

Kollaboratives, cloud-basiertes Simulationstool für Schwarmrobotik Collaborative cloud-based Simulation Tool for Swarm Robotics

Bachelorarbeit

verfasst am
Institut für Theoretische Informatik

im Rahmen des Studiengangs Robotik und autonome Systeme der Universität zu Lübeck

vorgelegt von **Patrick Ugwu**

ausgegeben und betreut von **Dr. Javad Ghofrani**

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Patrick Ugwu
Patrick Ugwu

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit untersucht die Integration kollaborativer online Funktionen in die Robotersimulation. Ziel der Arbeit ist es, die Machbarkeit und den Nutzen eines kollaborativen, webbasierten Werkzeuges zur Simulation im Bereich der Schwarmrobotik zu untersuchen. Hierfür wurde der Simulator CollabSim entwickelt und mittels eines Nutzertests evaluiert. Dabei wurden die Auswirkungen der Nutzung dieses Werkzeugs auf den Simulationsprozess im Vergleich zu traditionellen Simulationsmethoden untersucht. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial und die Machbarkeit dieses Ansatzes zur Verbesserung der Effektivität bei der Erstellung von Simulationen. Die Arbeit schließt mit der Feststellung, dass CollabSim einen vielversprechenden Prototypen darstellt. Dennoch wird aufgezeigt, dass weitere Forschung erforderlich ist, um spezifische Vorteile und Herausforderungen weiter zu untersuchen.

Abstract

This bachelor's thesis examines the integration of online collaborative features into robot simulation. The aim of the study is to investigate the feasibility and benefits of a collaborative online tool in the field of swarm robotics simulation. For this purpose, the online simulation tool CollabSim was developed and evaluated through a user test. The impact of using this tool on the simulation process was examined in comparison to traditional simulation methods. The results demonstrate the potential and feasibility of this approach to enhance the effectiveness in creating simulations. The thesis concludes by noting that CollabSim represents a promising prototype. However, it also highlights the need for further research to explore specific advantages and challenges in depth.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	•
1.1	Beiträge dieser Arbeit	
1.2	Related Work	2
1.3	Aufbau dieser Arbeit	5
2	CollabSim	6
2.1	Überblick	6
2.2	Virtuelle Maschiene	
2.3	Webserver	<u> </u>
2.4	Ace	10
2.5	IFrame	
3	Nutzertest	12
3.1	Methodik	12
3.2	Experiment	13
3.3	Hypothesentests	15
4	Ergebnisse und Diskussion	16
4.1	Eignung und Selbsteinschätzung	16
4.2	Zufriedenheit und Erlernbarkeit	
4.3	Effizenz und Nützlichkeit	
4.4	Konkurenzfähigkeit und Potential	20
4.5	Erfahrung	24
4.6	Limitationen und Fehlermöglichkeiten	25
4.7	Schlussfolgerungen	25
5	Zusammenfassung und Ausblick	29
Litera	atur	30

1

Einleitung

Simulatoren sind bereits seit vielen Jahren ein wesentlicher Bestandteil in der Entwicklung von Hardware und Software. Besonders in Bereichen wie der Robotik, in denen fehlerhafte Programmierung erhebliche Schäden an Mensch, Maschine oder Umgebung verursachen kann, sind Simulationen von entscheidender Bedeutung. Sie ermöglichen es Entwicklern, komplexe Systeme unter kontrollierten Bedingungen zu testen und zu optimieren, bevor diese in der realen Welt eingesetzt werden. Durch den Einsatz von Simulatoren können Risiken minimiert und die Effizienz der Entwicklungsprozesse erheblich gesteigert werden.

In der heutigen Forschung spielt die Robotik eine zunehmend wichtige Rolle. Unsere modernen Robotersysteme entwickeln sich ständig weiter und erschließen neue Anwendungsbereiche. Dadurch werden diese Systeme immer größer und anspruchsvoller. Doch mit der Entstehung neuer Anwendungsfelder stoßen einzelne Robotersysteme auch zunehmend an ihre Grenzen. Versuche, diese Situation durch die Entwicklung noch komplexerer oder größerer Robotersysteme zu überwinden, erfordern immense Kosten und eine hohe Komplexität in der Umsetzung. Daher werden vermehrt neue Konzepte in diesen Bereichen erforscht. Eines dieser Konzepte ist das Gebiet der Schwarmrobotik.

Die Schwarmrobotik bezieht sich auf den Einsatz mehrerer kleiner, einfacher Roboter, die gemeinsam komplexe Aufgaben erfüllen. Diese Technologie nutzt die Vorteile der kollektiven Intelligenz und der Selbstorganisation, um Probleme zu lösen, die für einen einzelnen Roboter zu schwierig oder unmöglich wären. Im Gegensatz zu herkömmlichen Robotersystemen, die oft auf zentrale Steuerung und starke Interaktion mit Menschen angewiesen sind, können Schwarmroboter unabhängig arbeiten und schnell auf Änderungen in ihrer Umgebung reagieren.

Auch die Kollaboration, also das gemeinsame Arbeiten an einem Projekt, ist seit vielen Jahren ein heißes Thema in der Forschung und Entwicklung und ist auch bei Nutzern sehr beliebt. Sie findet vermehrt Einzug in alle Bereiche des digitalen Lebens. Das Ermöglichen kollaborativer Funktionen spielt, in einer zunehmend vernetzten und globalisierten Welt, eine entscheidende Rolle. Zudem erleichtert ein webbasiertes Tool den Zugang und die Wartung, da keine speziellen Installationen oder Updates auf den Endgeräten der Nutzer erforderlich sind. Dies fördert eine nahtlose Integration und sofortige Verfügbarkeit für alle Beteiligten.

Ich habe während meiner Recherche jedoch keinen Robotiksimulator gefunden, wel-

cher kollaborative Funktionen zur synchronen Arbeit an einer Simulation, ermöglicht. Ebenso habe ich keinerlei Forschung zu diesem Thema entdecken können. Es scheint als wäre dieses Einsatzgebiet der Kollaboration bisher kaum untersucht worden.

Aus diesem Grund habe ich für diese Bachelorarbeit CollabSim, einen kollaborativen Onlinesimulator für die Schwarmrobotik, entwickelt. Er soll die genannten Technologien vereinen und bildet einen Prototyp, an dem ich den potenziellen Nutzen und die Machbarkeit webbasierter, kollaborativer Arbeit in der Schwarmrobotiksimulation untersuchen werde. Anhand eines Nutzertests werde ich zeigen, dass dieses Konzept für Simulationen in der Robotik realisierbar und von großem Vorteil sein kann. CollabSim wird sich als vielversprechend erweisen, auch wenn weitere Untersuchungen erforderlich sind, um genauere Erkenntnisse zu gewinnen.

1.1 Beiträge dieser Arbeit

Meine Arbeit soll zukünftiger Forschung als ein erster Anhaltspunkt und Inspiration dienen, um diesem Feld mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Kollaboratives Arbeiten könnte die bereits gut erforschten Vorteile solcher Editoren mit Simulatoren vereinen und dadurch zu einem neuen Standard in Simulationswerkzeugen werden. Es werden Kollaboration und Robotiksimulation in einem online verfügbaren Werkzeug zur gemeinsamen Bearbeitung einer Simulationsumgebung realisiert, das erste Ergebnisse zum potenziellen Nutzen eines solchen Simulators liefern soll. In diesem Werkzeug wird der speziell für die Schwarmrobotik entwickelte Simulator ARGoS verwendet. Dieser wurde von mir um kollaborative Funktionen erweitert und CollabSim getauft. Ziel der Arbeit ist es, die Machbarkeit und den Nutzen solcher Werkzeuge zu untersuchen und ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber traditionellen Simulatoren in der Robotik zu bewerten.

Forschungsfrage: Ist das Konzept des kollaborativen Arbeiten an webbasierten Simulationen von Schwarmrobotern realisierbar und vorteilhaft gegenüber traditionellen Simulatoren?

1.2 Related Work

Ich habe keine Literatur zu kollaborativen Robotiksimulatoren finden können. Wie zuvor erwähnt, scheint dieses Gebiet weitestgehend unerforscht zu sein. Da Simulationsumgebungen in der Robotik und kollaborative Editoren jedoch bereits seit Jahrzehnten erforscht werden, stelle ich in diesem Abschnitt einige relevante Erkenntnisse vor, um einen guten Einblick in diese Bereiche zu gewähren und aufzuzeigen, wieso die Kombination der beiden Ansätze für die Robotik von Vorteil sein könnte.

Kollaborative webbasierte Robotiksimulationen sind besonders für die Schwarmrobotik aufgrund ihrer erhöhten Komplexität sehr relevant. Dennoch ist dieser Ansatz auch für andere Disziplinen der Robotik äußerst relevant, weshalb ich in dieser Untersuchung diese Disziplinen nicht getrennt behandeln werde.

