

„Rent an Experiment“

Ein Software-Framework zur internetbasierten Laborpraktika

Prof. Dr. Ronny Hartanto, Professor für Technische Informatik,
Hochschule Rhein-Waal, Fakultät Technologie und Bionik, Kleve

1. Persönlicher Hintergrund und Motivation

“Sage es mir, und ich werde es vergessen. Zeige es mir, und ich werde es vielleicht behalten. Lass es mich tun, und ich werde es können” (Konfuzius). Dieses Sprichwort gilt ganz besonders für Lehre und Studium. Studierende sollen neues Wissen aktiv selber erarbeiten, ausprobieren und anwenden, da sie nur so ihre Kompetenzen (weiter)entwickeln können. Daher gehören Laborpraktika zur wichtigen Bestandteile von einer Ausbildung, um Theorie und Praxis zu verbinden, insbesondere im MINT-Bereich.

Die Anzahl der Praktika ist jedoch in jedem Semester und in der jeweiligen Curricula der Fächer begrenzt. Es gibt Fächer, in denen keine Praktika im Curriculum vorgesehen sind, aber einige Lerninhalte sind sinnvoll in Form von Praktika zu vermitteln. Es gibt dagegen auch Praktika, in denen einige Versuche wegen Zeitmangel zu kurz angeboten sind. Diese Erfahrung trifft auf mich persönlich zu, zum Beispiel im Teilmodul „*Sensors und Actuators*“ aus dem Modul „*Mechatronics*“ sind keine Praktika im Curriculum festgesetzt, obwohl es zum Teil als Praktika sehr sinnvoll wäre. Bisher habe ich die fehlenden Praktika durch Demonstratoren ersetzt, z.B. Digital Encoder (siehe 4.1). Ein weiteres Beispiel kommt aus dem Modul „*Mobile Robotics*“ im Master-Studiengang Mechanical Engineering, wo im jetzigen Curriculum keine Praktika bestimmt sind.

Aus obigen Gründen finde ich sehr wichtig, alternative Laborversuche für solche Fälle anzubieten. Im Rahmen des Fellowships sollen neue, innovative Wege zur Vermittlung von Laborversuche durch Streamen von realen Experimenten über Internet entwickelt werden. Dadurch können die Studierenden die Zeit und den Ort für deren Laborversuche selber bestimmen.

Persönlich verfüge ich über mehr als 15 Jahre Erfahrung im Bereich Software-Entwicklung sowohl als professionaler Softwareentwickler als auch als Forscher im Bereich Robotik. Im Rahmen eines EU-Projekts entwickelte ich ein Software-Framework zur „*Learning by Experimentation*“ [1] und während meiner Promotion einen Webservice basiertes Planungssystem [2]. Mein Wissen im Bereich Kommunikationsmiddleware wie DDS habe ich im Rahmen eines BMWi Projekts [3] vertieft.

Mit diesen Erfahrungen versuche ich sinnvoll das obengeschilderte Laborpraktika-Problem mit Hilfe von Internet und geeigneter Software zu lösen. Diese Lösungsansatz zur internetbasierten Laborversuche wird in einem Softwaresystem umgesetzt. Das entwickelte System soll nicht an einen bestimmten Versuch gebunden sein, sondern erweiterbar für weitere neue Versuche. Die Ergebnisse des Fellowships werden in Form von Software-Framework zur internetbasierten Laborversuche realisiert. Soweit möglich sollen verschiedene Laborversuche über Internet angeboten werden. Die Studierenden können dann die Versuche selber zu Hause durchführen.

