

Iterative Adaption eines Remote-Labors unter Berücksichtigung des Feedbacks der Studierenden

ANJA HAWLITSCHKE, SARAH BERNDT, ANDRÉ DIETRICH, SEBASTIAN ZUG

Abstract

Bei der Konzeption und Realisierung eines Remote-Labors fehlt es wegen der häufig spezifischen Ausprägung auf technischer und didaktischer Ebene an praktikablen Schablonen. Folglich kann die Inbetriebnahme eines Remote-Labors immer nur der Startpunkt einer kontinuierlichen Weiterentwicklung sein, die auf eine Verbesserung der Features und Konfigurationsparameter, der Lehrkonzepte, aber auch konkreter Aufgabenstellungen abzielt. Zunächst muss dafür eine geeignete Feedbackstrategie entwickelt werden, die die Rückmeldungen und Kritiken der Studierenden systematisch erfasst. In der Analysephase gilt es, entsprechende Stellschrauben zu identifizieren und daraus eine Strategie zur Anpassung des Labors zu entwickeln. Der vorliegende Beitrag beschreibt dieses Vorgehen anhand eines Remote-Labors für eingebettete Systeme, das in einem Zeitraum von drei Jahren ausgehend von einer Vorgängerinstallation weiterentwickelt wurde. Grundlage der Anpassungen waren quantitative Befragungen der Studierenden, qualitative Interviews mit Studierenden und Tutor*innen sowie die Analyse der Nutzer*innendaten. Im Ergebnis zeigte sich, dass neben der Korrektur vermeintlich intuitiver Lösungen auch konzeptionell substanziell adaptiert werden musste.

Schlüsselwörter: Remote-Labor, empirische Untersuchung, Adaptivität

Motivation

Remote-Labore vereinen die Digitalisierung der Lehre und das interaktive Lernerlebnis in einer Laborumgebung. Die Einbettung realweltlicher Versuche in eine webbasierte Lehr-Lern-Umgebung macht diese analog zu klassischen Onlinekursen permanent verfügbar. Anders als in einer Simulationsumgebung bleibt aber die unmittelbare Interaktion mit einer physischen Umgebung erhalten.

Allerdings fehlt es in der Literatur an konkreten Handlungsanweisungen und Vorlagen für die Realisierung eines Remote-Labors. Zwar existieren eine Vielzahl von Beschreibungen unterschiedlicher Installationen sowie Untersuchungen zur spezifischen Wirksamkeit; diese dokumentieren aber eher einen finalen Zustand bzw. – im Zusammenhang mit entsprechenden Evaluationen – eine spezifische Konfiguration (vgl. Alkhaldi, Pranata & Athauda, 2016). Der Entwicklungsprozess, der zur Anpas-

sung der jeweiligen Installation an die didaktischen Erfordernisse führt, ist bislang kaum dokumentiert (vgl. Orduña, García-Zubia, Rodríguez-Gil u. a., 2012). Dies ist umso wichtiger, als erst mit der realweltlichen Nutzung im Lehrbetrieb die Schwächen eines Systems deutlich werden. Ausgehend davon ist dann eine Nachbesserung notwendig, welche die Anforderungen aber möglicherweise wiederum nur in Teilen abdeckt. Die Gründe dafür, dass hier ein iterativer Entwicklungsprozess notwendig wird, sind vielfältig und resultieren häufig aus der Situation, dass ein bestehendes Labor oder das Konzept eines Labors in ein Remote-Setup überführt wird.

Die vorliegende Arbeit stellt diesen mehrstufigen Entwicklungsfluss am Beispiel eines Remote-Labors für mobile Robotersysteme anhand der Grundelemente Laborequipment, IT-Infrastruktur und Nutzer*inneninterface aus Studierendensicht und Nutzer*inneninterface aus der Perspektive des Lehrenden dar. Eine Beschreibung der Konfiguration und der didaktischen Zielstellungen erfolgt in Abschnitt 2.

Bezüglich des ersten Punktes ist zu beachten, dass die Technik intensiver und rund um die Uhr benutzt wird, wobei ein unmittelbarer Eingriff für Korrekturen und Reparaturen fehlt. Während die Standardlaborausstattung in Zeitfenstern außerhalb der Übungen gewartet werden kann, ist das Remote-Labor permanent online. Entsprechend muss die störungsfreie Laufzeit des Equipments höher liegen als bei einer konventionellen Installation.

Ähnliche Herausforderungen betreffen die Infrastruktur des Remote-Labors. Ein während der Designzeit schwierig abzuschätzender Aspekt ist die Frage der automatisierten Überwachung des Betriebes. Neben intuitiven Kontrollen, die z. B. für einen mobilen Roboter Sicherheitszonen definiert, die nicht verlassen werden dürfen, können andere unerwünschte Zustände erst mit zunehmender Betriebs Erfahrung erkannt werden. Im hier beschriebenen Labor fuhren Roboter aufgrund einer fehlerhaften Programmierung buchstäblich gegen eine Wand und kämpften mit durchdrehenden Rädern minutenlang gegen diese an (Jäger, Zug, Hawlitschek u. a., 2018).

