



# Chancen der digitalen Lehre in der Prozessführung: Flipped Classroom, Schaffung eines Level Playing Field und Einbindung externer Experten

J. Mädler<sup>1,\*</sup>, I. Viedt<sup>2</sup>, V. Khaydarov<sup>1</sup>, J. Lorenz<sup>2</sup>, L. Urbas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Arbeitsgruppe Verfahrenssystemtechnik, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden

<sup>2</sup>Professur für Prozessleittechnik, Institut für Automatisierungstechnik, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, TU Dresden

## Abstract

Nach mehreren Phasen der Fernlehre in der COVID-19-Pandemie arbeiten viele akademische Einrichtungen an Konzepten, um die Erfahrungen mit der digitalen Lehre in ihre didaktischen Konzepte zu übertragen. In diesem Beitrag stellen wir ein didaktisches Konzept für Kurse mit Studierendengruppen mit heterogenem Bildungshintergrund vor. Es basiert auf einer Selbstlernphase mit Selbstlernmaterialien, einer Flipped-Classroom-Sitzung zur interaktiven Problemlösung in interdisziplinären Schülergruppen, einer Übungseinheit für komplexere Probleme und einem Schülerprojekt. Ein wichtiges Hauptmerkmal ist, dass (1) die Studierenden in der Selbstlernphase entsprechend ihrem Bildungshintergrund lernen und sich in den anderen Teilen des Kurses gegenseitig unterrichten können. Weitere Merkmale sind (2) die Maximierung des Anteils der Kontaktzeit zwischen Studierenden und Lehrkräften, der für kooperative Problemlösungen aufgewendet wird, und (3) die gemeinsame Entwicklung von Lehrmaterialien mit externen Experten. Das Konzept wurde in unserer Lehrveranstaltung über Prozessleitsysteme umgesetzt. Die Ergebnisse werden am Beispiel eines digitalen Lehrmoduls zur hybriden semi-parametrischen Modellierung dargestellt.

After several periods of remote teaching in the COVID-19 pandemic, many academic institutions are working on concepts to transfer the lessons learned about digital teaching into their didactic concepts. In this paper, we present a didactic concept for courses with student groups of heterogeneous educational background. It is based on a self-paced learning phase with self-study materials, a flipped classroom session for interactive problem solving in interdisciplinary student groups, an exercise session for more complex problems, and a student project. An important key feature is that (1) the students can learn according to their educational background in the self-paced learning stage and teach each other in the other parts of the course. Additional features are (2) the maximized share of the student-staff contact time spent on cooperative problem solving and (3) the collaborative development of teaching materials with external experts. The concept was implemented within our course on process control systems. The results are illustrated via the example of a digital teaching module for hybrid semi-parametric modeling.

\*Corresponding author: [jonathan.maedler@tu-dresden.de](mailto:jonathan.maedler@tu-dresden.de) Dieser Artikel wurde ursprünglich in Englisch eingereicht.

## 1. Einleitung

Wie von vielen anderen Lehrstühlen und Professuren verlangte die COVID-19-Pandemie auch von der Professur für Prozessleittechnik (PLT) und der Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik (SVT) der TU Dresden eine Übertragung der Lehrkonzepte in den digitalen Raum. Viele verschiedene Vorlesungen, Übungen und auch Praktika unterschiedlicher Gruppengrößen (10 bis 150 Studenten) mussten in ein digitales Format übertragen werden. Um dies zu erreichen, wurden verschiedene Lehrkonzepte in synchronen und asynchronen Formaten, mit Videos oder Live-Vorlesungen, mit Fragen & Antworten (Q&A)-basierten oder Präsenzübungen, etc. mit unterschiedlichem Erfolg eingesetzt. Vor allem in kleinen Vorlesungen mit bis zu 30 Studierenden hat sich ein asynchrones Konzept mit einem Flipped-Classroom als wertvoller Ansatz erwiesen, der viele Vorteile gegenüber der bisherigen konventionellen Lehrform bietet.

