

Beschreibung der geplanten Lehrinnovation

Das interaktiven hybriden Online-Labors GOLDi (Grid of Online Lab Devices Ilmenau – www.goldi-labs.net) ist seit vielen Jahren ein integraler Bestandteil der Lehre. Es wird an der TU Ilmenau für Lehrveranstaltungen, praktische Arbeiten sowie Online-Demonstrationen genutzt. Darüber hinaus wird es im Rahmen von Kooperationen mit nationalen und internationalen Projektpartnern gemeinsam eingesetzt. Nicht erst mit der Pandemie-Situation des Jahres 2020 wurden die Vorteile von digitalen Laborlösungen hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Flexibilität deutlich. Die Aufbereitung der Lerninhalte in Form von digitalen, interaktiven Simulationen, Videoaufzeichnungen oder über einen Remote-Zugriff eröffnet mit der permanenten Verfügbarkeit eine dem individuellen Arbeitsrhythmus und Kenntnisstand entsprechende flexible Zeiteinteilung.

Online-Labore können unterteilt werden in ferngesteuerte, virtuelle und hybride Labore (siehe Abbildung 1).

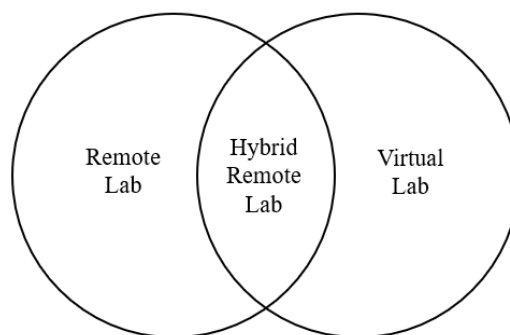


Abbildung 1. Einteilung von Online-Laboren

Remote Labs ermöglichen über den web-basierten Zugriff auf reale Steuerelemente und physikalische Systeme (elektromechanische Hardwaremodelle) ferngesteuerte Experimente. Virtuelle Labore arbeiten ausschließlich in virtuellen künstlichen Welten. Hybride Labore kombinieren beide Ansätze, indem sie zusätzlich zu ferngesteuerten Experimenten mittels Simulation auch die Arbeit mit virtuellen Geräten ermöglichen, die in ihren wesentlichen Eigenschaften den realen Geräten entsprechen. Dieser Ansatz folgt der Idee der digitalen Zwillinge (Digital Twins), die für die Entwicklung von Industrie 4.0-Arbeitswelten künftig vermutlich große Bedeutung haben wird. Das GOLDi Online-Labor setzt alle Varianten flexibel um. So wird es möglich, alle Experimente entweder vollständig virtuell oder an realen Geräten oder in einer Kombination aus beidem durchzuführen.

Die physikalischen Systeme und Steuergeräte sind über das Internet über eine Cloud verbunden und können für Experimente beliebig gekoppelt werden. Dabei spielt es keine Rolle, an welchem Standort (d.h., bei welchem Partner) ein Steuergerät bzw. ein physikalisches System verfügbar ist. Ein Experiment besteht aus je einem beliebigen Steuergerät (z.B. einem Mikrocontroller) sowie einem beliebigen physikalischen System (z.B. 3-Achs-Portal). Diese flexible Architektur ermöglicht eine einfache Erweiterung der verfügbaren physikalischen Systeme und Steuereinheiten, ohne dass Hardwareänderungen an der Gesamtarchitektur vorgenommen werden müssen. Derzeit sind neben Ilmenau noch 10 weitere GOLDi-Infrastrukturen in Armenien, Australien, Deutschland, Georgien und der Ukraine in Betrieb. Die cloudbasierte Softwarearchitektur ermöglicht eine effiziente Fernwartung und Aktualisierung der Laborsoftware. Alle Änderungen in der Cloud stehen allen Partnern sofort zur Verfügung, ohne dass Installationen oder Updates vor Ort notwendig sind. Steuergeräte und physikalische Systeme unterscheiden sich an den einzelnen Standorten und werden an die lokalen Anforderungen des Unterrichts angepasst. Sie stehen allen Nutzern der GOLDi Cloud nach Maßgabe der verfügbaren Kapazitäten zur Verfügung. Abbildung 2 verdeutlicht die GOLDi Cloud Infrastruktur.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