Die nutzerseitige Webanwendung bildet für die Studierenden die Schnittstelle zum Labor. Dabei treffen Studierende, die das reale Laborsystem allenfalls nur einführend kennengelernt haben, auf eine technische Realisierung, die bestimmte Abfolgen der Bedienung (implizit) zwingend definiert. Aus dem Blick des realen Labors mögen die Vorgaben nachvollziehbar sein, aus der Distanz des Remote-Labors sind sie aber über die Schnittstellen gegebenenfalls wenig intuitiv. Entsprechend können konventionelle Usability-Konzepte, die z. B. bei konventionellen Webseiten Anwendung finden, nur bedingt eine Lösung definieren. Darüber hinaus muss die Nutzer*innenschnittstelle auch die notwendige Unterstützung bieten, die in einem realen Labor durch Lehrende abgedeckt wird. Die spezifische Konfiguration kann nur anhand einer entsprechenden Studie abgeleitet werden.

Mit der räumlichen Trennung ist das Remote-Labor nicht mehr „im Blick“ des Lehrenden. Dies macht ein neues Monitoring- und Analysekonzept notwendig. Der erste Punkt betrifft die Möglichkeit, z. B. per Ferneingriff einen Neustart des Systems oder einzelner Komponenten zu ermöglichen. Diese Funktionalitäten werden anhand der Erfahrungen beim Betrieb nachgerüstet.

Die genannten vier Punkte sind zudem untereinander verknüpft, sodass Anpassungen auf der einen Ebene unmittelbare Auswirkungen auf die anderen haben. Entsprechend soll in diesem Artikel die Entwicklungsgeschichte in den Kategorien anhand verschiedener Versionen vorgestellt werden. Die Weiterentwicklung basiert auf Kritikpunkten, die mittels Befragungen und Interviews identifiziert wurden.

Untersuchungsgegenstand – Industrial-eLab „Eingebettete Systeme“

Im Rahmen des Remote-Labors „Eingebettete Systeme“ besteht die Aufgabe der Studierenden darin, kleine Roboter schrittweise in C und C++ zu programmieren, sodass diese am Ende selbstständig in einem Labyrinth navigieren. Dafür wurden zwischen 2017 und 2019 drei Versionen des Remote-Labors implementiert, die aufeinander aufbauend sowohl auf der Hardware- als auch der Softwareebene ein weitreichendes Neudesign darstellen. Die durch die Programme der Lernenden zu adressierenden Elemente (Motortreiber, 3x7 Element Display, Inertial- und Distanzsensorik, Odometrie) blieben dabei erhalten. Bei der Version 1 wurde die Energiezufuhr über Akkumulatoren sichergestellt, während diese in der finalen Implementierung von Version 3, wie in Abbildung 1 und 2 zu sehen, durch eine industrielle

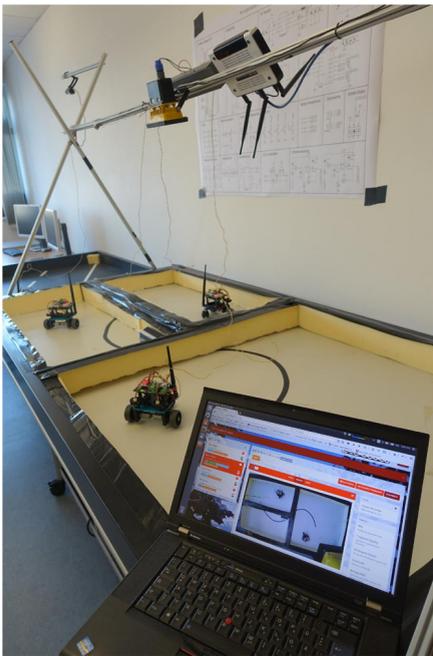


Abbildung 1: Laborinfrastruktur Vers. 1. Auf dem Rechner im Vordergrund ist die zugehörige Bedienoberfläche sichtbar.



Abbildung 2: Laborinfrastruktur Vers. 3 mit insgesamt 6 Robotersystemen

Kabelführung mit Schleifkontakten ersetzt wurde. Zudem wurde in Version 3 die Zahl der Robotersysteme, die parallel im Betrieb waren, auf sechs gesteigert, um die Verfügbarkeit zu erhöhen.

Didaktische Anpassung von Remote-Laboren

Das Lernen mit Remote-Laboren beinhaltet komplexe Herausforderungen für die Lernenden und daraus resultierende besondere Anforderungen an deren didaktische Unterstützung. Neben der Auseinandersetzung mit dem zu programmierenden Code müssen sie sich im Remote-Labor „Eingebettete Systeme“ mit Schwierigkeiten beschäftigen, die mit der indirekten Interaktion mit einer komplexen Laborsituation einhergehen. So entstehen beispielsweise „falsche“ Sensorwerte dadurch, dass Sonneneinstrahlung den Messprozess stört. Die Studierenden müssen lernen, mit solchen Herausforderungen aus dem Laborkontext, also der Identifikation von Störvariablen und ihrem Handling, auch ohne direkte Interaktionsmöglichkeiten mit dem Labor und den Robotern umzugehen.