Robotiksimulatoren

Simulationen spielen seit den Anfängen der Robotik eine wichtige Rolle. Ihre Entwicklung ist eng mit den Fortschritten in der Computertechnologie verbunden. Durch den massiven Anstieg der Verbreitung personalisierter Computer, bedingt durch sinkende Hardwarekosten, wurde auch die Verbreitung von Robotern stark vorangetrieben. Dies führte zur Entstehung der ersten öffentlich zugänglichen, oft projektspezifischen Simulatoren, deren großer Nutzen schnell erkannt wurde. Mit dem weiter steigenden Interesse an Robotern in den verschiedensten Bereichen wuchs auch der Bedarf an geeigneten und generischen Simulatoren (Castillo-Pizarro, Arredondo und Torres-Torriti, 2010).

Die Ursprünge der Technologien zur Simulation von Roboterdynamik liegen in der Computergrafik-Community. Viele Simulatoren basieren auf Spielengines zur grafischen und physikalischen Simulation. Beispielsweise sind die Open Dynamics Engine (ODE) und Bullet die am weitesten verbreiteten Physik-Engines für Robotersimulationen, die ursprünglich für die Nutzung in Videospielen entwickelt wurden. Beide Engines werden bis heute von den am weitesten verbreiteten Simulatoren genutzt, darunter Gazebo, V-REP, Webots und ARGOS (Ivaldi u. a., 2015).

Computersimulationen haben sich insbesondere für mobile autonome Roboter als unschätzbar wertvolles Werkzeug bewiesen (Haber, McGill und Sammut, 2012). Sie werden in der Lehre, Forschung und Entwicklung eingesetzt. Simulatoren bieten vielfältige Vorteile, darunter die Möglichkeit, komplexe Systeme zu testen und zu entwerfen. Sie unterstützen die Offline-Programmierung, ermöglichen die Entwicklung virtueller Umgebungen zum Training oder zur Fernsteuerung von Robotern und bieten die Möglichkeit, umfangreiche Kontrollalgorithmen zu testen.

Die wichtigsten Vorteile umfassen:

1. Kostenersparnis und Risikominimierung:

Roboter können sehr teuer sein. Daher bieten Simulatoren eine großartige Alternative zum Experimentieren und Testen, ohne die Gefahren und Unberechenbarkeiten der realen Welt. Roboter sind oft zerbrechlich, potenziell gefährlich und aufgrund ihrer Komplexität schwer zu testen und zu entwickeln. Die Möglichkeit, Software vorher zu testen, minimiert die Gefahren und Kosten erheblich.

2. Erforschung von Designmöglichkeiten:

Die Entwicklung und Forschung von Software kann unabhängig von der tatsächlichen Hardware erfolgen. Dadurch können verschiedene Konfigurationen von Hardwarekomponenten wie Sensoren und Aktuatoren in Simulationen getestet werden. Dies ist besonders nützlich, da Roboter häufig aus externen Quellen zu hohen Kosten bezogen werden müssen.

3. Simulation unrealistischer Szenarien:

Simulatoren ermöglichen das Testen von Robotersoftware in Situationen, die in der Realität entweder nicht machbar oder schwer zu erstellen sind. Dies ist besonders wichtig für Extremsituationen oder seltene Ereignisse.

4. Effizientes Lernen von Roboterkontrollalgorithmen:

Die Möglichkeit, Hunderte oder Tausende von Versuchen durchzuführen, ist entscheidend für das Lernen von Roboterkontrollalgorithmen. Dies ist besonders wichtig, wenn die manuelle Programmierung schwierig ist oder maschinelles Lernen eingesetzt wird.

Im Folgenden stelle ich ein konkretes Beispiel vor, um den immensen Nutzen von Simulationen in der Robotik aufzuzeigen.

Das Beispiel aus (Shamshiri u. a., 2018) handelt von den steigenden Erwartungen an die Agrarwirtschaft, ihre Erträge ergiebiger, effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Gleichzeitig soll die Ernte qualitativ hochwertiger werden und weniger abhängig von der Anzahl und Qualität verfügbarer Arbeitskräfte sein. Die Implementierung von Digital Farming und standortspezifischem Präzisionsmanagement sind einige mögliche Antworten auf diese Erwartungen. Digital Farming bezeichnet den Einsatz digitaler Technologien und Datenanalysen, um landwirtschaftliche Prozesse zu optimieren und zu verbessern. Der Einsatz von Robotern könnte hier erheblich zur Effizienzsteigerung beitragen. Die Verbesserung von Robotern für landwirtschaftliche Anwendungen erfordert jedoch Experimente und Evaluation, um die optimale Lösung zu finden. Experimente mit physischen Robotern und Sensoren im tatsächlichen Feld sind aufgrund von Zeitbeschränkungen, der Verfügbarkeit von Ausrüstung und den Betriebskosten nicht immer möglich. Um diesen Problemen entgegenzuwirken und den Entwicklungsprozess zu beschleunigen, können Simulationsmethoden einen kostengünstigen Rahmen bieten, um mit verschiedenen Sensor- und Aktuationsmechanismen zu experimentieren und die Leistungsfähigkeit des Roboters in verschiedenen Szenarien zu überprüfen.

Ein weiteres Problem ist, dass die sofortige Ertragsüberwachung und die Schätzung der erforderlichen Zeit für die Ernte, eine arbeitsintensive Aufgabe ist, die oft vernachlässigt oder manuell durchgeführt wird. Derzeit gab es keine Berichte über ein kommerzielles Robotersystem, das die Ertragsparameter während der Ernte kartieren kann. Dies wird zu einem kritischen Problem angesichts der zunehmenden Unsicherheiten über die zukünftige Verfügbarkeit von Arbeitskräften, die bereit sind, mühsame Arbeiten unter den harten Bedingungen in Gewächshäusern zu verrichten. Manuelle Datenerfassung impliziert hohe Kosten und geringe Genauigkeit und wird erheblich von der Interpretation der beteiligten Person beeinflusst. Eine Lösung welche Landwirten helfen würde, ihre Felder und Pflanzen effizienter zu verwalten, wäre die Funktionalität von Robotern, kombiniert mit Datenverarbeitungs- und Analysetools sowie künstlicher Intelligenz einzusetzen.

Für ein zweites Beispiele, welches die Wichtigkeit von Robotik und Simulationen aufzeigt, verweise ich auf (Prats u. a., 2012).

Kollaboration

Kollaboratives Arbeiten ist seit langer Zeit ein großes Thema in der Forschung. Auch in der Praxis haben Programme, welche Kollaboration ermöglichen, einen wachsenden Trend. Seit etwa 2005 ist das Interesse an kollaborativen Editoren mit dem Aufkommen von Web 2.0 stark gestiegen und die ersten webbasierten Tools sind erschienen (z.B. Wikis und Blogs). Kollaborative Lösungen, die gemeinsame Echtzeitbearbeitung ermöglichten und auf Webtechnologien basierten, verbreiteten sich allmählich. Solche Tools wurden sehr beliebt, da viele von ihnen kostenlos nutzbar waren (Kainberger, 2022).

Forschungslücken und Diskussion

Es gibt eine deutliche Lücke in der Literatur bezüglich der Kollaboration in der Robotersimulation. Ich konnte keine wissenschaftliche Arbeit finden, welche das Konzept eines kollaborativen online Robotiksimulators untersucht. Dementsprechend liegt auch keine Studie vor an der ich mich methodisch orientieren oder mit der ich meine Ergebnisse vergleichen könnte.

Bisherige Studien enthalten allerdings einige spezifischen Herausforderungen und Probleme, die mit der Nutzung von Simulationsumgebungen für Roboter verbunden sind, insbesondere hinsichtlich Genauigkeit und Leistungsfähigkeit (Ivaldi u. a., 2015). Auch de Vielfalt der verfügbaren Simulationswerkzeuge macht es Forschern, Entwicklern und Lehrenden oft schwer, das richtige Tool für die Simulation von Roboter auszuwählen (Castillo-Pizarro, Arredondo und Torres-Torriti, 2010). Eine Lösung dafür sind die gezielt durchgeführten Umfragen unter Anwendern, welche einen ersten Überblick verschaffen. Auch der Einsatz mehrerer Simulationsumgebungen durch einen schnellen Wechsel dieser, wie ihn insbesondere Online-Tools ermöglichen, könnte eine weiere Option sein, um performancebedingte Herausforderungen zu überwinden und die Auswahl zu erleichtern.

Die Vorteile beider Ansätze, der kollaborativen Arbeit und von webbasierten Werkzeugen, wurden bereits zuvor genannt.

1.3 Aufbau dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in mehrere Kapitel unterteilt, die eine systematische Herangehensweise an die Entwicklung und Evaluation eines neuen, kollaborativen Simulators für Robotersysteme darstellen.

Im folgenden Kapitel 2 wird die Architektur des entwickelten Simulators ausführlich beschrieben um dessen Funktionalität zu erläutern.

Kapitel 3 widmet sich der Durchführung von Benutzertests, bei denen verschieden Aspekte der Usability des Simulators in realen Anwendungsszenarien überprüft werden.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse dieser Tests aufbereitet, präsentiert und evaluiert. Dies umfasst die detaillierte Analyse der gesammelten Daten sowie eine Diskussion über die Implikationen und Schlussfolgerungen der Ergebnisse.