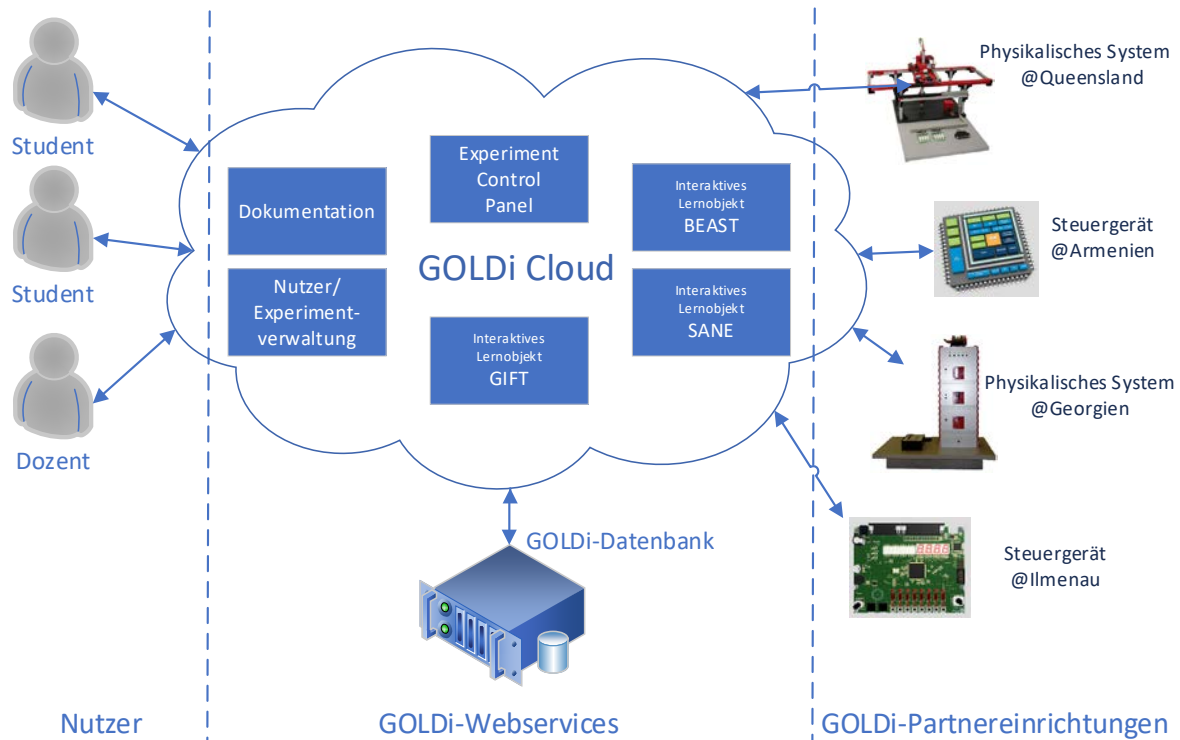


Abbildung 2. GOLDi Cloud-Infrastruktur

Integraler Bestandteil des Online-Labors sind verschiedene Online-Tools, sogenannte Interaktive Lernobjekte, die auf den Ausbildungsprozess zugeschnitten sind und den Studierenden die Möglichkeit geben, das in den Vorlesungen vermittelte Wissen durch internetbasierte Experimente zu nutzen. Sie wurden maßgeblich im Rahmen des Fellowship-Projektes EIFEL (Entwicklung und Erprobung interaktiver Inhaltsobjekte für den Einsatz in digital gestützten Lehr- und Prüfungsszenarien, 2019) konzipiert und umgesetzt. Beispielsweise können Gesetzmäßigkeiten der Booleschen Algebra mit Hilfe des Tools „SANE“ (Schaltsysteme Arbeitsblätter im Netz) interaktiv erforscht werden. Studierende können mit vorgegebenen Aufgaben oder frei mit beliebigen Ausdrücken der Algebra experimentieren und so die Zusammenhänge der algebraischen Gesetzmäßigkeiten im Zusammenspiel erarbeiten und verstehen. Dazu sind die Werkzeuge so konzipiert, dass sie Berechnungen in Echtzeit durchführen und die Ergebnisse in verschiedenen frei wählbaren Ansichten und Kontexten darstellen - z.B. boolesche Ausdrücke in verschiedenen Normalformen oder deren Wertverlauf als Wertetabelle.

Für sequentielle Schaltungen und Steuerungsalgorithmen, die systematisch auf der theoretischen Basis von endlichen Zustandsautomaten entworfen werden, steht das Werkzeug „GIFT“ (Graphical Interactive FSM-Tool) zur Verfügung. Mit Hilfe eines grafischen Editors können hier Steuerungsalgorithmen als Automatengraphen entworfen und analysiert werden. Die Analyse erfolgt über wählbare animierte Kurvenformen der Ein- und Ausgangssignale des Entwurfs oder durch den Export des Entwurfs in das GOLDi Online-Labor und anschließenden interaktiven Experimentierens damit.

Die Verbindung zwischen Boolescher Algebra, schaltalgebraischen Ausdrücken und deren schaltungstechnischer Umsetzung stellt das Online-Tool „BEAST“ (Block Diagram Editing and Simulation Tool) her. In diesem Tool können die Studenten digitale Schaltungen virtuell erstellen und ihr Verhalten in Echtzeit beobachten, indem sie Wellenformen und farbkodierte Verbindungen verwenden, die aktive und inaktive virtuelle Leitungen symbolisieren. Damit lassen sich sowohl einfache kombinatorische Schaltungen als auch komplexere sequentielle Schaltungen als Regelalgorithmen entwickeln.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Die seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzten unterschiedlichsten Online-Labore haben alle den Nachteil, daß viele Probleme im Umgang mit realer Hardware „wegabstrahiert“ werden. Ziel dieses Fellowship-Antrages ist es, das bestehende Laborkonzept um die Idee der **Hybriden Take-Home-Labs** zu erweitern (Abbildung 3).

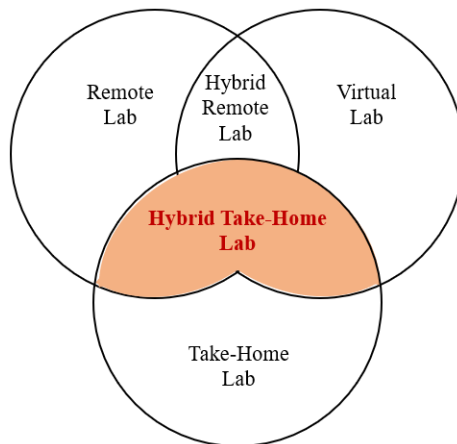


Abbildung 3. Erweiterung der GOLDi Laborumgebung um Hybride Take-Home-Labs

Der Ansatz von Take-Home Labs (oder Pocket Labs oder Mobile Labs) ist nicht neu. Er steht für tragbare mobile Labore, die von Studierenden ausgeliehen und in unserer Fachdisziplin häufig in Verbindung mit einem Laptop oder einem Tablet-PC benutzt werden können – beispielsweise in der Vorlesung, im Seminar, zu Hause oder unterwegs.