Damit die Studierenden erfolgreich im Remote-Labor lernen, müssen vor diesem Hintergrund eine Reihe von Voraussetzungen geschaffen werden – insbesondere die Anpassung des Remote-Labors und zugehöriger Lerninhalte an die Bedarfe der Studierenden. Bedarfe für die Weiterentwicklung und Anpassung eines Remote-Labors können auf unterschiedliche Faktoren zurückgeführt werden. Einfluss auf den Lernerfolg von Studierenden bzw. deren Persistenz in einer Lehrveranstaltung (vgl. Park & Choi, 2009) haben Faktoren, die bereits im Vorfeld des Lernprozesses vorliegen (z. B. lernrelevante Fähigkeiten bzw. das Vorwissen der Lernenden, vgl. Chen, Kalyuga & Sweller, 2017), externale Faktoren, die außerhalb des Lernsetting zu verorten sind (z. B. familiäre zeitliche Belastungen, vgl. Schneider & Preckel, 2017) sowie internale Faktoren. Letztere ergeben sich aus der Auseinandersetzung des Lernenden mit dem Lernsetting, z. B. aus der wahrgenommenen Usability und Nützlichkeit (vgl. Joo, Lim & Kim, 2011). Anpassungsmöglichkeiten betreffen vor diesem Hintergrund:

- Anpassungen des Lernsettings an Lernendencharakteristika, die bereits vor der Lehr-Lern-Situation vorliegen, z. B. eine unterschiedlich intensive didaktische Anleitung, angelehnt an das Vorwissen,
- Anpassungen an Bedarfe der Lernenden, die aus externalen Faktoren erwachsen, z. B. größere zeitliche Flexibilität für Lernende mit Kind sowie
- Anpassungen zur Optimierung des aktuellen Lernens im Lernsetting, z. B. Verbesserungen bei der Bedienbarkeit der Lernumgebung.

Letztere stehen im Folgenden im Fokus. Von der erfolgreichen Interaktion der Lernenden mit dem digitalen Lernsetting hängt der Lernerfolg ab. Eine Vielzahl empirischer Studien beschreibt Variablen, die auf die Interaktion Einfluss nehmen. Dieser Artikel fokussiert die Nutzer*innenfreundlichkeit bzw. Bedienbarkeit („perceived ease of use“), die neben der wahrgenommenen Nützlichkeit – in der Regel vor dem

Hintergrund der theoretischen Rahmung durch das Technology Acceptance Model – als einer der wichtigsten Einflussfaktoren für die Nutzung von IT-Systemen herausgearbeitet wurde (Venkatesh & Davis, 2000). Die Bedienbarkeit bezieht sich in Lehr-Lern-Kontexten auf die Frage, inwieweit digitale Lehr-Lern-Angebote aus Perspektive der Nutzer*innen einfach genug zu bedienen sind, um die Kosten der Nutzung (z. B. zeitliche und kognitive Ressourcen) tief genug und die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Nutzung hoch genug erscheinen zu lassen. Die Wahrnehmung der Bedienbarkeit beeinflusst die Nutzer*innenakzeptanz, die Nutzer*innenzufriedenheit sowie die Art, das Ausmaß und die Persistenz der Nutzung (Legris, Ingham & Colleterte, 2003). Für die Adaption von Remote-Laboren wurden im Projekt vier übergeordnete Fragestellungen identifiziert (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Vorgehen bei der Adaption eines Remote-Labors an Bedarfe der Lernenden

Fragestellung	Ziele
I. Was ist die Zielstellung der Anpassung?	Festlegung der vorrangig mit der Anpassung verfolgten Ziele, z. B. Steigerung des Lernerfolgs, Verringerung von Drop-Out, Steigerung der Motivation
II. Woran wird angepasst?	Identifizierung der Bedarfe der Lernenden zur Ermöglichung der Erreichung der Zielstellung (vgl. Hawlitschek, Krenz & Zug, 2019)
III. Wann wird angepasst?	Identifizierung von Indikatoren für Anpassungsbedarfe (vgl. Hawlitschek, Köppen, Dietrich u. a., 2019)
IV. Wie wird angepasst?	Identifizierung von didaktischen Interventionen, welche die Erreichung der Zielstellung unterstützen können (vgl. Hawlitschek, Dietrich & Zug, 2019)

In diesem Artikel wird auf die Verbesserungsbedarfe der Lernenden hinsichtlich der Bedienbarkeit, die daraus abgeleiteten Veränderungen des Remote-Labors und die Ergebnisse einer Untersuchung zur Wirkung dieser Veränderungen eingegangen. In Bezug auf die Untersuchung weiterführender Fragestellungen, was die Anpassung von Remote-Laboren an die Bedarfe der Lernenden angeht, wird auf die in Tabelle 1 genannten Publikationen verwiesen.

Anpassung als sukzessive Weiterentwicklung eines Remote-Labors

Die Evaluation der Weiterentwicklung des Remote-Labors erfolgte formativ mithilfe eines Mixed-Methods-Ansatzes in Form eines Paralleldesigns. Die Auswahl des Designs liegt der Motivation „additional coverage“ zugrunde, die den Wunsch ausdrückt, durch verschiedene Methoden eine erweiterte Perspektive auf den Untersuchungsgegenstand zu erhalten (vgl. Kuckartz, 2014, S. 66–69). Die vorliegende Untersuchung besteht dabei aus zwei quantitativen Studierendenbefragungen zur Evaluation der ersten Version (Studie 1) und der Weiterentwicklung (Studie 3) des Remote-Labors. Letztere wurde durch die inhaltsanalytische Auswertung von leit-

fadengestützten Interviews mit Studierenden und Tutor*innen ergänzt, um die Bedarfe der Studierenden besser identifizieren zu können (Studie 2). Die Befunde der drei Studien flossen in die schrittweise Weiterentwicklung des Remote-Labors ein.