Abschließend werden in Kapitel 5 die gewonnenen Erkentnisse zusammengefasst und mögliche Verbesserungsmöglichkeiten für zukünftige Arbeiten diskutiert.

2

CollabSim

CollabSim ist das für diese Arbeit entwickelte Simulationswerkzeug, das kollaborative Funktionen mit dem weit verbreiteten Simulator ARGoS verbindet und online verfügbar macht. Außerdem kommt er in einen Nutzertest zum Einsatz, um die Machbarkeit und den Nutzen des verwendeten Konzepts zu zeigen. In Abbildung 2.2 auf Seite 8 ist die grundlegende Struktur von CollabSim dargestellt. In diesem Kapitel stelle ich alle relevanten Aspekte dieses Simulators vor um einen Einblick in dessen Funktionsweise zu bieten.

2.1 Überblick

Traditionelle Simulatoren bestehen typischerweise aus mehreren eng miteinander verknüpften Komponenten, die eine realistische und funktionale Simulationsumgebung ermöglichen.

Die Szenenbeschreibung erfolgt oft mittels XML-Dateien, welche die Geometrie, Materialeigenschaften und physikalischen Parameter der Simulationsobjekte festlegen.

Eine zentrale Rolle spielt die Physik-Engine, die für die Berechnung von Kräften, Kollisionen und Bewegungen auf Basis physikalischer Gesetze verantwortlich ist.

Die Visualisierungskomponente rendert die Simulation grafisch und stellt sie für den Benutzer verständlich dar, von einfachen 2D-Darstellungen bis hin zu komplexen 3D-Grafiken.

Zur Steuerung und zum Scripting der Simulation werden häufig Programmiersprachen wie Python, C++ oder Lua verwendet, die das Verhalten der Simulationsobjekte und die Abläufe definieren.

Eine benutzerfreundliche Schnittstelle ermöglicht es den Anwendern, die Simulation zu konfigurieren, zu starten, zu stoppen und die Ergebnisse zu analysieren.

Diese integrierten Komponenten schaffen gemeinsam detaillierte virtuelle Umgebungen, die zur Entwicklung, Testung und Optimierung von Robotern und anderen Systemen genutzt werden können. In Abbildung 2.1 auf der nächsten Seite werden diese Komponenten, an dem Beispiel des verwendeten Simulators ARGoS, grafisch dargestellt.

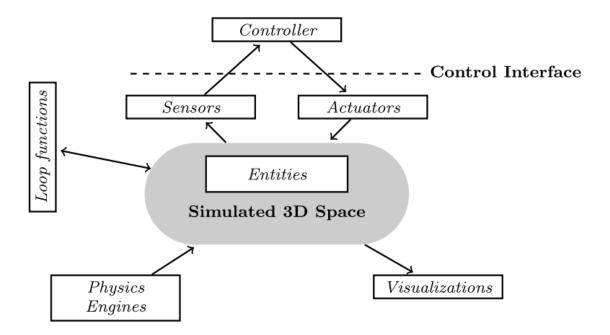


Abbildung 2.1: Eine Übersicht über die Architektur von ARGoS. Übernommen aus (Pinciroli u. a., 2012)

Einführung in CollabSim

In CollabSim fungiert das Backend als zentrale Instanz für die Übertragung aller Daten und der Kommunikation. Einerseits leitet es die bearbeiteten, für die Simulation erforderlichen Dateien zu einer virtuellen Maschine weiter und koordiniert die Ausführung der dort benötigten Befehle. Andererseits sorgt es für die Echtzeitsynchronisation aller im Frontend entwickelten Dateien, um die Kollaboration zwischen allen Nutzern zu ermöglichen.

Im Frontend wurde Angular als Entwicklungsframework eingeführt. Angular wurde ausgewählt, weil es eine robuste Struktur für die Erstellung dynamischer und interaktiver Benutzeroberflächen bietet. Es basiert auf TypeScript, einer Programmiersprache, die auf JavaScript aufbaut und zusätzliche Funktionen bietet, um die Entwicklung robusterer Anwendungen zu unterstützen. HTML (Hypertext Markup Language) wird verwendet, um die Struktur der Benutzeroberfläche zu definieren, während CSS (Cascading Style Sheets) für das Design und das Aussehen der Anwendung zuständig ist. Es erleichtert die Entwicklung durch eine modulare Architektur und bietet umfangreiche Bibliotheken und Tools, die eine effiziente und skalierbare Entwicklung ermöglichen. In den folgenden Abschnitten werde ich die einzelnen Komponenten von CollabSim vorstellen. Einen Überblick über die gesamte Architektur bietet Abbildung 2.2 auf der nächsten Seite.

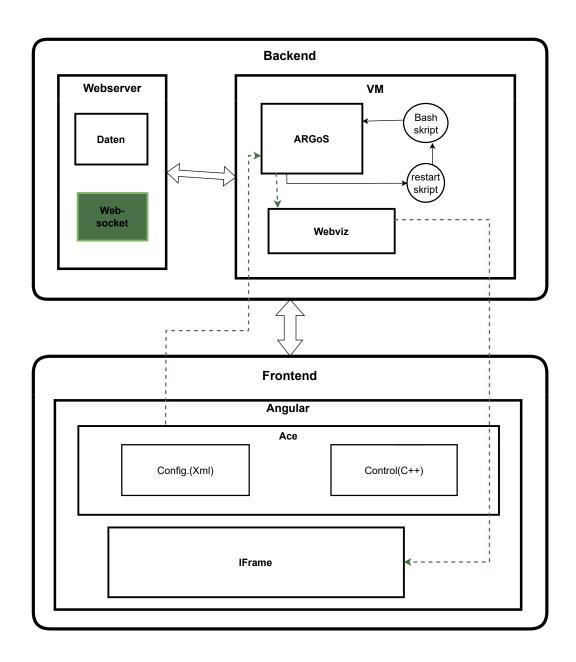


Abbildung 2.2: Eine Übersicht über die Architektur von CollabSim

2.2 Virtuelle Maschiene

Da ARGoS nur unter Linux und Mac OSX Betriebssystemen läuft, wird ein solches System für die Simulation benötigt. Daher wurde zur Ausführung von ARGoS eine virtuelle Maschinne unter dem Ubuntu-Betriebssystem aufgesetzt.

ARGoS

ARGOS ist einer der wenigen Simulatoren, die Effizienz und Flexibilität in einem, für die Schwarmrobotik erforderlichem Maße umsetzen, um die Echtzeitsimulation von Tausenden von Robotern zu ermöglichen (Pinciroli u. a., 2012). Aufgrund seiner guten Performence ist er ein geeigneter Simulator im Bereich der Schwarmrobotik (Shamshiri u. a., 2018). In CollabSim wird ARGOS genutzt, um alle Aspekte der Simulation zu realisieren, einschließlich der Bewegungssteuerung der Roboter, der Sensor- und Aktuator-Interaktionen sowie der Umgebungssimulation. Diese umfassende Integration macht ARGOS zu einem Schlüsselelement für die Entwicklung und das Testen von Algorithmen in CollabSim.

Webviz

Webviz ist ein für ARGoS entwickeltes Plugin(Sonar, 2020), das die Visualisierung der simulierten Umgebung über den Browser ermöglicht. Es hostet einen Websocket, der die verfügbaren Informationen von ARGoS nutzt und eine Anwendung erstellt, um die Simulation online darzustellen und zu steuern. Dadurch können alle Benutzer, die die Website besuchen, dieselbe laufende Simulation sehen, was für die kollaborative Arbeit an dieser Simulation unerlässlich ist.

Zusätzliche Programme

Zusätzliche Programme innerhalb der virtuellen Maschiene, dienen der Synchronisation benötigter Daten und Koordination auszuführender Befehle, um die Aktuallität der Simulation zu gewährleisten. Hauptsächlich kommen ein auf Python basierender Webserver zum Einsatz, welcher ein Bash-Skript zur Aktualiesierung der Simulation aufruft.

2.3 Webserver

Der Webserver, implementiert in Python, ist verantwortlich für die Verwaltung der gesamten Kommunikation zwischen dem Frontend, Backend und der virtuellen Maschine. Der Server wird mit Hilfe der Python-Softwarepakete Flask und SocketIO bereitgestellt. Flask ist ein leichtgewichtiges Webanwendungsframework, das für die schnelle Entwicklung von Webanwendungen entwickelt wurde und Werkzeuge, Bibliotheken und Technologien zur Erstellung einer Webanwendung bereitstellt. SocketIO ist eine Bibliothek, die Echtzeit-, bidirektionale und ereignisbasierte Kommunikation zwischen den Web-Clients und dem Server ermöglicht.

Der Datenaustausch aller Komponenten ist durch einen Websocket verwirklicht, um eine möglichst schnelle Kommunikation zu bieten. Im Webserver wurde der verwendetet Websocket mit SocketIO realisiert und unterstützt mehrere Ereignisse, welche die Echtzeit-Synchronisation aller geschriebenen Texte gewährleisten. Andere Kommunikationsarten sind meist langsamer und damit für Echtzeitanwendungen weniger gut geeignet. Im Gegensatz ermöglichen Websockets eine ständige Verbindung, wodurch Daten kontinuierlich in beide Richtungen übertragen werden können.