Mittlerweile besitzen viele interessierte Lernende eigene Hardware zu Hause – sei es ein Arduino bzw. ein Raspberry Pi für Software-Begeisterte oder aber inzwischen auch schon erschwingliche FPGA-Demoboards und Experimentierkästen für digitale Logik für Hardware-Begeisterte. Sie besitzen damit zwar eigene Steuereinheiten – aber nicht den direkten Zugriff auf komplexe Experimentierumgebungen. Im *Hybriden Take-Home-Lab* können sie ihre Hardware flexibel als eigene Steuereinheit benutzen, um damit auch komplexe Experimente im Zusammenhang mit dem GOLDi Online-Labor durchzuführen. Der hier beantragte Ansatz sieht vor, daß die Lernenden dafür eine Interface-Einheit zur Verfügung gestellt bekommen, die auf der einen Seite die über das Internet die Anbindung zum GOLDi Online-Labor gewährleistet und auf der anderen Seite eine Schnittstelle mit allen Ein- und Ausgängen eines im realen Remotelab verfügbaren physikalischen Systems (Fahrstuhl, 3-Achs-Portatl, Hochregallager) zur Verfügung stellt. An diese Schnittstelle können sich die Lernenden mit ihren eigenen Steuereinheiten einfach verbinden und haben damit die Möglichkeit, diese komplexen Hardwaremodelle (von zu Hause aus) anzusteuern.

Perspektivisch sollen die *Take-Home-Lab* Module auch auf den voruniversitären Bereich speziell für die Studienwerbung (es wurden erste Kontakte im MINT Excellence Cluster geknüpft – ein Verbund von Gymnasien, zu dem auch die Goetheschule Ilmenau gehört) aber auch für den nachuniversitären Bereich (Aus- und Weiterbildung, gemeinsam mit dem Zentralinstitut für Bildung unserer Universität) genutzt werden.

Im Folgenden soll zunächst der Einsatz des GOLDi Online-Labors in der Informatik-Grundlagenausbildung für Studierende in technischen Fachrichtungen dargestellt und gezeigt werden, in welchen Lernszenarien das beantragte *Hybride Take-Home-Lab Konzept* diese um vielfältige Anwendungen erweitert.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

1. Aufgabenstellungen in der Grundlagenausbildung Informatik

Mit dem GOLDi Online-Labor werden gegenwärtig Themengebiete der Technischen Informatik und der Digitaltechnik unterstützt, wie sie im Grundstudium der TU Ilmenau für alle ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge angeboten werden, in denen die Grundlagen für das Verständnis, den systematischen Entwurf und die formale Verifikation von digitalen Systemen gelegt werden.

Lernziel der Lehrveranstaltungen „Technische Informatik“, „Rechnerorganisation“ und „Schaltssysteme“ ist es, die Studierenden zu befähigen, selbstständig digitale Steuerungen zu entwerfen, zu bauen und deren Korrektheit nachzuweisen. Die Studierenden sollen die Fähigkeit erwerben, mit Hilfe digitaler Schaltungen Sensorwerte zu erfassen und so zu verarbeiten, dass Aktoren in einer in der Aufgabenstellung vorgegebenen Weise reagieren, z.B. die Steuerung eines Aufzugs oder eines einfachen 3-Achs-Portals.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden zunächst die mathematischen Grundlagen der Booleschen Algebra vermittelt. Es folgt die systematische, formal überprüfbare Funktionsbeschreibung digitaler Steuerungen, wie z. B. die Formulierung von Abhängigkeiten von Sensorwerten in Form von Booleschen Gleichungen. Ein weiteres theoretisches Konzept, das insbesondere für den Aufbau sequentieller Schaltungen wichtig ist, sind endliche digitale Automaten (FSM – Finite State Machines). Darauf aufbauend wird gezeigt, wie diese Beschreibungen in digitale Schaltungen umgesetzt werden können. Um die Korrektheit ihres Verhaltens anschaulich darstellen zu können, ist ein praktischer Aufbau durch Verschaltung elementarer Grundschaltungen, die in ihrer Funktion den Grundelementen der Booleschen Algebra entsprechen, notwendig, in welcher gleichzeitig haptische Lerntypen angesprochen werden. Dies geschieht üblicherweise in einem Laborexperiment. Dieses Lehrkonzept kann mit Hilfe unseres hybriden Online-Labors GOLDi und der beantragten *Take-Home-Lab* Erweiterung begleitet und unterstützt werden.

2. Experimentieren mit dem GOLDi Online-Labor

Wie bereits erwähnt, unterstützt das GOLDi Online-Labor flexibel alle Varianten von Remote-Laboren: Remote-, Virtual- und Hybrid-Labore. Damit ist es möglich, alle Experimente entweder komplett virtuell oder auf realen Geräten oder in einer Kombination aus beidem durchzuführen.

Die Aufgabe in einem Experiment besteht darin, ein physikalisches System mit einem selbst entworfenen Algorithmus so zu steuern, dass es einen vorgegebenen Bewegungsablauf ausführt. Die Verwendung des Digital-Twin-Konzepts ermöglicht die Erforschung von Seiteneffekten, die bei fehlerhaften Entwürfen bereits in der Entwurfsphase auftreten können. Dabei können Teilkonzepte des Regelalgorithmus unabhängig von der späteren Implementierung an einer virtuellen Emulation eines physikalischen Systems ausprobiert werden. Sobald der Algorithmus auf dem digitalen Zwilling funktioniert, wird er auch in der realen Umgebung funktionieren.