Die regulatorische Lockerung der pandemiebezogenen Maßnahmen erforderte dann eine Überführung dieser Online-Konzepte in den Präsenzbetrieb unserer Universität mit Vorlesungen, Übungen und Praktika. Darüber hinaus wollten wir die Vorteile der digitalen Lehrformate weiter nutzen und die neu entwickelten Lehrmaterialien weiter einsetzen. Daher wurde die Vorlesung "Simulation und Optimierung" (SimOpt) im Modul "Prozessführungssysteme" als Anwendungsfall gewählt, um unsere digitalen Lehrkonzepte weiterzuentwickeln. SimOpt ist eine interdisziplinäre Vertiefungsveranstaltung, die aus Vorlesungen, Übungen und einem studentischen Projekt besteht, das von den Studierenden in interdisziplinären Gruppen von 3-5 Personen durchgeführt werden muss. Im Folgenden werden das Lehrkonzept und die Ergebnisse der ersten Umsetzungsschritte unseres Digital Fellowship "Digitale, interdisziplinäre Lehre im MINT-Bereich (LIME) - Ausbildung der Ingenieure von Morgen" vorgestellt.

## 2. Anforderungen und Konzept

Die Lehrveranstaltung SimOpt verfolgt zwei Hauptziele:

1. Aufbau fortgeschrittener Kompetenzen in der Prozessführung

2. Entwicklung von Soft Skills für die interdisziplinäre Zusammenarbeit in Projektgruppen

Um diese Ziele zu erreichen, richtet sich die Vorlesung an Studierende der Studiengänge "Verfahrens- und Naturstofftechnik", "Elektrotechnik", "Mechatronik", "Regenerative Energiesysteme" und "Informationssystemtechnik" als Wahlpflichtfach. In den vergangenen Jahren bestand SimOpt aus einigen Vorlesungen und Übungen, um Wissen zu vermitteln und der heterogenen Gruppe von Studierenden ein Level-Playing-Field zu bieten. Darüber hinaus beinhaltete die Lehrveranstaltung ein studentisches Projekt, das auf eher offenen Projektaufgaben basierte und in interdisziplinären Gruppen von 3-5 Studierenden bearbeitet wurde. Das studentische Projekt zielte darauf ab, ein Problem in einem industriellen Umfeld zu simulieren, indem ein reales Prozessführungsproblem durch das Process-to-Order-Lab (P2O-Lab) der TU Dresden oder durch einen Industriepartner bereitgestellt wurde. Hauptmerkmale der Lehrveranstaltung waren und sind

1. ihr interdisziplinärer Charakter,
2. die kleinen Studierendengruppen, und
3. ihr fortgeschrittenes fachliches Niveau.

Unser Ziel in LIME war die Art und Weise weiterzuentwickeln, wie wir das Level-Playing-Field für die Studierenden schaffen und gleichzeitig das Studierendenprojekt beibehalten. Das neue Konzept basiert auf digitalen Lehr-Lernmodulen, die zur Vermittlung von Wissen in einem Flipped-Classroom-Ansatz eingesetzt werden. Zu diesem Zweck wurden 12 individuelle digitale Lehr-Lernmodule entwickelt, die Themen wie z.B. die Grundlagen der First-Principles-Modellierung, der hybriden semi-parametrischen Modellierung, der Multiple-Input-Multiple-Output-Regelung (MIMO) und der modellprädiktive Regelung (MPC) behandeln. Jedes digitale Lehr-Lernmodul besteht aus

- einer Selbstlernphase mit Materialien zum Selbststudium, darunter
  - 1 Motivationsvideo

- 3-5 mit einem Lightboard aufgenommene Lehrvideos, in denen die wichtigsten Methoden und Konzepte erklärt werden
- ~10 A4-Seiten Skript mit weiteren Inhalten zum tieferen Verständnis
- einer Flipped-Classroom-Einheit, bestehend aus
  - einer Q&A-Session
  - einem Problem, das in interdisziplinären Projektgruppen von 3-5 Studierenden mit Hilfe des Dozenten unter Anwendung von MATLAB gelöst werden muss
- und einer Übungseinheit auf der Grundlage
  - von 1-2 Problemstellungen, die in den interdisziplinären Projektgruppen von 3-5 Studierenden unter Anwendung von MATLAB gelöst werden müssen

Parallel zu den Lehr-Lernmodulen arbeiten die Studierenden an

- einem studentischen Projekt mit einer komplexen, offenen Aufgabenstellung, die sich über das gesamte Semester erstreckt.

