

CAROLINE WERMANN (Technische Universität Dresden)

STEFAN ODENBACH (Technische Universität Dresden)

**Praxisbericht: Eine flexible Alternative zu Laborpraktika – das
Praktikum „Dehnungsmessung“ als Take-Home Lab**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

CAROLINE WERMANN / STEFAN ODENBACH

Praxisbericht: Eine flexible Alternative zu Laborpraktika – das Praktikum „Dehnungsmessung“ als Take-Home Lab

ZUSAMMENFASSUNG: In diesem Beitrag wird die Überführung des Laborpraktikums „Dehnungsmessung“ von einem traditionellen Vor-Ort-Format zu einem ortsunabhängigen Take-Home Lab mit studierendenzentriertem Betreuungsangebot vorgestellt und reflektiert. Studierende kritisierten den hohen Zeitaufwand und die unzuverlässigen Messergebnisse. Um diese Probleme zu adressieren, wurden Messungen durchgeführt, die reproduzierbare Ergebnisse lieferten, aber Abweichungen zur Theorie aufwiesen. Dies könnte an der mangelnden Kenntnis des Systems liegen, was durch die Anpassung der Aufgabenstellung und die damit verbundene schrittweise Einführung von Einflussfaktoren lösbar ist. Der Beitrag liefert wertvolle Einblicke in Herausforderungen und Chancen von Take-Home Labs und ermutigt Lehrende, ähnliche Konzepte zu adaptieren.

Schlüsselwörter: Take-Home Lab, Praktika, Ingenieurwissenschaften, Hochschulbildung

Practice report: A flexible alternative to laboratory courses - the practical course "strain measurement" as take-home lab

SUMMARY: This article presents and reflects on the transition of the laboratory practical course "strain measurement" from a traditional on-site format to a location-independent take-home lab with student-centered supervision. Students criticized the high expenditure of time and the unreliable measurement results. In order to address these problems, measurements were carried out that provided reproducible results but showed deviations from theory. This could be due to the lack of knowledge of the measuring system, which can be solved by adapting the task and the associated gradual introduction of influencing factors. The article provides valuable insights into the challenges and opportunities of take-home labs and encourages teachers to adapt similar concepts.

Keywords: take-home lab, practical courses, laboratory courses, engineering, higher education

Einleitung

Laborpraktika bieten Studierenden im universitären Kontext die einzigartige Möglichkeit, selbst Versuche durchzuführen. Neben Vorlesungen und Rechenübungen, in denen theoretisches Wissen vermittelt und die Lösung von Rechenaufgaben trainiert wird, bieten Praktika in den Ingenieurwissenschaften als einzige Lehrveranstaltung einen praxisnahen Kontext, in dem dieses Wissen unmittelbar angewendet wird. Diese praktischen Erfahrungen sollen es Studierenden nicht nur ermöglichen, die zugrunde liegenden theoretischen Konzepte zu festigen, sondern auch Fähigkeiten im Umgang mit realen technischen Herausforderungen zu entwickeln.

Laborpraktika wurden im 19. Jahrhundert zur Demonstration grundlegender physikalischer und chemischer Prinzipien eingeführt. Diese waren zu Beginn als sogenannte Schauversuche angelegt, bei denen das Experiment von der Lehrperson durchgeführt und von den Studierenden beobachtet wurde. Im Laufe der industriellen Revolution wuchsen die Bedeutung der Ingenieurausbildung und der Erwerb praxisnaher Fähigkeiten, sodass zunehmend angewandte Techniken und experimentelle Fertigkeiten in den Mittelpunkt rückten. Die steigenden Studierendenzahlen zwangen die deutschen Hochschulen schließlich zur Anpassung der Praktika an den Massenbetrieb. Es wurden Versuchsaufbauten mit präzisen Anleitungen und Musterlösungen konzipiert, durch die die Ausbildung experimenteller Fähigkeiten und der Erwerb des wissenschaftlichen Denkens vernachlässigt wurden (Westphal, 1930). So entstand eine Diskrepanz zwischen den intendierten Lernzielen und dem tatsächlichen Lernzuwachs der Studierenden (Welzel & Haller, 1998). Bis heute experimentieren Studierende im Großteil der Laborpraktika nicht eigenständig, sondern befolgen kleinschrittige Vorgaben bei der Abarbeitung von Aufgaben (Tekkaya et al., 2016).

Diese Aufgabenstellungen sind selten theorie- oder fragengeleitet (Haller, 1999). Empirische Studien belegen, dass die Erhebung von Messwerten den größten Teil der Praktikumszeit ausmacht. Strukturierte Diskussionen, kritische Reflexion der angewandten Methodik, der erfassten Messdaten sowie der resultierenden Berechnungen finden häufig nicht statt, obwohl dies wesentliche Fähigkeiten des wissenschaftlichen Arbeitens sind. Durch diese vertiefte Auseinandersetzung würde nicht nur das Fachwissen gefestigt, sondern übergreifend das Verständnis der dem Experimentieren zugrunde liegenden Prinzipien gefördert (Sacher & Bauer, 2020).