Studie 1: Evaluation Ausgangssituation

Im Wintersemester 2016/2017 arbeiteten die Studierenden der Informatik in der Lehrveranstaltung „Prinzipien und Komponenten eingebetteter Systeme“ der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg mit der Basisversion des Remote-Labors. Nach Abschluss der Lehrveranstaltung wurden sie per E-Mail gebeten, an einer Befragung zur Evaluation teilzunehmen. Ziel war es, die Ausgangssituation abzubilden und Potential für die Weiterentwicklung des Remote-Labors zu identifizieren. Dabei konnten die Rückmeldungen von 34 Studierenden erfasst werden. Es wurde einerseits die Bedienbarkeit (vgl. Legris, Ingham & Collettere, 2003) sowie die Zuverlässigkeit der Roboter bzw. des Remote-Labors auf einer fünfstufigen Likert-Skala (stimme gar nicht – stimme voll zu) abgefragt (vgl. Tab. 2). Zudem bekamen die Studierenden in einer offenen Frage die Möglichkeit, Probleme und Herausforderungen bei der Nutzung des Remote-Labors zu artikulieren.

Tabelle 2: Items zur Bedienbarkeit und Zuverlässigkeit des untersuchten Remote-Labors

Bedienbarkeit (Cronbachs Alpha: 0,81)	Zuverlässigkeit
Die Bedienung des Remote-Labors ist intuitiv.	Die Roboter haben zuverlässig funktioniert.
Die Interaktion mit dem Remote-Lab-System ist klar und verständlich.	Das Remote-Labor hat zuverlässig funktioniert.
Das Remote-Labor gibt klare und verständliche Rückmeldungen.	
Die Fehlermeldungen des Remote-Labors sind bei der Lösung von Problemen hilfreich.	
Ich finde, dass das Remote-Lab-System insgesamt einfach zu bedienen ist.	

Ergebnisse

Die Bedienbarkeit des Remote-Labors ($M: 3,48$, $SD = 0,73$) wird von den Studierenden als mittelmäßig bis eher gut eingeschätzt. Die Zuverlässigkeit der Roboter wird als eher schlecht bis schlecht beurteilt ($M = 1,56$, $SD = 0,66$). Das Remote-Labor selbst wird in Bezug auf seine Zuverlässigkeit als mittelmäßig bis eher schlecht eingeschätzt ($M = 2,47$, $SD = 1,31$). Die Antworten auf die offene Frage beschreiben am häufigsten (11 Nennungen) Probleme mit Aufgaben, die den Studierenden ohne direkte Interaktion mit den Robotern als unlösbar erschienen und konkrete Probleme mit der Bedienbarkeit (10), z. B. Verbindungsprobleme (3).

Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der Evaluation lassen sich folgende Handlungsbedarfe ableiten:

- Die erste Version der Roboterhardware hat sich nicht bewährt und musste ersetzt werden. Die ursprünglich aus Flexibilitätsgründen genutzte „fliegende“ Verdrahtung ist für den Dauerbetrieb ungeeignet.
- Die Aufgabenstellungen ließ es offen, ob die Studierenden die Aufgaben im Remote-Labor-Modus realisieren oder mit zusätzlich bereitgehaltenen (aber nie genutzten) Robotersystemen während der Übungen. Entsprechend waren einige Aufgaben wie die Sensorkalibrierung im Remote-Kontext aufwändiger zu lösen. Dieser hybride Ansatz wurde aufgegeben.
- Mit Blick auf die bessere Nachvollziehbarkeit der internen Abläufe wird das ArduinoView-Konzept in das Remote-Labor integriert, sodass die Studierenden die internen Abläufe besser und individueller aufbereiten und visualisieren können.

Studie 2: Qualitative Evaluation der zweiten Version des Remote-Labors

Das weiterentwickelte Remote-Labor wurde im Wintersemester 2017/2018 erneut eingesetzt und zunächst begleitend evaluiert. Zielstellung der Evaluation war es, die zweite Version des Remote-Labors insbesondere mit Blick auf die Bedarfe der Studierenden zu verbessern. Hierfür wurde im letzten Drittel der Vorlesungszeit eine qualitative Studie mittels leitfadengestützter Interviews mit zwei Studierenden und drei studentischen Tutor*innen durchgeführt, um ihre Einschätzungen in Bezug auf Nachteile und Potentiale der Weiterentwicklung des Remote-Labors zu erheben. Der Erhebungszeitpunkt und die Auswahl der Befragten erfolgten auf Grundlage von forschungspraktischen Überlegungen. So hatten diese bereits im letzten Drittel der Vorlesungszeit Erfahrungen mit dem Remote-Labor gesammelt und waren für die Studie aufgrund der laufenden Präsenzveranstaltung persönlich ansprechbar. Im Gegensatz zu den quantitativen Befragungen wurden auch die Tutor*innen einbezogen, da sie, so die Vermutung, aufgrund ihrer Doppelrolle als Endnutzer*innen und Lehrende zusätzliche Potentiale und Probleme des Remote-Labors würden benennen können. Die durchschnittliche Länge der Interviews betrug ca. 53 min. Die Audioaufnahmen der Befragungen wurden transkribiert und mittels qualitativer inhaltlich-strukturierender Inhaltsanalyse ausgewertet (vgl. Mayring, 2015).