2.4 Ace

Der browserbasierte Code-Editor Ace (Koreman, 2010) wird als Grundlage für alle Codebearbeitungen der Anwendung verwendet. Ace ist ein vielseitiger Editor, der zahlreiche Funktionen bietet, darunter Syntax-Highlighting, automatische Einrückung und eine Such- und Ersetzungsfunktion. Diese Eigenschaften machen Ace zu einem beliebten Werkzeug für Entwickler. Im Rahmen dieser Arbeit wird Ace in zwei Hauptanwendungsbereichen eingesetzt. Zum einen wird die Konfigurationsdatei für ARGoS, geschrieben in XML, bearbeitet. Zum anderen wird der Kontrollalgorithmus, verfasst in C++, erstellt und modifiziert. Diese beiden Instanzen verdeutlichen die Flexibilität und Leistungsfähigkeit von Ace bei der Bearbeitung von Code in verschiedenen Programmiersprachen und Anwendungsszenarien.

XML (Extensible Markup Language)

Die XML-Datei ist für die Konfiguration der Szene verantwortlich. In dieser Datei werden die verschiedenen Parameter und Einstellungen definiert, die für die Simulation in ARGoS notwendig sind. Dazu gehören unter anderem die Spezifikation der Roboter, die Definition der Umgebung und die Initialisierung der Simulationselemente. XML ist besonders geeignet für diese Aufgabe, da es eine strukturierte und leicht lesbare Art der Datenrepräsentation ermöglicht. Durch die Verwendung von XML können Konfigurationsänderungen effizient vorgenommen und die Szenendefinitionen klar und verständlich dokumentiert werden.

C++

Eine zusätzliche Datei dient der Implementierung des Kontrollalgorithmus, der von den vorhandenen Robotern genutzt wird und ist in der Programmiersprache C++ geschrieben. C++ ist eine häufige Wahl für die Programmierung von Robotern, da sie eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit und präzise Speicherverwaltung bietet, die für Echtzeitanwendungen und komplexe Berechnungen unerlässlich sind. Besonders relevant wird dies, wenn das in der Simulation verwendete Programm auch auf den realen Roboter übertragen werden soll. Diese Datei enthält die Logik und Anweisungen, die es den Robotern ermöglichen, ihre Aufgaben autonom auszuführen. Durch den Einsatz dieses Kontrollalgorithmus wird sichergestellt, dass die Roboter effizient und korrekt arbeiten, indem sie auf verschiedene Umgebungsbedingungen und Anforderungen reagieren kön-

nen. Diese Datei spielt somit eine zentrale Rolle in der Steuerung und Koordination der robotischen Aktivitäten innerhalb des Simulationssystems.

2.5 IFrame

Ein Iframe ist ein HTML-Element, das es ermöglicht, den Inhalt einer externen Webseite in eine andere Webseite einzubetten. Dies macht es ideal, um die mit Webviz(siehe Abschnitt 2.2) erstellte Webanwendung in CollabSim zu integrieren. Alternativ wäre die Entwicklung eines eigenen Clients möglich, um die Simulation darzustellen. Diese Option erfordert jedoch erheblichen Zeitaufwand und bietet nur geringen Mehrwert für den Zweck dieser Arbeit.

3

Nutzertest

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit der Entwicklung und Evaluierung eines kollaborativen Online-Simulationswerkzeugs für die Robotik. Ziel der Arbeit ist es, die Machbarkeit und den Nutzen solcher Werkzeuge zu untersuchen und die Konkurenzfähigkeit gegenüber traditionellen Simulatoren in der Robotik, zu bewerten. Dazu wird der entwickelte Simulator verwendet und von Teilnehmern einer Stichprobe hinsichtlich verschiedener Aspekte der Usability (Benutzerfreundlichkeit) bewertet. Dies soll auch dabei helfen einzuschätzen, inwiefern CollabSim einen erfolgreichen Prototypen des verfolgeten Ansatzes darstellt. In diesem Kapitel werden die Methoden der Untersuchung vorgestellt und diskutiert.

3.1 Methodik

In dieser Arbeit wurde zur Evaluierung des entwickelten Simulators CollabSim ein Experiment mit freiwilligen Testpersonen aus der erwarteten Zielgruppe durchgeführt. Anschließend wurde ein darauf aufbauender Fragebogen verwendet.

Qualitative Daten basierend auf den, durch den Fragebogen erhaltende, Antworten wurden erfasst und analysiert. Als Metriken zur Evaluierung des Simulationskonzepts wurden Zufriedenheit und Erlernbarkeit, Effizenz und Nützlichkeit sowie Konkurenzfähigkeit und Potenzial gewählt. Diese Metriken bieten Einblicke in die Nutzererfahrung und die Leistungsfähigkeit des Simulators. Sie reflektieren die subjektiven Einschätzungen der Teilnehmer. Zusätzlich wurden alle Durchläufe beobachtet, um besser nachzuvollziehen wo potenzielle Schhwierigkeiten auftreten. Dabei bestand kein Kontakt zu den Probanden, um diese nicht während der Durchführung zu beeinflussen. Bis auf die benötigte Zeit der einzelnen Durchgänge wurden keine weiteren quantitativen Daten aufgezeichnet. In der anschließenden Bewertung wurden die gesammelten Ergebnisse statistisch analysiert.

Diese Entscheidung, für die Verwendung eines Fragebogens wurde aus mehreren Gründen getroffen. Erstens gibt es keine vorangegangenen Studien zu ähnlichen kollaborativen Online-Simulationswerkzeugen. Daher wurde ein explorativer Ansatz gewählt, um umfassende erste Einblicke zu gewinnen. Zweitens war es schwierig eine große und diversifizierte Stichprobe zu rekrutieren. Eine Herausforderung stellten der be-

grenzte Zeitrahmen sowie die Erreichbarkeit und Verfügbarkeit der recht spezifischen Zielgruppe von Studierenden, Absolventen und Forschenden im Bereich der Robotik dar. Ein Fragebogen stellte durch die Zeitbegrenzung eine praktikable und effiziente Methode dar, um die Forschungsfragen zu beantworten. Und trotz der begrenzten Teilnehmerzahl konnte durch diesen eine ausreichende Menge an Daten gesammelt werden, um erste Tendenzen zu beobachten. Zusätzlich bot diese Methode den Vorteil der Standardisierung durch Verwendung einer Skala und die Einfachheit bei der Datenerhebung und -auswertung. Standardisierte Antworten ermöglichen eine leichte quantitative Auswertung und liefern vergleichbare Daten. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wahl der Methode durch verwandte Arbeiten und die spezifischen Rahmenbedingungen dieser Bachelorarbeit bestimmt wurde.

Der Fragebogen umfasst 15 Fragen, welche meist auf einer Skala von 1 (keien Zustimmung) bis 10 (starke Zustimmung) bewertet werden. Die Fragen wurden zu großen Teilen aus den Werken von (Ghofrani und Schiller, 2023) und der System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1995) zur Bewertung der Usability übernommen und angepasst. Allerdings wurde nur ein Teil der, des System Usability Scale zugrundliegenden Fragen verwendet, da sich die Evaluation nicht nur auf die Usability von CollabSim beschränkt. Da keine einheitliche Evaluationsmethode für kollaborative online Simulatoren existiert, entstammen einige Fragen auch eher experimenteller Natur. Die Auswahl einer Teilmenge der SUS-Fragen, ergänzt durch spezifische zusätzliche Fragen, war eine methodische Entscheidung, um eine präzisere und relevantere Bewertung im spezifischen Kontext dieser Studie zu ermöglichen. Diese Vorgehensweise gewährleistet, dass die wichtigsten Aspekte der Usability erfasst werden und gleichzeitig Raum für die Untersuchung weiterer relevanter Themen bleibt.

3.2 Experiment

Das Experiment zur Evaluation des entwickelten Simulationswerkzeugs wurde mit 6 Teilnehmern, unter Verwenung des neu entwickelte Online-Simulationswerkzeuges, durchgeführt. Die Teilnehmer waren Studierende und Absolventen der Robotik und verwandter Studiengänge, mit unterschiedlichen Vorkenntnissen in der Robotik.

Ein Versuchsdurchlauf hat meist in etwa 20 Minuten in Anspruch genommen. Eine Zeitbeschränkung wurde nicht festgelegt. Alle Probanden beantworteten identische Fragen und bearbeiteten die selben Aufgaben. In allen Durchläufen wurde die Zeit parallel gemessen und aufgezeichnet. Leider war es technisch nicht sichergestellt, dass die Teilnehmer den gesamten Fragebogen ausfüllen mussten, um unvollständige Einreichungen zu vermeiden. So kam es dazu, dass die Antwort auf eine Frage von einem Teilnehmer fehlt.