Darüber hinaus zeigte die Corona-Pandemie, wie notwendig eine Überarbeitung der herkömmlichen Laborpraktika ist. Die Überführung von Vorlesungen, Übungen und Seminaren in den digitalen Raum konnte vergleichsweise einfach erfolgen. Die Umstellung der Laborpraktika erfordert erheblich größeren Aufwand, da der Aufbau und die Durchführung von Laborpraktika nicht einheitlich sind und jede Lehrveranstaltung somit andere Anforderungen hat, die berücksichtigt werden müssen. Außerdem fehlt es Lehrenden an Kompetenzen im Bereich der Labordidaktik, die notwendig für die Neugestaltung der Praktika und Einbindung neuer Technologien sind (Tekkaya et al., 2016, Terkowsky, 2022).

Das Ziel des Beitrags besteht darin, den Entwicklungsprozess eines ortsunabhängig durchführbaren Praktikums offenzulegen. Indem die getroffenen Entscheidungen nachvollziehbar dargestellt und die entwickelten Materialien bereitgestellt werden, sollen Lehrende zur Nachnutzung angeregt und der Transfer des Praktikumskonzepts in ihre eigenen Fachbereiche erleichtert werden.

1 Curriculare Einbettung

Das Praktikum, das in diesem Beitrag vorgestellt wird, ist Teil des Pflichtmoduls Mess- und Automatisierungstechnik (MAT) des Diplomstudiengangs Maschinenbau der Technischen Universität Dresden. Das Modul findet regulär im fünften und sechsten Semester statt und umfasst eine Vorlesung, Rechenübungen und insgesamt sechs Praktikumsversuche (drei pro Semester). Die Lehrveranstaltung wird von ca. 400 Studierenden besucht.

Durch den Abschluss des Moduls erwerben die Studierenden insgesamt acht Leistungspunkte (LP), wobei sich diese aus zwei LP für die Protokollsammlung und jeweils drei LP für die Klausur zusammensetzen. Da es insgesamt sechs verschiedene Praktikumsversuche gibt, entspricht ein Protokoll einem Drittel LP. Daraus kann ein vorgesehener Arbeitsaufwand von zehn Stunden pro Praktikumsversuch abgeleitet werden. Die Arbeit für ein Praktikum beinhaltet die inhaltliche Einarbeitung, den Aufbau und die Durchführung des Versuchs sowie die Auswertung und Protokollierung.

Zusätzlich zu den eingangs genannten Gründen wurde die Entscheidung, das traditionelle Laborpraktikum neu zu gestalten, von den Einschränkungen während der Corona-Semester beschleunigt. Aufgrund der Richtlinien der TU Dresden durften die Studierenden nicht in den Laboren arbeiten. Da die Teilnahme am Praktikum für den Abschluss des Moduls erforderlich war, musste eine Alternative zu den bisherigen Praktikumsversuchen entwickelt werden, um den Studienfortschritt der Studierenden nicht auf ungewisse Zeit zu verzögern. Das neue Format musste es den Studierenden ermöglichen, die Versuche unabhängig vom Universitätslabor durchzuführen.

2 Cross-Reality-Labore

Unter Cross-Reality-Laboren werden alle digitalen bzw. online gestützten Lehr-Lernlabore zusammengefasst (May, 2020). Cross-Reality umfasst Augmented Reality (AR), Mixed oder Merged Reality (MR) und Virtual Reality (VR) und beschreibt somit die Verknüpfung der physisch existierenden Realität mit unterschiedlichen Arten virtueller Realität (Terkowsky et al., 2020):

- In **Remote-Laboren** wird der Zugriff auf ein physisch reales Labor über ein Webinterface ermöglicht. Die im Labor vorhandenen Arbeitsplätze oder Versuchsaufbauten werden von den Studierenden über das Internet bedient.
- **Augmented-Reality-Labore** ergänzen reale Versuchsaufbauten um digitale Informationen, die über ein Interface, z. B. ein Tablet oder eine AR-Brille, direkt am untersuchten Objekt angezeigt werden.
- **Virtuelle Labore** umfassen VR- und MR-Anwendungen, in denen virtuelle Versuchsumgebungen teil- oder vollimmersiv dargestellt werden (beispielsweise auf einem Desktop-PC oder mittels VR-Brille). Für die Darstellung und Durchführung des Versuchs werden Simulationen eingesetzt. Die Versuchsdaten, mit denen die Anwendenden arbeiten, können dabei entweder ebenfalls simuliert sein oder auf den Datensätzen realer Experimente basieren (Terkowsky et al., 2020).
- **Take-Home Labs** (Durfee et al., 2004), **Pocket Labs** (Klinger & Madritsch, 2016) und **Mobile Labs** (May et al., 2013) sind tragbare bzw. mobile Labore, die Studierende außerhalb des traditionellen Laborsettings durchführen können. Die Laborkits werden den Studierenden zur selbstständigen Durchführung von Zuhause aus oder einem Ort ihrer Wahl zur Verfügung gestellt und können in Kombination mit einem Laptop oder Smartphone zur Aufnahme von Messwerten verwendet werden.

Die Voraussetzungen des neu zu gestaltenden Praktikums bestehen darin, dass es aufgrund der Corona-Pandemie ortsunabhängig und wegen der hohen Studierendenzahl für bis zu 400 Teilnehmenden durchführbar sein soll. Als wesentliche Lernziele des Praktikums galten die Planung eines Versuchsaufbaus und die reflektierte Durchführung des Experiments sowie die Handhabung des Messsystems. Für die Entwicklung des Praktikums stand ein Zeitraum von sechs Monaten zur Verfügung.