Ergebnisse

Die Reaktionen der Studierenden und Tutor*innen auf die Fragen, welche Schwierigkeiten und Gestaltungspotentiale sie in Bezug auf das Remote-Labor identifizieren, rekurrieren auf die Roboterhardware und das Nutzer*inneninterface des Systems. Wird von den Befragten der Bereich Roboterhardware angesprochen, problematisieren sie meist die häufig auftretenden Motor- und Sensorprobleme, welche die Nutzung der Roboter einschränken oder verhindern. Die Tutor*innen, die auch die erste Version des Remote-Labors kennen, heben zugleich die positive Weiterentwicklung in diesem Bereich hervor. Die erste Version der Roboter hatte oft Funktionsstörun-

gen, z. B. aufgrund von abgedrehten Rädern bei Fehlbedienung durch Lernende, abgerissene Kabel oder veränderte Steckerkonfigurationen.

Steht hingegen hinsichtlich der zweiten Version des Remote-Labors das Nutzer*inneninterface im Fokus der Betrachtung, werden die drei Themenbereiche Inhalte, Didaktisches Design und Usability adressiert. Am kritischsten sehen die Studierenden und Tutor*innen im inhaltlichen Bereich das Maß an Vorwissen, das für die Bearbeitung der Aufgaben vorausgesetzt wird. Gleichfalls wird bemängelt, dass der Unterschied zwischen dem eher abstrakten Programmieren für Desktopanwendungen und dem hardwarenahen Programmieren, wie es für die Implementierung hier gefordert wird, nicht nachvollziehbar dargestellt wird. Im Einklang mit den formulierten Problemen regen die Befragten an, die Inhalte einführend zu erklären und ein vertiefendes Tutorial bereitzustellen, um fehlendes Vorwissen auszugleichen. Die das didaktische Design betreffenden Kritikpunkte beziehen sich primär auf den Umfang des Fließtextes der Lerninhalte und auf die nicht vorgesehene Gruppenarbeit. Darüber hinaus wird bemängelt, dass die eingesetzten Roboter aufgrund der räumlichen Trennung und ihres geschlossenen Aufbaus wie eine Art Black Box funktionieren. In der Konsequenz wünschen sich die Studierenden und Tutor*innen, dass Gruppenarbeit ermöglicht wird und Inhalte didaktisch besser aufbereitet werden, z. B. durch Animationen. Sehr häufig beziehen sich die Ausführungen der Befragten auf den Themenbereich Usability. Die dabei aufgeführten Probleme erstrecken sich von einer eingeschränkten Funktionsfähigkeit des Remote-Labors (z. B. Bugs, ungültige Links) über erschwerte Bedingungen (z. B. schlechte Qualität des Livestreams und verzögerte Bildübertragung, wenig intuitive und schlecht dokumentierte Ansteuerung von ArduinoView) bis hin zu Elementen, die zumindest für Irritationen oder Unklarheiten sorgen (z. B. wenig intuitive Navigation und ungünstiger Aufbau des Remote-Labors oder unverständliches Feedback in Bezug auf die Editoreingaben). Eine Verbesserung könnte aus Sicht der Befragten erreicht werden, indem ein Debugger oder ein ausführlicher Bugreport integriert werden würde. Zudem sollten das Design und der Aufbau sowie die Navigation des Remote-Labors verbessert und intuitiver gestaltet werden. Um die schlechte Bildqualität des Livestreams zu beheben, wird zudem eine Full-HD-Übertragung empfohlen.

Diskussion

Aus den Befunden lassen sich Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Roboterhardware und das Nutzer*inneninterface des Remote-Labors ableiten:

- Die Stabilität des Systems sollte weiter verbessert werden, d. h. Funktionsstörungen aufgrund von z. B. defekten Motoren, Rädern oder Sensoren sollten verhindert werden.
- Die Lerninhalte sollten in ein Tutorial eingebettet werden, um die Heterogenität der Studierenden abzudecken. Dabei ist der Textumfang der Aufgabenstellung zugunsten von Abbildungen, Animationen o. Ä. zu reduzieren. Für diese Umsetzung wird LiaScript¹ entwickelt und eingesetzt (vgl. Dietrich, 2019).

1 Projektwebseite <https://liascript.github.io/>

- Die mehrfach gewünschte Gruppenarbeit, also das gemeinsame Einwählen auf einem Account und die gemeinsame Arbeit am Code, ist zum gegenwärtigen Stand des Systems nicht umsetzbar.
- Die genannten „unverständlichen Editorausgaben“ sind Standardnachrichten des Compilers. Diese müssen sich die Studierenden der Informatik als Arbeitsgrundlage schlicht selbst erarbeiten. Gleichwohl wurde in Studien untersucht, inwieweit dieser Lernprozess durch Fehlersammlungen und erweiterte Kommentare unterstützt werden kann (vgl. Hawlitschek, Dietrich & Zug, 2019).
- Um die Benutzer*innenfreundlichkeit des Remote-Labors zu erhöhen, sollte das Design, der Aufbau und die Navigation verbessert und intuitiver gestaltet werden. Zudem sollte die Funktionsweise des Remote-Labors im Allgemeinen detaillierter erläutert werden.