Vor der Nutzung des Simulators ist es wichtig, die Qualität der Daten aus der Stichprobe zu analysieren. Zu diesem Zweck durchliefen die Teilnehmer vor dem eigentlichen Experiment eine Vorab-Umfrage. In dieser Umfrage wurden sie gebeten, ihre Fähigkeiten im Umgang mit den im Experiment verwendeten Technologien zu bewerten, wie z.B. Computerkenntnisse, allgemeine Kenntnisse in der Robotik oder Erfahrungen in der Programmierung und Simulation von Robotersystemen.

- 1. How many years of experience do you have in robotics?
- 2. How often do you use computers?
- 3. How would you rate your knowlage about robotics?
- 4. How would you rate your experience in programming robots or robot swarms?
- 5. How would you rate your experience in simulating robots or robot swarms?

Daraufhin folgte ein Experiment, in dem die Teilnehmer, unter der Verwendung von CollabSim, einfache Änderungen an einer vorgegebenen Simulationsumgebung vornehmen sollten. Diese Änderungen repräsentieren zwei typische Aufgaben bei der Simulation von Robotern. Einerseits das Erstellen einer editierbaren Szene, in der ein Roboter zu Trainings- oder Testzwecken agiert. Andererseits das Testen, Anpassen oder Entwerfen von Kontrollalgorithmen zur Steuerung der verwendeten Roboter. Die simulierte Umgebung ist in Abbildung 3.1 zu sehen.

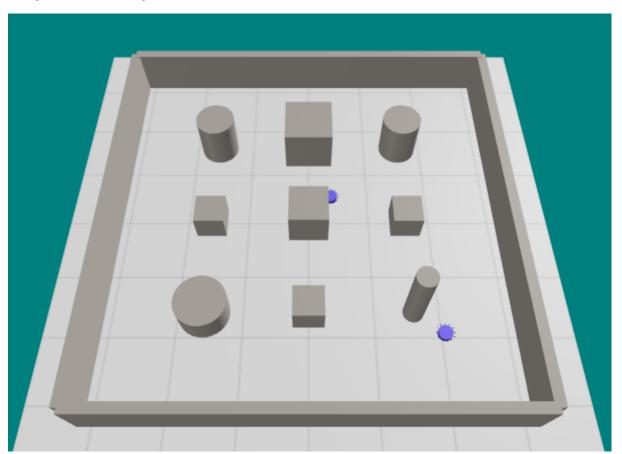


Abbildung 3.1: Die von den Teilnehmern in Collab Sim bearbeitete Simulationsumgebung.

Nach der Nutzung des Simulationswerkzeugs sollten die Probanden die restlichen Fragen beantworten. Diese zielten darauf ab, die Usability von CollabSim zu bewerten und eine Einschätzung des zu erforschenden Konzepts zu liefern. Die Teilnehmer bewerteten ihre Erfahrungen und die daraus resultierenden quantitativen Daten wurden anschließend statistisch ausgewertet, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

1. I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.

- 2. I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.
- 3. How do you rate the clarity and usability of the simulation?
- 4. I found the various functions in this system were well integrated.
- 5. I felt very confident using the tool.
- 6. I found the system very complicated to use.
- 7. I think that collaborative online simulation tools offer an advantage over traditional simulation tools.
- 8. Compared to my previous experiences with similar tools, I made more progress using this simulation tool.
- 9. I would recommend this simulation tool for similar tasks in the future.
- 10. How would u rate the simulation tool?

Zusätzlich wurden weitere Fragen für den Versuchsdurchlauf mit zweier Paaren erstellt. Diese Fragen sollten einen Vergleich, zwischen Einzelpersonnen und Gruppen, bei der Bearbeitung der Aufgaben ermöglichen. Außerdem ziehlten sie auf die Evaluation der integrierten kollaborativen Funktionen und ihr Zusammenspiel mit dem Gesamtsystem ab. Sie waren nur zur Beantwortung vorgesehen, wenn das Experiment in einer Gruppe durchgeführt wurde. Da nicht genügend Teilnehmer organisiert werden konnten, wurden keine Gruppen gebildet und diese Fragen damit hinfällig. Dementsprechend liegen keine Ergebnisse für diese Fragen vor und lassen Raum für weiterführende Untersuchungen.

3.3 Hypothesentests

Da ich nur eine Testgruppe habe und aufgrund der kleinen Stichprobengröße waren gängige Hypothesentests wie der T-Test oder der ANOVA-Test nicht anwendbar. Stattdessen können deskriptive Statistiken verwendet werden, um die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen(SD) der Fragen zu analysieren und festzustellen, ob die Teilnehmer den Simulator als benutzerfreundlich betrachten. Damit wird die Machbarkeit und der Nutzen des vorgestellten Ansatzes bewertet. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Stichprobengröße nicht groß genug ist, um robuste Erkenntnisse aus der Interpretation dieser Ergebnisse zu gewinnen. Die Ergebnisse der Umfrage wird im folgenden Kapitel diskutiert.

4

Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Nutzertests vorgestellt und anschließend diskutiert sowie interpretiert. Zudem werden die Forschungsfragen anhand der Ergebnisse diskutiert.

Die vorab gestellten Fragen der Umfrage dienten der Überprüfung der Eignung der Teilnehmer und ihrer Selbsteinschätzung bezüglich ihrer Kenntnisse in der Robotik. Sie stellen sicher, dass die Teilnehmer über ausreichendes Wissen und Erfahrung verfügen, um fundierte Rückmeldungen zur Simulationsumgebung zu geben. Die Fragen nach der Durchführung des Experiments zielen darauf ab, die entwickelte Simulationsumgebung nach den Metriken Zufriedenheit und Erlernbarkeit, Effizienz und Nützlichkeit sowie Konkurenzfähigkeit und Potential zu bewerten. Damit werden die wichtigsten Aspekte der Benutzerfreundlichkeit und die spezifischen Stärken und Schwächen der Simulationsumgebung erfasst und analysiert, was zu einer aussagekräftigen Beurteilung und möglichen Verbesserungsvorschlägen führt.

4.1 Eignung und Selbsteinschätzung

Zu Beginn wurde nach der Anzahl der Jahre an Robotikerfahrung der Probanden gefragt. Die zeitliche Erfahrung reichte dabei von 2 bis 5 oder mehr Jahren, wodurch ein breites Spektrum an Studierenden bis hin zu Masterabsolventen und Berufseinsteigern abgedeckt wurde. Es war wichtig, einen grundlegenden Wissens- und Erfahrungsstand vorauszusetzen, da für die sinnvolle und erfolgreiche Bearbeitung des Experiments grundlegende Kenntnisse in Programmierung und Simulationen entscheidend sind.

Tatsächlich lassen sich die sechs Teilnehmer basierend auf ihrer jahrelangen Erfahrung in zwei Dreiergruppen einteilen. Die erste Gruppe besteht aus Studierenden mit 2 Jahren Erfahrung, die noch eher als Einsteiger angesehen werden können. Die zweite Gruppe umfasst Teilnehmer mit über 2 Jahren Erfahrung in der Robotik und kann daher als fortgeschrittener betrachtet werden. In Abbildung 4.1 auf der nächsten Seite ist diese Aufteilung gut erkennbar. Auf die Auswirkungen dieser Gruppierung gehe ich im Abschnitt 4.5 genauer ein.

Um die Vertrautheit der Probanden mit Computern einschätzen zu können, wurden sie nach ihrer täglichen Computernutzung befragt. Es sollte sichergestellt werden, dass

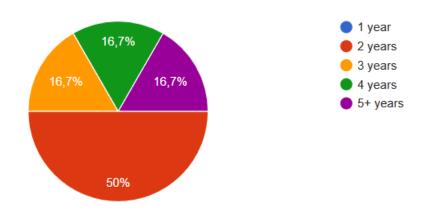


Abbildung 4.1: How many years of experience do you have in robotics?

alle Teilnehmer über ausreichende Erfahrung mit Computern verfügen, um die gestellten Aufgaben erfolgreich bewältigen zu können. Dies war insbesondere wichtig, da CollabSim als Onlinesimulator in modernen Browsern läuft und ein sicherer Umgang mit solchen Anwendungen erforderlich ist. Abbildung 4.2 zeigt, dass die Teilnehmer durchschnittlich mehrere Stunden pro Tag am Computer verbringen und somit ausreichend Erfahrung mitbringen sollten, um den Simulator problemlos zu bedienen.

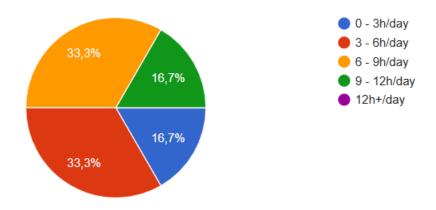


Abbildung 4.2: How often do you use computers?

Die drei restlichen, vorab gestellten Fragen dienten der Selbsteinschätzung. Die Teilnehmer sollten ihre eigenen Kenntnisse in der Robotik sowie ihre Erfahrungen in der Programmierung und Simulation von Robotern oder Schwarmrobotern bewerten. Diese Fragen wurden gestellt, um ein besseres Verständnis für den Hintergrund und das Erfahrungsniveau der Teilnehmer zu erhalten. Dies ermöglicht eine differenziertere Analyse der Usability-Bewertung, indem die Ergebnisse in Zusammenhang mit den Vorkenntnissen und Erfahrungen der Benutzer gesetzt werden können. So werden eventuelle Unterschiede in der Wahrnehmung der Benutzerfreundlichkeit leichter identifiziert und besser interpretiert. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 4.3 auf der nächsten Seite - 4.5 auf der nächsten Seite dargestellt.