Die Einrichtung eines Remote-Labors würde die zur Verfügung stehenden Laborplätze infolge der Raumkapazität auf 30 Arbeitsplätze beschränken. Um allen Studierenden Zugriff auf die Maschinen zu ermöglichen, müssten die Arbeitszeiten über das gesamte Semester verteilt angeboten werden. Dies wäre grundsätzlich möglich, birgt jedoch, wie die herkömmlichen Praktika auch, den Nachteil, dass einige Studierende das Praktikum schon absolvieren müssten, bevor die Praktikumsinhalte in der Vorlesung vermittelt worden sind. Aus diesem Grund ist ein Lehrformat zu bevorzugen, das eine zeitgleiche Bearbeitung erlaubt.

Virtuelle Labore ermöglichen eine zeitgleiche Bearbeitung. Allerdings besteht hierbei die Problematik, dass eine Simulation das Experimentieren unter realen Bedingungen ersetzt. Da wesentliche Lernziele darin bestehen, einen Versuch aufzubauen und die konkrete Handhabung des Messsystems zu erlernen, ist das virtuelle Labor als Lehrformat dafür ungeeignet. Obwohl bei vollimmersiven gegenüber teilimmersiven Simulationen mehr Möglichkeiten bestehen, diese Problematik zu adressieren, wurde dieses Format nicht ausgewählt. Einerseits hätten die Anschaffungskosten für vollimmersive Simulationen (bspw. mittels VR-Brillen) den Kostenrahmen überschritten, andererseits bestanden im Entwicklungsteam bisher keine Erfahrungen bei der Erstellung von VR-Szenarien, sodass eine Entwicklung im begrenzten Zeitraum nicht möglich gewesen wäre.

Augmented Reality Labore reichern bereits bestehende reale Versuchsaufbauten mit digitalen Informationen an. Daher genügt dieses Format an sich nicht der Anforderung der ortsunabhängigen Durchführung, sondern kann höchstens ergänzend eingesetzt werden.

Take-Home Labs zeichnen sich, genauso wie virtuelle Labore, durch zeitliche und räumliche Flexibilität aus. Die Studierenden können die Experimente, da sie die Materialien zur Verfügung gestellt bekommen, nach ihrem eigenen Zeitplan durchführen und sind nicht an festgelegte und begrenzte Laborzeiten gebunden. So kann das Praktikum außerhalb der Universität von allen Teilnehmenden parallel zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, der zur Thematisierung in der Vorlesung passt. Darüber hinaus arbeiten die Studierenden im Take-Home Lab mit echten Versuchsmaterialien, mit denen das Experiment aufgebaut und durchgeführt werden muss, weshalb die gesetzten Lernziele in diesem Format erreicht werden können. Damit erfüllen Take-Home Labs die eingangs genannten Anforderungen des neu zu gestaltenden Praktikums „Dehnungsmessung“ an das Lehrformat.

3 Das Praktikum

Im Folgenden wird das Praktikum „Dehnungsmessung“ beschrieben. Dabei wird zuerst auf das herkömmliche Laborpraktikum eingegangen, das die Basis für den Versuch bildet. Anschließend wird die Konzeptionierung des Take-Home Labs sowie die Aufgabenstellung und der Ablauf des Praktikums vorgestellt.

3.1 Dehnungsmessung als Laborpraktikum

Die Vorbereitung auf das traditionelle Laborpraktikum erfolgt im Selbststudium und beinhaltet die Wiederholung des in der Vorlesung vermittelten Fachwissens sowie die Vorbereitung auf die Versuchsdurchführung durch Studium der Aufgabenstellung, des Versuchsaufbaus und der Handlungsanweisungen.

Die Präsenzphase umfasst drei Stunden und beginnt mit einer kurzen inhaltlichen Einführung durch die Betreuungsperson als Frontalvortrag. Daran schließt sich ein Antestat an, anhand dessen die Vorbereitung der Studierenden auf den Praktikumsversuch überprüft wird. Bevor die Studierenden selbst experimentieren dürfen, werden noch weitere Hinweise zur Handhabung der Aufbauten gegeben.

Die Durchführung der Versuche erfolgt betreut und wird durch die Studierenden dokumentiert, noch in der Präsenzzeit ausgewertet und am Ende abgegeben. Das Protokoll stellt die benotete Prüfungsleistung dar. Die Studierenden erhalten die Protokolle korrigiert und kommentiert zurück. Die Betreuung wird von Doktorand:innen mit einer Betreuungsrelation von 1:30 übernommen.

Die Versuchsaufbauten, die im Laborpraktikum verwendet werden, bestehen aus einem stabilen Stahlrahmen mit einem fest verschraubten Prüfkörper, auf den Dehnungsmessstreifen geklebt sind. Es werden zwei verschiedene Aufbauten verwendet, mit denen zwei unterschiedliche Belastungsarten realisiert werden können:

1. Zug/Druck und Biegung
2. Torsion und Biegung

Mithilfe einer Kraftmessuhr kann die Last auf den Prüfkörper präzise eingestellt werden. Die Aufgabe besteht für die Studierenden darin, durch korrekte Wahl der Dehnungsmessstreifen und der richtigen Platzierung in der Wheatstone'schen Messbrücke die gesamte Dehnung aufzunehmen sowie die verschiedenen Anteile durch Zug/Druck, Torsion oder Dehnung zu bestimmen.