Bevor ein Experiment gestartet wird, müssen Studierende entscheiden, ob es mit realen oder virtuellen Geräten durchgeführt werden soll. Dazu wählen sie aus den verfügbaren Geräten per Mausklick eine reale oder virtuelle Steuereinheit (oberer Teil in Abbildung 4) und ein reales oder virtuelles Steuerobjekt (unterer Teil in Abbildung 4, „Physikalisches System“ genannt). Danach können sie das Experiment starten, d. h. den Steueralgorithmus eingeben, auf die gewählte Steuereinheit laden und in Aktion testen. Fehler im Steueralgorithmus werden durch Fehlverhalten des Steuerobjektes sichtbar oder über Fehlermeldungen mitgeteilt, falls der fehlerhafte Algorithmus Aktoren zu Bewegungen veranlasst, die das Steuerobjekt zerstören würden. Iterativ und interaktiv kann so die korrekte Lösung erarbeitet werden.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

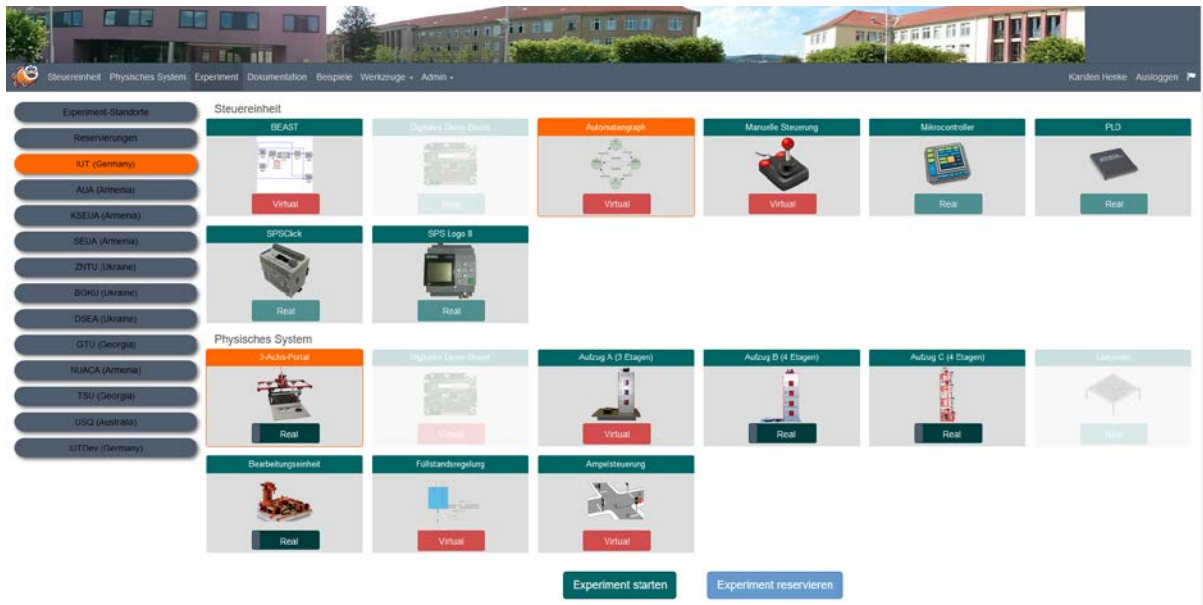
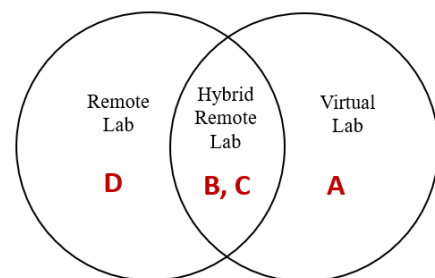


Abbildung 4. Konfigurierbare reale und virtuelle Geräte

Durch die Konfiguration des Experiments kann, wie in Abbildung 5.a dargestellt, zwischen vier Arten von Experimenten entschieden werden. In Abbildung 5.b ist noch einmal die Zuordnung der vier verschiedenen Experimentarten A bis D zu den vom GOLDi Online-Labor unterstützten ferngesteuerten, hybriden und virtuellen Laborvarianten zu sehen.

Physikalisches Steuer-einheit \ System	Virtuell	Remote
Virtuell	A Virtuelle Experimente	B Abstrakte Experimente
Remote	D Implementierungstest Experimente	C Reale Remote-Experimente

a) Vom GOLDi Online-Labor unterstützte Experimente



b) Zuordnung zu den Laborvarianten

Abbildung 5. Übersicht über Experimentiertypen in Online-Laboren

3. Einsatz für aktuelle und zukünftige Lernszenarien

Im Folgenden soll kurz dargestellt werden, welche Lernszenarien gegenwärtig für die unter Punkt 1 vorgestellte Grundlagenausbildung Technische Informatik eingesetzt werden und wie dazu die beschriebenen Experimentier-Konfigurationen A bis D sinnvoll angewendet werden können.

3.1 Hörsaal

Zur Demonstration des Entwurfsprozesses während der Vorlesungen eignet sich Konfiguration B, weil mit abstrakten Experimenten die schrittweise Erarbeitung FSM-basierter Steueralgorithmen gezeigt werden kann. Beginnend mit Konzepten der Booleschen Konstanten, Variablen und Ausdrücke wird schrittweise das Verständnis für das Konzept der endlichen Zustandsmaschinen geschaffen. Es wird gezeigt, wie ein virtuelles Steuergerät unter Verwendung grundlegender Elemente von

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Steuerungsalgorithmen programmiert werden kann. Das Setzen von Aktoren y auf konstante Boolesche Werte setzt diese beispielsweise in Abhängigkeit von Sensorwerten x und deren logischer Verknüpfung in Bewegung oder stoppt die Bewegung wieder. Auf diese Weise können die Auswirkungen auf reale physikalische Systeme direkt im Experiment während der Vorlesung demonstriert werden. Für Studienanfänger ist es sehr motivierend, auf diese Weise eine Anwendung dessen zu sehen, was ihnen in der Theorie vermittelt wird.

