

**Judyta FRANUSZKIEWICZ¹, Silke FRYE, Claudius TERKOWSKY
& Sabrina HEIX (Dortmund)**

Flexibles und selbstorganisiertes Lernen im Labor – Remote-Labore in der Hochschullehre

Zusammenfassung

Laborpraktika sind zum festen Bestandteil der technischen und naturwissenschaftlichen Hochschulbildung geworden. Der Megatrend der Digitalisierung führt auch hier zu Veränderungen. Einerseits können digitale Technologien ein flexibleres Lernen ermöglichen, andererseits fordern sie aber auch einen höheren Grad an Selbstorganisation seitens der Studierenden. Dieser Beitrag zeigt mit der Evaluation eines überarbeiteten Laborpraktikums, wie flexibles Lernen erfolgreich gestaltet werden kann. Studierende und Lehrende bewerten das neue Konzept positiv, sehen aber auch Bedarf nach mehr zeit- und ortsunabhängigen Lerngelegenheiten, was durch den Einsatz eines Remote-Labors ermöglicht werden kann.

Schlüsselwörter

Labordidaktik, Selbstorganisation, Online-Experiment, Remote-Labor, VISIR

¹ E-Mail: judyta.franuszkiewicz@tu-dortmund.de



Flexible and self-directed learning in laboratory courses – Remote laboratories in higher education

Abstract

Laboratory courses have become an integral part of technical and scientific higher education. Megatrends such as digitalisation are also leading to changes. On the one hand, digital technologies can enable more flexible learning; but on the other hand, they can also demand and foster a higher degree of student self-direction. Drawing on an evaluation of a redesigned laboratory course, this paper shows how more flexible learning can be configured. Students and teachers rate the new concept positively, but also see room for improvement in terms of time and location. In the future this will be enabled by the use of a remote laboratory.

Keywords

laboratory education, self-direction, online experiment, remote laboratory, VISIR

1 Selbstorganisation als Grundlage für flexibles Lernen

Unumstritten ist, dass die zunehmende Digitalisierung zu strukturellen und technologischen Veränderungen im Bereich der Hochschulbildung führt. Gemäß den Folgen des anhaltenden „shift from teaching to learning“ (BARR & TAGG, 1995) erfordern diese eigenständige und verantwortungsvolle Weiterentwicklungen im Sinne eines zunehmend flexibleren Lernens. Voraussetzung für diese Flexibilisierung ist die Selbstorganisation der Studierenden.

Selbstorganisation steht für die Fähigkeit von Lernenden, ihre Lernprozesse autonom zu organisieren und zu reflektieren. Sie entscheiden einzeln oder in Gruppen, was und wie sie wann und wo lernen wollen und müssen die Verantwortung für ihren individuellen Lernprozess und -erfolg übernehmen (COLLINS & HAMMOND, 2016). Eine Aufgabe von Lehrenden an Hochschulen ist es somit, Settings

zu schaffen, die die Selbstorganisation der Studierenden ermöglichen und erfordern.

Ein in technischen und naturwissenschaftlichen Studiengängen verbreitetes didaktisches Format, das selbstorganisiertes Lernen im Bereich der Hochschullehre ermöglicht, ist das Labor bzw. Laborpraktikum. Im Folgenden wird ein Labor beschrieben, in dem im Rahmen einer didaktischen und methodischen Neugestaltung das selbstorganisierte Lernen in den Fokus gerückt wurde und in dem zukünftig durch den Einsatz eines über das Internet angesteuerten Laborversuchs flexibles Lernen ermöglicht wird.