3.2 Dehnungsmessung als Take-Home Lab

Der hier vorgestellte Versuch wurde bereits zwei Mal (im Sommersemester 2022 und im Wintersemester 2022/2023) durchgeführt. Nach dem ersten Durchlauf wurden grobe Fehler behoben sowie eine Anpassung bei der Betreuung vorgenommen. Der beschriebene Ablauf bezieht sich auf den Stand vom Wintersemester 2022/2023 und resultiert aus den Erfahrungen, die in den beiden Iterationen gesammelt wurden.

3.2.1 *Aufbau*

Bei der Überführung des Laborpraktikums in das Take-Home Lab musste entschieden werden, welche Belastungsarten im Versuch umgesetzt werden sollen. Diese Entscheidung ist zentral für den gesamten Versuchsaufbau und die Auswahl der Praktikumsaufgaben. Bei der Gestaltung mussten jedoch verschiedene Kriterien berücksichtigt werden, die sich aus dem neuen Format ergeben.

Da an dem Praktikum bis zu 400 Studierenden in Partnerarbeit teilnehmen, müssen mindestens 200 Materialsätze bereitgestellt werden. Damit ist das erste Kriterium die Skalierbarkeit des Versuchs für ein Massenpraktikum. Dies wird vor allem durch die Material- und Fertigungskosten bestimmt. Darüber hinaus sollte der Aufbau robust sein, um Zusatzkosten durch Reparaturen oder den Ersatz kaputter Teile zu reduzieren.

Zu diesen Kriterien kommen Einschränkungen durch die Durchführung in Heimarbeit hinzu. Im Labor stehen fest installierte Gerätschaften und präzise Sensorik zur Verfügung, mit denen komplexe Aufbauten realisiert und exakte Messungen durchgeführt werden können. Während im Laborpraktikum „Dehnungsmessung“ überlagerte Belastungszustände aus Zug/Druck und Biegung sowie Torsion und Biegung umgesetzt wurden, muss für die Entwicklung des Take-Home Labs erst geprüft werden, inwiefern diese Belastungsarten in Heimarbeit realisiert werden können.

1. Zug/Druck

Um reinen Zug bzw. Druck auf ein Bauteil (bspw. einen Stab) auszuüben, muss die Krafteinleitung exakt entlang der Längsachse erfolgen. Wird die Kraft parallel zur Längsachse über einen Hebelarm eingebracht, wird der Zug bzw. Druck durch Biegung überlagert. Dies kann anhand der Prinzipskizze in Abbildung 1 nachvollzogen werden. In Heimarbeit ist die Positionierung der Krafteinleitung schwer umzusetzen. Eine exakte Ausrichtung erfordert eine feste, planare, ebene Bezugsfläche, die nicht als gegeben angenommen werden kann. Auch die Umsetzung mittels Hebelarm ist suboptimal, da dieser schwieriger zu fertigen und anfällig für Beschädigungen ist.



Abb. 1: Prinzipskizze eines Biege-Zug-Stabs. Die Belastungssituation in (a) lässt sich durch eine im Flächenschwerpunkt angreifende Einzelkraft F und ein Biegemoment M_B ersetzen (vgl. (b)).

2. Torsion

Bei reiner Torsion wird der belastete Körper (bspw. ein Stab) um seine Längsachse verdreht. Torsion kann auch herbeigeführt werden, indem der Stab durch eine Kraft belastet wird, die über einen Hebel senkrecht zur Stabachse angreift (vgl. Abb. 2). Um eine in Umlaufrichtung konstante Torsionsspannung zu erhalten, muss ein kreisförmiger Querschnitt für das Bauteil gewählt werden. Dies verkompliziert jedoch die Einspannung des Bauteils und auch hier gelten die Nachteile aufgrund des Hebelarms.



Abb. 2: Prinzipskizze eines Torsions-Zug-Stabs. Die Belastungssituation in (a) lässt sich durch eine im Flächenschwerpunkt angreifende Einzelkraft F und ein Torsionsmoment M_T ersetzen (vgl. (b)).

3. Biegung

Biegung tritt in den beiden beschriebenen Fällen bereits als überlagernde Belastung auf. In Abbildung 1 und Abbildung 2 wurden die Lastfälle jeweils durch ein Moment und eine Einzelkraft ersetzt und so in die zwei Komponenten aufgeteilt. Der Anteil an der Belastung durch die Biegung resultiert aus der im Schwerpunkt der Querschnittsfläche angreifenden Kraft. Für einfache Biegung wird folglich weder ein Hebelarm oder eine spezielle Orientierung der Krafteinleitung benötigt noch werden besondere Anforderungen an die Bauteilgeometrie gestellt. Somit kann Biegung am einfachsten umgesetzt werden.

In der Konzeptionierungsphase wurden zwei Varianten in Betracht gezogen, mit denen einfache Biegung realisiert werden kann. Einfache Biegung durch:

- a) Auslenkung um eine definierte Strecke oder
- b) Einbringen einer definierten Last.

In Abbildung 3 (a) ist ein Aufbau zu sehen, in dem ein Blechstreifen an ein Winkelprofil geschweißt wurde. Auf dem Blechstreifen sind die Dehnungsmessstreifen aufgebracht. In dem Winkelprofil ist eine Mikrometerschraube befestigt, mit der der Blechstreifen um eine definierte Länge s ausgelenkt werden kann.

In Abbildung 3 (b) ist ein klassischer, einseitig fest eingespannter Biegebalken abgebildet. Hier wird die Biegung erzeugt, indem eine definierte Last F , bspw. durch das Anhängen einer Masse, aufgebracht wird.