3.2 Reflexion / „Flipped Classroom“

Virtuelle Experimente (Konfiguration A) sind sowohl für das Selbststudium als auch für Flipped-Classroom-Szenarien von Vorteil. Diese Arten von Experimenten laufen offline im Browser, sobald sie konfiguriert und gestartet wurden. So können die Studierenden ihre Experimente unabhängig von der Internetverbindung durchführen und Fragen für die Diskussion mit dem Betreuer in den Seminaren vorbereiten. Sie können verschiedene Varianten von Regelalgorithmen oder Teile davon ausprobieren und die Unterschiede untersuchen oder die während der Vorlesung gezeigten Experimente wiederholen. Da die virtuellen Experimente vollständig auf Client-Rechnern laufen, können viele Studenten gleichzeitig Experimente durchführen. In Verbindung mit einem Lernmanagementsystem (LMS) können die Kursinhalte direkt mit den eingangs beschriebenen Interaktiven Lernobjekten (SANE, BEAST, GIFT) und virtuellen Experimenten gekoppelt werden, so dass das Gelesene sofort interaktiv ausprobiert werden kann. Die Interaktiven Lernobjekte im LMS werden auch für Übungen und Tests genutzt - allerdings bisher nur mit wenigen Beispielen.

3.3 Angeleitete Entwürfe

In Workshops zur beruflichen Bildung mit 10 bis 20 Personen setzen die Lehrenden zunächst virtuelle Experimente ein (Konfiguration A) und lassen die Lernenden die jeweils demonstrierten Schritte am eigenen Computer nachvollziehen. Dies geschieht zunächst unabhängig von einer späteren Umsetzung auf der abstrakten Ebene der digitalen Automaten, die ebenfalls in der Theorie vermittelt wurde. Auf diese Weise werden die Lernenden mit dem Entwurfsprozess und der Bedienung des GOLDi-Labs vertraut gemacht. Anschließend wird ihnen eine ähnliche Aufgabe gestellt, die sie selbständig lösen sollen. Verschiedene von den Lernenden vorgeschlagene Lösungen werden als Grundlage für die Diskussion an einer Präsentationstafel und für die Auswahl der besten Lösung verwendet. Dafür wird jetzt Konfiguration B verwendet, um das reale physikalische System damit zu steuern. Die Erfahrung zeigt, dass dies die Lernenden motiviert und sie anspornt, im Wettbewerb mit den anderen ihr Bestes zu geben.

Im weiteren Verlauf des Workshops werden die Regelalgorithmen in Hardware und Software implementiert. Um sicher zu gehen, dass die Umsetzung gelungen ist, können die Lernenden zunächst mit virtuellen physikalischen Systemen in der Testkonfiguration D arbeiten. Schließlich wird das reale Experiment in der Konfiguration C eingesetzt.

3.4 Laborübungen

Um reale Experimente durch die Nutzung von Online-Laboren zu ersetzen, ist Konfiguration C die geeignete Wahl. Die Architektur des Labors erlaubt den Anschluss mehrerer identischer physikalischer Systeme und Steuergeräte, ohne dies bei der Konfiguration des Experiments berücksichtigen zu müssen. Bei der Reservierung von Experimenten wird dynamisch auf die verfügbaren Geräte zugegriffen. Sind z. B. drei Instanzen desselben physikalischen Systems installiert, so ist dies für den Benutzer transparent. Sie sehen nicht, welches konkrete Gerät mit dem Experiment verbunden ist. Erst wenn alle Geräte belegt sind, müssen sie nach einem anderen Zeitfenster suchen. Für die Reservierung gibt es verschiedene Prioritätsklassen, so dass gewährleistet ist, dass die Dozenten/Seminarleiter die notwendigen Reservierungen für ihren Kurs vornehmen können.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Diese vier Lernszenarien sind allerdings dahingehend limitiert, daß sie entweder keine „Hands-on“ Erfahrungen bieten oder durch den engen Zeitplan des Praktikums keine Möglichkeit zu weiterführendem individuellem Experimentieren lassen. Abhilfe soll das hier beantragten *Hybride Take-Home-Lab* Konzept schaffen und somit die Möglichkeiten dieser Lernszenarien erweitern und damit noch reichhaltigere Lernerfahrungen schaffen.

4. Erweiterung des Laborkonzeptes um Hybride Take-Home-Labs

Die aus studentischer Sicht gewinnbringende Einführung von digitalen Laboren ist ein technisch, didaktisch wie organisatorisch nach wie vor komplexes Thema. Es geht dabei um weitaus mehr als das reine Digitalisieren von Laborequipment – vielmehr geht es um die zielorientierte digitale Transformation und Umsetzung eines kompetenzfördernden, agilen, selbstgesteuerten, kreativen und kollaborativen forschenden Lernens. Das gesamte GOLDi Labor ist also keine „hardcodierte“ Installation, mit einem fest definierten Modell an möglichen Interaktionsmustern des Lernenden, sondern Gegenstand eines kontinuierlichen Anpassungs- und Evaluationsprozesses.

Das hier beantragte Projektvorhaben *Hybrides Take-Home-Labs* definiert dafür offene digitale Laborobjekte (Interfaceeinheiten), die bedarfsbezogen und interoperabel für eine studierendenzentrierte Lehre kombiniert werden, um den Anforderungen eines zukunftsfähigen kompetenzorientierten Lernens und Arbeitens 4.0 wirksam begegnen zu können.

Neben der Konzeption und Implementierung der technischen Realisierung (Konfiguration und Verknüpfung der einzelnen *Take-Home-Lab* Laborobjekte) und neuer Anwendungsfälle in verschiedenen MINT-Disziplinen sollen parallel didaktischen Konzepte und organisationalen Strategien weiterentwickelt werden, um eine breite Integrationsfähigkeit sicherzustellen.

Anwendungsbeispiel:

Gegeben sei folgende Aufgabenstellung: „Die Laufkatze eines Portalkranes soll zwischen dem linken und rechten Endlagenschalter hin- und herfahren. Mit einem Taster kann die Bewegung gestoppt und wieder freigegeben werden. Dazu sind die beiden Motoren für Links- und Rechtsfahrt anzusteuern.“

Der Studierende wird zunächst über das Interaktive Lernobjekt GIFT seinen Automatengraphen herleiten und simulieren. Danach kann er sich die Gleichungen herleiten lassen, die wiederum Ausgangspunkt für eine digitale sequentielle Schaltung sind.