2 Das Labor als Lernumgebung in der Hochschule

Laborübungen und -praktika sind weltweit zum festen Bestandteil der technischen und naturwissenschaftlichen Ausbildung geworden (vgl. TERKOWSKY, MAY & FRYE, 2019). Untersuchungen zur Wirksamkeit des Lernens im Labor zeigen, dass (selbstorganisiertes) forschendes Lernen im Labor die Entwicklung von fachbezogenen und fachübergreifenden Kompetenzen gezielt unterstützen kann (vgl. z. B. TERKOWSKY, HAERTEL, ORTELT, RADTKE & TEKKAYA, 2016). Darüber hinaus werden dem Experimentieren im Labor aus Perspektive der naturwissenschaftlichen und technischen Fachdidaktiken unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet. Zum einen wird das Experiment als Fachinhalt und Objekt des Lernens verstanden, zum anderen gilt es als Fachmethode und somit Instrument des Lernens (PFANGERT-BECKER, 2010). Hier stehen sich das freie, empirisch-induktive und das strukturierte, hypothetisch-deduktive Experimentieren als gegenläufige Konzepte gegenüber (vgl. SCHWICHOW, ZIMMERMANN, CROKER & HÄRTIG, 2016). Im Bereich der Hochschule stützt sich eine Vielzahl von Laborpraktika auf das strukturierte, instruktive Konzept. Dieses ist jedoch nicht dazu geeignet, selbstgesteuertes Lernen zu fördern und flexibles Lernen zu ermöglichen (TEKKAYA et al., 2016). Oftmals sind die Folgen unzufriedene Lehrende und passive

Studierende (TERKOWSKY et al., 2016) wie im untersuchten Laborpraktikum, das im Rahmen der Ausbildung von Lehramtsstudierenden angeboten wird.

2.1 Ausgangssituation – Laborpraktikum für angehende Lehrerinnen und Lehrer im Fach Technik

Das analysierte Laborpraktikum ist Teil der Ausbildung von Lehramtsstudierenden im Fach Technik. Der Kurs besteht aus zwei aufeinander folgenden Teilen mit insgesamt 18 Versuchen und umfasst drei Semester. In Kleingruppen von zwei bis drei Personen untersuchen, dokumentieren und analysieren die Studierenden grundlegende technische und naturwissenschaftliche Phänomene. Abb. 1 zeigt den ursprünglichen Ablauf des Laborpraktikums. Diese Struktur war für alle Versuche des Labors gleich.



Abb. 1: Ausgangskonzept des technischen Laborpraktikums

Die Versuche wurden zunächst mit umfangreichen Skripten eingeleitet und mit detaillierten Anleitungen stark vorstrukturiert (FRYE, KLOIS & PUSCH, 2015). Die fachtheoretischen Inhalte der Skripte wurden in Gruppengesprächen von den betreuenden Lehrenden abgeprüft. Nach erfolgreicher Prüfung führten die Studierenden den jeweiligen Versuch anhand der strukturierten Anleitung durch. Im Anschluss wurden die aufgenommenen Daten ausgewertet und ein Bericht erstellt. Ausgehend von diesem Bericht fand ein zweites Prüfungsgespräch statt, mit dem der Versuch abgeschlossen wurde. Die betreuenden Lehrenden kritisierten, dass die Studierenden zunehmend leistungsschwach seien, nur im begrenzten Maße die gewünschten praktischen Erfahrungen sammelten und unmotiviert wirkten. Es

wurde daher eine didaktische und methodische Neugestaltung des Labors initiiert. Durch Expertinnen und Experten aus dem Bereich der Labordidaktik erfolgte eine Analyse des bestehenden Konzeptes mit einer Triangulation aus:

- Dokumentenanalyse (Curricula, Skripte, Anweisungen etc.)
- teilnehmenden Beobachtungen (Versuchsdurchführung, Prüfungen etc.)
- strukturierten Interviews (Studierende, Lehrende, technisches Personal)

Basierend auf den Ergebnissen wurde in Workshops mit den Lehrenden des Laborpraktikums ein neues Konzept erarbeitet.

2.2 Neugestaltung des Laborpraktikums entsprechend den Grundprinzipien einer modernen Labordidaktik

Gemäß des Constructive Alignment (BIGGS, 1996) wurden in den Workshops Lernziele für das gesamte Laborpraktikum sowie für jeden einzelnen Versuch analysiert, reflektiert und neu definiert. Die methodische Ausgestaltung, Leistungsüberprüfung und -bewertung wurde in den Versuchen konsequent auf diese Lernziele ausgerichtet. Abb. 2 zeigt die neue Struktur der Versuche.