2. Projektbeschreibung

2.1. Anlass und Problemstellung

Der Anteil an Laborpraktika in den MINT-Fächern ist in der Regel größer als in anderen Fachdisziplinen. So gibt es bereits in den ersten Semestern mehrere Veranstaltungen, in denen praktische Laborversuche ein fester Bestandteil des Curriculums sind. Diese Veranstaltungen sind, gerade in den ersten Semestern, häufig Grundlagenveranstaltungen und werden somit fachdisziplinübergreifend angeboten und unterrichtet, an der Fakultät Technologie und Bionik also in den Studiengängen Mechanical Engineering, Industrial Engineering, Mechatronic Systems Engineering, Electrical Engineering sowie Biomaterials Sciences angeboten. Es gibt auch Module, in denen die Laborversuche keinen festen Bestandteil des Curriculums sind. Für beide Fälle gibt es genügend Experimente, die einfach sind, finden aber keinen festen Platz im Curriculum. Solche Experimente könnten wichtig für die Studierenden sein, um die zu vermittelten Lernstoffe besser zu verstehen.

Für solches Experiment gibt die Möglichkeit, es als internetbasierten Laborversuch anzubieten. Hier kommt die Frage, welche Experimente für internetbasiertes Angebot tauglich sind. Welche Voraussetzungen müssen die Experimente erfüllen, um sie im System einzubinden? Weitere technische Fragen bezüglich der Laborversuche sind:

- Wie interagieren die Studierenden mit den Experimenten?
- Wie können die Studierenden die über das Internet geführte Experimente beobachten?
- Wie bekommen die Studierenden die Messergebnisse?
- Wie können die Studierenden wissen ob das internetbasierte Labor besetzt ist?
- Wann können die Studierenden deren Versuche durchführen?
- Wie viele parallele Versuche sollen angeboten werden, um bestimmte Anzahl von Studierenden innerhalb einer Woche zu bedienen? Diese Frage ist wichtig damit der Inhalt des Versuches mit der Vorlesung synchronisiert ist.

Der Lernerfolg solcher Experimente hängt stark von den Vorkenntnissen der Studierenden über den Versuch ab. Dürfen die Studierenden ohne Vorkenntnisse ein Experiment durchführen? Wenn nicht, wie kann das System diese Studierenden es verbieten? Können das System den statistischen Lernerfolg durch Abfrage vor und nach dem Versuch automatisch ermitteln?

2.2. Studiengänge

Die hier beschriebenen, geplanten internetbasierten Laborversuche sollen in den folgenden Veranstaltungen der Studiengänge eingeführt werden:

- **Mechatronics System Engineering B.Sc.:** Pflichtveranstaltung, Mechatronics, Teilmodul *Sensors and Actuators*
- **Master Bionics:** Pflichtveranstaltung Block-D, *Bionics of Behaviour and Sociology*

- **Master Mechanical Engineering:** Pflichtveranstaltung Vertiefungsfach Mechatronics, *Mobile Robotics*

Nach einer erfolgreichen Implementierung in den oben genannten Modulen sollen weitere internetbasierte Laborversuche in weiteren Kursen angeboten werden. Jeder Versuch wird in einer standardisierten Laborbeschreibung dokumentiert.

2.3. Ziele

Ziel ist es, ein Software-Framework zur „digitalen“ Labore zu entwickeln und umzusetzen, welches nicht nur für bestimmte Experimente abgeschnitten ist, sondern auch modular und erweiterbar für weitere Praktika. Trotz über Internet bieten die aufgeführten Versuche die Studierenden folgende Vorteile an:

- Individuelle Vorabprüfungen der theoretischen Grundvoraussetzungen
- Echtzeit-Anleitung der durchzuführenden Versuche
- Video-Dokumentation einzelner Versuchsschritte
- Erhöhung der Versuchsmöglichkeiten über das Internet
- Uneingeschränkte Wiederholbarkeit der Laborversuche
- An die Lernzeiten angepasste Durchführbarkeit der Laborversuche (24 Stunden an 7 Tagen der Woche)
- Erhöhte Sicherheit bei der Durchführung der Laborversuche im Vergleich zu normalen Laborversuchen

Darüber hinaus wird das Software-Framework als OpenSource Software zur Weiterverbreitung und Nutzung außerhalb der Hochschule Rhein-Waal angeboten. Hier bietet das Framework die Nutzer folgende Vorteile an:

- Erhöhung der Versuchsanzahl durch Zurückspielen von entwickelten Experimenten aus anderer Nutzer / Hochschule
- Optimierung des Software-Frameworks
- Weiterentwicklung des Frameworks sowie Integration mit anderen digitalen Lehrplattformen (E-Prüfungen, MOOCS, Simulationen)

2.4. Projektbeschreibung

Durch dieses Fellowship soll ein Software-Framework zur internetbasierten Laborversuche entwickelt werden. Es soll Studierenden die Möglichkeit geben, Laborversuche über das Internet zeitlich selbstbestimmt durchzuführen.

Ein realer Laborversuch soll prinzipiell über das Internet ausführbar gemacht werden. Zur Unterstützung des Lerneffektes soll an jedem Versuchsaufbau ein direktes Video-Feedback sowie die Einstellung von verschiedenen Parametern möglich sein. Diese „rent an experiment“-Methode ermöglicht den Studierenden, Versuche ohne Anwesenheit im Labor zu einem passenden Zeitpunkt durchzuführen. Die Versuche an sich sind sicher und tragen die Ergebnisse über Video und ein webbasiertes GUI an die Studierenden über.

Als Grundvoraussetzung für die Teilnahme an den digitalen Laborversuchen sowie den digitalen Lehrinhalten wird lediglich ein aktueller Webbrowser benötigt.

2.4.1. Hardware und Software

Zur Durchführung des internetbasierten Laborversuches wird folgende Hardware benötigt:

- Dedizierter Server für die Verwaltung von Experimenten
- Workstation für je Experiment-Szenario
- Kamera für die Aufnahme von Experimenten
- Experimentmaterial sowie Motor, Encoder, Arduino oder Raspberry Pi
- Steuerungsmodul für die Einstellungen von Experimenten

Als Unterstützung dazu sind folgende Softwarekomponenten erforderlich:

- Moodle
- Webserver (Apache / Nginx)
- Kamera-Streaming Software

2.4.2. Ablauf eines Experimentes

- a. Die/der Studierende meldet sich am System via Moodle an
- b. Die/der Studierende bucht ein spezielles Experiment im jeweiligen Fach
- c. Informationen zum Experimentablauf werden während der Vorbereitungszeit des Experimentes zur Verfügung gestellt
- d. Das Experiment kann, sobald verfügbar, gestartet werden
- e. Die/der Studierende konfiguriert die Parameter zur Durchführung des Experimentes
- f. Die/der Studierende startet das Experiment und beobachtet die Durchführung live über Video-Streaming-System
- g. Die/der Studierende kann, je nach Bedarf, das Experiment max. zweimal wiederholen. Eine dritte Wiederholung benötigt eine erneute Buchung des jeweiligen Experimentes
- h. Die/der Studierende bekommt die Resultate des Experimentes als CSV Datei zum Download angeboten

2.4.3. Warteschlangensysteme

Um mehreren Studierenden das gleiche Experiment anbieten zu können, wird ein Warteschlangensystem angewendet. Hier wird den Studierenden die Buchung eines bestimmten Experimentes über ein definiertes Zeitfenster angeboten. Weiterhin wird Information über die Wartezeit bis zum Start des Experimentes sowie ebenfalls notwendige zusätzliche Informationen angezeigt.

2.5. Systemarchitektur

Abbildung 2-1 zeigt die geplante Architektur für das „rent an experiment“-System. In dieser Architektur sind drei Serverkomponenten abgebildet, welche die internetbasierte Laborversuche ermöglichen. Die Authentifizierung des Benutzers wird durch LDAP über Moodle Server vorgesehen.