Für die praktische Umsetzung nutzt der Studierende seine private „Sammlung“ digitaler Grundbausteine (AND, OR, NAND, NOR, Flipflops, ...) und sein Steckbrett. Nachdem die Schaltung aufgebaut ist, möchte der Studierende seinen Entwurf am realen Hardwaremodell im Remotelab testen und verbindet dafür seine Schaltung mit den Ein- und Ausgängen des Take-Home-Lab Interface.

Beim Starten des Experiments bemerkt der Studierende, daß die Laufkatze am linken Endlagenschalter nicht stoppt und damit das Experiment durch einen GOLDi Schutzmechanismus abgebrochen wurde. Er bekommt die Fehlermeldung, daß die Laufkatze bei Erreichen der Endlage weiterhin nach links fahren möchte. Nach kurzer Fehlersuche bemerkt er, daß er ein Kabel falsch verbunden hatte. Als Lernerfahrung nimmt er mit, daß für den Aufbau von digitalen Schaltungen ein sehr sorgfältiges Arbeiten von Vorteil ist.

Beim weiteren Testen bemerkt er, daß zufällig einige Signale auf Null gesetzt werden. Nach einigem Überlegen stellt er fest, daß er die Reset-Pins der Flipflops noch nicht beschaltet hat. Ein kurzer Blick ins Datenblatt verrät ihm, daß diese gegen Null geschaltet werden müssen, um ein Reset zu verhindern und ergänzt das in seiner Schaltung. Der Studierende hat erste Erfahrungen mit unvollständig beschalteten Bauteilen gemacht.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Trotzdem löst seine Schaltung beim Drücken des Tasters nicht zuverlässig den gewünschten Stopp der Bewegung aus. In der Lehrveranstaltung Elektrotechnik hat er einmal gehört, daß man Schalter entprellen muß, damit sie definiert schalten. Mit einem Kondensator und Widerstand als Tiefpaß-Schaltung kann er das Problem beheben. In diesem Fall hat der Studierende einmal live Effekte erlebt, wie sie in den Lehrveranstaltungen theoretisch vorgestellt werden und konnte die beschriebenen Techniken zum Beheben seiner Probleme praxisnah anwenden.

Die hier geschilderten Effekte sind mit einem Online-Experiment typischerweise nicht beobachtbar, da sie dort nicht auftreten können. Studierende, die keine eigene Steuereinheit-Baugruppen besitzen, können sich diese neben den *Take-Home-Lab* Interfaceeinheiten ebenfalls ausleihen.

Der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben kann an den jeweiligen Wissensstand im Semester angepasst werden. Zu Beginn des Semesters sind z.B. nur einfache Aufgaben wie das Arbeiten mit Booleschen Konstanten und Variablen möglich, die aber sofort im *Take-Home-Lab* mit den eigenen einfachen Steuereinheiten (z.B. Schalter oder Taster) selbständig erprobt werden können, indem Variablen (Aktoren) auf konstante Werte gesetzt werden und eine sofortige Reaktion am Hardwaremodell im GOLDi Online-Labor ausgelöst wird. Im nächsten Trainingsschritt folgen Aufgaben zu Booleschen Ausdrücken, mit deren Hilfe komplexere Abhängigkeiten von Sensorsignalen bei der Steuerung von Aktoren berücksichtigt werden können. Zur Steuerung von sequentiellen Prozessen sind schließlich Kompetenzen zum Entwurf von sequentiellen Schaltungen bzw. Digitalen Automaten (FSM) erforderlich, die ebenfalls mit den oben beschriebenen Interaktiven Lernobjekten erarbeitet und über die *Take-Home-Lab* Module von zu Hause aus in das GOLDi Online-Labor exportiert werden können.

In höheren Semestern können dann Mikrocontroller oder programmierbare Schaltkreise (FPGAs) als eigene Steuergeräte eingesetzt werden. Die notwendigen Kenntnisse zur Programmierung in höheren Programmiersprachen (z.B. C++) oder Hardwarebeschreibungssprachen (z.B. VHDL), wie sie für die Programmierung von FPGAs erforderlich sind, werden in separaten Lehrveranstaltungen erworben. Anspruchsvolle Aufgaben, die mit diesen Kenntnissen gelöst werden können, sind z. B. parallele Steuerungsalgorithmen für eine Aufzugssteuerung einschließlich der Ansteuerung der Bedienfelder innerhalb und außerhalb des Aufzugsmodells. Auch der Vergleich zwischen einer Softwarelösung und einer Hardwarelösung entweder über einen Mikrocontroller oder einen FPGA ist für die Ausbildung in höheren Semestern interessant. Für die Bearbeitung von Quellcode im Browser und deren Kompilierung steht das Interaktive Lernobjekt *WIDE* (Web-Integrated Design Environment) zur Verfügung, welches über die Weboberfläche des GOLDi Online-Labors aufgerufen werden kann, und damit eine einheitliche Benutzeroberfläche für alle Programmiersprachen bietet.

Die Weiterentwicklung des *Hybriden Take-Home-Labs* soll stets unter Einbindung von Studierenden höherer Semester im Rahmen von Softwareprojekten und jährlichen Studienarbeiten sowie in Bachelor- und Masterarbeiten erfolgen. Insbesondere sollen damit Kompetenzen für die Herausforderungen, die das Konzept der Industrie 4.0 an zukünftige Absolventen stellt, erarbeitet werden.

Mit der individualisierten Nutzung von heterogenen digitalen Laborinstallationen anderer GOLDi-Cloud Partnereinrichtungen mit anderen Hardwaremodellen kann die Bandbreite und der Anteil praktischer Ausbildungsbestandteile in den MINT Fächern signifikant gesteigert werden. Damit lässt sich die Heterogenität der Studierenden mit Blick auf die praktischen Fähigkeiten im Laborkontext ausgleichen.