Abb. 2: Überarbeitetes Konzept des technischen Laborpraktikums

Skripte und Anweisungen wurden durch initiierende Problemstellungen und offene Tutorien ersetzt, um selbstorganisiertes und flexibles Lernen zu ermöglichen und zu fördern (vgl. SAVIN-BADEN & TOMBS, 2018). In Kleingruppen recherchieren die Studierenden die für sie erforderlichen Informationen, planen die Versuchsdurchführung und erhalten von Tutorinnen und Tutoren sowie den Lehrenden

konstruktives Feedback zu dieser Vorbereitung. Nach der Durchführung des Versuchs entsprechend der individuellen Planung erfolgen die selbstständige Auswertung und eine abschließende Präsentation der Ergebnisse. In dieser Präsentation beurteilen Studierende und Lehrende gemeinsam, inwieweit die Lernziele erreicht wurden und ob damit ein ausreichender Lernerfolg im Versuch erreicht werden konnte.

Im neuen Konzept erarbeiten die Studierenden selbstständig das erforderliche Wissen und haben die Möglichkeit, bei Bedarf proaktiv Unterstützung einzuholen. Die Studierenden übernehmen so die Steuerung ihres Lernprozesses in den Elementen Inhalt, Methoden und Medien (FRANUSKIEWICZ, HEIX, FRYE, HAERTEL & TERKOWSKY, 2019). Ort und Zeit sind durch Anwesenheitszeiten in der Laborumgebung z. B. für die Durchführung der Versuche vorgegeben.

Nach zwei Semestern wurde dieses Konzept evaluiert. Es wurde insbesondere untersucht, ob und inwieweit selbstorganisiertes und flexibles Lernen im Rahmen des Laborpraktikums realisiert werden kann.

3 Evaluation des neugestalteten Labor-konzeptes

Ziel der Evaluation ist es, die Wirksamkeit der Veränderungen im Laborpraktikum zu bewerten. Es wurde ein qualitativer Ansatz gewählt, da so die subjektiven Perspektiven der beteiligten Personen und ihre individuellen Handlungsweisen umfassender berücksichtigt und die Reflexion der Forschenden, die in die Interpretation einfließen, erfasst, dokumentiert und ausgewertet werden können. Aufgrund der Anzahl der beteiligten Personen wurden teilstrukturierte Interviews durchgeführt.

Es wurden zehn Studierende befragt, die einen Teil der Versuche des Laborpraktikums in der alten Form und einen anderen Teil in der neugestalteten Form absolviert haben. Das Laborpraktikum erstreckt sich über insgesamt drei Semester und die Studierenden hatten individuell gewählt, welche Versuche sie in welchem Se-

mester belegen. Außerdem bildeten sich in den Semestern zum Teil neue Gruppen. Daher bestanden personenindividuelle Kombinationen aus Versuchen in der alten und in der neuen Form, über die die Studierenden berichten konnten. Zusätzlich wurden vier Lehrende befragt, die das Laborpraktikum ebenfalls sowohl vor als auch nach der Neugestaltung betreuten. Mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse erfolgt die Interpretation des Datensatzes.

Das überarbeitete Konzept wird als „*didaktisch sehr wertvoll*“ wahrgenommen (Studierende/r B). Das Ersetzen einer Prüfungssituation durch offene Tutorien bewerten allen zehn befragten Studierenden positiv. Dies führe zur Stressreduktion und Motivationssteigerung während der Versuchsdurchführung (Studierende/r B, E, J). Darüber hinaus geben acht von zehn Studierenden an, dass sie – subjektiv erlebt – eine Steigerung ihres Lernerfolgs wahrnehmen.

„Man lernt die Inhalte und dann findet die Anwendung statt [in den Laboren]. Und zwar fast bedingungslos“ (Studierende/r I)

Auch die Lehrenden nehmen Veränderungen hinsichtlich der Leistungen der Studierenden im neuen Konzept wahr. Zwar wird kein Unterschied auf der inhaltlichen Ebene der Leistung erkannt (Lehrende/r A), die Steigerung der Motivation, Kreativität sowie des Interesses der Studierenden kann aber durchgängig beobachtet werden (4 von 4 Lehrende). Sechs von zehn Studierenden betonten, dass die Skripte und das damit verbundene „*Bulimie-Lernen*“ (Studierende/r A) nicht mehr Teil des Labors sind.

