

Erstellung neuer Remote-Labore zur Förderung des MINT-Studiums

Louis Kobras, Marcus Soll, Franziska Herrmann, Bernhard Meussen, Jan Haase, Daniel Versick
NORDAKADEMIE gAG Hochschule der Wirtschaft

Zusammenfassung

Praktische Erfahrungen in Laboren unterstützen das Vermitteln von fachspezifischen Kompetenzen in der Lehre. In den letzten Jahren ist dabei zunehmend der Wechsel zu Remote-Laboren erfolgt.

Remote-Labore ermöglichen das Umgehen von logistischen Beschränkungen. Unterschiedliche Institute können beispielsweise zusätzliche physische Instanzen eines Versuchsaufbaus hinter demselben digitalen Experiment hinzufügen oder virtuelle Kopien/digital twins eines Versuchsaufbaus verwenden. Zusätzlich erfordern virtuelle Experimente keine Aufsicht durch Laborpersonal oder Anwesenheit in sicherheitskritischen Bereichen, sodass Lernende ihre Versuche unabhängig von Verfügbarkeit von Laborplatz und -personal durchführen können.

Aktuell befinden sich drei Remote-Labore im Aufbau: Ein IT-Security-Labor, ein Gebäudeautomationslabor und ein Co-Botik-Labor. Diese werden kurz präsentiert; ergänzend wird der Aufbau eines Labors beispielhaft am IT-Security-Labor demonstriert.

1. Warum digitale Labore?

In der Universitätslehre im MINT-Bereich spielen Labore eine wichtige Rolle (Jochen & Gutmann, 2020), indem sie Studierenden ein besseres Verständnis der Unterrichtseinheiten (Forcino, 2013) sowie wichtige Fähigkeiten vermitteln (Edward, 2002). Viele spezifische Lernziele im Studium können vor allem in Laboren vermittelt werden, wie z.B. „Experimentieren“, „Aus Fehlern lernen“, „Ethik im Labor“ (Feisel & Rosa, 2005) oder „Überblick über den größeren Kontext“, „Arbeitshaltung/Soft Skills“ (Soll & Boettcher, 2022). Während der COVID-19-Pandemie haben die digitalen Labore ihr Potential gezeigt, da physische Labore oft auf Grund von Hygieneregeln nicht betreten werden durften (Gamage et al., 2020; Murphy, 2020).

Laut einer Studie von Brinson (2015) zeigen Remote- und virtuelle Labore mindestens äquivalente, wenn nicht sogar bessere, Lernergebnisse. Zu ähnlichen Ergebnissen gut entworfenen Online-Kurse im Fach Biologie kommen auch Biel & Brame (2016), selbst wenn hier einige untersuchte Kurse einen Vorteil für traditionelle Präsenz-Lehre zeigen. Digitale Labore, wie z.B. Remote-Labore, ermöglichen zudem neue Lernformate wie *hybride Take-Home-Labore* (Henke, Nau, & Streitferdt, 2022).

2. Die Entstehung neuer Remote-Labore an der NORDAKADEMIE

Aktuell werden an der NORDAKADEMIE drei Remote-Labore eingeführt: ein IT-Security-Labor, ein Gebäudeautomationslabor sowie ein CoBotik-Labor. Diese Labore adressieren unterschiedliche Herausforderungen im bzw. Anforderungen an das Studium und sollen hier kurz vorgestellt werden.

IT-Security-Labor

Aktuelle Studien zeigen, dass die Anzahl von Angriffen im Bereich der Cyberkriminalität in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat. Nach der Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2019) sahen im Jahr 2019 40 % der Firmen Anzeichen eines Angriffs, im Vergleich zu 14 % im Jahr 2015. Um dieser Gefahr zu begegnen, müssen Bemühungen zur Förderung der Ausbildung im Bereich IT-Security unternommen werden.