Für das Take-Home Lab wurde der Aufbau entsprechend Abbildung 3 (b) ausgewählt, da er günstiger und deutlich einfacher zu fertigen ist.

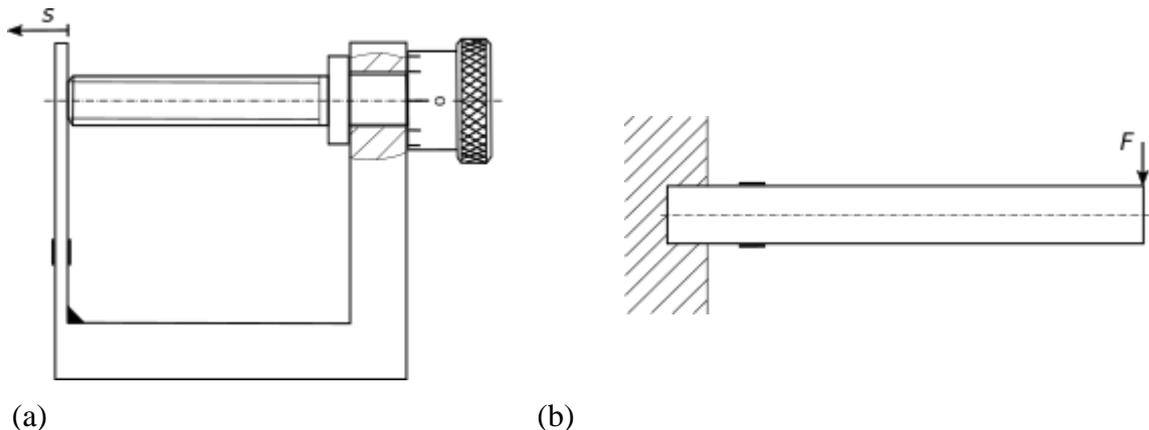


Abb. 3: Skizzen vom Aufbau des Messsystems. In (a) wird die Dehnung durch Auslenkung des Blechstreifens um eine definierte Länge s erzeugt. In (b) resultiert die Dehnung aus der Belastung des Biegebalkens mit einer definierten Kraft F . Die angebrachten Dehnungsmessstreifen sind schwarz markiert.

Das fertige Bauteil ist in Abbildung 4 zu sehen. Auf dem Blechstreifen (1) sind insgesamt fünf Dehnungsmessstreifen (2) aufgeklebt. Zwei auf der Oberseite, zwei parallel dazu auf der Unterseite und ein passiver Dehnungsmessstreifen auf der Befestigungsplatte, sodass alle Varianten der Wheatstone'schen Messbrücke aufgebaut werden können.

Die Dehnungsmessstreifen sind aus mehreren Gründen mit Abstand zur Befestigungsplatte geklebt. Einerseits wird Platz für die Lötstützstellen (3) geschaffen, andererseits befinden sie sich somit außerhalb des Einflussbereichs der Einkerbung.

An den Lötstützstellen sind die Kabel befestigt, die zusammengeführt und durch eine Zugentlastung (4) gesichert werden. Diese verhindert, dass die Lötstellen abreißen, wenn etwas heftiger am Kabel (5) gezogen wird. Am anderen Ende wurden Pins so an die Kabel gelötet, dass jeder

Dehnungsmessstreifen einen Anschluss mit zwei Pins hat. Das zusätzliche Kabel mit dem Einser-Pin ist die Schirmung des grauen Kabels.

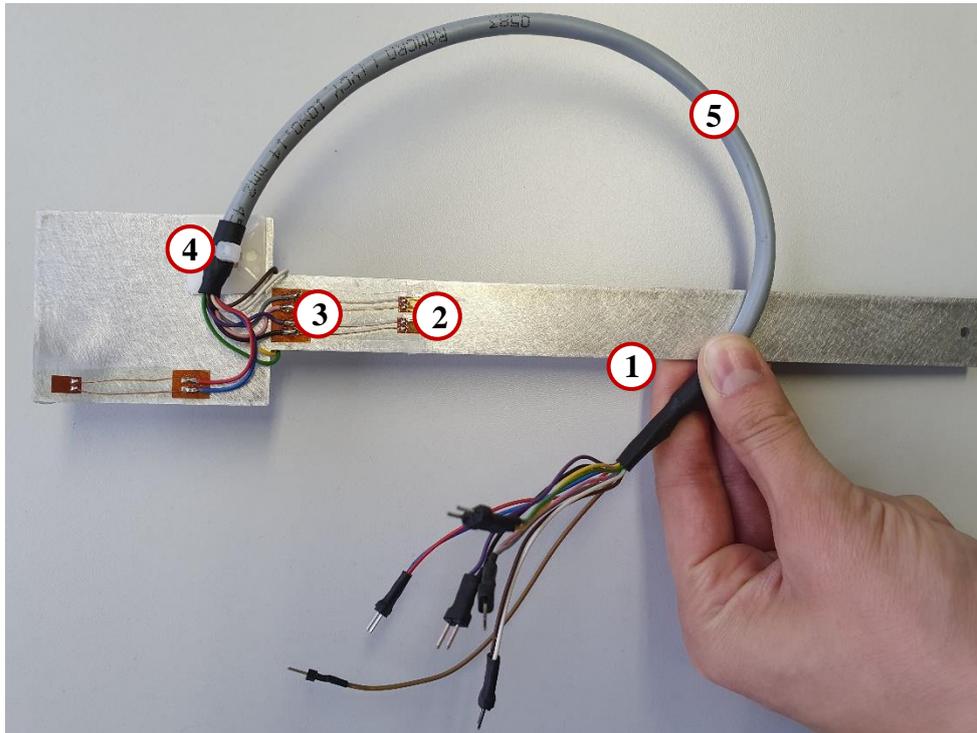


Abb. 4: Aufbau des Biegebalkens für das Take-Home Lab „Dehnungsmessung“. Nummerierung der Komponenten: 1 – Blechstreifen, 2 – Dehnungsmessstreifen, 3 – Lötstützstellen, 4 – Zugentlastung, 5 – Kabel

