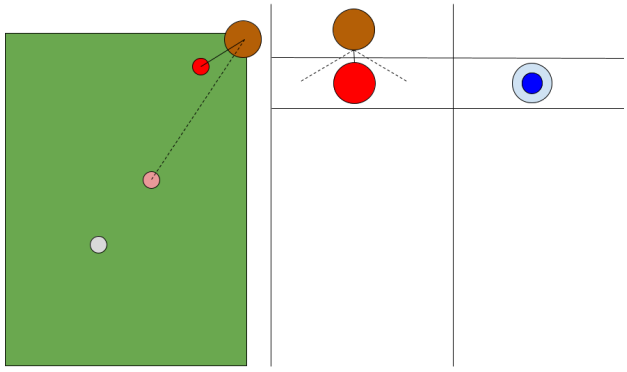


Abbildung 4.5: Kandidatensuche 2

In Abbildung 4.6 erfolgt der letzte Schritt. Auch hier ergeben sich diverse Optionen. Um den Unterschied zwischen Suchbaum und Resultat aufzuzeigen, wird den Weg über eine Bande gewählt. Der Suchbaum beinhaltet die weisse Kugel, die Suche gilt also als abgeschlossen. Das Resultat wiederum wird für jede Kollision um einen Knoten erweitert. Am Ende wird noch ein „Energy-Input-Node“ eingefügt.

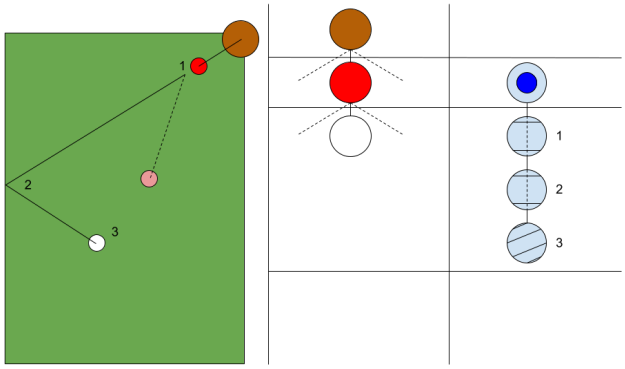


Abbildung 4.6: Kandidatensuche 3

Resultatskette und Suchbaumpfad unterscheiden sich demnach markant, algorithmisch kann die Resultatskette den Pfad im

Suchbaum aber sehr gut nachbilden. So können in einem Expansionsschritt beliebig viele Kollisionsknoten eingefügt werden, wobei im nächsten Expansionsschritt nur der letzte eingefügte Knoten relevant ist. Sollte die weisse Kugel expandiert werden, wird zusätzlich noch ein „Energy-Input-Node“ eingefügt und die Suche ist beendet.

Function `expand`(*node: Node, constantObjects: list*) ⟶ *list[Node]*
    nodes ⟵ list()
    nodes ⟵ append(expandBalls(node, constantObjects))
    nodes ⟵ append(expandBank(node, constantObjects))
    return nodes

Algorithm 2: Algorithmus zur Durchführung eines Expansionsschritts bei der Kandidatensuche

Anhand der Resultatskette wird abschliessend die Berechnung zur Eingabe der minimalen Energie durchgeführt. Wie diese Energie berechnet wird, soll in den nächsten Abschnitten genauer erklärt werden.

4.4.1.1 Reibungsverlust über Bahn

TODO: T-5

4.4.1.2 Energieübergabe bei Kugelkollision

TODO: T-5

4.4.2 Simulation

Sobald ein möglicher Lösungskandidat gefunden wurde, wird eine Simulation durchgeführt, um die Lösung definitiv zu bestätigen. Durch das Anwenden verschiedener Input-Energien können in diesem Schritt mehrere Situationen evaluiert werden.

Die Simulation wird durch die Definition eines physikalischen Systems wie in Kapitel 4.3 durchgeführt. Hierbei gelten die Zuordnungen wie sie nachfolgend beschrieben werden.
Ereignisse

Energy-Input-Node Wird modelliert über die Eingabe der Energie der weissen Kugel. Ein spezifischer Node zur Modellierung wird nicht implementiert, es wird der Energy-Transfer-Node verwendet, wobei nur der Output-Wert relevant ist.

Energy-Transfer-Node Tritt bei der Kollision zwischen zweier Kugeln oder einer Kugel mit der Bande auf.

No-Energy-Node Tritt auf, wenn eine Kugel vom dynamischen in den statischen Zustand wechselt (ausrollt). In jedem Layer, wo eine Kugel statisch ist, wird sie durch diesen Node modelliert.

Out-of-System-Node Sobald eine Kugel mit dem Zielkreis kollidiert, tritt dieses Ereignis auf. Dem System wird die Energie entzogen und die Kugel ist nicht mehr verfügbar.