Als Teil dieser Anstrengung wird ein neues digitales IT-Security-Labor erstellt. Ziel dieses Labors ist es, realistische Szenarien abzubilden, wie sie auch in Firmen aufzufinden sind. Um dies zu ermöglichen, werden moderne Technologien wie „Infrastructure as Code“ und Cloudinfrastruktur in Form der Microsoft Azure Cloud genutzt. Das Labor ist ausschließlich virtuell verfügbar. Der Zugriff zum Labor erfolgt über das Internet.

Das IT-Security-Labor wird im Detail von Soll et al. (2023) beschrieben. In Abschnitt 3 werden die didaktischen und technischen Grundlagen beleuchtet.

Gebäudeautomationslabor

Die Gebäudeautomation befasst sich damit, geeignete Steuerungsaufgaben wie Klimaanlage, Sicherheitsfunktionen oder Energiemanagement in Gebäuden zu automatisieren (Sauter, Soucek, Kastner, & Dietrich, 2011). Demnach umspannt die Gebäudeautomation vielfältige Bereiche aus dem Ingenieurwesen und der Informatik (Sauter, Soucek, Kastner, & Dietrich, 2011).

Die Gebäudeautomation umfasst einige Herausforderungen. Etwa müssen Studierende mit einer Vielzahl von Protokollen und Technologien vertraut sein wie etwa BACnet, LON, KNX, ZigBee, Z-Wave and EnOcean (Butzin, Golatowski, & Timmermann, 2017). Gleichzeitig müssen Studierende mit verschiedenen Anwendungsfällen umgehen können, die die gleichen Protokolle auf unterschiedliche Art verwenden. Damit Studierende auf die Herausforderungen der Gebäudeautomation gut vorbereitet werden, konstruieren wir ein neues Gebäudeautomationslabor. Das Labor soll helfen, die Studierenden auf die Herausforderungen der Gebäudeautomation vorzubereiten. In diesem Labor können Studierende an verschiedenen Experimenten wie z.B. einem Zwei-Kabinen-Fahrstuhl oder einem KNX-Experimentaufbau arbeiten. Alle Experimente sollen als Remote-Labore über das Internet verfügbar gemacht werden.

CoBotik-Labor

Kollaborierende Roboter – also Roboter, die zusammen mit Menschen sicher arbeiten können (International Organization for Standardization [ISO], 2011) – werden in vielen verschiedenen Kontexten wie zum Beispiel der Pflege (Buxbaum & Sen, 2018) oder der Montage (Brandt, Brinker, Meussen, Mora, & Schönfeld, 2017) eingesetzt.

Durch ein neues CoBotik-Labor sollen die Studierenden mit dieser Zukunftstechnologie effizient umgehen lernen. Dabei können wir auf vorhandene Erfahrung aufbauen (Hieronymus, Finck, & Meussen, 2022). In diesem Labor sollen Studierende zusammen mithilfe eines UR5e-Roboters typische Aufgaben der Automation lösen und sich dabei unter anderem mit den Themengebieten Arbeitssicherheit und Wirtschaftlichkeit im Kontext von Automationslösungen auseinandersetzen.

Der Weg zur didaktischen Gestaltung dieses Labors ist in Kobras, Meussen, & Soll (in Druck) beschrieben.

3. Fallbeispiel: IT-Security-Labor

Hier sollen die didaktischen und technischen Grundlagen und damit das Vorgehen bei der Entwicklung des IT-Security-Labors kurz erläutert werden. Für weitere Details siehe Soll et al. (2023).