Neben den Vorteilen für die Lernenden verspricht sich der Antragstellende auch auf der Seite der Lehrenden einen Innovationsprung durch die Vernetzung der jeweiligen Fachdisziplinen an den beteiligten Hochschulstandorten und darüber hinaus. Während konventionelle labortechnische Umsetzungen und didaktische Konzepte von einzelnen Mitarbeitenden entworfen werden, steigert die übergreifende Nutzung der jeweiligen Infrastrukturen die Interaktion und Reflexion. Der unmittelbare Austausch zieht eine explizite didaktische Evaluation und damit eine kontinuierliche Qualitätsentwicklung nach sich.

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Nach dieser Beschreibung der Lehrinnovation soll nun auf die Fragen eingegangen werden:

Warum bewerben Sie sich um ein Fellowship (persönliche Motivation)?

Langjährige positive Erfahrungen in der technologie-unterstützten Lehre im Bereich e-Learning (seit 1999) sowie hybrider Online-Praktika (seit 2008) in den Lehrprozess des Direktstudiums und der Unterrichtung von Studierenden im internationalen Maßstab sowie das Bestreben, diese Lehrformen weiterzuentwickeln und zu versteinern haben mich motiviert, an dieser Ausschreibung teilzunehmen. Dabei ist insbesondere der Aspekt des Austausches mit anderen Fellows ein Aspekt der Ausschreibung, von dem ich mir neue Impulse erwarte, zu dem ich aber auch mit meinen langjährigen Erfahrungen einen Beitrag leisten kann.

Was veranlasst Sie zu der geplanten Lehrinnovation? Welches Problem soll bearbeitet werden?

Die Akzeptanz digital unterstützter Lehre hat in den letzten Jahren stark zugenommen, gleichzeitig steigen damit aber auch die Anforderungen an Verfügbarkeit, Nutzbarkeit und Granularität der Angebote. Erwartet werden feingranulare abgeschlossene Lehreinheiten, die je nach (Vor-)Kenntnisstand gezielt zur Erlangung der geforderten Kompetenzen absolviert werden können. Die Anschubfinanzierung des Follow-Programms soll dazu genutzt werden, das bestehende GOLDi Online-Labor durch *hybride Take-Home-Lab* Komponenten so zu erweitern, daß sie diesen neuen Anforderungen genügen und auch in diesen feingranularen Lehreinheiten und eigenen online-Laborversuchen „zum Anfassen“ eingesetzt werden können.

Inwieweit handelt es sich dabei um ein zentrales Problem in der Lehre im jeweiligen Studienfach?

Zentrales Problem der Ausbildung in den MINT-Fächern ist die Verbindung von Theorie und Praxis, d.h. der Anwendung der gelernten Theorie auf praktische Beispiele. Dies ist am besten durch aktive Handlungen in Form von Praktika erzielbar. Kapazitätsgründe zwingen dazu, dass Grundlagenpraktika einem stringenten Zeitmanagement unterliegen und den Studierenden keine Gelegenheit geben, ihrem persönlichen Lernstil entsprechend diese Experimente durchzuführen. Das hat z.B. zur Folge, dass einige Studierende Praktika durchführen müssen, bevor der Inhalt in der zugehörigen Lehrveranstaltung behandelt wurde oder das Praktikum in einem späteren Semester durchgeführt wird, in dem andere Lehrveranstaltungen die volle Konzentration erfordern.

Mit der Realisierung der in sich abgeschlossenen Lehreinheiten, die sowohl Theorie als auch zugehörige Praxisanwendungen beinhalten und ausleihbarer *Take-Home-Lab* Komponenten, soll diesem Problem im Rahmen der Fellowship begegnet werden. Es ist geplant, mit den zu entwickelten *Take-Home-Lab* Prototyp-Interfaceeinheiten an ausgewählten Beispielen neue Konzepte der Verbindung von Theorie und Praxis zu entwickeln und im Sommersemester 2022 praktisch zu erproben.

Welche Ziele verfolgen Sie mit der geplanten Lehrinnovation?

Die geplante Lehrinnovation verfolgt das Ziel, besser den Lern- und Arbeitsgewohnheiten der Internet-Generation zu entsprechen. Die Studierenden sollen sich kontinuierlich mit dem Lehrangebot beschäftigen, um sogenanntes „Bulimie-Lernen“ zu vermeiden. Die engere Verflechtung von theoretischen Kenntnissen und unmittelbarem praktischen Anwenden, auch von zu Hause aus, auf der Basis zu lösender Problemstellungen soll zur Erzielung besserer Lernergebnisse in MINT- Fächern beitragen.

Ein weiteres Ziel ist es, die entwickelten *Take-Home-Lab* Komponenten auch für angedachte Fernstudiengänge, in Vorkursen zur Studieneinführung, zur Weiterbildung. Beim Einsatz an Gymnasien versprechen wir uns neben der reinen Unterrichtsunterstützung auch einen positiven Effekt hinsichtlich Werbung für ingenieurtechnische Studiengänge.

In welche Studiengänge und -abschnitte soll die geplante Lehrinnovation implementiert werden? Handelt es sich dabei um den Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlbereich?

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Die geplante Lehrinnovation soll in der Informatikausbildung im ersten und zweiten Semester in den Pflichtveranstaltungen „Technische Informatik“ und „Schaltssysteme“ im Rahmen des gemeinsamen ingenieurwissenschaftlichen Grundstudiums (GIG) eingesetzt werden sowie für Vorbereitungskurse in der Studieneingangsphase genutzt werden.

Wie lassen sich nach Erprobung der Lehrinnovation Erfolg und eventuelle Risiken beurteilen?

Die Durchführung von *Take-Home-Lab* Experimenten erlaubt es, detaillierte Informationen über deren Nutzung zu erfassen. Daraus lassen sich Informationen für eine begleitende Evaluierung gewinnen. Darüber hinaus liegen langjährige Erfahrungen aus Präsenz-Praktika der vergangenen Jahre vor, die sich als Vergleich zu den mit der Lehrinnovation erreichten Ergebnissen heranziehen lassen.