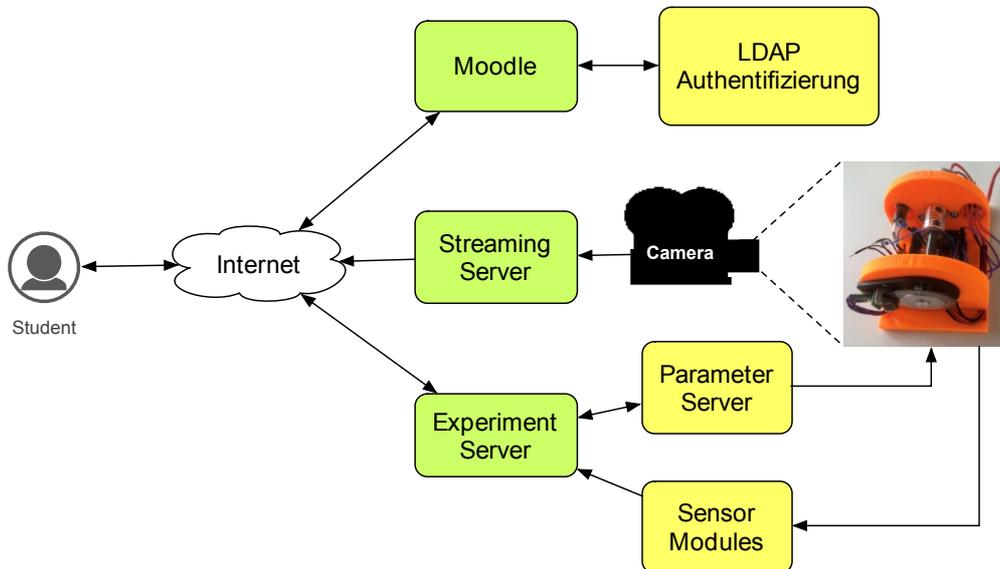


Abbildung 2-1: System-Architektur des internetbasierten Laborversuches

3. Projektplanung

Das Software-Framework folgt den Ansatz einer komponentenbasierten Softwareentwicklung, die für jede Komponente einen bestimmten Dienst anbietet. In dem ersten halben Jahr 2018 werden die Grundfunktionalitäten der Hauptkomponenten entwickelt, die die ersten internetbasierten Laborversuche Anfang Wintersemester 2018 ermöglichen sollen. Diese Laborversuche dienen zur Validierung des gesamten Systems und erfordern Feedback von Studenten, um weitere Entwicklung von Features des Software-Frameworks zu gewinnen.

3.1. Arbeitspakete

- Spezifikation des Software-Frameworks
- Installation und Konfiguration des Webservers zur Abwicklung der Experimente
- Design und Implementierung des Video-Live-Streaming-Systems
- Design und Implementierung des Parameterservers
- Design und Implementierung des Warteschlangen-Systems
- Design und Implementierung des Versuchsservers (*Experiment-Server*)
- Ausarbeitung der Ideen für verschiedenste Experimente
- Systemintegration inkl. Anbindung an Moodle
- Erstellung und Durchlauf eines Testexperimentes
- Erweiterter Testlauf eines Experimentes mit begrenzter Anzahl an Studierenden
- Analyse des ersten Praktika-Durchlaufs

- Finale Anpassung des Software-Frameworks
- Durchführung der online-Experimente mit Feedback vor und nach dem Versuch
- Analyse des Feedbacks
- Erstellung von Benutzerhandbuch und Dokumentation des Software-Frameworks

3.2. Meilensteine

Im *Sommersemester* werden zunächst die Komponenten des Software-Frameworks inklusive geeignete Laborversuche entwickelt. Am Ende des Sommersemesters soll eine Systemintegration aus der gesamten Komponenten des Software-Frameworks erfolgen. Sie beinhaltet folgende Teilmeilensteine:

- Implementation des Video-Live-Streaming-Systems
- Implementation des Parameterservers
- Implementation des Warteschlangen-Systems
- Implementation des Versuchsservers

Im *Wintersemester* findet der erste internetbasierte Laborversuch im Fach „Sensors and Actuators“ und „Mobile Robotics“ statt. Dabei sollen alle teilnehmende Studierenden den internetbasierten Laborversuch durchführen. Jeder Teilnehmer erhält eine Abfrage vor und nach dem Praktikum mit Hilfe von Moodle. Diese Abfrage führt zur Bewertung des Systems und zur Messung des Lernerfolgs durch das Praktikum. Als weiterer Meilenstein soll am Ende des Jahres Benutzerhandbuch und System-Dokumentation vom entwickelten Software-Framework geschrieben werden.

