

Distanzlabore in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung

Christian Bunse¹ und Lieven Nils Kennes² und Jan-Christian Kuhr³

Abstract: Laborveranstaltungen sind vor allem in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ein unverzichtbarer Bestandteil der Ausbildung. Labore vertiefen theoretisch erworbene Grundlagen, überführen sie in praxisbezogenes Handlungswissen und Motivieren Studierende zu eigenständigen Problemlösungen. Akute Probleme der Laborausbildung sind das Verhältnis von Studierenden zu Laborplätzen, Mangel an Ressourcen sowie die Verfügbarkeit von moderner Gerätetechnik. Das hier vorgestellte Konzept (*DistLab*) realisiert das bereits länger diskutierte Konzept der Distanzlabore für ausgewählte Module ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge in zwei Säulen: Hybrid und virtuell. Ein hybrides Labor ermöglicht die Nutzung real existierender Geräte von einem räumlich entfernten Standpunkt. Ein virtuelles Labor bildet reale Geräte vollständig digital ab und ermöglicht die Versuchsdurchführung auch von zu Hause aus. Beide Konzepte ermöglichen die orts- sowie zeitungebundene Realisierung von Laborveranstaltungen und bieten dadurch einen deutlichen Mehrwert hinsichtlich Flexibilität, Qualität und selbstbestimmter Lerngeschwindigkeit. Dieser Vorteil ist so groß, dass Distanzlabore auch in Nicht-Pandemiezeiten aufrechterhalten werden sollten.

Keywords: Distanzlehre; Labore; ingenieurwissenschaftliche Ausbildung.

1 Einleitung

Labore sind ein wichtiger Ausbildungsbestandteil an Hochschulen, insbesondere in den Bereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT). Eine Laborveranstaltung erlaubt Studierenden praktische Erfahrungen zu sammeln, theoretisch erworbenes Wissen anzuwenden und selbstbestimmt zu lernen. Laborveranstaltungen sind somit ein wichtiger pädagogischer Aspekt zur Erreichung von Lernzielen.

Nicht erst seit den Digitalisierungsherausforderungen der COVID-19-Pandemie besteht ein großer Bedarf, Labore zu virtualisieren bzw. per Fernzugriff (bspw. über das Internet) verfügbar zu machen [CC95, SP00]. Die Digitalisierung bzw. Virtualisierung von Laborveranstaltungen bietet Studierenden die Möglichkeit, Labore auch außerhalb der regulären Lehrzeiten und damit zeitlich flexibel zu nutzen. Zusätzlich ermöglichen sie die Nutzung von Laboreinrichtungen für größere Studierendengruppen und somit eine effizientere Nutzung von Ressourcen.

¹ Hochschule Stralsund, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, christian.bunse@hochschule-stralsund.de

² Hochschule Stralsund, Fakultät für Wirtschaft, lieven.kennes@hochschule-stralsund.de,

³ Hochschule Stralsund, Fakultät für Maschinenbau, jan-christian.kuhr@hochschule-stralsund.de

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird mit *DistLab* ein Konzept zur Labordurchführung aus der Distanz zur Diskussion gestellt. Aufbauend auf Erfahrungen mit digitalen Werkzeugen (z.B. virtuelle Maschinen bzw. Desktop-Virtualisierung) bspw. in den Bereichen Software-Entwicklung und Data Science, soll *DistLab* die ortsungebundene, digitale Durchführung von Laborveranstaltungen in Laboren mit kostenintensiver und vor allem ortsfester Geräteausstattung in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ermöglichen.

Zur curricularen Verankerung und vor allem zur Vereinheitlichung der Infrastruktur für alle Labore in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung einer Hochschule muss ein solches Konzept adaptierbar, portierbar und vor allem skalierbar sein. Zusätzlich ist zur Unterstützung fremdsprachiger Studierender das System mehrsprachig zu gestalten. Zur Realisierung aller Qualitätsziele setzt das vorgestellte Konzept auf eine zentral gehostete Infrastruktur zur Unterstützung der Durchführung von Laborveranstaltungen in hybrider (Programmierung und Steuerung von real existierenden Systemen über das Netz) und in rein virtueller Form. So werden Schwächen anderer Ansätze wie bspw. der Fokus auf einzelne Experimente vermieden. Neben technischen Aspekten erfordert eine curriculare Verankerung zusätzlich die Entwicklung von Strukturen und Regeln, um im Rahmen der virtuellen Labore ergebnissichere Prüfungen und Testate durchführen zu können.