Studie 3: Quantitative Evaluation der zweiten Version des Remote-Labors

Im Wintersemester 2017/2018 wurde nach Abschluss der Lehrveranstaltung eine Befragung mit den Studierenden durchgeführt, um die Beurteilung der zweiten Version des Remote-Labors mit der ersten Version vergleichen zu können. 34 Studierende nahmen teil. Es wurden dieselben Items genutzt, die auch in Studie 1 zum Einsatz kamen.

Ergebnisse

Die Bedienbarkeit der zweiten Version des Remote-Labors ($M = 2,81$, $SD = 0,77$) wird von den Studierenden als mittelmäßig bis eher schlecht eingeschätzt. Die Zuverlässigkeit der Roboter wird als gut beurteilt ($M = 3,88$, $SD = 1,12$), die des Remote-Labors erneut als mittelmäßig bis eher schlecht ($M = 2,35$, $SD = 1,24$). Eine ANOVA zeigt, dass die Studierenden 2016/17, die mit der ersten Version des Remote-Labors gearbeitet hatten, die Bedienbarkeit signifikant besser beurteilten als die Studierenden 2017/18 ($F(1,48) = 8,94$, $p < .01$, $\eta^2 = ,16$). Bei der Zuverlässigkeit des Remote-Labors ergeben sich keine signifikanten Unterschiede ($F(1,66) = 0,04$, $p = ,85$, $\eta^2 = ,00$). Die Zuverlässigkeit der Roboter wird von den Studierenden 2017/18, die mit der zweiten Roboter-Version arbeiteten, als signifikant besser eingeschätzt ($F(1,66) = 108,3$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,62$).

Diskussion

Das Ergebnis von Studie 3 erfüllt nicht in allen Punkten die Erwartungen. Zwar ist es gelungen, die Zuverlässigkeit der Roboter signifikant zu steigern, dies lässt sich jedoch nicht bezüglich des Remote-Labors sagen. Die Einschätzung der Bedienbarkeit verschlechterte sich trotz der Verbesserungsbemühungen signifikant.

- Mit der neuen Version des Nutzer*inneninterfaces wuchs die Zahl der Features des Remote-Labors deutlich an. Ausgehend von der dafür notwendigen Programmierarbeit war das System noch nicht ausreichend getestet.
- Die Verdopplung der Zahl der Roboter und die Möglichkeit, auch höhere Auflösungen beim Videostream abzurufen, lastete die Rechentechnik voll aus, was

die angesprochenen Verzögerungen hervorrief. Hier wurde in Version 3 ein leistungsfähigerer Server installiert und die Auflösung reduziert.

- Über Weihnachten gab es einen Fehler im System, der die Funktionalität des Remote-Labors zeitweilig beeinträchtigte. Es ist möglich, dass diese Erfahrung sich auf die studentische Bewertung der Bedienbarkeit auswirkte.

Die Überarbeitung des Remote-Labors brachte eine ganze Reihe von Neuerungen mit sich, die im Vorfeld nicht im Livebetrieb mit den Studierenden getestet werden konnten. Die Gefahr, dass man das Ziel zunächst verfehlt und die Studierenden beispielsweise die Navigation nicht so intuitiv finden, wie von den Entwicklern antizipiert, ist dann natürlich groß. Hier wäre eine kleinteiligere, formative Evaluation wünschenswert gewesen.

Überblick zu den technischen Adaptionsschritten als Reaktion auf die Evaluationsergebnisse

Tabelle 3 gliedert den Entwicklungsfluss über die Versionen des Remote-Labors anhand der in Abschnitt 1 genannten Kategorien. Dabei illustriert die Darstellung, wie die Features und Adaptionen, ausgehend vom Feedback der Studierenden, adaptiert und angepasst wurden. Gleichzeitig unterlag das System insbesondere auf der Back-End-Ebene umfangreichen Anpassungen. So wurden schrittweise Vereinheitlichungen bei den Nutzer*innenschnittstellen vorgenommen und ein transparentes Modell für die Beschreibung der Inhalte definiert. Der Fokus der Darstellung hier lag aber auf der durch die Angaben der Studierenden direkt oder indirekt motivierten Anpassungen.

Fazit

Im vorliegenden Beitrag wird die schrittweise Realisierung eines Remote-Labors im Kontext der Informatikausbildung beschrieben. Ausgehend von den technischen und didaktischen Herausforderungen für die Etablierung dokumentiert er das Vorgehen über drei Versionen hinweg, wobei Teile der notwendigen Anpassung aus den Nutzer*innenfeedbacks der Studierenden und der Tutor*innen getriggert wurden. Im Vordergrund stand dabei die Evaluation eines jeweils angepassten Sets von Features, die für die Studierenden als Nutzende unmittelbar sichtbar wurden. Die parallele Adaption auf der Back-End-Ebene wurde an dieser Stelle nur mittelbar untersucht.