Eine Materialliste mit allen notwendigen Komponenten zur Herstellung des Biegebalkens sowie den Bauteilen, die für den Gesamtaufbau des Praktikums benötigt werden, ist unter 7.1 zu finden. Zusätzlich sind die Material- und Fertigungskosten aufgeführt.

3.2.2 Arduino Sketch

Zur digitalen, automatisierten Aufnahme des Messsignals nutzen die Studierenden einen Desktop-PC, ein Laptop oder Tablet in Kombination mit einem Arduino-Mikrokontroller. Neben dem Arduino-Board wird die dazugehörige Software (Arduino-IDE) verwendet. Mit dieser können Sketche (engl. für Skizze; bezeichnet ein Arduino-Programm) erstellt, angepasst und auf den Arduino geladen werden.

Im Take-Home Lab „Dehnungsmessung“ wird den Studierenden ein fertiger, kommentierter Sketch zur Verfügung gestellt (vgl. 7.2). Darin wird zuerst die für den Analog-Digital-Wandler „HX711“ benötigte Bibliothek eingebunden. Anschließend erfolgen die Variablendeklaration und Pin-Belegung. In der Schleife des Arduino-Programms, die halbsekündlich aufgerufen wird, wird der Digitalwert des A/D-Wandlers ausgelesen, die Versorgungsspannung U_0 ermittelt, die Umrechnung der vom A/D-Wandler ausgegebenen Diagonalspannung U_d von Digit in Millivolt vorgenommen. Die Daten werden anschließend im seriellen Monitor ausgegeben.

3.2.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ist so angelegt, dass sie der Vorgehensweise bei einem Forschungsvorhaben entspricht. Insgesamt bearbeiten die Studierenden fünf Aufgaben, die zunehmend anspruchsvoller werden, während die erforderlichen Schritte immer weniger angeleitet werden:

1. **Berechnung des theoretischen Modells:** Die Studierenden stellen ein theoretisches Modell zur Beschreibung des Messsystems auf. Dieses dient dazu, Erwartungen an die folgenden Experimente stellen und Plausibilitätsabschätzungen vornehmen zu können.
2. **Charakterisierung des Systems in unbelastetem Zustand:** Anschließend sollen die Dehnungsmessstreifen im unbelasteten Zustand charakterisiert werden. Da es sich nicht um ein kommerzielles Messsystem handelt, sind die Dehnungsmessstreifen nicht kalibriert und weisen alle ein unterschiedliches Offset auf. In dieser Aufgabe soll den Studierenden vermittelt werden, dass vor jeder Messung das Verhalten des Messsystems im Ruhezustand ermittelt werden muss, um Offset-Fehler zu erkennen und die Stabilität des Systems zu bewerten. Darüber hinaus wird eine einfache Version der Wheatstone'schen Messbrücke gefordert, die von den Studierenden mithilfe einer Anleitung aufgebaut werden kann.
3. **Vergleich von Viertel- und Vollmessbrücke:** In der dritten Aufgabe sollen zwei verschiedene Messmethoden verglichen werden. Dafür belasten die Studierenden den Biegebalken schrittweise mit Gewichten und nehmen die Daten mit einer Viertel- und einer Vollmessbrücke auf. Die experimentell ermittelten Daten werden untereinander, aber auch mit den theoretisch zu erwartenden Werten verglichen. In dieser Aufgabe müssen die Studierenden ihre Fähigkeiten zum Aufbau einer Viertelbrücke und ihre Kenntnisse des Schaltplans einer Vollmessbrücke nutzen, um selbstständig die elektrische Schaltung der Vollmessbrücke aufzubauen. Da in der Vorlesung vermittelt wird, dass mit der Vollmessbrücke präziser und stabiler gemessen werden kann, sollen die Studierenden in dieser Aufgabe ihre eigenen Erfahrungen damit machen. Sie sollen erkennen, dass auch bei der Vollmessbrücke Abweichungen zu den erwarteten Werten auftreten und so ihr Messsystem hinsichtlich äußerer Beeinflussungen analysieren. Dies bietet ihnen die Möglichkeit, ihren Versuchsaufbau anzupassen, um diese Störungen zu verhindern bzw. zu reduzieren.
4. **Untersuchung von Störeinflüssen:** Aus den Überlegungen der vorangegangenen Aufgabe sollen sich die Studierenden nun zwei konkrete Störeinflüsse auswählen und untersuchen, inwiefern diese die Messung beeinflussen. Die Vorgehensweise ist dabei offengelassen.
5. **Entwurf einer eigenen Schaltung zur Temperaturkompensation:** In der letzten Aufgabe sollen die Studierenden ihre gesammelten Erkenntnisse nutzen und einen eigenen Versuchsaufbau zur Temperaturkompensation entwerfen und umsetzen. Mithilfe ihres experimentellen Settings sollen sie zeigen, dass die Temperaturkompensation funktioniert. Als einzige Einschränkung ist vorgegeben, dass keine Vollmessbrücke verwendet werden darf, da diese Lösung für das Problem bereits aus der Vorlesung bekannt ist. In dieser Aufgabe müssen die Studierenden die verschiedenen Möglichkeiten identifizieren, wie mit den auf dem Biegebalken angebrachten Dehnungsmessstreifen eine Schaltung mit Temperaturkompensation umgesetzt werden kann. Eine weitere Herausforderung ist die Planung eines Versuchsaufbaus, mit dem die Temperaturänderung experimentell gezielt erreicht werden kann. Abschließend müssen sich die Studierenden selbst eine Vorgehensweise überlegen, mit der sie die Funktionalität ihrer Schaltung belegen können.