Insgesamt soll *DistLab* in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung die orts- und zeitflexible Nutzung von Versuchsequipment ermöglichen. Hierdurch wird die Auslastung der Geräte verbessert und der Teilnehmerdurchsatz erhöht. Das vorgestellte Distanzkonzept wird ergänzt durch eine zentrale und skalierbare IT-Infrastruktur innerhalb der Hochschule, so dass eine Übertragbarkeit auch auf andere Laborkontexte gegeben ist. Insgesamt lässt sich so die Angebotsvielfalt der Hochschulen und die Ausbildungsqualität verbessern. Durch die zeit- und ortsunabhängige Verfügbarkeit wird gleichzeitig das selbstbestimmte Lernen der Studierenden unterstützt.

Im Folgenden wird zunächst auf existierende Ansätze und Überlegungen zum Laborbetrieb in der Distanzlehre eingegangen (Abschnitt 2). Darauf aufbauend werden die Konzeption eines generischen und skalierbaren Distanzlabors, basierend auf virtuellen und hybriden Strukturen (Abschnitt 3), sowie die Aspekte und Herausforderungen von dessen Realisierung (Abschnitt 4) betrachtet. Die curriculare Verankerung dieser Konzepte wird in Abschnitt 5 und die Evaluierungs- und Skalierungsstrategien werden in Abschnitt 6 diskutiert. Abschnitt 7 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

2 Stand der Forschung und Praxis

Computer-basiertes Lernen ist in der Hochschulbildung von stetig wachsender Bedeutung, eng verbunden mit der Hoffnung, das Lernen für Studierende zeit- und ortsunabhängig zu machen, Qualität zu standardisieren und Kosten zu senken. Dieser Trend wurde durch die COVID-19-Pandemie nochmals verstärkt. In der Praxis zeigt sich

aber rasch, dass insbesondere Labore in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Ansätze wie bspw. der bwLehrpool [TS15] oder die Arbeiten von Meier et al. [MG17] zeigen, dass durch Desktop-Virtualisierung Labore in der Mathematik und in vielen Bereichen der Informatik erfolgreich orts- und organisationsunabhängig angeboten werden können. Diese Ansätze lassen sich aber nicht einfach auf ingenieurwissenschaftliche Laborveranstaltungen übertragen, in denen der Zugriff auf bzw. die Beobachtung von ortsfesten Geräten notwendig ist (bspw. Labore in der Robotik oder der Automatisierungstechnik).

Zurzeit existieren keine *standardisierten* Lösungen zur Durchführung von Laboren in der Ingenieurausbildung in Form von E-Learning-Veranstaltungen. Dies verwundert, da die Idee der Remote-Nutzung von Laborveranstaltungen bereits seit einiger Zeit diskutiert wird [CC95, SP00, RJ00, AC08, GF08]. So forderte bereits Schwarz et al. [SP00] die Einrichtung von Tele-Laboren, um Studierenden die Durchführung physikalischer Experimente über das Web zu ermöglichen.

Eine empirische Untersuchung zum Einsatz von Distanzlaboren [VP18] zeigt, dass bisherige Ansätze nur für wenig komplexe Laboraufgaben geeignet sind und dass trotz hohem Automatisierungsgrad weiterhin eine intensive Begleitung durch Lehrkräfte erforderlich ist. Post et al. [PG19] untersuchten empirische Studien zu Distanzlaboren und stellten fest, dass diese insgesamt einen positiven Effekt auf die Erreichung von Lernzielen, das erworbene konzeptuelle Wissen und die Zufriedenheit der Studierenden haben. Voraussetzung ist hierbei aber, dass die Handlungsmöglichkeiten der Studierenden in der Laborveranstaltung, zu Hause und an der Hochschule vergleichbar sind.

Rigby [RD06] analysierte verschiedene Ansätze für Distanzlabore hinsichtlich der Korrelation zwischen Übertragbarkeit (zwischen Kursen), Kosten, Verwaltungsaufwand und Zeit. Hierbei zeigte sich, dass Flexibilität und Skalierbarkeit des Konzepts ausschlaggebend für den Erfolg sind. Dies wurde in einer weiteren Studie [MH06] zu unterschiedlichen Implementierungsmodellen untersucht und bestätigt. Gravier [GF08] identifizierte Charakteristika von Distanzlaboren hinsichtlich des Mangels an Flexibilität, Skalierbarkeit, Wartbarkeit und Wiederverwendbarkeit existierender Ansätze. Distanzlabore fokussieren oft auf spezielle Geräte und Versuche mit geringer Komplexität. Yan [YL06] verweist auf den Einsatz von Web-Services um Interoperabilität zu erreichen und somit Labore „einfacher“ skalieren und portieren zu können.