„Das ist nicht mehr so ein plumpes Auswendiglernen.“ (Studierende/r G)

„Auswendiglernen kann ich zwar gut, auch wenn ich es dann nicht wirklich verstanden habe. Und auf Dauer hat man es so eh nicht im Kopf.“
(Studierende/r F)

Die Interviews zeigen, dass die Studierenden den Arbeits- und Zeitaufwand unterschiedlich bewerten. Die Differenzierung der Aussagen erfolgt im Vergleich zur alten Version des Praktikums und bezieht sich auf das subjektive Empfinden. Drei von zehn Studierenden schätzen den Arbeitsaufwand für die Vorbereitung der Ver-

suche als hoch ein. Es wird angeführt, dass das Sammeln von Informationen aus verschiedenen Quellen aufwendig sei, so dass sich z. B. die Literaturrecherche aus zeitlicher Sicht als Herausforderung darstellt (Studierende/r H). Nach Aussage von zwei Studierenden ist der zeitliche Umfang des Labors gesunken, zwei Studierende geben an, dass der Umfang etwa gleichgeblieben ist und sechs der zehn Studierenden haben eine Erhöhung der investierten Zeit wahrgenommen. Als Grund wurde die erforderliche Präsenzzeit genannt. Die tutoriell betreute Vorbereitung findet in der Planungsphase der Versuche innerhalb eines festgelegten zeitlichen Rahmens als Präsenztermin statt. Auch die Durchführung der Versuche muss in einem festgelegten Zeitfenster innerhalb der Laborumgebung stattfinden. Eine flexiblere Gestaltung der Versuche hinsichtlich Ort und Zeit wäre daher wünschenswert (Studierende/r B und H). Diese Flexibilisierung der Versuchsdurchführung stellt aber eine besondere Herausforderung dar. Hier bieten Remote- oder Online-Labore besondere Potenziale (TERKOWSKY, FRYE & MAY, 2019).

4 Einsatz von Remote-Laboren zur Flexibilisierung des Lernens

Labore können in der Lehre anhand ihres Virtualisierungsgrades unterschieden werden (MAY, 2017). Als Remote-Labore werden reale Versuche im Modus der Fernsteuerung bezeichnet, bei denen die Durchführung des Versuchs in der Regel über das Internet erfolgt. Es lassen sich immer mehr Laborsysteme und Labore identifizieren, die als Remote-Labore oder Simulationen über Laborportale in Lehre und Forschung genutzt werden (z. B. GoLab, Labster, FED4FIRE, LabsLand). Die Interaktion mit diesen Laboren, d. h. das eigentliche Experimentieren, kann sowohl online als Webservice als auch als computergenerierte Simulation erfolgen (AUER, AZAD, EDWARDS & JONG, 2018).

Im Vergleich zu reinen Simulationen zeichnen sich Remote-Labore dadurch aus, dass es sich um reale Versuchsaufbauten handelt. Die Möglichkeit der unmittelbaren Steuerung des Systems wirkt i. d. R. besonders motivierend auf die Nutzenden.

Gleichzeitig besteht anders als bei reinen Simulationen auch die Möglichkeit, dass unerwartete Ergebnisse entstehen, da ein reales System stets mehr Einflussgrößen umfasst, als in einer Simulation abgebildet werden können. (MAY et al., 2017)

Obwohl Remote-Labore bereits seit einigen Jahren als technische Lösung existieren, werden sie in der Hochschulbildung nur wenig eingesetzt. Bisher handelt es sich um Einzellösungen, die spezielles technisches Equipment erfordern und nicht von Einrichtungen oder Hochschulen kooperativ genutzt werden. Eine Ausnahme stellt das Remote-Labor VISIR dar, das bereits seit mehreren Jahren an Hochschulen weltweit eingesetzt wird (ALVES et al., 2016).