3.2.4 Ablauf

Bereits nach der zweiten Vorlesung können sich die Studierenden alle Materialien, die sie für die Bearbeitung der Praktika benötigen, am Lehrstuhl ausleihen. Auch die digitalen Materialien (Zusammenfassung der Theorie, Anleitung zum Versuchsaufbau, Aufgabenstellung und Protokollvorlage) sind über das Lernmanagementsystem OPAL (Online-Plattform für akademisches Lehren und Lernen) zugänglich. Es ist kein fester Bearbeitungszeitraum vorgegeben, allerdings liegen zwischen der Thematisierung der Praktikumsinhalte in der Vorlesung und der Abgabe der Protokolle drei Wochen.

Die Studierenden finden sich zu Beginn des Semesters in sogenannten Lerngruppen von bis zu sechs Personen zusammen. In diesen Gruppen bearbeiten sie die Rechenübungen des Moduls und diskutieren ihre Ergebnisse. Die Praktikumsversuche wiederum werden nur zu zweit bearbeitet. Allerdings wird gefordert, dass die Studierenden sogenannte Logbücher (Abrams, 2023) als Lerngruppe abgeben. Die Logbücher führen die Studierenden einerseits durch die Praktikumsvorbereitung und leiten sie andererseits bei der Formulierung ihrer Fragen an. Diese Logbücher werden vor den Konsultationsterminen hochgeladen, etwa eine Woche nach der Vorlesung, in der die Praktikumsinhalte präsentiert worden sind.

Die Forderung, die Logbücher als Lerngruppe abzugeben, soll den Austausch und die Kollaboration zwischen unterschiedlichen Praktikumpartnern stärken. Damit wird einer der größten Herausforderungen des Take-Home Labs begegnet, und zwar dem aufgrund fehlender Präsenztermine mangelnden Dialog zwischen Studierenden. Die Diskussion von individuellen Hürden und Fragen beim Ausfüllen des Logbuchs mit Kommiliton:innen, die andere Erfahrungen im Praktikum gemacht haben oder einen anderen Kenntnisstand besitzen, kann bereits zur Lösung dieser Schwierigkeiten beitragen.

In der Woche nach Abgabe der Logbücher finden die Konsultationstermine statt. Da die Logbücher im Vorfeld hochgeladen wurden, hatten die Betreuungspersonen Zeit, die Fragen zu sichten und sich inhaltlich darauf vorzubereiten. Gleichzeitig bilden die Fragen die Arbeits- und Diskussionsgrundlage für die Studierenden während der Konsultation. Sie werden aus den Logbüchern übernommen und auf Karten gedruckt ausgelegt. Die Teilnehmenden sollen diese Fragen durchsehen und die für sie relevanten auswählen. Im nächsten Schritt werden diese Fragen in Kleingruppen diskutiert und kollaborativ Lösungsansätze erarbeitet und dokumentiert. Anschließend stellen die Gruppen den anderen ihre Lösungen im Plenum vor, können aber auch unbeantwortete bzw. neu aufgetretene Fragen an ihre Kommiliton:innen weitergeben. Die Betreuungspersonen begleiten die verschiedenen Phasen moderierend und versuchen, die Diskussion durch Rückfragen zu lenken. Durch diese studierendenzentrierte Gestaltung werden die Bedarfe der Studierenden in den Mittelpunkt gestellt. Es werden absichtlich keine Aufgaben oder Problemstellungen vorgegeben. Dadurch, dass die Studierenden Fragen entsprechend ihres Wissensstands auswählen und eigene Prioritäten setzen, können sie die Konsultation aktiv mitgestalten. Gleichzeitig begegnen sie Problemen anderer Studierender, auf die sie noch nicht selbst gestoßen sind. Davon können sie insofern profitieren, indem sie Vorgehensweisen entwickeln, mit denen diese Probleme in der eigenen Versuchsumsetzung vermieden werden.

Nach dem letzten Konsultationstermin haben die Studierenden erneut sieben Tage Zeit, das Praktikum abzuschließen, das Protokoll fertigzustellen und einzureichen.

4 Reflexion der Erfahrungen

Nachdem in der ersten Iteration im Sommersemester 2022 grobe Fehler identifiziert und behoben worden waren, wurde das Praktikum im Wintersemester 2022/2023 wie in diesem Beitrag vorgestellt, durchgeführt. Ein Problem, das von Studierenden mehrfach genannt wurde, ist, dass die Messergebnisse nicht zuverlässig bzw. nicht reproduzierbar seien und dass große Abweichungen zwischen den aufgenommenen Messdaten und den theoretischen Werten bestünden. Auch kritisierten sie den für die Bearbeitung des Praktikums notwendigen Zeitaufwand. Sie gaben an, durchschnittlich 18 Stunden, statt der vorgesehenen 10 Stunden, benötigt zu haben. Um die Ursache dieses Problems zu identifizieren, wurden mehrere Messungen vorgenommen.