Neuere Ansätze wie die von der Europäischen Union geförderten Projekte SimLab, HomeLab oder das ebenfalls von der Europäischen Union geförderte Network of Excellence „Robotics und Mechatronics“, verfolgen Ideen zur Verbreiterung des Einsatzes von Distanzlaboren mit Fokus auf Portabilität und Skalierbarkeit (<https://robo-labor.eu/homelab/doku.php>). Der Fokus liegt dabei zumeist auf einzelnen Versuchen bzw. einfachen Systemen auf Basis von Mikrocontrollern sowie singulären (d.h. isoliert durchführbaren) physikalischen Experimenten. Das KUKA Robot Learning

Lab am KIT in Karlsruhe (https://www.ipr.kit.edu/projekte_2891.php) ist ein sich in der Entwicklung befindliches, aus der Ferne zugängliches Robotiklabor. Das Labor soll Studierenden und Forschern ermöglichen, über das Internet auf Roboter (KUKA LBR iiwa Roboter) im Labor zuzugreifen und ihre eigenen Projekte auszuführen. Skalierung und Portabilität gehören nicht zu den Zielen des Projekts. [BD21] zeigt die Auswirkungen von Distanzveranstaltungen in der Robotik auf das Lehr/Lernverhalten ohne Zugriff auf Geräte und ortsfeste Ressourcen auf.

Insgesamt zeigt sich ein hoher Bedarf an Infrastrukturen für Distanzlabor, aber auch, dass existierende Ansätze hohe Investitionen und ebenfalls hohe laufende Kosten (Zeit, Personalaufwand, etc.) erfordern. Ein weiteres Problem ist der Fokus auf kleine, von der Komplexität überschaubare Experimente. Distanzlabor mit Großgeräten oder frei konfigurierbaren Robotern, bspw. im Kontext des autonomen Fahrens, fehlen dagegen. Ansätze zur Realisierung von Distanzlabor sind meist aus einem konkreten Bedarf entstanden und dienen der Realisierung eines einzelnen Labors bzw. von Laboren in einem speziellen Themenfeld. Die hierzu geschaffenen Konzepte und Infrastrukturen sind, anders als bei der Desktop-Virtualisierung, nicht einfach auf andere Kontexte bzw. Labore übertragbar. Interessanterweise ist dies einer der Hauptgründe für die bislang geringe Verbreitung von Distanzlabor [HA07].

3 Die DistLab-Idee

Der hier vorgestellte Ansatz zur Realisierung von Distanzlabor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung basiert auf zwei Säulen (vgl. Abb. 1): Virtuelle Zwillinge (1) und Hybrid-Labore (2). Virtuelle Zwillinge sind voll funktionsfähige digitale Abbilder realer Laborgeräte und basieren auf einem hochgenauen physikalischen Modell des ihnen zugrundeliegenden realen Gegenstücks. Sie werden idealerweise auf einer zentralen Instanz ausgeführt und sind über das Netz zugreifbar. Studierende bereiten sich von zu Hause mit Hilfe des virtuellen Zwillings auf den Versuch vor, den sie später im Labor am realen Objekt durchführen. Virtuelle Zwillinge kommen zumeist bei Einzelgeräten mit überschaubaren Freiheitsgraden zum Einsatz. Hybrid-Labore erlauben den Zugriff auf existierende Infrastruktur an einer Hochschule über das Internet. Studierende arbeiten von zu Hause aus im Labor, das sich in den Räumlichkeiten der Hochschule befindet. Dieser Lösungsansatz bietet sich vor allem für Systeme an, für die keine virtuellen Zwillinge verfügbar sind oder denen eine von vielen Faktoren (Klima, Bodenbeschaffenheit, etc.) abhängige Komplexität innewohnt.

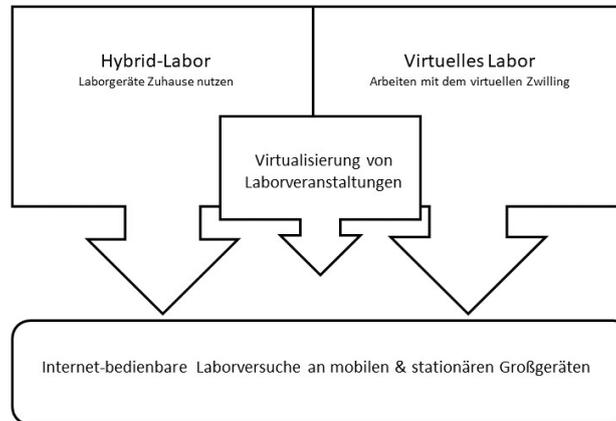


Abb. 1: Virtualisierungsstrategie

3.1 Virtuelle Zwillinge

Virtuelle Zwillinge können Abbilder von Maschinen oder von Laborgeräten sein. Ein Beispiel für Ersteres ist ein ortsfester Montageroboter, ein Beispiel für Letzteres ein Apparat zur Tank-Füllstandsregelung. Ein virtueller Zwilling hat Gemeinsamkeiten mit dem Konzept des digitalen Zwillings, unterscheidet sich von diesem jedoch in einem wesentlichen Punkt: Es findet keine Datensynchronisation zwischen realem und virtuellem Objekt statt, die den Zustand des realen Zwillings während der gesamten Lebensdauer auf sein virtuelles Gegenstück zurückspiegelt. Vielmehr ist es ausreichend, wenn eine einmal am virtuellen Objekt entwickelte Lösung auf sein reales Gegenstück übertragbar und dort funktionsfähig ist. Beide Objekte sind hinsichtlich ihres Einsatzes (Deployment) interoperabel.