Jede Studierendengruppe dient auch als interdisziplinäre Lerngruppe. Das oben beschriebene Konzept ermöglicht es, die drei Hauptmerkmale der SimOpt-Lehrveranstaltung auf bequeme Art und Weise zu berücksichtigen.

Erstens tragen die digitalen Lehr-Lernmodule der interdisziplinären Zusammensetzung der Studierendengruppe Rechnung. Von Studierenden der Studiengänge "Elektrotechnik", "Mechatronik" etc. kann in der Regel eine hohe Kompetenz in der Regelung und Programmierung erwartet werden, jedoch fehlen ihnen Kenntnisse der dynamischen Modellierung verfahrenstechnischer Systeme. Studierende des Studiengangs "Verfahrenstechnik und Naturstofftechnik" hingegen verfügen in der Regel über ein höheres Kompetenzniveau in der Prozessmodellierung, aber über mangelnde Kenntnisse in der Regelungstheorie. Die

Selbstlernphase ermöglicht es diesen Studierendengruppen sich auf ihre jeweiligen Lernfelder zu konzentrieren. Außerdem können die Studierenden Inhalte und Themen überspringen, mit denen sie sich bereits sehr vertraut fühlen. In den Flipped-Classroom-Einheit und den Übungen wird der Schwerpunkt auf die Anwendung des Wissens und den interdisziplinären Austausch innerhalb der Projektgruppen gelegt. Dieser Unterrichtsstil ermöglicht so, ein Level-Playing-Field zu schaffen und gleichzeitig die Bedürfnisse der einzelnen Gruppen von Studierenden zu berücksichtigen.

Zweitens nutzt der Flipped-Classroom-Ansatz die Möglichkeiten kleiner Studierendengruppen optimal aus. In den letzten Jahren hat sich die Ansicht durchgesetzt, dass Flipped-Classroom-Konzepte ein großartiges Instrument sind, um die Lernenden zur Meisterschaft zu führen [1,2]. Lewin et al. [3] argumentieren, dass es den Lernenden erlaubt sein sollte, "to experiment, get things wrong and understand why". Darüber hinaus stellen sie fest, dass die Kontaktzeit zwischen Lernenden und Dozenten hauptsächlich dazu genutzt werden sollte, gemeinsam an Problemen zu arbeiten. Dozenten sollten zu Mentoren und Motivatoren werden. Da dies bei einem hohen Verhältnis von Dozenten zu Studierenden leichter zu erreichen ist, eignet sich der Ansatz für die Lehrveranstaltung SimOpt. Darüber hinaus beginnen die Studierenden durch den Flipped-Classroom-Ansatz frühzeitig, in interdisziplinären Projektgruppen zusammenzuarbeiten, Wissen innerhalb der Gruppe zu transferieren und das Kompetenzprofil der anderen Studierenden in der Gruppe zu verstehen.

Drittens ermöglicht die Entwicklung digitaler Lehr-Lernmodule leicht die Integration neuer Themen aus der Forschung, die möglicherweise von externen Experten bereitgestellt werden können. Dies bietet also einen geeigneten Rahmen für eine fortgeschrittene Lehrveranstaltung. Ein angenehmer Nebeneffekt ist, dass dieser Ansatz ermöglicht, den Arbeitsaufwand für die Erstellung der Lehr-Lernmaterialien auf mehrere Institutionen zu verteilen, wenn die Materialien von den beteiligten Partnern als Open Educational Resources (OER) veröffentlicht werden.

### 3. Umsetzung des Konzepts im Digital Fellowship LIME

Die Professur für Prozessleittechnik und die Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik überarbeiten gemeinsam die Lehrveranstaltung SimOpt im Rahmen eines vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWK) geförderten Tandem Digital Fellowship. Die Ziele dieses Förderprogramms sind [4]:

- Unterstützung der Entwicklung digitaler Lehr- und Lernkompetenzen
- Entwicklung und Erprobung innovativer Lehr- und Prüfungsmethoden sowie digitaler Lehr-Lernmethoden und -instrumente
- Open Educational Resources (OER) in der Unterrichtspraxis zu etablieren