Die Lernziele des IT-Security-Labors wurden auf der Basis der Lernziel-Taxonomie nach Bloom, basierend auf der überarbeiteten Version in Krathwohl (2002) definiert. Während *remember* und *understand* von klassischen Lehrlösungen angesprochen werden, soll das Remote-Labor ebenso die höheren Stufen (*apply*, *analyse*, *evaluate* und *create*) adressieren. Daher sollte ein System entworfen werden, das:

- 1) Szenarien verschiedener Größe abbildet – von einzelnen Maschinen, um bspw. mit IT Security Tools zu üben (*analyse*) bis hin zu multiplen Netzwerken, die realistische Szenarien abbilden (*evaluate*) bzw. um diese Netzwerke mit Schutzmechanismen auszustatten (*create* nach Blooms Lernzieltaxonomie),

- 2) technisch so stabil ist, so dass die Studierenden frei und ohne Ängste experimentieren können,
- 3) möglichst alle Stufen der Taxonomie nach Bloom anspricht,
- 4) Studierende in ihrem eigenen Lerntempo unterstützt,
- 5) und das Thema der *operational security* adressiert als wichtige Kernkompetenz für die Zukunft (Ervural & Ervural, 2018).

Um die genannten Lernziele technisch zu erreichen, wurde sich für eine *Infrastructure-as-Code*-Lösung (IaC) entschieden. IaC bietet die Möglichkeit, IT-Infrastrukturen mittels Code zu definieren. (vgl. Morris, 2020). Dies erlaubt, die Lernszenarien flexibel nach den Ansprüchen der Lehrveranstaltung zu definieren ohne Limitation auf Hardware oder lokale Infrastruktur. Zudem ist eine hohe Skalierung möglich.

Neben den Anforderungen, die sich aus den didaktischen Zielen ergeben sowie weiterer (z.B. sollte eine Open-Source-Lösung verwendet werden) wurde sich für die IaC-Lösung *Terraform* (Brikman, 2019) in Kombination mit *Microsoft Azure* als Cloud-Anbieter entschieden. Die Lernszenarien werden mittels der domänenspezifischen Sprache HashiCorp Configuration Language (HCL) als Terraform-Module erstellt. Wird ein Lernszenario einer Bibliothek des IT-Security-Labors zugefügt, wird es automatisch beim Cloud-Anbieter gestartet, ohne dass die Lehrperson manuelle Einstellungen tätigen muss. Dort können dann beliebig viele Instanzen des Szenarios gestartet, ausgeführt und vernichtet werden.

Um möglichst flexibel Zugriff auf das Labor zu bekommen, wurde eine Web-Anwendung erstellt. So können Lehrende und Studierende jederzeit auf das Labor zugreifen, unabhängig von Ort und Gerät. Dafür erhalten die Studierenden eine URL von der Lehrperson.

Das User Interface besteht aus einer Web-Anwendung mit zwei Bereichen. Auf der linken Seite wird der virtuelle Computer per Fernzugriff dargestellt, auf der rechten Seite Aufgaben oder Hilfstexte. Der Fernzugriff wird realisiert über SSH oder VNC.

Die Bereitstellung des Labors brachte auch einige Herausforderungen, besonders im technischen Bereich. So haben Cloud-Anbieter im Allgemeinen IT-Security-Labore als Anwendungsfall nicht im Blick. Dementsprechend sind viele Schritte kompliziert – wie zum Beispiel das Einbinden von Systemen mit bekannten Sicherheitslücken. Auch organisatorisch musste hier einiges umgestellt werden, damit die Ersteller des Labors nicht Zugriff auf die Cloud-Dienste der restlichen Universität bekommen.

Zudem ist eine nachhaltige Etablierung immer eine Herausforderung. Zum einen steht die finanzielle Frage zum Ende des Projektes im Raum. Zum anderen soll das Labor auch nachhaltig in verschiedenen Lehrveranstaltungen eingebunden werden – und das nicht nur lokal, sondern auch an anderen Instituten. Hierfür ist ein breites Netzwerk zwischen den Instituten hilfreich.