Die geforderte Interoperabilität von virtuellem und realem Zwilling lässt sich gut am Beispiel einer Regelungsaufgabe erläutern, bei der die Regelstrecke als *Hardware in the Loop* (HIL) in den Regelkreis eingebunden ist. Beispielsweise realisiert das kanadische Unternehmen Quanser den HIL-basierten virtuellen Zwilling auf folgende Weise: Bei der Arbeit mit der realen Hardware finden die Schreib- und Lesezugriffe auf die Regelstrecke über eine USB-Schnittstelle statt. Wenn jedoch die Hardware durch den virtuellen Zwilling ersetzt wird, erfolgt die Interaktion mit der nunmehr *simulierten* Hardware über den Aufruf eines HTTP-basierten Dienstes, der zuvor als Programm auf dem Windows-PC gestartet wurde. Soll später die Lösung auf dem realen Objekt ausgeführt werden, wird der zu Hause entwickelte Regelungsalgorithmus mit in das Labor genommen und dort gegen die Hardware deployed. Dabei muss in der Schnittstelleninitialisierung der lokale Aufruf durch das USB-Interface ersetzt werden. Zukünftig soll der lokale HTTP-Aufruf durch einen remote HTTP-Zugriff auf die im Rechenzentrum der Hochschule instanziierten virtuellen Zwillinge erfolgen.

In einem virtuellen Labor arbeiten die Studierenden zunächst nicht am realen Objekt, sondern am virtuellen Zwilling. Hierdurch werden Labor-Präsenzzeiten in die häusliche Umgebung verlagert, die Verfügbarkeit der Versuche erhöht und das selbstbestimmte Lernen gefördert. Virtualisierung ist dabei im Sinne von *Blended Learning* zu verstehen. Ein virtueller Zwilling soll das Präsenzformat einer Laborveranstaltung erweitern, aber nicht vollständig ablösen. Dies kann beispielsweise so aussehen, dass Studierende den Stoff unmittelbar nach der Vorlesung am virtuellen Zwilling vertiefen und die Versuche später im Labor am echten Objekt durchführen.

3.2 Hybrid-Labore

Laborgeräte mit hoher Komplexität, hohen Freiheitsgraden (bspw. Systeme aus dem Themenfeld *Autonomes Fahren*) und flexiblen Einsatzgebieten erfordern andere Ansätze zur Virtualisierung bzw. Digitalisierung als die Nutzung von virtuellen Zwillingen. Existierende virtuelle Zwillinge und Simulatoren können die Komplexität der Bedingungen hinsichtlich Systemcharakteristika und Einsatzumgebung aufgrund der Vielzahl von Faktoren und deren gegenseitigen Abhängigkeiten nicht vollständig abbilden. Mit ihrer Hilfe erstellte virtuelle Prototypen (Hardware oder Software) müssen auf bzw. mit real existierenden Systemen evaluiert werden. Der praktische Einsatz hat gezeigt, dass die im Simulator „perfekt“ arbeitende Software in der Realität unerwartete Verhaltensweisen aufzeigt. So führen bspw. Schlupf und Unterschiede im Antrieb dazu, dass ein im Simulator geradeaus fahrender Roboter in der Realität eine Kurve fährt und daher eine Steuer- bzw. Antriebsregelung benötigt.

Zur Durchführung von Distanzlaboren mit Geräten bzw. Systemen hoher Komplexität kommt ein hybrides Konzept zum Einsatz (vgl. Abb. 2): Studierende nutzen real existierende Geräte und Einrichtungen der Hochschule von zu Hause aus über ein digitales Interface. So können bspw. autonome Fahrzeuge (im Modellformat) auf einer lokalen Aktionsfläche genutzt werden. Studierende können so Ihre Ergebnisse auf realen Maschinen, in einer realen Umgebung ausführen. Das Verhalten des Laborgeräts kann über verschiedene Videoströme beobachtet und über ein Dashboard mit Telemetriedaten kontrolliert werden. Hybrid-Labore ermöglichen somit zeit- und ortsungebundenes Lernen auch für komplexe Anwendungsfälle.