Im Rückblick lassen sich für die Realisierungsstrategie eines Remote-Labors folgende Regeln ableiten:

1. Die Einbettung eines Remote-Labors bedarf einer sorgfältigen Einführung für die Teilnehmer*innen der Veranstaltung. Neben der Darstellung des Gebrauches müssen die Nutzungskonzepte der Implementierung in ihrer Intention vermittelt werden, um die Akzeptanz und Toleranz der Studierenden zu steigern.

2. Der Betrieb eines Remote-Labors bedeutet analog zum allgegenwärtigen Zugriff durch die Studierenden auch fehlende Eingriffs- und Wartungsmöglichkeit vonseiten der Lehrenden. Hier sollten mögliche Ausnahmesituationen und webseitige/örtliche Reaktionsmöglichkeiten während des Entwurfes berücksichtigt werden.
3. Vor dem Hintergrund der intensiveren Nutzung ist die Zuverlässigkeit der gesteuerten Hardware von besonderer Bedeutung. Da hier häufig individuelle Lösungen zum Einsatz kommen, die spezifischen didaktischen Zielen folgen, muss der Langzeitevaluation genügend Vorlauf eingeräumt werden, bevor die Integration erfolgt.
4. Arbeitsgruppen, die ein Remote-Labor konzipieren, sollten keinen „weichen Übergang“ vorsehen. Ein Nebeneinander von Lehre im realen Labor und web-basiertem Zugriff verkompliziert die Umsetzung und generiert zusätzliche Herausforderungen. Dies bedeutet dann aber auch, dass das bestehende Lehr- und Aufgabenset komplett angepasst werden muss.
5. Teile der Entwicklungsarbeit wären vermeidbar gewesen, wenn Kernelemente anderer Plattformen für Remote-Labore genutzt worden wären. Hierbei entscheiden sich die Entwicklerteams häufig zu rasch für eigene, spezifisch zugeschnittene Lösungen, statt unter Tolerierung von Kompromissen auf bestehende Module zurückzugreifen. Gegebenenfalls kann dies auch bedeuten, dass zunächst keine vollständige Integration in eine geschlossene Webseite möglich ist.
6. Das Testen des Gesamtsystems durch Nicht-Entwickler*innen ist für die Sicherstellung einer hinreichenden Zuverlässigkeit von großer Bedeutung. Das hierfür notwendige Zeitfenster sollte ausreichend groß bemessen sein, um eine heterogene Testgruppe anhand realistischer Aufgabenstellungen und Bedingungen zu erfassen. Darüber hinaus muss die Möglichkeit gegeben sein, die Rückmeldungen entsprechend in das System einzupflegen.

Die Systematisierung dieser Fragestellungen in einem Leitfaden für den Entwurfsprozess von Remote-Laboren ist Gegenstand der aktuellen Forschungsaktivitäten der Autor*innen. Dieser soll dann bei der avisierten Umsetzung des Nachfolgelabors für die eLab-Installation angewandt werden.

Tabelle 3: Übersicht der 3 Versionen des Remote-Labors

	Roboterhardware	Laborumgebung	Nutzer*innen-interface	Monitoring der Lernenden
Version 1	Variable Plattform mit individuellem elektrischen Design, das eine Rekonfiguration sicherstellen soll, Batterien zur Energieversorgung	Umsetzung mit drei Robotern, Integration eines adaptiven Lampensystems, um eine homogene Ausleuchtung sicherzustellen, Einbindung eines „Moving Targets“ in das Szenario, Möglichkeit des Sperrens des Onlinezugriffs während Lehrveranstaltungen	Wechsel von der Übermittlung des ausführbaren Programmes hin zur Übersendung des Programmcodes mit Kompilierung auf dem Server	Erstellung von Streak-Modellen, die die Dauer von Fehlerzuständen auswerten, Erfassung der Häufigkeit bestimmter Fehlertypen, die dann in der Vorlesung besprochen wurden
Kritik aus Studie 1	Aufwändige Wartung und Laden der Akkumulatoren, elektrische und mechanische Stabilität der Plattform, Umfallen der Roboter, Flash-Zyklen der Controller als Herausforderung	Mangelnde Verfügbarkeit der Roboter, Schwierigkeiten bei der Abschätzung der Sensorfehler, die Modelleisenbahn als Trigger für die Sensoren wurde als „Spielerei“ betrachtet	Kaum Nutzung der Hilfestellungen (Datenblätter) durch die Studierenden, die als Links im System bereitgestellt wurden	Keine allgemeine API zum Zugriff auf die Datenbank, was die Onlineauswertung erheblich erschwerte
Version 2	Integriertes Robotersystem mit geschlossenem Aufbau, Energieversorgung per Kabel, stabilere Bauweise (z. B. Erhöhung der Anzahl der Rollen), Ansteuerung der Roboter mittels Shift-Register	Vergrößerung der Zahl der Roboter (6), um die gestiegene Auslastung abbilden zu können, es werden keine nicht-remote steuerbaren Roboter mehr vorgehalten, kariertes Untergrund zur Abschätzung von Abständen zu Wänden etc.	Integration begleitender Kursmaterialien und eigener Programmierumgebung, variable Kameraauflösung, Multi-File-Projekte erlauben komplexere Programme, Integration des ArduinoView-Konzeptes, Versionsmanagement	Erweiterte Schnittstellen für die Datenakquise der Aktivitäten der Lernenden, Evaluation des übermittelten Codes anhand vordefinierter Muster, Integration von Fehlerbeispielen in die Vorlesungen
Kritik aus Studie 2 und 3	Stabilität der Plattform (sich lösende Räder und Funktionsstörungen der Sensoren), Verschleiß der Motoren bei Fehlbenutzung	Verzögerungen bei der Darstellung des Videosignals	Kritik an den Code-Vorlagen, die aus mehreren Dateien bestehenden Vorlagen erschweren die Integration vorheriger studentischer Codefragmente	
Version 3	Neudesign der Elektronik, insbesondere wurde ein intelligenter Motortreiber-IC verbaut, der Überlastzustände erkennt und das System neu startet, Ersatz einzelner Sensoren	Leistungsfähiger Server für die Videobereitstellung integriert	Verschmelzung von Aufgabenbeschreibung und Eingabemechanismen in einem Format, erweiterte Dokumentation des Labors und multimediale Aufbereitung der Aufgaben	Integration eines Dash-Boards für die Visualisierung des Fortschrittes der Lernenden