Das bereitgestellte Budget ermöglicht den Kauf zusätzlicher Ausrüstung und Materialien für unsere Aufnahmeumgebung für die Lehrvideos. Darüber hinaus können externe Experten und studentische Mitarbeiter bezahlt werden, die bei der Entwicklung der Lehrmaterialien unterstützen. Für LIME haben wir das Usability for Process Industries (UPI) Lab der Professur für Prozessleittechnik umgerüstet. Das Labor war bereits mit Möbeln und Aufnahmegeräten ausgestattet. Das bereitgestellte Budget ermöglichte den Kauf zusätzlicher Ausrüstung und Materialien für unsere Aufnahmeumgebung für die Lehrvideos. Darüber hinaus können externe Experten und studentische Mitarbeiter bezahlt werden, die bei der Entwicklung der Lehrmaterialien unterstützen. Für LIME haben wir das Usability for Process Industries (UPI) Lab des Lehrstuhls für PCS umgerüstet. Das Labor war bereits mit Möbeln und Aufnahmegeräten ausgestattet. Daher wurde nur wenig zusätzliche Ausrüstung wie z. B. Mikrofone und Wischtücher für die Aufzeichnung benötigt. Darüber hinaus wurden externe Experten auf dem Gebiet der Prozessführung kontaktiert und für Beiträge zur Modellierung, dem Prozessmonitoring, Prozessregelung usw. angefragt. Die Experten wurden

aufgrund ihres Renommées auf dem entsprechenden Gebiet ausgewählt. Zum Beispiel hat Herr von Stosch (siehe [5]) als hochrangiger Experte auf dem Gebiet der hybriden semi-parametrischen Modellierung zu diesem speziellen Thema beigetragen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Beiträge der externen Experten zu LIME. Wir erhielten neun Antworten auf unsere erste Kontakt-E-Mail. Sieben der Experten waren prinzipiell daran interessiert, einen Beitrag zum Projekt zu leisten. Derzeit ist der Beitrag von drei Experten fixiert, während wir noch mit vier weiteren Experten in Verhandlung stehen. Ein Experte antwortete nicht auf unsere E-Mail, und zwei lehnten einen Beitrag aufgrund der Vertragsbedingungen ab. Insgesamt haben wir Interesse an kollaborativen digitalen Lehrmodulen festgestellt. Daher sind wir der Meinung, dass dieses Konzept in Zukunft ein großes Potenzial für die Zusammenarbeit in der Lehre und den Austausch von Lehrmaterialien bietet. Die Finanzierung des Digital Fellowship ermöglichte es uns außerdem, den externen Experten eine Honorar zu zahlen. Das Honorar war für die meisten Experten jedoch nicht der Hauptgrund einen Beitrag zu beizusteuern oder abzulehnen. Wichtiger für eine Ablehnung war die Zeit, die für die Entwicklung von Lehrmaterial hätte aufgewendet werden müssen. Mitarbeiter mit einschlägigem Fachwissen werden dem jeweiligen externen Experten zur Seite gestellt, um ihnen bei der Beantwortung inhaltlicher Fragen zu unterstützen und die Formatierung der bereitgestellten Materialien mit den studentischen Mitarbeitern abzustimmen. Die studentischen Mitarbeiter waren unter der Aufsicht der Mitarbeiter für die Einrichtung der Aufnahmeumgebung einschließlich der Softwaretools usw. verantwortlich. Außerdem führen sie die Aufnahmen mit den Mitarbeitern oder den externen Experten in unserer Aufnahmeumgebung durch. Anschließend sind sie für die Videobearbeitung verantwortlich. Darüber hinaus entwickeln die Mitarbeiter, die studentischen Hilfskräfte und die externen Experten Problemstellungen, die in MATLAB gelöst werden sollen. Alle Materialien werden unter einer Creative Commons Lizenz<sup>1</sup> erstellt und stehen der TU Dresden, den externen Experten und

<sup>1</sup> <https://creativecommons.org>

anderen interessierten Institutionen oder Einrichtungen als Open Educational Resources (OER) zur Verfügung.