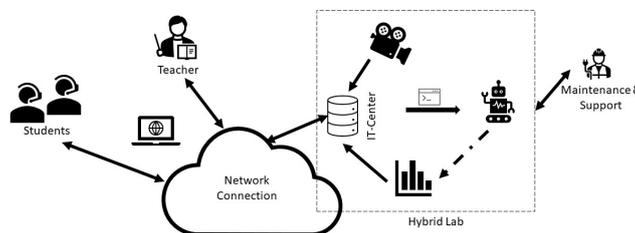


Abb. 2: Konzept – Hybrid-Labor

Die Aktionsfläche des Labors ist dem Layout des internationalen *Turtlebot* AutoRace Wettbewerbs nachempfunden. In diesem Wettbewerb müssen Roboter in einem Parcours verschiedene Herausforderungen des autonomen Fahrens bewältigen. Zusätzlich verfügt die Aktionsfläche über Ladepunkte. Roboter mit niedrigem Batteriestand fahren diese automatisch an und stehen erst nach Aufladung wieder zur Verfügung. Nicht automatisch behebbare Probleme (bspw. Umkippen eines Roboters) müssen zu den üblichen Arbeitszeiten durch einen Laboringenieur gelöst werden. Die Architektur des Hybrid-Labors ist dabei als komponentenbasiertes System konzipiert, das in einem heterogenen Systemumfeld einsetzbar und skalierbar ist. Studierende benötigen ein internetfähiges Endgerät sowie die zur Software-Entwicklung notwendige IDE. Betrieb, Datenübertragung und Steuerung erfolgen über zentrale Systeme der Hochschule.

4 Realisierung

Distanzlabore erlauben Studierenden den Zugriff auf reale Laborgeräte über das Netz bzw. die Arbeit mit simulierten Maschinen und Geräten von zu Hause aus. Die Realisierung dieses Konzepts erfordert eine effiziente und vor allem skalierbare Infrastruktur, die auch massiven, parallelen Zugriffen gewachsen ist. Dezentrale Lösungen (jedes Labor hält eigene Kommunikations- und Interaktionsfunktionalität vor) erhöhen nicht nur Wartungsaufwände, sondern erfordern für jedes Labor separate Zugänge mit eigenen Anforderungen hinsichtlich Software und Hardware sowie der IT-Sicherheit. Im Fall des virtuellen Zwillinges hat dessen Ausführung in einer lokalen Umgebung den Nachteil, dass sich bei der Vielzahl von operativen Umgebungen, die auf studentischen PCs vorliegen, häufig Installations- oder Laufzeitprobleme ergeben. Alle diese Nachteile können vermieden werden, wenn auf eine zentrale Server-Infrastruktur zurückgegriffen kann. *DistLab* setzt daher auf ein Hosting der Infrastruktur durch das Hochschulrechenzentrum (vgl. Abb. 3) und einen einheitlichen hochschulweiten Zugang beispielsweise über eine VPN-Verbindung.

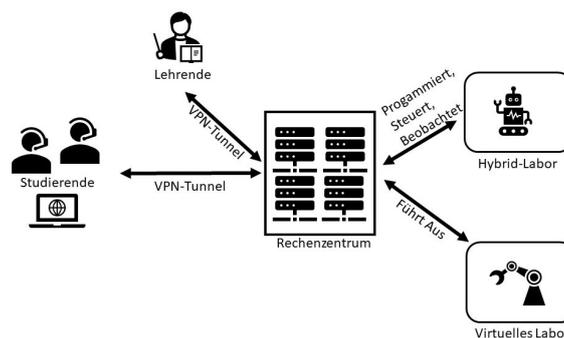


Abb. 3: *Distlab* Architektur

Die zentrale Infrastruktur ermöglicht Studierenden den sicheren und performanten

Zugang zu einzelnen Laboren. Virtuelle Zwillinge werden in einer virtuellen Maschine auf dem Server ausgeführt. Studierende erhalten Zugriff auf „ihre“ Maschine und somit exklusiven Zugang für die Dauer der Nutzung. Dort entwickelte Software steht später automatisiert im Labor zur Erprobung auf realen Geräten bereit. Bei Hybrid-Laboren wird die Kommunikation mit den realen Entitäten über die Infrastruktur realisiert. Studierende erhalten Zugriff auf eine freie Entität und Zugang zu deren Video-, Telemetrie- und Steuersystemen. Daten des hybriden Labors werden über hochschulinterne Kommunikationsstrukturen an das Rechenzentrum geliefert und von diesem für den externen Zugriff bereitgestellt.