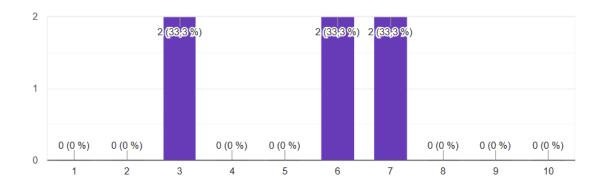


Abbildung 4.3: How would you rate your knowlage about robotics? 1-no knowlage, 10-expert

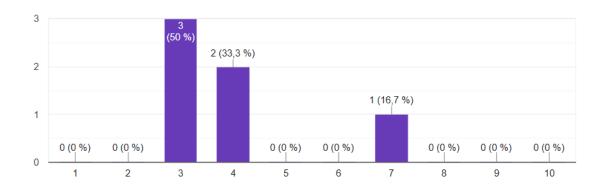


Abbildung 4.4: How would you rate your experience in programming robots or robot swarms? 1-no knowlage, 10-expert

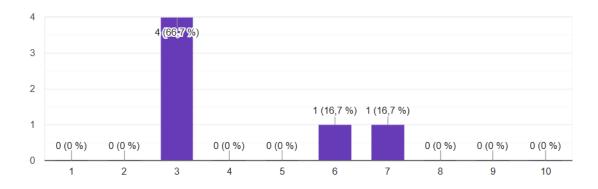


Abbildung 4.5: How would you rate your experience in simulating robots or robot swarms? 1-no knowlage, 10-expert

Es ist ein leichter, absehbarer Abstieg der bewerteten Kompetenz mit fallender Anzahl an Jahren im Bereich der Robotik erkennbar. Ein klarer Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung und anderen erhobenen Daten konnte jedoch nicht festgestellt werden. Dies kann darauf hindeuten, dass die Selbsteinschätzung der Kompetenz möglicherweise zu stark von der subjektiven Wahrnehmung beeinflusst wird.

4.2 Zufriedenheit und Erlernbarkeit

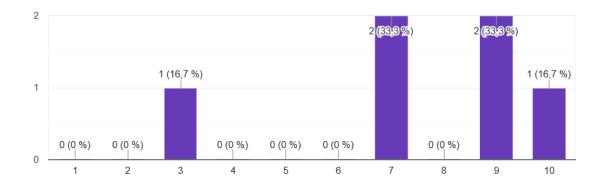


Abbildung 4.6: I would imagine that most people would learn to use this system very quickly. I-strongly disagree, I0-strongly agree

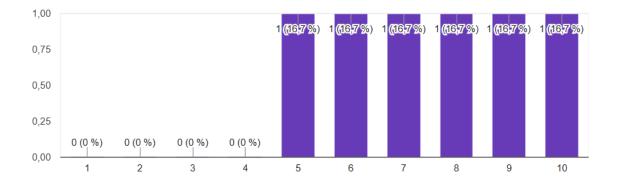


Abbildung 4.7: I felt very confident using the tool. 1-strongly disagree, 10-strongly agree

Die intuitive Nutzung einer Anwendung spielt eine entscheidende Rolle für die User Experience, die maßgeblich über den Erfolg eines Produkts entscheidet. Um diesen Aspekt der Benutzerfreundlichkeit zu bewerten, wurden daher gezielte Fragen in den Fragebogen aufgenommen. Diese Fragen zielen darauf ab, zu erfassen, wie gut die Anwendung von den Nutzern verstanden und effektiv genutzt wird.

Abbildungen 4.6 - 4.8 auf der nächsten Seite und die Auswertung in Tabelle 4.9 zeigen, dass sich die Teilnehmer recht selbstbewusst und sicher bei der Nutzung von CollabSim fühlten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Benutzer mit der Anwendung zufrieden waren und sich kompetent im Umgang mit den Funktionen fühlten.

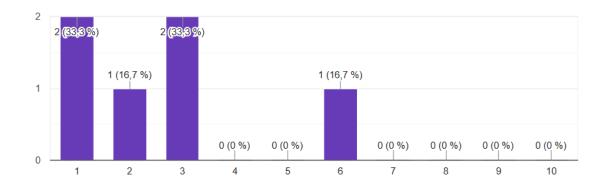


Abbildung 4.8: I found the system very complicated to use. 1-strongly disagree, 10-strongly agree

Tabelle 4.9: Statistiken zur Zufriedenheit und Erlernbarkeit von CollabSim

Aussage		SD
	wert	
I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.	7.5	2.29
I felt very confident using the tool.	7.5	1.71
I found the system very complicated to use.	2.67	1.7

4.3 Effizenz und Nützlichkeit

Natürlich sollte man mit einer Anwendung auch effizient arbeiten können. Dementsprechend ist es wichtig, dass die Funktionen klar, einfach verständlich und nutzbar sind. Auch hier konnte CollabSim überzeugen. Die zugehörigen Fragen sind in den Abbildungen 4.10 auf der nächsten Seite und 4.11 auf der nächsten Seite aufgelistet. Die Wertungen der Fragen in Tabelle 4.12 deuten darauf hin, dass die Teilnehmer der Meinung waren, die Funktionen seien gut integriert und das System insgesamt nützlich. Die Ergebnisse bestätigen, dass CollabSim eine solide Grundlage für eine effiziente Arbeitsumgebung bietet.

4.4 Konkurenzfähigkeit und Potential

Es lässt sich sagen, dass dieses Online-Simulationswerkzeug insgesamt gut von den Nutzern bewertet wurde, was in den Abbildungen 4.14 auf Seite 22 - 4.16 auf Seite 23 ersichtlich ist. Auch im Vergleich zu traditionellen Simulatoren scheint es besser abzuschneiden.

Die Probanden waren der Meinung, dass kollaborative Online-Simulatoren große Vorteile gegenüber herkömmlichen Simulatoren bieten können. Obwohl dies nur ihre Einschätzung widerspiegelt, ist ein so deutliches Ergebnis dennoch aussagekräftig (siehe Abbildung 4.13 auf Seite 22). Der potenzielle Nutzen wurde intuitiv erkannt und scheint

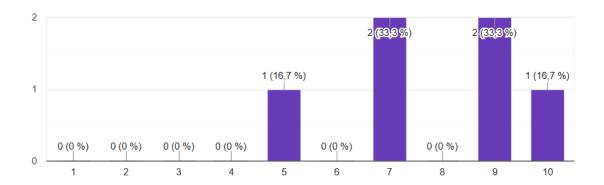


Abbildung 4.10: How do you rate the clarity and usability of the simulation? I-not usable, 10-very usable

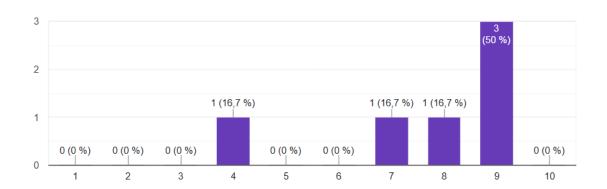


Abbildung 4.11: I found the various functions in this system were well integrated. 1-strongly disagree, 10-strongly agree

Tabelle 4.12: Statistiken zur Effizenz und Nützlichkeit von CollabSim

Aussage		SD
	tel- wert	
How do you rate the clarity and usability of the simulation?	7.83	1.68
I found the various functions in this system were well integrated.	7.67	1.8

gerechtfertigt, wenn man die Vorteile und die steigende Nachfrage nach kollaborationsfähigen Werkzeugen in vielen Bereichen betrachtet. Das Feedback zeigt, dass die kollaborativen Funktionen als besonders vorteilhaft angesehen wurden, was darauf hinweist, dass solche Werkzeuge das Potenzial haben, die Effizienz und Produktivität in teamorientierten Arbeitsumgebungen signifikant zu erhöhen. Dies unterstreicht die Relevanz und den Mehrwert von kollaborativen Online-Simulatoren in der modernen, vernetzten Arbeitswelt.