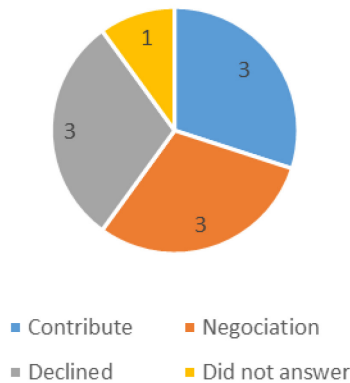


Abb. 1: Beitrag der externen Experten zum digitalen Lehrprojekt LIME

#### 4. Beispiel - Ein digitales Lehr-Lernmodul für hybride semi-parametrische Modelle

Dieser Abschnitt enthält ein Beispiel für ein digitales Lehr-Lernmodul. Für das Lehr-Lernmodul "Hybride semi-parametrische Modellierung" haben wir mit Dr. Moritz von Stosch zusammengearbeitet. Dr. von Stosch stellte folgende Beiträge zur Verfügung:

- ein Motivationsvideo über hybride semi-parametrische Modellierung,
- mehrere Lightboard-Skizzen, die wir für unsere Zwecke angepasst haben,
- ein Skript zum Thema hybride Modellierung, und
- zwei Übungsaufgaben, die wir so angepasst haben, dass sie in der Flipped-Classroom-Sitzung und in der Übung eingesetzt werden können.

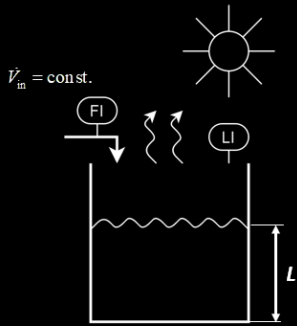
Abbildung 2 zeigt eine der von uns abgeleiteten Lightboard-Skizzen. Auf der linken Seite zeigt die Skizze ein offenes Tanksystem, bei dem Wasser aktiv über einen Eingangsvolumenstrom zugeführt werden kann und durch die Sonne verdunstet. Auf der rechten Seite ist die Grundidee der hybriden semi-parametrischen Modellierung dargestellt. Dabei werden parametrische Modelle, die auf First Principles

beruhen, mit nicht-parametrischen, datengetriebenen Modellen kombiniert. Auf der Grundlage der Lightboard-Skizzen wurden dann Videos mit unserem Lightboard aufgenommen. Abbildung 3 vermittelt einen Eindruck vom Stil der Videos und enthält einen Link zu einem Beispielvideo auf YouTube. Für die Selbstlernphase werden den Studierenden das Motivationsvideo, fünf Lightboard-Videos und das Skript über die Lernplattform OPAL zur Verfügung gestellt. Abbildung 4 zeigt die Struktur eines Lehrmoduls auf OPAL.

In der Flipped-Classroom-Einheit wird dann zunächst eine Q&A-Session durchgeführt. Beispielsweise stellte in der Q&A-Session zur hybriden semi-parametrischen Modellierung eine Studierende die Frage, wie die Parameteridentifikation hybrider semi-parametrischer Modelle durchgeführt werden kann. Anschließend wurde den Studierenden die erste Aufgabe gestellt. Diese Aufgabe haben wir von einer der Übungsaufgabe von Dr. von Stosch abgeleitet. Über die OPAL-Plattform wurde den Studierenden ein Datensatz zur Verfügung gestellt, der verschiedene Querschnittsflächen, Zeiten und Temperaturen mit der verdunsteten Wassermenge in offenen Tanksystemen ähnlich Abbildung 2 in Beziehung setzt. Nun sollten die Studierenden ein Modell entwickeln, das das durch den Datensatz beschriebene Verhalten abbildet. Ein wichtiges Merkmal des Datensatzes ist, dass er zu klein ist, um rein nicht-parametrische, datengesteuerte Modellierungsansätze anzuwenden. Außerdem ist die Menge des verfügbaren Wissens über das System zu gering, um ein parametrisches, auf First Principles basierendes Modell zu entwickeln. Diese Herausforderungen wurden in einer Diskussion zwischen den Studierenden, zwischen Dozent und Studierenden sowie durch mehrere Iterationen von Versuch und Irrtum herausgearbeitet. Darüber hinaus wurden eine geeignete hybride semi-parametrische Modellarchitektur, ihre Implementierung und ihre Validierung anhand eines Testdatensatzes erforscht und in MATLAB entwickelt. Das Ergebnis ist eine nichtlineare algebraische Gleichung (NLAE), die aus parametrischen und nicht-parametrischen Modellteilen besteht.