Vorteile einer zentralisierten Infrastruktur sind neben dem vereinheitlichten Zugang, die Sicherheit der Verbindung und der ausgetauschten Daten. Weiterhin stehen zentrale Backup-Funktionalitäten zur Fehlervorsorge zur Verfügung. Studierende haben mit geeigneten Endgeräten Zugang zu allen für sie verfügbaren Laborgeräten und müssen nur wenige Anforderungen hinsichtlich Hardware und Software erfüllen. So entfällt bspw. die Installation von virtuellen Zwillingen mit spezifischen Anforderungen an Grafikkhardware, die Bereitstellung und Deaktivierung von Lizenzen, sowie das Update-Management für dezentrale (studentische) Systeme. Eine zentrale Infrastruktur erscheint weiterhin in Fragen der Skalierbarkeit des Ansatzes von Vorteil. Weitere Labore einer Hochschule können, ggf. unter Erweiterung der Serverkapazitäten, vergleichsweise schnell angebunden und zugänglich gemacht werden.

5 Curriculare und hochschulweite Verankerung

Viele Arbeiten und Bestrebungen zur Etablierung von Distanzlaboren sind bislang technologiebasiert, ohne explizite Berücksichtigung pädagogischer Konzepte und moderner Lehr- oder Lernansätze. Distanzlabore können nur dann erfolgreich sein, wenn sie curricular und rechtssicher verankert sind. Konzepte für Distanzlabore müssen daher soziale Aspekte wie die Bildung von studentischen Gemeinschaften und die Unterstützung von Multi-User Interaktionen ermöglichen. So ist bspw. im Projekt bwLehrpool [TS15] neben der Virtualisierung von Lehrangeboten explizit auch die Nutzung der Infrastruktur für Leistungskontrollen und Prüfungen vorgesehen. Im Rahmen des hier vorgestellten Konzeptes soll unter anderem auf dort gemachte Erfahrungen aufgesetzt werden. Daher ist das Engagement eines mediendidaktischen Experten explizit verankert, der sich der wichtigen didaktischen Einbettung in den existierenden Lehrbetrieb widmet.

Generell lässt sich Lehre in Distanzlaboren in asynchrone und synchrone Lehr-/Lernzeiten aufteilen. Virtuelle Labore können sowohl synchron als auch asynchron hinsichtlich der Lehr- und Lernzeiten sein. Wichtig ist dabei, dass *beide* Formen für alle Studierende zugänglich sind. Virtualisierung und Digitalisierung bieten zudem den Vorteil, Labore mehrsprachig zu gestalten. Angesichts steigender Studierendenzahlen, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, tragen virtualisierte bzw. digitalisierte Labore zur

Qualitätssteigerung bei.

Um insbesondere in asynchronen und virtuellen Laboren soziale Aspekte zur Interaktion und Gruppenbildung einfließen zu lassen, sind Distanzlabore in die an der Hochschule vorhandenen Systeme zum Distanzlernen (Moodle, ILIAS, etc.) einzubinden. Hier bietet sich ein serviceorientierter Ansatz an. Unter einer einheitlichen Oberfläche (zur Minimierung der Einarbeitung, etc.) werden die benötigten Elemente als Dienste eingebunden und verfügbar gemacht. Es ist auf jeden Fall zu vermeiden, dass Studierende mit wechselnden Werkzeugen in verschiedenen Fenstern arbeiten müssen.

Ein zentraler Bestandteil in der studentischen Ausbildung ist das Prüfen der gelernten Inhalte. Dabei müssen Prüfungsleistungen nicht nur rechtssicher gestaltet, sondern auch technisch und pädagogisch abgesichert werden. Probleme hinsichtlich Identitätskontrolle und Täuschung sind dabei zu lösen. Die handschriftliche Prüfung von Lerninhalten des Distanzlabors ist zu vermeiden. Gleichzeitig sind PC-Labore für Prüfungen tendenziell weniger geeignet, da sie oft stark in der Platzkapazität sowie der Übersicht des ganzen Raumes begrenzt und nicht in individuellen Tischen angeordnet sind. Eine Lösung ist die Nutzung mobiler Endgeräte, die sich im Eigentum der Hochschule befinden und auch in großen Kohorten die Durchführung von Präsenzprüfungen ergänzend und außerhalb der Labore erlauben. Studierenden wird ermöglicht, realitäts- und praxisnah ihr akquiriertes Wissen unter Beweis zu stellen, welches besonders im Bereich der Programmierung essenziell ist. Gleichzeitig besitzen die Prüfer die Möglichkeit, die technischen Rahmenbedingungen vorzugeben und die Prüfung auch digital auf den mobilen Endgeräten durch geeignete vorinstallierte Software zu überwachen. Diese Prüfungsstruktur ist für viele curricular verankerte Module geeignet und kann leicht auf weitere Fächer hochschulweit übertragen werden.