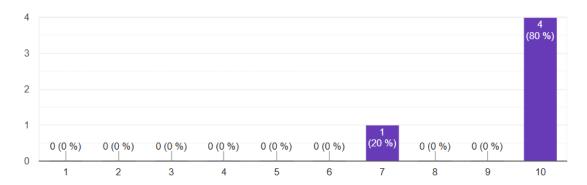


Abbildung 4.13: I think that collaborative online simulation tools offer an advantage over traditional simulation tools. I-strongly disagree, 10-strongly agree

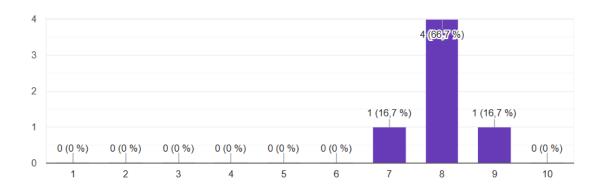


Abbildung 4.14: Compared to my previous experiences with similar tools, I made more progress using this simulation tool. I-strongly disagree, 10-strongly agree

Im Gegensatz zu anderen Simulationen empfanden die Probanden eine deutliche Effizenzsteigerung duch den Einsatz von CollabSim, wie in Abbildung 4.14 und anhand der niedrigen Standardabweichungen (siehe Tabelle 4.17), zu sehen ist. Gerade für Anfänger ist die korrekte Einrichtung vieler Simulatoren meist kompliziert und zeitintensiv, wohingegen CollabSim in jedem modernen Browser aufrufbar ist. Dadurch kann diese Zeit eingespart werden, wesshlab das Konzept eines webbasierten Simulators vermutlich wesentlich einfacher, schneller und effizienter wirkt.

Das Konzept und der Simulator selbst, scheinen auch überzeugt zu haben. Dies spiegelt sich in der Bewertung von CollabSim mit durchschnittlich 7,67 Punkten wieder. Die Ergebnisse werden in Abbildung 4.16 auf der nächsten Seite aufgezeigt. Die statistischen

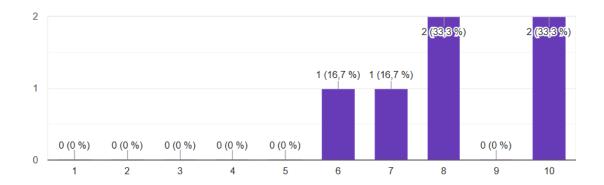


Abbildung 4.15: I would recommend this simulation tool for similar tasks in the future. 1-strongly disagree, 10-strongly agree

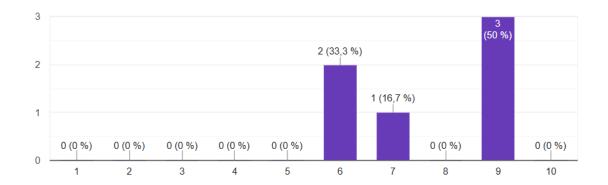


Abbildung 4.16: How would u rate the simulation tool? 1-very bad, 10-very good

Tabelle 4.17: Statistiken zur Konkurenzfähigkeit und Potential von CollabSim

Aussage	Mit- tel-	SD
	wert	
I think that collaborative online simulation tools offer		
an advantage over traditional simulation tools.	9.4	1.2
Compared to my previous experiences with similar tools,		
I made more progress using this simulation tool.	8	0.57
I would recommend this simulation tool for similar tasks in the future.	8.17	1.46
How would u rate the simulation tool?	7.67	1.38

Kennzahlen zu den Antworten werden in Tabelle 4.17 angezeigt.

4.5 Erfahrung

Die Erfahrung der einzelnen Teilnehmer erwies sich als wesentlicher Faktor für die Bewertung des Simulators. Bei vielen Fragen wurde der Simulator von den unerfahrenen Nutzern leicht bis deutlich schlechter bewertet als von den erfahreneren Teilnehmern. Teilt man die Probanden in eine Gruppe von Anfängern, mit bis zu 2 Jahren Erfahrung, und eine Gruppe von Fortgeschrittenen, mit über 2 Jahren Erfahrung in der Robotik, wird diese Tendenz deutlich.

Beispielsweise bei der Frage, ob der Proband der Meinung sei, dass er für eine effiziente Nutzung noch viel lernen müsse, ist ein großer Unterschied feststellbar. In Abbildung 4.18 und in Tabelle 4.19 sind die entsprechenden Antworten und Statistiken. Die Anfänger lagen mit einer durchschnittlichen Wertung von 4 doppelt so hoch wie die fortgeschrittene Gruppe. Also hatten sie den Eindruck, dass sie noch einiges dazu lernen müssten.

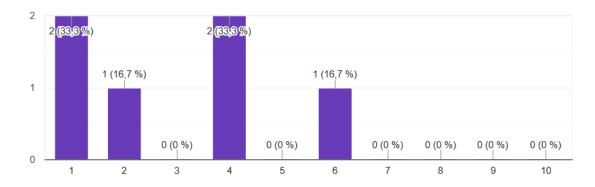


Abbildung 4.18: I needed to learn a lot of things before I could get going with this system. 1-strongly disagree, 10-strongly agree

Tabelle 4.19: Statistiken zur Erfahrung der Probanden

Aussage		SD
	tel-	
I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.	3	1.82

In diesem Fall scheint der Unterschied aufgrund der geringeren Erfahrung absehbar, jedoch beeinflusst dieser Trend die Wertung auch in anderen Bereichen. Die unerfahrenere Gruppe bewertet auch die Fragen zum schnellen Erlernen des Systems, zur Integration der Funktionen und zum Selbstbewusstsein bei der Nutzung deutlich schlechter. Auch eine leicht geringere Gesamtwertung und Empfehlung scheinen die Folge zu sein.

In den Abbildungen 4.20 - 4.25 auf Seite 28 wurden zur Veranschaulichung die Antworten einiger Fragen nach den Gruppen aufgeteilt.

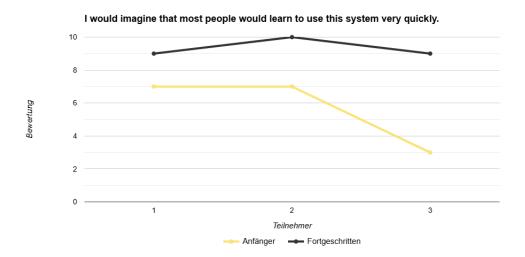


Abbildung 4.20: Vergleich der Bewertungen der Aussage "I would imagine that most people would learn to use this system very quickly." zwischen den Teilnehmern mit unterschiedlicher Erfahrung. Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Teilnehmer. Gelbe Punkte stehen für unerfahrenere Teilnehmer, schwarze Punkte für erfahrene Teilnehmer.

Diese Unterschiede in den Bewertungen unterstreichen die Bedeutung von ausreichend Erfahrung und Wissen, um die Simulation sinnvoll nutzen zu können. Sie bieten zudem wertvolle Einblicke für mögliche Optimierungen und Anpassungen des Systems an die Bedürfnisse verschiedener Benutzergruppen.

4.6 Limitationen und Fehlermöglichkeiten

Leider konnte mit dem durchgeführten Experiment kein direkter Vergleich zwischen der Verwendung herkömmlicher Simulatoren und der kollaborativen Nutzung mit CollabS-im durchgeführt werden. Da die Versuchsgruppe sehr klein ausfiel, liefern die Ergebnisse eher Indizien und Tendenzen als klare Evidenz. Zudem ist der Hintergrund für die Bewertung der Fragen nicht vollständig klar und nachvollziehbar, was Raum für Spekulationen lässt. Weitere Studien mit größeren und diversifizierteren Teilnehmergruppen wären wünschenswert, um die Validität und Aussagekraft der Ergebnisse weiter zu stärken.

4.7 Schlussfolgerungen

Die vorhandenen Ergebnisse erlauben keine eindeutigen Schlussfolgerungen hinsichtlich des kollaborativen Aspekts des Simulators. Dennoch lässt sich festhalten, dass es kei-

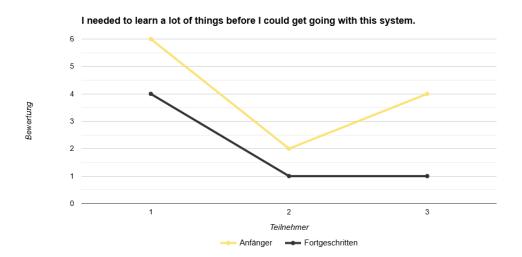


Abbildung 4.21: Vergleich der Bewertungen der Aussage "I needed to learn a lot of things before I could get going with this system." zwischen den Teilnehmern mit unterschiedlicher Erfahrung. Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Teilnehmer. Gelbe Punkte stehen für unerfahrenere Teilnehmer, schwarze Punkte für erfahrene Teilnehmer.

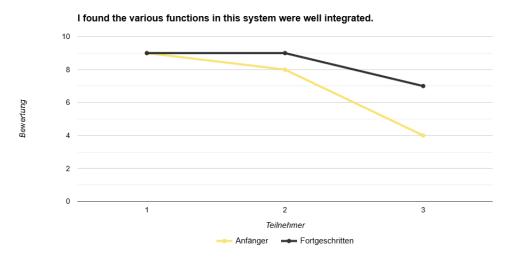


Abbildung 4.22: Vergleich der Bewertungen der Aussage "I found the various functions in this system were well integrated." zwischen den Teilnehmern mit unterschiedlicher Erfahrung. Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Teilnehmer. Gelbe Punkte stehen für unerfahrenere Teilnehmer, schwarze Punkte für erfahrene Teilnehmer.