**Hybrid semi-parametric modelling approach**

Experimental setup:



At what height-level is the water after time  $t_i$  for a given constant water inflow?

- First-principles / mechanistic modeling
- Data-driven modeling

→ How would can we leverage the best of the two worlds?

(1) Start with the available knowledge, e.g.

- Mass balance:  $\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}$
- Mass hold-up:  $m = \rho AL$
- Mass flows:  $\dot{m}_{in} = \rho \dot{V}_{in}$

(2) Add data-driven model for parts, which are not sufficiently understood yet, e.g.

$$\dot{m}_{out} = f_1(T, \dots) = \rho A \times f_2(T, \dots)$$

→ Together:

$$\frac{d(\rho AL)}{dt} = \rho \dot{V}_{in} - \rho A \times f_2(T, \dots)$$

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\dot{V}_{in}}{A} - f_2(T, \dots)$$

parametric model (White box model)      nonparametric model (Black box model)

(What is the impact of multiplying the evaporation term with the area A?)

Abb. 2: Beispiel für eine Lightboard-Skizze zur hybriden semi-parametrischen Modellierung

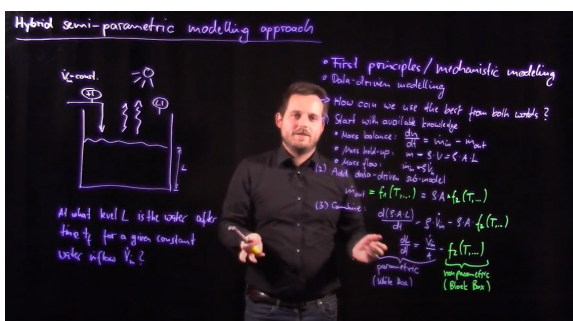


Abb. 3: Screenshot aus einem Lightboard-Video (siehe: <https://youtu.be/Z8JZm-f1tbQ>)

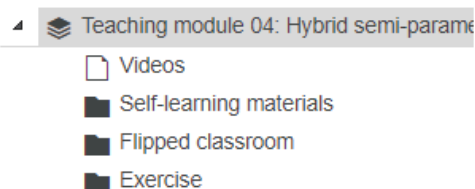


Abb. 4: Aufbau eines Lehrmoduls auf der Lernplattform OPAL

In der Übungseinheit führte der Dozent dann ein komplexeres System auf Basis eines kontinuierlichen Rührkesselreaktors (CSTR) ein. Darüber hinaus wurde den Studierenden ein Trainings- und ein Testdatensatz zur Verfügung gestellt. Dieses Problem ist komplexer, da als Lösung ein System gewöhnlicher Differentialgleichungen (ODE) vorgesehen ist, das aus den Massenbilanzen für die verschiedenen reagierenden Komponenten entwickelt wurde.

Die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch ein nicht-parametrisches Teilmodell erfasst. Dieses Problem wurde wiederum in den interdisziplinären Projektgruppen bearbeitet und interaktiv mit dem Dozenten diskutiert.

Insgesamt konnten wir die Vorbereitungszeit für die Integration dieses neuen Themas in unseren Lehrplan erheblich verkürzen. Außerdem haben wir wiederverwendbare Unterrichtsmaterialien erstellt, die unter Creative Commons lizenziert werden und somit auch von unseren externen Partnern weiterverwendet werden können. Darüber hinaus haben wir sehr interaktive und praxisnahe Flipped-Classroom- und Übungssitzungen mit unseren Studierenden eingeführt.