6 Evaluation

Das hier vorgestellte Konzept für Distanzlabore verspricht nennenswerte Vorteile wie bspw. die Egalisierung des Zugangs zu knappen Labor-Ressourcen oder die Unabhängigkeit von Lernzeit und Lernort. Zusätzlich müssen aber auch mögliche Auswirkungen auf die Qualität der studentischen Arbeit oder den benötigten Lernaufwand betrachtet werden. Zur systematischen Untersuchung des Einflusses der Laborart (remote vs. ausschließlich Präsenz) auf diese und weitere Punkte werden während der Projektlaufzeit empirische Studien durchgeführt, die den Einfluss der Laborart untersuchen. Ziel ist die Validierung der aufgestellten Hypothese, dass das *DistLab*-Konzept sich positiv auf Lernqualität, -aufwand und -zufriedenheit auswirkt.

Erste Erfahrungen mit virtuellen Zwillingen wurden im Wintersemester 2020/21 an der Fakultät für Maschinenbau der Hochschule Stralsund im Rahmen des Pflichtlabors des Moduls *Regelungstechnik* gemacht. Die zu absolvierenden Versuche wurden von allen Teams in der Kombination virtuell/real erfolgreich durchgeführt. Bei einer Kohortengröße von etwa 80 Studierenden ergab die Einzelbefragung, dass die

Kombination von virtuellem und realem Versuch durchweg positiv aufgenommen wurde. Demnach erscheint eine Weiterführung und Vertiefung des Konzeptes „Virtueller Zwilling“ auch in Post-Pandemiezeiten definitiv zielführend zu sein. Eine erste Studie des Gesamtkonzeptes soll in Form eines Quasi-Experiments durchgeführt werden, welches zwei zeitlich versetzte Labordurchläufe (geplanter Start von *DistLab* im Wintersemester 2021/22) evaluiert. Die Laborveranstaltungen betreffen zwei verschiedene studentische Kohorten und liegen zeitlich ein Jahr auseinander. Die in Quasi-Experimenten möglichen Störfaktoren müssen daher explizit berücksichtigt und diskutiert werden. Zusätzlich wird ein randomisiertes, kontrolliertes Cross-Over-Design mit nicht in die Endnote eingehenden Zwischenprüfungen verwendet, um den Einfluss der Laborart zu untersuchen [LH12].

Neben objektiven Daten wie Zeit- und Qualitätsmetriken werden auch subjektive Daten erfasst. Hierzu beantworten Teilnehmer eine Reihe von Fragen, sowohl vor als auch nach der Veranstaltung. Die Vorbefragung dient dazu, Daten hinsichtlich Vorwissen und Motivation zu erfassen. Die Nachbefragung soll Daten zur Zufriedenheit der Teilnehmer und zu möglichen Problemen erfassen. Zusätzlich soll das Verhältnis von Selbsteinschätzung und Ergebnis in Abhängigkeit von der Durchführungsart untersucht werden. So zeigte eine Studie an der Universität Magdeburg [ZH17] zu Distanzlaboren Diskrepanzen zwischen Selbsteinschätzung und tatsächlichen Ergebnissen auf.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wurde das Konzept zur ortsungebundenen, digitalen Durchführung von Laborveranstaltungen in Laboren mit kostenintensiver Geräteausstattung vorgestellt. Das Konzept wird im Rahmen eines geförderten dreijährigen Projektes, beginnend im August 2021, in die Praxis umgesetzt werden. *DistLab* unterstützt sowohl vollständig virtuelle Labore, als auch Labore mit Fernzugriff auf real existierende Geräte. Das Konzept hat den Anspruch, portierbar und skalierbar zu sein. Die klassische Präsenzausbildung wird qualitativ insgesamt auf eine höhere Stufe gehoben, da Studierende intensiv und selbstbestimmt mit Laborgeräten interagieren können. Beschränkte Laborzeiten und die limitierte Verfügbarkeit von Hardware stellen kein Hemmnis bei der Wissensaneignung mehr dar.