Kantenfunktion Die Kantenfunktion zwischen den Übergängen innerhalb des Layers bildet der Reibungsverlust der Kugel über eine bestimmte Zeit oder einen bestimmten Ort.

Dynamische/Statische Objekte Im Billiard gibt es nur die Kugeln als statische und/oder dynamische Objekte.

Konstante Objekte Die konstanten Objekte bilden die Banden wie auch die Ziele.

Es wird ungefähr der Pseudoalgorithmus wie in 1 angewendet, optimal auf das Problem „ Billiard“ abgestimmt. Es folgen die physikalischen Berechnungen zur Durchführung der Simulation.

4.4.2.1 Reibungsverlust über Strecke

TODO: T-5 Reibungsverslut über eine Strecke

4.4.2.2 Ereignis Out-Of-Energy

TODO: T-5 Auftrittszeitpunkt Out-Of-Energy über Reibungsverlust

4.4.2.3 Ereignis Energy-Transfer über Kugelkollision

TODO: T-5 Kollision mit Kugeln (statisch/dynamisch) berechnen

4.4.2.4 Ereignis Energy-Transfer über Bandenkollision

TODO: T-5 Kollision mit Banden berechnen.

4.4.2.5 Ereignis Out-Of-System

TODO: T-5 Kollision mit Zielkreis berechnen.

4.4.3 Berechnungsprozess

Die Berechnung eines optimalen Stosses wird aufgrund der vielen Möglichkeiten sehr zeitintensiv, weswegen die expandierten Teilschritte parallel gerechnet werden.

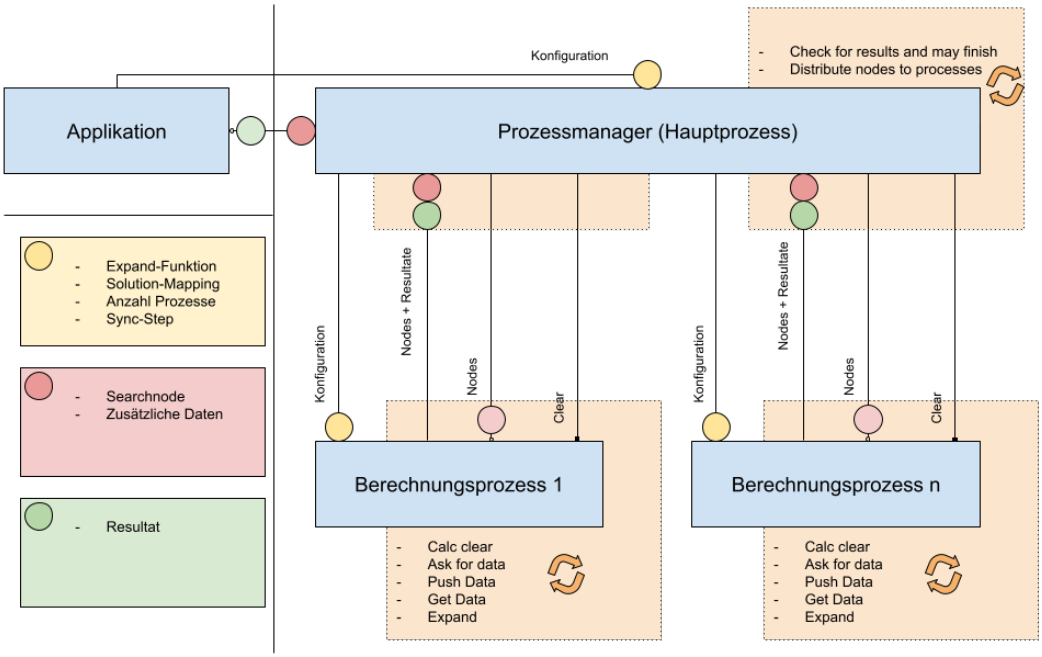


Abbildung 4.7: Berechnungsprozess

Abbildung 4.7 erläutert die Durchführung dieser Expansionsschritte. Die Applikation auf der linken Seite repräsentiert in erster Linie den Code zur Expansion eines Nodes der Suche eines Lösungskandidaten oder Simulation. Diese ist weiterhin verantwortlich für die Durchführung der Suche an sich. Die Applikation benutzt für die Parallelisierung den Prozessmanager. Datenaustausche werden über gefärbte Kreise repräsentiert. Handelt es sich um einen asynchronen Datenaustausch, dann ist der entsprechende Kreis heller eingefärbt und die Verbindungslinie ist durch einen nicht ausgefüllten Punkt ausgezeichnet. Es werden die Farben Rot den zu bearbeitenden Daten, Gelb den Konfigurationsdaten und Grün den Resultaten zugeordnet. Signale sind durch ein ausgefülltes Quadrat an der Verbindungslinie gekennzeichnet. Das Signal oder die Daten sind jeweils beim Empfänger angegeben. Repetitive Aufgaben sind durch ein hinterlegtes oranges Rechteck markiert.