4. Vorteile für Institutionen

Remote-Labore erlauben es, gewisse logistische Probleme zu umgehen. So lassen sich Instanzen eines Experiments über verschiedene Institute verteilen. Dies sorgt für Redundanz, sollten die Geräte an einer Institution ausfallen. Zudem lassen sich die Anschaffungskosten zwischen den verschiedenen Institutionen aufteilen – so können die Institutionen mehr Konfigurationen desselben Gerätes oder sogar unterschiedliche Geräte teilen, die sich eine Institution allein nicht leisten könnte.

Darüber hinaus bieten virtuelle Kopien und Simulationen interessante Möglichkeiten. Sie lassen sich gut skalieren und können dadurch die physischen Instanzen unterstützen. Wenn ein physisches Gerät ausgebucht/ausgelastet/ausgefallen ist, kann ein Studierender stattdessen ein virtuelles/simuliertes Gerät auswählen.

Remote-Labore können außerdem die Sicherheit aller Arbeitenden erhöhen, sowohl von Labormitarbeiter*innen als auch von Studierenden. Potenziell gefährliche Experimente können in einen physisch getrennten Bereich dargestellt und danach ohne menschliche Interaktion bedient werden. Dadurch können Studierende sogar Experimente durchführen, deren Bedienung zu gefährlich wäre – zum Beispiel an industriellen (nicht kollaborierenden) Robotern.

Ein weiterer Vorteil von Remote-Laboren ist, dass die Studierenden oftmals unabhängig von Lehrpersonen, Laborant*innen und Lernorten sind. Dies ermöglicht nicht nur ein zeitunabhängiges Arbeiten, welches sich den Zeiten der Studierenden anpasst. Studierende können dort arbeiten, wo es für sie am Angenehmsten ist – sei es von zu Hause oder an einem anderen Ort des Campus oder während einer längeren Pause.

5. CrossLab als Bindeglied zwischen Institutionen

Das Projekt CrossLab hat zum Ziel, flexible Remote-Labore zu bauen. Nach Aubel et al. (2022) werden durch das Projekt folgende Ziele angestrebt:

- Cross-Types: Verschiedene Arten von Laborgeräten – wie zum Beispiel aus klassischen Laboren oder Simulationen – sollen miteinander kombinierbar sein.

- Cross-Elements: Ein klassisches Experiment besteht üblicherweise aus mehreren Elementen, z. B. einer Kontrolleinheit und einem Messgerät. Diese Elemente sollen in CrossLab frei kombinierbar und austauschbar sein.
- Cross-Disciplines: Laborelemente aus verschiedenen Bereichen wie Chemie, Informatik oder Maschinenbau sollen frei kombinierbar sein.
- Cross-Universities: Die Labore sollen über Institutionsgrenzen hinweg benutzbar und kombinierbar sein.

Das monolithische Design bisheriger Remote-Labore soll aufgebrochen werden und dadurch neue Konzepte wie *hybride Take-Home-Labore* ermöglicht werden (Nau et al., 2022). Dadurch eignet sich CrossLab als Bindeglied zwischen verschiedenen Remote-Laboren und ermöglicht einen nachhaltigen Betrieb ebendieser. Die technischen Details der Architektur finden sich in Nau & Soll (In Druck). Dabei ist besonders erwähnenswert, dass jede Institution ihr eigenes System laufen lassen kann und diese Systeme dann über ein definiertes Protokoll miteinander kommunizieren. So wird ermöglicht, dass selbst beim Ausfall eines Anbieters / einer Institution die restlichen Institutionen nicht beeinträchtigt werden.

Ein Problem mit vielen bestehenden Laboren ist der fehlende Fokus auf didaktische Konzepte. Soll (2023) konnte zeigen, dass die Hälfte aller in der Literatur beschriebenen Labore kein didaktisches Konzept besitzt. Nach Terkowsky, Schade, Boettcher, & Ortelt, (In Druck) streben selbst die Labore, die ein didaktisches Konzept haben, eher Lernziele im wenig komplexen bzw. theoretischen Bereich an. Auch hier will das Projekt entgegenwirken. So wurden z. B. Lernziele der Industrie für Labore erfasst (Soll & Boettcher, 2022) und eine Checkliste für die didaktischen Ziele eines Labors erstellt (Boettcher et al., In Druck).

Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Projekts „Flexibel kombinierbare Cross-Reality Labore in der Hochschullehre: zukunftsfähige Kompetenzentwicklung für ein Lernen und Arbeiten 4.0“, gefördert von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre.

Literatur

Aubel, I., Zug, S., Dietrich, A., Nau, J., Henke, K., Helbing, P., ... Versick, D. (2022). Adaptable digital labs–Motivation and vision of the CrossLab project. 2022 IEEE German Education Conference (GeCon), 1-6. <https://doi.org/10.1109/GeCon55699.2022.9942759>

Biel, R., & Brame, C. J. (2016). Traditional versus online biology courses: Connecting course design and student learning in an online setting. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 17(3), 417-422. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v17i3.1157>

Boettcher, K., Terkowsky, C., Ortelt, T., Aubel, I., Zug, S., Soll, M., ... Streitferdt, D. (In Druck). Work in Progress – Did you check it? Checklist for Redesigning a Laboratory Experiment in Engineering Education addressing Competencies of Learning and Working 4.0. Proceedings of the 20th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, 978-985. Thessaloniki, Griechenland.

Brandt, N., Brinker, H., Meussen, B., Mora, J., & Schönfeld, T. (2017). Kollaborierende Robotik in der Montage von Baugruppen. *NORDBLICK*, 4, 24-35.

- Brikman, Y. (2019). *Terraform: Up & Running: writing Infrastructure as Code* (Second edition). Beijing [China] ; Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (Virtual and remote) versus traditional (Hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, 87, 218-237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>
- Butzin, B., Golasowski, F., & Timmermann, D. (2017). A survey on information modeling and ontologies in building automation. In *IECON 2017 – 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IECON 2017 – 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE*. <https://doi.org/10.1109/iecon.2017.8217514>
- Buxbaum, H., & Sen, S. (2018). Kollaborierende Roboter in der Pflege – Sicherheit in der Mensch-Maschine-Schnittstelle. In O. Bendel (Hrsg.), *Pflegeroboter* (S. 1-22). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22698-5_1
- Edward, N. S. (2002). The role of laboratory work in engineering education: Student and staff perceptions. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 39(1), 11-19. <https://doi.org/10.7227/IJEEE.39.12>
- Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. (2019). *Datenklau: Virtuelle Gefahr–Reale Schäden. Eine Befragung von über 450 deutschen Unternehmen*. Abgerufen von https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/topics/forensics/datenklaustudie.pdf
- Ervural, B. C., & Ervural, B. (2018). Overview of cyber security in the Industry 4.0 era. In A. Ustundag & E. Cevikcan, *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (S. 267-284). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_16
- Feisel, L. D., & Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 121-130. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>
- Forcino, F. L. (2013). The importance of a laboratory section on student learning outcomes in a university introductory earth science course. *Journal of Geoscience Education*, 61(2), 213-221. <https://doi.org/10.5408/12-412.1>
- Gamage, K. A. A., Wijesuriya, D. I., Ekanayake, S. Y., Rennie, A. E. W., Lambert, C. G., & Gunawardhana, N. (2020). Online delivery of teaching and laboratory practices: Continuity of university programmes during COVID-19 pandemic. *Education Sciences*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/educsci10100291>
- Henke, K., Nau, J., & Streitferdt, D. (2022). Hybrid Take-Home labs for the STEM education of the future. In V. L. Uskov, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Hrsg.), *Smart Education and e-Learning–Smart Pedagogy* (S. 17-26). Singapore: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3112-3_2
- Hieronymus, M., Finck, M., & Meussen, B. (2022). *Cyber-physische Labore: Abschlussbericht des von der NORDAKADEMIE-Stiftung geförderten Projekts „CPL – inverted laboratories“* (Working Paper Nr. 2022-01). Elmshorn: Nordakademie – Hochschule der Wirtschaft. Abgerufen von Nordakademie – Hochschule der Wirtschaft website: <http://hdl.handle.net/10419/253698>

International Organization for Standardization [ISO] (2011). Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10218-1:2011.