3.3. Erfolgskriterien und Beurteilung von Risiken

Durch Analyse der Ergebnisse von Abfragen vor und nach dem Praktikum sowie statistische Ermittlung von Studienerfolg der Studierenden, die den internetbasierten Versuch durchgeführt haben, lassen sich direkte Erfolgskriterien ableiten. Diese sind zum Beispiel:

- Akzeptanz der digitalen Komponenten in der Lehrveranstaltung
- Ermöglicht das Konzept eine erhöhte Studierbarkeit im entsprechenden Modul?
- Ermöglicht das digitale Experiment eine individuelle Durchführung?
- Erhöht sich die Anzahl der durchgeführten Experimente pro Studierende?
- Erhöhen die digitalen Komponenten die Verständlichkeit des vermittelten Inhalts?
- Erfolgt dadurch eine bessere Reflexion der Ergebnisse?

Es gibt zwei Risiken bezüglich der Internetbasierten Laborpraktika. Das erste Risiko kommt aus dem Platzbedarf. Um das Angebot 24 Stunden 7 Tage die Woche anbieten zu können, muss das Angebot immer verfügbar sein. Daher wird ein fester Platz benötigt. Hierzu kommt später Platzmangel für weitere Versuche. Als direkte Lösung werden die Praktika nur zur bestimmten Zeit zeitgleich zum passenden Thema des Moduls angeboten. Das zweite Risiko kommt durch ein komplexes Praktikum, z.B. Steuerung eines mobilen Roboters. Hierfür sind noch genügend technische Fragen offen, z.B. was passiert, wenn der Akku des Roboters leer ist? Was passiert, wenn der Roboter durch falsche Befehle umgekippt ist? Daher ist es wichtig, vorher jede neue Versuche auszuprobieren und entsprechende Maßnahmen für solche Situationen zu überlegen.

4. Vorarbeiten

Im Rahmen des Teilmoduls Sensor und Aktuatoren für Mechatronics System Engineering ist bereits Demonstratoren für Motorsteuerungsmodell und Digital-Encoder entstanden. Weiterhin sind bereits einige Exemplare von Mini-Mars-Rover Roboter, die komplett in HSRW gebaut wurden, aus dQVM Mittel vorhanden. Die beiden Prototypen werden kurz in den nachfolgenden Abschnitt vorgestellt.