Das *DistLab*-Konzept erlaubt die Einbindung weiterer Labore der Hochschule. Dazu können die Software-Systeme der Prototypen beider Laborformen (virtuell, hybrid) adaptiert und eingesetzt werden. Kommunikation und Hosting werden von der zentralen Infrastruktur im Rechenzentrum übernommen. Dies erlaubt auch die Nutzung der zentralen Ressourcen als Dienstleistung für andere Hochschulen. Ein weiterer Aspekt ist die enge Verzahnung des Konzeptes mit der beruflichen Praxis. Hier ist daran gedacht, Partnerunternehmen aus dem Bereich des praxisintegrierenden Studiums (Studium mit vertiefter Praxis) als Partner zu gewinnen, die über die *DistLab*-Plattform „ihren“ Studierenden kontrollierten Zugriff auf im Unternehmen verfügbare Geräte ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- [AC08] Agrawal, JP.;Cherner, YE: A Classroom/Distance Learning Engineering Course on Optical Networking with Virtual Lab. IEEE International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering. Novosibirsk, Russia, 2008.
- [BD21] Birk, A. Dineva, E., Maurelli, F., Nabor, A.: A Robotics Course during COVID-19: Lessons Learned and Best Practices for Online Teaching beyond the Pandemic, MDPI robotics Journal, 10(5), 2021.
- [CC95] Cao, Y. U., Chen, T. W., Harris, M. D., Kahng, A. B., Lewis, M. A., & Stechert, A. D.: A remote robotics laboratory on the internet. Proc. INET-95, Honolulu., 1995
- [GF08] Gravier C, Fayolle J, Bayard B, Ates M, Lardon J.: State of the art about remote laboratories paradigms: Foundations of ongoing mutations. International Journal of Online Engineering (iJOE), 2008.
- [HA07] Hasnim H, Abdullah M Z.: Remote lab generator: A software tool for lab lecturer. Proceedings of the Int. Conf. Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, Jun. 17-19, 2007.
- [LH12] Lemos, M., Hannig, A., Renardy, C., Kennes, L., Wolfart, S., Ohnesorge-Radtke, U., & Rafai, N.: Aachener Modell zur Vermittlung praktischer Fertigkeiten in der zahnmedizinischen Lehre. Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA), 2012.
- [MG17] Meier, K., Grüning, B., Blank, C., Janczyk, M.,Suchodoletz, D.v.: Virtualisierte wissenschaftliche Forschungsumgebungen und die zukünftige Rolle der Rechenzentren, 10. DFN-Forum Kommunikationstechnologien, GI, 2017.
- [MH06] Mougharbel I, Hajj A E, Artail H, Riman C. Remote lab experiments models: A comparative study. International Journal of Engineering Education, 2006.
- [Od1] Odeh, S.: Building Reusable Remote Labs with Adaptable Client User-Interfaces. Journal of Computer Science and Technology, 25(5), 2010.
- [PG19] Post, L.S.; Guo, P.; Saab, N.; Admiraal, W.: Effects of remote labs on cognitive behavioral, and affective learning outcomes in higher education. Journal on Computers & Education, Volume 140, 2019
- [RD06] Rigby S, Dark M.: Designing a flexible, multipurpose remote lab for the IT curriculum. Proceedings of the 7th Int. Conf. Information Technology Education, New York, USA, 2006.
- [RJ00] Röhrig, C., Jochheim, A.: Java-Based Framework for Remote Access to Laboratory Experiments, IFAC Proceedings Volumes, 33(31), 2000,
- [SP00] Schwarz, J., Polze, A., Wehner, K., Sha, L.: RemoteLab: A Reliable Tele-Laboratory Environment, International Conference on internet Computing, 2000
- [SS11b] Seiler, S.; Sell, R.: Comprehensive Blended Learning Concept for Teaching Micro Controller Technology, Proceedings of the 4th International eLBA Science Conference, Rostock (Germany), 2011.

- [SS10] Sell, R.; Seiler, S.: Combined Robotic Platform for Research and Education. SIMPAR. Intl. Conf. on SIMULATION, MODELING, and PROGRAMMING for AUTONOMOUS ROBOTS, Darmstadt (Germany) November 15-16, 2010.
- [SS11a] Sell, R.; Seiler, S.: Integrated Concept for embedded system study, Proceedings of the 7th International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM 2011), Kaunas, Lithuania, 2011.
- [TS15] Trahasch, S., Suchdoletz, D.v., Münchenberg, J., Rettberg, S., Röbler, C., Wilson, M.: bwLehrpool: Plattform für die effiziente Bereitstellung von Lehr- und Klausurumgebungen, 8. DFN-Forum Kommunikationstechnologien, GI, 2015
- [VP18] Viegas, M.C.; Pavani, A.M.B.; Lima, N.; Marques, A.; Pozzo, M.I.; Dobboletta, E.; Atencia, V.; Barreto, D.; Calliari, F.; Fidalgo, A.; Lima, D.A.; Temporão, G.P.; Alves, G.: Impact of a remote lab on teaching practices and student learning. Journal on Computers & Education, Vol. 26,2018
- [YL06] Yan Y, Liang Y, Du X, Hassane H S, Ghorbani A.: Putting labs online with Web services. IT Professional, 8(2), 2006..
- [ZH17] Zug, S; Hawlitschek, A.; Krenz, T.: What are the key features of future Remote Labs? A critical evaluation of an existing one. FDIBA Conference Proceedings, 2017.