### 5. Fazit

Die COVID-19-Pandemie hat die Einführung neuer Lehr-Lernkonzepte inklusive digitaler Lehr-Lernmaterialien (z. B. Vorlesungsvideos usw.) an vielen Universitäten beschleunigt. Dies gilt auch für die Professur für Prozessleittechnik und die Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik an der TU Dresden. Nach der Einführung mehrerer unterschiedlicher Lehr-Lernkonzepte für verschiedene Lehrveranstaltungen hat sich gezeigt, dass ein Flipped-Classroom-Ansatz, der durch digitale Lehrmaterialien unterstützt wird, vor allem für kleine bis

mittelgroße Gruppengrößen sehr geeignet ist. Er ermöglicht es, die Kontaktzeit zwischen Studierenden und Lehrkräften zu maximieren, die der Problemlösung und nicht der Informationsvermittlung gewidmet ist. Darüber hinaus ermöglicht es die Integration von Beiträgen externer Experten in das Vorlesungsprogramm. Dies ist besonders für fortgeschrittene Kurse interessant, da neue digitale Lehr-Lernmodule zu aktuellen Forschungsthemen in Zusammenarbeit mit den externen Experten entwickelt werden können. Darüber hinaus kann dieser Ansatz die Arbeitsbelastung des Lehrpersonals mindern, da die Arbeitsbelastung auf verschiedene Institutionen verteilt wird. Dabei stieß die Entwicklung gemeinsamer Lehr-Lernmodule bei den angefragten Experten in der Regel auf Interesse. Daher sind wir davon überzeugt, dass der Ansatz von LIME das Potenzial für eine breitere Anwendung hat. Eine solche kollaborative Entwicklung von Lehr-Lernmaterialien könnte von Partner-Lehrstühlen innerhalb von Universitäten oder von den Communities der einzelnen Fachdisziplinen durchgeführt werden. Der Hauptgrund für die Ablehnung eines Beitrags zu LIME waren fehlende zeitliche Ressourcen. Wir gehen davon aus, dass dieses Problem durch das Grundkonzept der gemeinsamen Entwicklung von Lehrmaterialien entschärft wird, aber die Entwicklung des neuen Konzepts und die Ausrichtung auf gemeinsame Themen, Strukturen und Stile machen die ersten Schritte zu einer Herausforderung. Die Erfahrungen mit der Vorbereitung von Lehrmodulen, z. B. zur hybriden semiparametrischen Modellierung, waren jedoch vielversprechend. Wir konnten den Vorbereitungsaufwand für ein neues Vorlesungsthema innerhalb unserer Gruppe deutlich reduzieren, haben selbst erstellte Lernmaterialien produziert, die sowohl von uns als auch von unseren Partnern wiederverwendet werden können, und haben sehr engagierte Flipped-Classroom- und Übungssitzungen mit unseren Studierenden erlebt.

## Danksagung

Wir danken dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWK) für die freundliche Unterstützung des LIME-Projekts im Rahmen der Digital Fellowships.

Darüber hinaus möchten wir dem Process-to-Order Lab (P2O-Lab) für die Bereitstellung von Projektaufgaben für die SimOpt-Studierenden-Projekte danken.

Schließlich möchten wir Prof. Brahim Benyahia, Prof. Ali Akbar Safavi und Dr. Moritz von Stosch für ihren Beitrag zum Projekt LIME danken.

## Literatur

- [1] Bloom, B. S. (1968). Learning for Mastery. Instruction and Curriculum. Regional Education Laboratory for the Carolinas and Virginia, Topical Papers and Reprints, Number 1. Kommentar zur Bewertung, 1(2), n2.
- [2] Lewin, D. R., Cameron, I. T., Kondili, E. M., Léonard, G., Mansouri, S. S., Martins, F. G., Ricardez-Sandoval, L., Sugiyama, H., & Zondervan, E. (2022). Agile Process Systems Engineering (PSE) Ausbildung - 2. Wie man lehrt, damit die Absolventen die gewünschten Ergebnisse beherrschen. In L. Montastruc & S. Negny (Hrsg.), Computer Aided Chemical Engineering (Bd. 51, S. 1675-1680). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95879-0.50280-0>
- [3] Lewin, D. R. (2022). Sie haben nichts zu verlieren: Sorgenfreies Flipping für PSE. In L. Montastruc & S. Negny (Hrsg.), Computer Aided Chemical Engineering (Bd. 51, S. 1669-1674). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95879-0.50279-4>
- [4] Bildungsportal Sachsen. (o. D.). Digital Fellowships. Abgerufen am 21. Juni 2022, von <https://bildungsportal.sachsen.de/portal/parentpage/projekte/digital-fellowships/>
- [5] Glassey, J., & von Stosch, M. (Eds.). (2018). Hybrid Modeling in Process Industries (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351184373>