4.1 VISIR (Virtual Instrument Systems In Reality)

VISIR ist ein unmittelbar einsatzbereites Remote-Labor, mit dem elektrische Schaltungen aus Widerständen, Kondensatoren, Dioden, Induktivitäten etc. auf einem virtuellem ‚Steckbrett‘ (dem sog. ‚Breadboard‘) realisiert werden. Die Bedienung des Labors erfolgt über eine Web-Oberfläche, in der Messgeräte (Multimeter, Oszilloskop) und ein Signalgenerator abgebildet werden. Diese werden über Bedienungsfunktionen wie Schalter und Drehknöpfe gesteuert, um die Laborsituation realistisch abzubilden.

Die Umsetzung der Schaltungen erfolgt durch die sog. ‚Matrix‘, ein System aus Relais, durch das die real integrierten elektronischen Komponenten (Widerstände etc.) verschaltet werden. In Echtzeit werden die Ein- und Ausgangs- bzw. Messgrößen von einem PXI-System an das System übermittelt. Haben Studierende auf der Web-Oberfläche eine Schaltung erstellt, werden diese Informationen an VISIR übertragen. Die auf dem virtuellen Breadboard gesteckte Schaltung wird durch die Matrix realisiert, die Messungen werden in Bruchteilen einer Sekunde durchgeführt und die Ergebnisse über die Web-Oberfläche ausgegeben.

4.2 Einsatz von VISIR im vorgestellten Laborpraktikum

Um die Selbstorganisation der Studierenden im vorgestellten Laborpraktikum hinsichtlich Ort und Zeit zu fördern, erfolgt eine Implementierung von VISIR. In einem ersten Schritt wird VISIR ergänzend zu einem bestehenden (Präsenz-) Versuch zur Verfügung gestellt. Die Studierenden erhalten die Möglichkeit, den Versuch z. B. in der Vorbereitung zu einem beliebigen Zeitpunkt durchzuführen und ihre Erfahrungen mit beiden Experimentiermodi („hands-on“ bzw. Präsenz und „online“ bzw. Remote) zu vergleichen. In einem zweiten Schritt wird es den Studierenden individuell freigestellt, welche Form der Durchführung des Versuchs sie nutzen möchten, d. h., das Remote-Labor kann dann anstelle des Präsenzversuchs verwendet werden.

5 Fazit und Ausblick

Laborpraktika sind ein fester Bestandteil der technischen und naturwissenschaftlichen Ausbildung an Hochschulen. Ein Umdenken weg von strukturierten, instruktiven Laborkonzepten ist erforderlich, um selbstorganisiertes und flexibles Lernen zu unterstützen.

Die beschriebenen und evaluierten Veränderungen im Laborkonzept fördern das selbstorganisierte Lernen. Es zeigt sich aber, dass sich der wahrgenommene Zeitaufwand dabei teilweise erhöht hat. Als Grund für diese Wahrnehmung wurde die obligatorische Präsenzzeit an der Hochschule genannt. Mit dem Einsatz eines Remote-Labors wird eine flexiblere Lernumgebung geschaffen, bei der sich Zeit und Ort als Rahmenfaktoren für den selbstorganisierten und flexiblen Lernprozess erweisen. Die Studierenden werden gefördert und gleichzeitig gefordert, mehr Verantwortung für ihre eigenen Lernprozesse zu übernehmen. Da Selbstorganisation zunächst erlernt werden muss, wird nicht davon ausgegangen, dass die Studierenden von Anfang an ihre Lernprozesse optimal gestalten werden. Reflexionsgespräche und Unterstützung seitens der Lehrenden sind unabdingbar.

6 Literaturverzeichnis

Alves, G. R., Fidalgo, A., Marques, A., Viegar, C., Felgueiras, M. C., Costa, R., Lima, N., Castro, M., Diaz-Orueta, G., Ruiz, E. S. C., Garcia-Loro, F., Garcia-Zubia, J., Hernandez-Jayo, U., Kulesza, W., Gustavsson, I., Pester, A. & Zutin, D. (2016). Spreading remote lab usage a system – A community – A Federation. *Proceedings of the 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education*: 20.-21.10.2016 (S. 1-7). UTAD, Vila Real, Portugal.