Jochen, B., & Gutmann, M. (2020). Wozu Labor? Zur vernachlässigten Erkenntnistheorie hinter der Labordidaktik. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix, & K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre: Labordidaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 35 - 49).

Kobras, L., Meussen, B., & Soll, M. (In Druck). Didactic Design of a Remote Collaborative Robotics Laboratory. 2022 IEEE German Education Conference (GeCon), 1-6.

Morris, K. (2021). *Infrastructure as Code: Dynamic systems for the cloud age* (Second edition). Beijing [China]; Boston [MA]: O'Reilly.

Murphy, M. P. A. (2020). COVID-19 and emergency eLearning: Consequences of the securitization of higher education for post-pandemic pedagogy. *Contemporary Security Policy*, 41(3), 492-505. <https://doi.org/10.1080/13523260.2020.1761749>

Nau, J., Henke, K., & Streitferdt, D. (2022). New ways for distributed remote web experiments. In M. E. Auer, A. Pester, & D. May (Hrsg.), *Learning with Technologies and Technologies in Learning* (Bd. 456, S. 257-284). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04286-7_13

Nau, J., & Soll, M. (In Druck). An Extendable Microservice Architecture for Remotely Coupled Online Laboratories. Proceedings of the 20th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. Thessaloniki, Griechenland.

Sauter, T., Soucek, S., Kastner, W., & Dietrich, D. (2011). The evolution of factory and building automation. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 5(3), 35-48. <https://doi.org/10.1109/MIE.2011.942175>

Soll, M. (2023). What Exactly is a Laboratory in Computer Science? 2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 1-9. Kuwait, Kuwait: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON54358.2023.10125259>

Soll, M., & Boettcher, K. (2022). Expected learning outcomes by industry for laboratories at universities. 2022 IEEE German Education Conference (GeCon), 1-6. <https://doi.org/10.1109/GeCon55699.2022.9942762>

Soll, M., Helmken, H., Belde, M., Schimpfhauser, S., Nguyen, F., & Versick, D. (2023). Building an IT Security Laboratory for Complex Teaching Scenarios Using 'Infrastructure as Code'. 2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 1-8. Kuwait, Kuwait: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON54358.2023.10125250>

Terkowsky, C., Schade, M., Boettcher, K. E. R., & Ortelt, T. R. (In Druck). Once the child has fallen into the well, it is usually too late – Using content analysis to evaluate instructional laboratory manuals and practices. Proceedings of the 20th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, 49-60. Thessaloniki, Griechenland.

Angaben zu den AutorInnen

Louis Kobras, B. Sc.

Wiss. Mitarbeiter im Projekt CrossLab an der NORDAKADEMIE im Bereich des Technology Enhanced Learning.

Prof. Dr. habil. Jan Haase

Professor für Techn. Informatik an der NORDAKADEMIE. Schwerpunkte sind Eingebettete Systeme und Gebäudeautomation.

Franziska Herrmann, B. Sc.

Wiss. Mitarbeiterin im Projekt CrossLab an der NORDAKADEMIE, forscht zu Usability und UX

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Meussen

Professor für Maschinenbau an der NORDAKADEMIE, Schwerpunkte Konstruktion und Produktentwicklung.

Marcus Soll, M. Sc.

Forscht im Bereich KI und Hochschuldidaktik. Momentan tätig im Projekt CrossLab an der NORDAKADEMIE.

Prof. Dr.-Ing. Daniel Versick

Professor für Technische Informatik an der NORDAKADEMIE.