Danksagung

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 16DHL1033 und 16DHL1034 gefördert.

Literaturverzeichnis

- Alkhaldi, T.; Pranata, I. & Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Computers in Education*, 3(3), 329–351.
- Chen, O.; Kalyuga, S. & Sweller, J. (2017). The Expertise Reversal Effect is a Variant of the More General Element Interactivity Effect. *Educational Psychology Review*, 29(2), 393–405. doi: 10.1007/s10648-016-9359-1.
- Dietrich, A. (2019). Liascript: A Domain-Specific-Language for Interactive Online Courses. In M. B. Miguel Nunes & P. Isaias (Hrsg.), *Proceedings of the 13th International Conference on e-Learning* (S. 186–194), Lissabon: IADIS Digital Library.
- Hawlitschek, A.; Köppen, V.; Dietrich, A. & Zug, S. (2019). Drop-out in programming courses – prediction and prevention. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 12(1), 124–136. doi: 10.1108/JARHE-02-2019-0035.
- Hawlitschek, A.; Krenz, T. & Zug, S. (2019). When students get stuck: Adaptive remote labs as a way to support students in practical engineering education. In D. Ifenthaler, D.-K. Mah & J. Y.-K., Yau (Hrsg.), *Utilizing Learning Analytics to Support Study Success* (S. 73–88), New York: Springer.
- Hawlitschek, A.; Dietrich, A. & Zug, S., (2019). Welche inhaltliche Unterstützung ist für Studierende beim Programmieren in einem Remote-Labor hilfreich? In N. Pinkwart & J. Konert (Hrsg.), *DELFI 2019. Proceedings der 17. Fachtagung Bildungstechnologien* (S. 335–336), Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V.
- Jäger, G.; Zug, S.; Hawlitschek, A.; Krenz, T. & Stolze, R. (2018). Chancen und Herausforderungen des Einsatzes von Remote-Laboren in der Lehre: Sicherheitskonzepte. In D. Krömker & U. Schroeder (Hrsg.), *DeLFI 2018 – Die 16. E-Learning Fachtagung Informatik* (S. 271–272). Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V.
- Joo, Y. J.; Lim, K. Y. & Kim, E. K. (2011). Online university students' satisfaction and persistence: Examining perceived level of presence, usefulness and ease of use as predictors in a structural model. *Computers & Education*, 57(2), 1654–1664. doi: 10.1016/j.compedu.2011.02.008.
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Wiesbaden: Springer VS.
- Legris, P.; Ingham, J. & Colletette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information & Management*, 40(3), 191–204. doi: 10.1016/S0378-7206(01)00143-4.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim/Basel: Beltz.

- Orduña, P.; García-Zubia, J.; Rodriguez-Gil, L.; Irurzun, J.; López-de-Ipiña, D. & Gazzola, F. (2012). Using LabVIEW remote panel in remote laboratories: Advantages and disadvantages. In *Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (1–7).
- Park, J.-H. & Choi, H. J. (2009). Factors Influencing Adult Learners' Decision to Drop Out or Persist in Online Learning. *Educational Technology & Society*, 12(4), 207–217.
- Schneider, M. & Preckel, F. (2017). Variables associated with achievement in higher education: A systematic review of meta-analyses. *Psychological Bulletin*, 143(6), 565–600. doi: 10.1037/bul0000098.
- Venkatesh, V. & Davis, F. D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186–204. doi: 10.1287/mnsc.46.2.186.11926.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Laborinfrastruktur Vers. 1. Auf dem Rechner im Vordergrund ist die zugehörige Bedienoberfläche sichtbar.	147
Abb. 2	Laborinfrastruktur Vers. 3 mit insgesamt 6 Robotersystemen	147

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Vorgehen bei der Adaption eines Remote-Labors an Bedarfe der Lernenden ..	149
Tab. 2	Items zur Bedienbarkeit und Zuverlässigkeit des untersuchten Remote-Labors	150
Tab. 3	Übersicht der 3 Versionen des Remote-Labors	156