Bei der Erstellung des Prozessmanagers werden alle Konfigurationen mitgeliefert. Der Prozessmanager erzeugt während seiner Instanziierung die Prozesse, welche ebenfalls direkt konfiguriert werden. Die Prozesse laufen nun im Hintergrund und

warten auf Daten.

Erhält die Applikation eine Suchanfrage, ruft sie in einem ersten Schritt den Prozessmanager auf. Dieser nimmt noch zu berechnende Daten entgegen. Im Fall von Billard sind dies die Root-Nodes des Suchbaums. Jeder Root-Node repräsentiert ein Loch. Der Prozessmanager gibt in dem Fall eine Datenstruktur zurück, welche es erlaubt, in Zukunft auf die Anfrage zu antworten. In dieser Antwort werden die Resultate geliefert. Der Ablauf des Hauptprozesses sieht vor, dass zuerst versucht wird, die Berechnung abzuschliessen. Dies ist der Fall, wenn entweder genügend Lösungen gefunden wurden oder die maximal zur Verfügung stehende Zeit abgelaufen ist. Sollte die Berechnung nicht abgebrochen werden, dann werden die offenen Anfragen der Berechnungsprozesse beantwortet. Der Prozessmanager verteilt alle ihm gemeldeten noch zu bearbeitenden Daten an die einzelnen Berechnungsprozesse und legt sich danach für eine Weile schlafen. In einem Zyklus eines Berechnungsprozesses wird zuerst geprüft, ob eine Berechnung abgebrochen werden soll. Dies ist der Fall, wenn der Prozessmanager ein „Clear-Signal“ gesendet hat. Dieses Signal tritt auf, wenn eine neue Berechnung gestartet oder wenn eine aktuell Laufende erfolgreich beendet oder abgebrochen wird. Der Berechnungsprozess stellt in einem nächsten Schritt eine Datenanfragen an den Prozessmanager, sollte keine offene oder noch nicht bearbeitete Anfrage existieren. Danach erfolgt die Prüfung, ob die Zeit zwischen einem Synchronisationsschritt abgelaufen ist. In dem Fall liefert der Berechnungsprozess seine besten weiterzuführenden Berechnungen wie auch Resultate dem Prozessmanager. Er wird demnach für eine Weile an weniger erfolgsversprechenden Resultaten weiterarbeiten. In einem weiteren Schritt wird geprüft, ob eine Datenanfrage bereits beantwortet wurde. Ist dies der Fall, so werden die Daten den zu bearbeitenden Daten des Berechnungsprozesses hinzugefügt. Zuletzt erfolgt der Expansionsschritt, wobei der erfolgsversprechendste Kandidat expandiert wird.

Die Synchronisation zwischen den Prozessen wird in Abbildung 4.8 erläutert. Sie findet nach einer konfigurierten Zeit k statt. Diese wird in Millisekunden $[ms]$ angegeben. Da die Synchronisation ein exklusives Verwenden einer geteilten Ressource erfordert, um die erledigte Arbeit dem Prozessmanager mitzuteilen, erhalten alle laufenden Prozesse (dies umfasst den Hauptprozess des Prozessmanagers wie auch alle Berechnungsprozesse) ein Zeitfenster zugeteilt, welches nach k Millisekunden startet. Danach kann jeder Prozess nach $k + i \cdot n$, wobei i für die Prozessid beginnend bei 0 und n für das Zeitfenster einer Synchronisation steht, mit der Synchronisation beginnen. Es wird so verhindert, dass zu viele Prozesse auf die Ressource des Prozessmanagers warten müssen und untätig bleiben. Ein weiterer Vorteil dabei ist die Tatsache, dass in der Zeit der Synchronisation einige Prozesse Zeit erhalten, um eher schlechter bewertete Kandidaten weiterzuverfolgen. Dadurch ist es möglich, dass ein sehr gutes Ergebnis gefunden werden kann, obwohl dessen Kandidat anfänglich als schlecht beurteilt wurde.