Auer, M. E., Azad, A. K.M., Edwards, A. & d. Jong, T. (Hrsg.) (2018). *Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education*. Cham: Springer International Publishing.

Barr, R. B. & Tagg, J. (1995). From Teaching to Learning – A New Paradigm For Undergraduate Education. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 27(6), 12-26.

Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347-364.

Collins, R. & Hammond, M. (2016). *Self-directed learning: Critical practice*. London: Routledge.

Franuszkiewicz, J, Heix, S., Frye, S., Haertel, T. & Terkowsky, C. (2019). From laboratory education to laboratory edu-action: evaluation of a redesigned lab course for prospective technology teachers and resulting demands for cyber-physical 'remotification'. *Proceedings of the 5th Experiment @ International Conference (exp.at'19)*: 11.-14.06.2019. University of Madeira, Funchal, Madeira Island, Portugal, IEEE Conference Publications.

Frye, S., Klois, M. & Pusch, A. (2015). Diagnose und individuelle Förderung im universitären Laborpraktikum – Ein Praxisbericht. *Das Hochschulwesen*, (5+6), 201-205.

May, D. (2017). *Globally Competent Engineers. Internationalisierung der Ingenieurausbildung am Beispiel der Produktionstechnik*. Aachen: Shaker.

May, D., Schiffeler, N., Ortelt, T., Goeckede, F., Frerich, S., Keddi, D., Stehling, V., Richert, A., Jeschke, S., Petermann, M. & Tekkaya, A. (2017).

Internationalisierung und Digitalisierung in den Ingenieurwissenschaften. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 12(4), 105-117.

Pfangert-Becker, U. (2010). Das Experiment im Lehr- und Lernprozess. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 59(6), 40-42.

Savin-Baden, M. & Tombs, G. (Hrsg.) (2018) *Threshold concepts in problem-based learning*. Leiden. Boston: Brill Sense.

Schwichow, M., Zimmermann, C., Croker, S. & Härtig, H. (2016). What Students Learn From Hands-On Activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 980-1002.

Tekkaya, A. E., Wilkesmann, U., Terkowsky, C., Pleul, C., Radtke, M. & Maevus, F. (2016). *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab* (acatech Studie). München: Herbert Utz Verlag.

Terkowsky, C., Frye, S. & May, D. (2019). Is a Remote Laboratory a Means to Develop Competences for the 'Working World 4.0'? A Brief Tentative Reality Check of Learning Objectives. *Proceedings of the 5th Experiment@ International Conference (exp.at'19)*: 11.-14.06.2019. University of Madeira, Funchal, Madeira Island, Portugal, IEEE Conference Publications.

Terkowsky, C., Haertel, T., Ortelt, T. R., Radtke, M. & Tekkaya, A. E. (2016). Creating a place to bore or a place to explore? Detecting possibilities to establish students' creativity in the manufacturing engineering lab. *International Journal of Creativity & Problem Solving*, 26(2), 23-45.

Terkowsky, C., May, D. & Frye, S. (2019) Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0. In T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany & S. Heix (Hrsg.), *Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven* (S. 89-103). Bielefeld: wbv.

Autor/innen



Judyta FRANUSZKIEWICZ || Technische Universität Dortmund,
Zentrum für Hochschulbildung || Vogelpothsweg 78, D-44227
Dortmund

www.zhb.tu-dortmund.de

judyta.franuszkiewicz@tu-dortmund.de



Silke FRYE || Technische Universität Dortmund, Zentrum für
Hochschulbildung || Vogelpothsweg 78, D-44227 Dortmund

www.zhb.tu-dortmund.de

silke.frye@tu.dortmund.de



Claudius TERKOWSKY || Technische Universität Dortmund,
Zentrum für Hochschulbildung || Vogelpothsweg 78, D-44227
Dortmund

www.zhb.tu-dortmund.de

claudius.terkowsky@tu-dortmund.de



Sabrina HEIX || Technische Universität Dortmund, Zentrum für
Hochschulbildung || Vogelpothsweg 78, D-44227 Dortmund

www.zhb.tu-dortmund.de

sabrina.heix@tu-dortmund.de