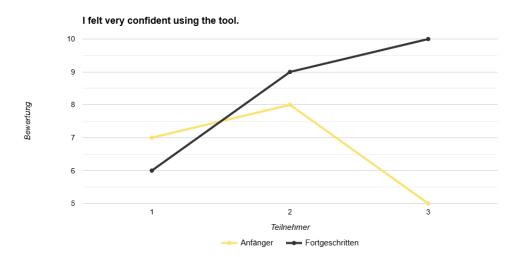


Abbildung 4.23: Vergleich der Bewertungen der Aussage "I felt very confident using the tool." zwischen den Teilnehmern mit unterschiedlicher Erfahrung. Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Teilnehmer. Gelbe Punkte stehen für unerfahrenere Teilnehmer, schwarze Punkte für erfahrene Teilnehmer.

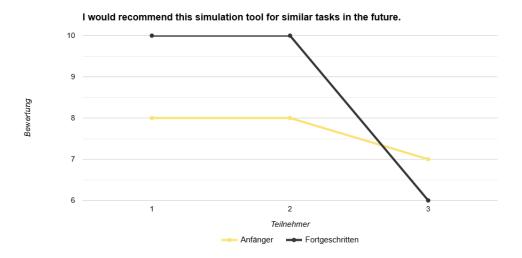


Abbildung 4.24: Vergleich der Bewertungen der Aussage "I would recommend this simulation tool for similar tasks in the future." zwischen den Teilnehmern mit unterschiedlicher Erfahrung. Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Teilnehmer. Gelbe Punkte stehen für unerfahrenere Teilnehmer, schwarze Punkte für erfahrene Teilnehmer.

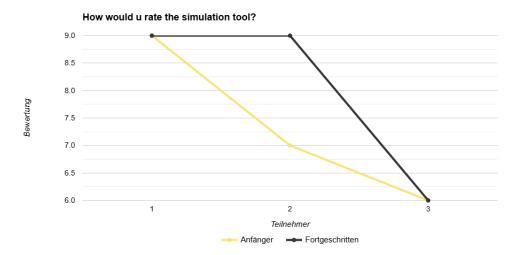


Abbildung 4.25: Vergleich der Bewertungen der Aussage "How would u rate the simulation tool?" zwischen den Teilnehmern mit unterschiedlicher Erfahrung. Jeder Punkt in der Abbildung repräsentiert einen Teilnehmer. Gelbe Punkte stehen für unerfahrenere Teilnehmer, schwarze Punkte für erfahrene Teilnehmer.

nen Hinweis darauf gibt, dass die dafür notwendigen Funktionen zu Einschränkungen in der Usability für Einzelnutzer führen würden. Das sehr eindeutige Ergebnis bei der Bewertung des Potenzials kollaborativer Simulatoren deutet ebenfalls auf mögliche Vorteile gemeinsamer Nutzung und die Bereitschaft der Zielgruppe hin, dieses Konzept zu akzeptieren.

Die recht klaren Ergebnisse bezüglich der Benutzerfreundlichkeit von CollabSim lassen den Schluss zu, dass die Einfachheit der Nutzung eines Online-Simulators einen klaren Vorteil gegenüber Offline-Simulatoren bietet und den Umgang mit Simulatoren vereinfacht. Die positiv bewerteten Metriken zeigt zudem, dass der Ansatz eines Online-Simulators keine Einbußen in der Usability nach sich zieht, sondern im Gegenteil zu einer Steigerung der Effizienz führt. Dies stützt die Folgerung, dass Benutzer von der einfacheren Handhabung profitieren und die Effizienz ihrer Arbeitsprozesse steigern können.

Interpretiert man die Auswertung im Kontext der Forschungsfrage, ergibt sich die Tendenz, dass CollabSim erfolgreich die Herausforderungen der Usabillity meistert und dabei die Effizienz der Nutzung erhöht. Besonders bei Nutzern mit genügend Erfahrung kann CollabSim überzeugen. Damit ist es ein erfolgreicher Prototyp und zeigt die Machbarkeit und gibt Einblicke in die Vorteile des vorgestellten Konzepts. Es bleibt jedoch unklar, ob der kollaborative online Ansatz für alle Arten von Simulatoren in der Robotik gleichermaßen sinnvoll ist.

5

Zusammenfassung und Ausblick

Zum Abschluss dieser Arbeit werden die wichtigsten Erkenntnisse und daraus resultierenden Schlussfolgerungen aufgezeigt. Außerdem werde ich auf potenzielle Anwendungen von kollaborativem Arbeiten in der Schwarmrobotik eingehen und die Bedeutung der Forschungsergebnisse für die Robotik und Simulation bewerten.

Die Erkenntnisse aus der Untersuchung von CollabSim bieten wertvolle Einblicke. Die Studie zeigt, dass der Online-Simulator gegenüber traditionellen, offline basierten Simulatoren klare Vorteile bietet. Insbesondere wurde die erfolgreiche Umsetzung wichtiger Aspekte der Usability und das große Potenzial des Simulationskonzepts durch die Teilnehmer bestätigt. Erfahrene Nutzer bewerteten CollabSim tendenziell positiver, was die Relevanz entsprechender Kenntnisse unterstreicht. Diese Ergebnisse legen nahe, dass kollaborative Online-Simulatoren wie CollabSim nicht nur die Benutzerzufriedenheit steigern können, sondern auch die Effizienz in der Robotikentwicklung fördern könnten, indem sie komplexe Arbeitsprozesse vereinfachen und die Zusammenarbeit verbessern.

Weitere Untersuchungen bezüglich der kollaborativen Aspekte von CollabSim wären für eine fundierte Einschätzung notwendig. Hierfür war der Nutzertest mit einer zusätzlichen Testgruppe, welche den Simulator gemeinsam in Zweiergruppen bedient, geplant. Dies scheiterte jedoch an einem Mangel an Zeit und Probanden. Zusätzliche Daten zur Erfassung der Leistungen der Probanden und ihrer Zusammenarbeit wären hier entscheidend. Beispielsweise könnte überprüft werden, inwieweit die Aufgaben unter den Gruppenmitgliedern aufgeteilt wurden. Auch die Häufigkeit und die aufgewendete Zeit für die Kommunikation könnten gemessen werden, um mögliche Zusammenhänge zu untersuchen. Durch größere Stichproben könnte die Evidenz der Studienergebnisse weiter gestärkt werden.

Die unerforschte Natur von kollaborativen, webbasierten Robotiksimulatoren lässt viel Raum für weiterführende Arbeiten. Weitere Untersuchungen, worin genau die Vorteile solcher Werkzeuge liegen, könnten zum Besseren Verständniss dieser beitragen. Ebenso ist noch Unklar in welchen spezifischen Bereichen diese Vorteile besonders zur Geltung kommen könnten.

Eine Zukunft, in der Simulationen in der Robotik kollaborativ in Onlinesimulatoren durchgeführt werden, könnte anhand der Ergebnisse als eine mögliche Konsequenz betrachtet werden. Diese Entwicklung hat das Potenzial, die Hardware- und Software- entwicklung in der Robotik grundlegend zu verändern.

Literatur

Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale.

Castillo-Pizarro, P., Arredondo, T.V. und Torres-Torriti, M. (2010). Introductory Survey to Open-Source Mobile Robot Simulation Software. IEEE Latin American Robotics Symposium. DOI: 10.1109/LARS.2010.19.

Ghofrani, J. und Schiller, V. (2023). Application of Virtual Reality in Human-Swarm Interaction. DOI: 10.20944/preprints202306.2110.v1.

Haber, A., McGill, M. und Sammut, C. (2012). jmeSim: An Open Source, Multi Platform Robotics Simulator.

Ivaldi, S., Peters, J., Padois, V. und Nori, F. (2015). Tools for simulating humanoid robot dynamics: a survey based on user feedback. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots(Humanoids).

Kainberger, B. (2022). Collaborative Editing in Web Applications. Exploration and Implementation of a collaborative real-time web application with React, Yjs and modular rich-text editor frameworks.

Koreman, A. (2010). *Ace* (*Ajax.org Cloud9 Editor*). Version v1.35.2. URL: https://github.com/ajaxorg/ace (besucht am 30.06.2024).

Pinciroli, C., Trianni, V., O'Grady, R., Pini, G., Brutschy, A., Brambilla, M., Mathews, N., Ferrante, E., Caro, G.D., Ducatelle, F. u. a. (2012). ARGoS: a modular, parallel, multiengine simulator for multi-robot systems. Springer Science+Business Media New York 2012. DOI: 10.1007/s11721-012-0072-5.

Prats, M., erez, J.P., Fern´andez, J.J. und Sanz, P.J. (2012). An Open Source Tool for Simulation and Supervision of Underwater Intervention Missions. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots und Systems. DOI: 10.1109/IROS.2012.6385788.

Shamshiri, R.R., Hameed, I.A., Pitonakova, L., Weltzien, C., Balasundram, S.K., Yule, I.J., Grift, T.E. und Chowdhary, G. (2018). Simulation software and virtual environments for acceleration of agricultural robotics: Features highlights and performance comparison.

Sonar, P. (18. Mai 2020). ARGoS3-Webviz. Version 0.4.76. URL: https://github.com/ NESTLab/argos3-webviz (besucht am 30.06.2024).