Im Projekt „BASIC-Engineering School“ (vgl. www.tu-ilmenau.de/basic) wurden Methoden der Evaluierung und Kompetenzmessung entwickelt, die auch hier Anwendung finden sollen.

Risiken bestehen in der Akzeptanz der *Take-Home-Lab* Experimente durch die Studierenden. Auch hier liegen bereits positive Erfahrungen aus dem Projekt „BASIC-Engineering School“ vor. Dort wurden im Rahmen der „Lernwerkstatt“ mit kleineren Gruppen ansatzweise spezialisierte *Take-Home-Lab* Experimente auf ausgeliehenen Arduino-Modulen durchgeführt. So konnte die enge Verzahnung von Theorie und Praxis erprobt werden. Ob sich dies auch in großen Gruppen von 300-500 Studierenden, wie sie in der Grundlagenausbildung der ingenieurwissenschaftlichen Fächer üblich sind, durchführen lassen, wird das Projektergebnis zeigen. Dabei muß insbesondere untersucht werden, wie eine begrenzte Anzahl von *Take-Home-Lab* Modulen effektiv für einen größeren Anwenderkreis genutzt werden kann.

An dieser Stelle wird der Erfahrungsaustausch zwischen den Fellows sehr interessant sein und ich erhoffe mir daraus viele Anregungen zur praktischen Durchführung.

Wie soll die geplante Lehrinnovation verstetigt werden?

Die *hybriden Take-Home-Lab* Module können individuell ausgeliehen werden und stehen somit permanent zur Verfügung. Mit dem Sommersemester 2022 sollen diese dann als fester Bestandteil der Lehrveranstaltungen auch im pädagogischen Konzept der Gestaltung der Lehrveranstaltung verankert werden.

Auf welche Lehr-Lern-Situationen – auch in anderen Disziplinen – kann die geplante Lehrinnovation übertragen werden?

Die geplante Lehrinnovation bezieht sich zunächst auf die Informatikausbildung, kann aber auf die anderen MINT-Fächer übertragen werden.

Hierfür eignen sich besonders Lehrveranstaltungen, die Praktika beinhalten bzw. Entwurfs- und Berechnungsverfahren vermitteln, die sich an praktischen Beispielen digital unterstützt bearbeiten lassen. Beispiele hierfür sind physikalische Versuche in Online-Laboratorien, Algorithmus-Animationen der praktischen Informatik, 3-D-Modelle des Maschinenbaus sowie elektrotechnische Berechnungen und Simulationen von Signalverhalten. Diese können dann individuell über die *Take-Home-Lab* Module von zu Hause aus angesprochen werden.

Was versprechen Sie sich vom Austausch mit anderen Fellows des Programms für sich persönlich und für Ihr Projekt?

Ein reger Austausch mit anderen Fellows hat für mich insbesondere den Vorteil, dass ich einen Überblick über Aktivitäten anderer Hochschulen bekomme, da die gegenwärtigen Ansätze zu neuen Lehrmethoden nur im Rahmen des BASIC-Projektes an der eignen Hochschule diskutiert werden. Ein Blick über den Tellerrand kann da einerseits zu neuen Erkenntnissen führen andererseits aber auch Anknüpfungspunkte für künftige Kooperationen bieten. Wie in anderen Bundesländern auch, in denen hochschulübergreifende Einrichtungen für einen Erfahrungsaustausch sorgen (z.B. ELAN e.V. in Niedersachsen, Netzwerk E-Learning NRW, Virtueller Campus Rheinland-Pfalz, Bildungsportal

Hybride Take-Home-Labs für die MINT-Ausbildung der Zukunft

Sachsen), soll in Thüringen die hochschulübergreifende Plattform eTEACH-Netzwerk dafür genutzt werden.

Wie sind Sie insbesondere mit der von Ihnen geplanten Lehrinnovation innerhalb Ihrer Hochschule organisatorisch eingebunden und vernetzt?

Die von mir geplante Lehrinnovation betrifft die Lehrveranstaltungen „Rechnerorganisation“, „Technische Informatik“ und „Schaltssysteme“, die Bestandteile der gemeinsamen ingenieurtechnischen Grundlagenausbildung (GIG) der TU Ilmenau sind. Sie werden einheitlich für alle Studierenden in den Ingenieurstudiengängen gehalten und sind Bestandteil des Pflichtprogramms im Bachelorstudium.

Seit 2012 bin ich Mitglied in den Lehrinnovations-Programmen der TU Ilmenau (BASIC, BASIC+ und practicING by BASIC) und in enger Zusammenarbeit mit der Lehrgruppe „Informatik für Ingenieure“ an der Konzeption flexibler Blockveranstaltungen für die Studieneingangsphase sowie der interdisziplinären Praxisprojekte (z.B. Autonomer Miniaturroboter, Windrad, Solaranlage) beteiligt.

Seit 2013 werden auf der Grundlage der von mir (z. T. als Projektkoordinator) betreuten Tempus- und Erasmus+ Projekten entstandenen Lehreinheiten einwöchige Sommer- und Winterschulen bei unseren Projektpartnern in Tbilisi/Georgien, Yerevan/Armenien, Zaporizhzhie/Ukraine und Wien/Österreich mit folgenden Schwerpunkten rund um unser Online-Labor GOLDi (www.goldi-labs.net) durchgeführt:

- Steuerungsentwürfe mit Digitalen Automaten (Finite State Machines, FSM),
- Softwareorientierte Entwürfe (Mikrocontroller, C),
- Hardwareorientierte Entwürfe (Schaltpläne, Blockdiagramme, Hardwarebeschreibungssprachen)

Darüber hinaus bin ich Mitglied verschiedener internationaler Organisationen (siehe Anlage 5: Lebenslauf).



Dr.-Ing. Karsten Henke

Fakultät IA, Fachgebiet IKS

Ilmenau, den 27.05.2021