Prozess\Zeit [ms]	k	k + 0n	k + n	k + 2n	2k	2k + 0n	2k + n	2k + 2n
Hauptprozess								
Berechnungspr. 1								
Berechnungspr. 2								

Abbildung 4.8: Berechnungsprozesssynchronisation

Die Abbildung 4.8 zeigt den Hauptprozess wie auch zwei Berechnungsprozesse, welche eine Synchronisation nach k Millisekunden durchführen. Grüne Spalten stehen hierbei für die Zeit, welche für die Berechnung einer Lösung verwendet wird, also als produktiv bezeichnet werden kann. Rote Spalten hingegen signalisieren den unproduktiven Overhead, der bei der Synchronisation entsteht. Der Prozessmanager macht nebst seinem Synchronisationsfenster nichts, weswegen seine Spalten grau markiert sind. Eine mögliche Verbesserung wäre die Auslastung des Prozessmanagers mit zusätzlicher Berechnungsarbeit, wie sie die Berechnungsprozesse durchführen.

Die Kandidaten, welche die Berechnungsprozesse dem Hauptprozess mitteilen, werden über eine heuristische Funktion bewertet und dementsprechend priorisiert. Sobald alle Berechnungsprozesse ihre Kandidaten dem Hauptprozess übergeben haben, priorisiert dieser die Kandidaten und verteilt sie zurück auf die Berechnungsprozesse über deren offenen Datenanfragen. Dadurch wird sichergestellt, dass jeder Berechnungsprozess an den optimalsten Kandidaten weiterarbeitet, um möglichst schnell möglichst gute Lösungen zu finden.

5 Resultate

Dieses Kapitel beinhaltet die Aufführung aller Ergebnisse der Arbeit. Dies betrifft insbesondere die Fortsetzung der Genauigkeitsanalyse der Kugeldetektion aus der Vorarbeit[Luk21b], die Genauigkeitsanalyse der Klassifikation wie auch eine Aufstellung einiger Spielstände, deren Suchresultate und verwendete Berechnungszeiten für die einfache direkte wie auch erweiterte Suche.

5.1 Klassifikation

6 Weitere Arbeiten

TODO: Weitere Arbeiten

7 Fazit

TODO: Fazit

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literatur

[Luk21a] Luca Ritz Lukas Seglias. “Billiard-AI”. In: (2021), S. 5–6.

[Luk21b] Luca Ritz Lukas Seglias. “Billiard-AI”. In: (2021), S. 21–23.

Erklärung der Diplomandinnen und Diplomanden
Déclaration des diplômant-e-s

Selbständige Arbeit / *Travail autonome*

Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich meine vorliegende Bachelor-Thesis selbständig durchgeführt habe. Alle Informationsquellen (Fachliteratur, Besprechungen mit Fachleuten, usw.) und anderen Hilfsmittel, die wesentlich zu meiner Arbeit beigetragen haben, sind in meinem Arbeitsbericht im Anhang vollständig aufgeführt. Sämtliche Inhalte, die nicht von mir stammen, sind mit dem genauen Hinweis auf ihre Quelle gekennzeichnet.

Par ma signature, je confirme avoir effectué ma présente thèse de bachelor de manière autonome. Toutes les sources d'information (littérature spécialisée, discussions avec spécialistes etc.) et autres ressources qui m'ont fortement aidé-e dans mon travail sont intégralement mentionnées dans l'annexe de ma thèse. Tous les contenus non rédigés par mes soins sont dûment référencés avec indication précise de leur provenance.

Name/*Nom*, Vorname/*Prénom* .....

Datum/*Date* .....

Unterschrift/*Signature* .....

Dieses Formular ist dem Bericht zur Bachelor-Thesis beizulegen.
Ce formulaire doit être joint au rapport de la thèse de bachelor.

Erklärung der Diplomandinnen und Diplomanden
Déclaration des diplômant-e-s

Selbständige Arbeit / *Travail autonome*

Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich meine vorliegende Bachelor-Thesis selbständig durchgeführt habe. Alle Informationsquellen (Fachliteratur, Besprechungen mit Fachleuten, usw.) und anderen Hilfsmittel, die wesentlich zu meiner Arbeit beigetragen haben, sind in meinem Arbeitsbericht im Anhang vollständig aufgeführt. Sämtliche Inhalte, die nicht von mir stammen, sind mit dem genauen Hinweis auf ihre Quelle gekennzeichnet.

Par ma signature, je confirme avoir effectué ma présente thèse de bachelor de manière autonome. Toutes les sources d'information (littérature spécialisée, discussions avec spécialistes etc.) et autres ressources qui m'ont fortement aidé-e dans mon travail sont intégralement mentionnées dans l'annexe de ma thèse. Tous les contenus non rédigés par mes soins sont dûment référencés avec indication précise de leur provenance.

Name/*Nom*, Vorname/*Prénom* .....

Datum/*Date* .....

Unterschrift/*Signature* .....

Dieses Formular ist dem Bericht zur Bachelor-Thesis beizulegen.
Ce formulaire doit être joint au rapport de la thèse de bachelor.

8 Anhang

TODO: Anhang