4.1. Motorsteuerungsmodell und Digital Encoder

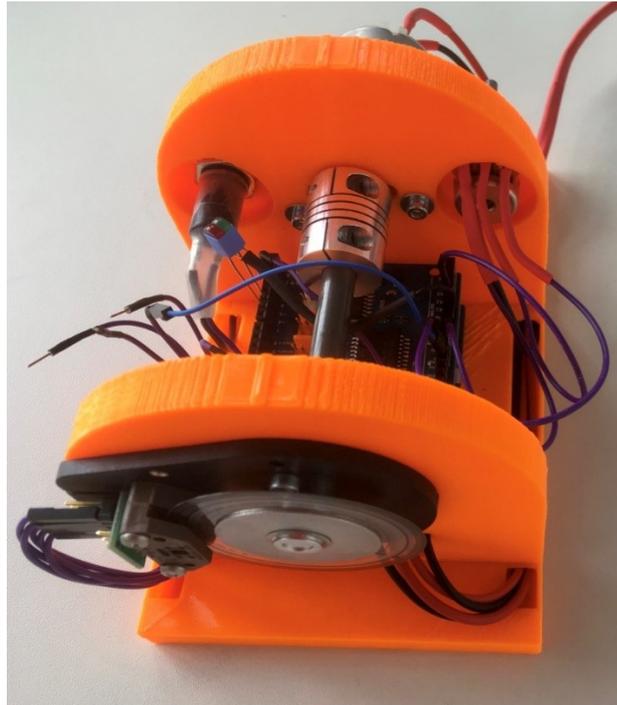


Abbildung 4-1: Motor Encoder

Abbildung 4-1 zeigt einen Encoder Demonstrator, der für die „Sensors and Actuators“-Vorlesung genutzt wird. In diesem Beispiel wird der Versuch einer digitalen Codierung vorgenommen. In diesem Versuch können die Geschwindigkeit sowie die Drehrichtung des Motors beeinflusst werden.

Weitere mögliche Experimente unter Zuhilfenahme des in Abbildung 4-1 gezeigten Demonstrators:

- a. Motorsteuerung: P Regelung, PI Regelung und PID Regelung
- b. Inkremental-Encoder: gekoppelt mit ein bzw. zwei optischen Sensoren
- c. Positionsregelung eines Motors

4.2. Mini Mars-Rover Roboter

Abbildung 4-2 zeigt einen Mini Mars-Rover welcher für Experimente im Modul „*Mobile Robotics*“ und „*Bionics of Behavior and Sociology*“ genutzt wird.

Die Studierenden können in diesem Experiment Versuche mit mobilen Robotern ausführen. Zu solchen Experimenten gehört zum Beispiel die Steuerung des Roboters sowohl mit model-basierten Algorithmen als auch über verhaltensbasierten Paradigmen. Dafür müssen die Studierenden die integrierten Sensoren auf den Robotern in den Algorithmen berücksichtigen und die entsprechenden Aktionen programmieren. Zu den in den Robotern integrierten Sensoren gehören unter anderem eine Kamera, ein Infrarot Sensor mit Servo, ein digitaler Kompass und Radenkoder. Weiterhin können Studierende fortgeschrittene Experimente z.B. SLAM-(*Simultaneous Localization and Mapping*) Verfahren, Navigation auf vorgegebene Karten und Suchszenarien durchführen.

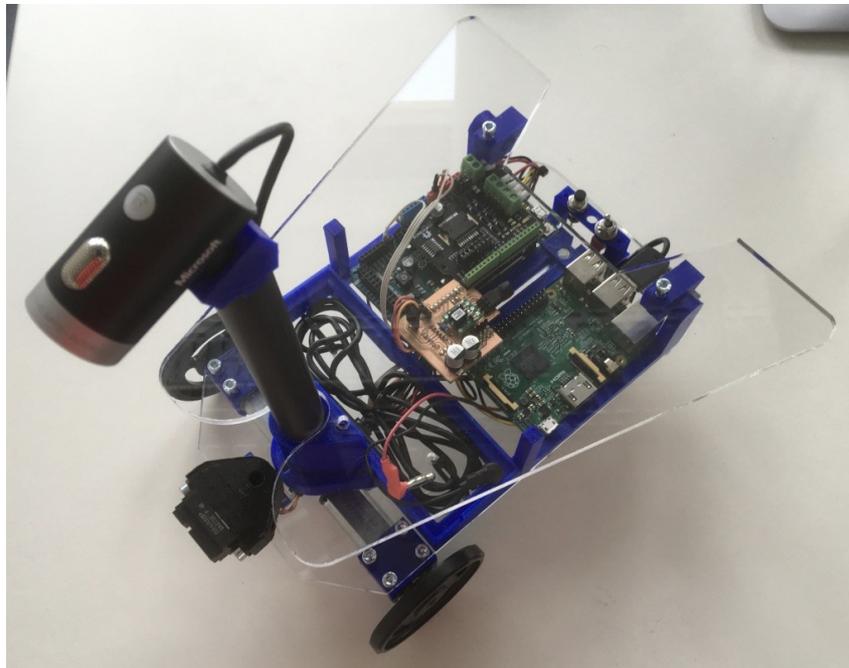


Abbildung 4-2: Mini Mars Rover

Weitere mögliche Experimente unter Zuhilfenahme des in Abbildung 4-2 gezeigten Roboters wären zum Beispiel:

- Steuerung eines mobilen Roboters in einem definierten Umfeld
- Ablesen der Odometrie
- Videobearbeitung von Aufnahmen des Mini-Mars Rovers
- Autonome Navigationsaufgabe von Punkt A nach Punkt B

5. Einbindung intern / extern

Da E-Learning als Qualitätsmerkmal der Hochschule Rhein-Waal angesehen wird, werden durch das E-Learning Zentrum innovative Lehrprojekte gezielt in die Hochschulöffentlichkeit kommuniziert und nachhaltig durch erfahrene E-Learning-Experten und –Expertinnen begleitet. Darüber hinaus wird durch das E-Learning Zentrum eine technisch-didaktische Infrastruktur bei der Implementierung innovativer, digital gestützter Lehre angeboten. Vor diesem Hintergrund bietet sich das E-Learning Zentrum als strategischer hochschulinterner Partner an, um mit seiner Expertise und seinen Ressourcen die Konzeption, Implementierung und Evaluation des geplanten Lehrprojektes zu begleiten und eine nachhaltige Sicherung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Im Falle einer Förderung bietet das E-Learning Zentrum an, das innovative Lehrprojekt beratend zu begleiten, wobei auch sichergestellt wird, dass die nachhaltige Sicherung der Erkenntnisse und eine Überprüfung auf die Übertragbarkeit auf andere Lehrszenarien gegeben ist. Darüber hinaus würde das E-Learning Zentrum bei Bedarf die Rolle als Multiplikator einnehmen, in dem für interessierte Lehrende der Hochschule Rhein-Waal Fortbildungsveranstaltungen über das geplante Lehrprojekt angeboten werden.

6. Zukünftige Einsatzmöglichkeiten und Verstetigung

Das entwickelte Software-Framework zur internetbasierten Laborversuche sind nicht auf bestimmte Praktika zugeschnitten. Es soll möglich weitere andere bzw. komplexe Versuche in das Framework einbinden. Daher wird weiterhin Übertragung auf weitere Studiengänge innerhalb der Fakultät sowie in anderen Fakultäten der Hochschule Rhein-Waal angestrebt. Weiterhin wird Integration von weiteren elektronischen Lehrsysteme sowie E-Prüfung im Software-Framework angestrebt.

Um eine Übertragung dieses Konzepts an weiteren Hochschulen zu ermöglichen werden die Ergebnisse, die im Rahmen dieses Fellowships entstanden sind, als OpenSource Software angeboten. Dadurch sollen die entwickelten Laborversuche durch andere Hochschule in das System zurückgespielt werden. Somit wird die Anzahl der Angebote der Laborversuche stetig wachsen.

Parallel zur Veröffentlichung des Software-Frameworks werden wissenschaftliche Veröffentlichungen in Tagungen und Workshops im Bereich didaktische Lehre angestrebt.

7. Bibliography

- [1] I. Awaad, R. Hartanto, B. Leon and P. Plöger, "A Software System for Robotic Learning by Experimentation.," *Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5325, p. 99–110, 2008.
- [2] R. Hartanto and J. Hertzberg, "Offering Existing AI Planners as Web Services," in *Proceedings of the 19th. Workshop on "Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen"*, Koblenz, 2005.

- [3] R. Hartanto and M. Eich, "Reliable, Cloud-based Communication for Multi-Robot Systems," in *Proceedings of the 6th Annual IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications , (TePRA-2014)*, Woburn, Massachusetts, 2014.