Um das Messsystem umfassend zu testen, wurden nacheinander eine Viertel- und Voll-Messbrücke aufgebaut. Diese wurden schrittweise bis 250 g belastet und ca. 50 Messwerte pro Laststufe aufgenommen. Dabei wurde die Diagonalspannung einerseits mittels Arduino, mithilfe des vorgestellten Sketches, und andererseits mit einem Voltmeter aufgenommen. Diese Messung wurde zehn Mal mit demselben Biegebalken und derselben Schaltung wiederholt.

Für die Auswertung wurde der Mittelwert jeder Messreihe über die Laststufen gebildet und das Offset abgezogen. In Abbildung 5 (a) sind die Datenpunkte der Viertelbrücke zu sehen und in Abbildung 5 (b) die der Vollmessbrücke. Es ist zu erkennen, dass die Messwerte der Diagonalspannung bei der Viertelbrücke mehr streuen als bei der Verwendung der Vollbrücke. Der Standardfehler liegt bei den Messungen der Viertelbrücke zwischen 1,02 % und 1,75 %, während er bei der Vollbrücke mindestens 0,04 % und maximal 0,09 % annimmt.

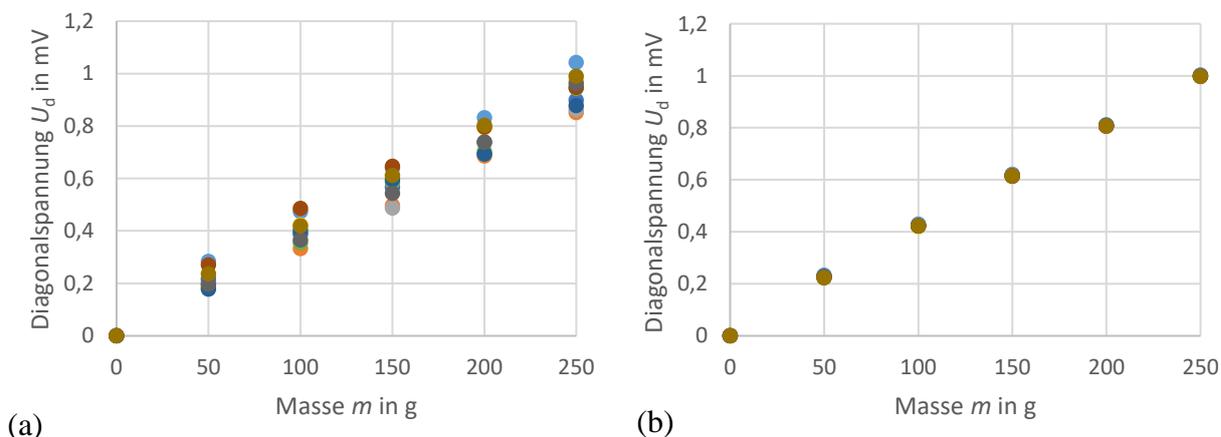


Abb. 5: Mit dem Arduino gemessene Diagonalspannung bei schrittweiser Belastung des Biegebalkens. Die Messung wurde zehn Mal durchgeführt. Bei (a) wurde eine Viertelmessbrücke verwendet, bei (b) eine Vollmessbrücke.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, vor allem bei Nutzung der Vollmessbrücke, gegeben ist. Die Varianz bei den Messwerten der Viertelmessbrücke kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Die Messung mit nur einem Dehnungsmessstreifen ist anfälliger für Messunsicherheiten, da das Signal nicht über mehrere Sensoren gemittelt wird. Darüber hinaus können Temperatureinflüsse nicht kompensiert werden.

Es ist denkbar, dass die fehlende Reproduzierbarkeit bei den Studierenden daran liegt, dass diese die elektrische Schaltung zwischen den Messungen neu aufbauen oder die Experimente an unterschiedlichen Tagen durchführen. Den Studierenden steht kein Multimeter zur Bestimmung der exakten Werte der Festwiderstände zur Verfügung. Wird die Schaltung neu aufgebaut, kann nicht garantiert werden, dass die Widerstände in derselben Anordnung verwendet werden wie

beim ersten Aufbau. Die Toleranz der Festwiderstände ist mit 1 % sehr klein, allerdings haben schon kleine Änderungen in den Widerständen der Wheatstone'schen Messbrücke großen Einfluss auf die Diagonalspannung.

Messungen an verschiedenen Tagen können unterschiedlichen Umgebungseinflüssen unterliegen. Änderungen der Raumtemperatur können von der Viertelbrücke nicht kompensiert werden und auch die Festwiderstände werden sowohl von der Temperatur als auch der Luftfeuchtigkeit beeinflusst, sodass dies die Ursache von abweichenden Messergebnissen sein könnte.

Um die Abweichung von der Theorie zu bestimmen, wurde die gemessene Diagonalspannung in die Dehnung umgerechnet und mit den berechneten Werten verglichen. Für die theoretische Beschreibung wurde das Modell eines klassischen einseitig fest eingespannten Biegebalkens verwendet. Mithilfe der Biegespannung und dem Hooke'schen Gesetz lässt sich die Dehnung ermitteln. In Abbildung 6 ist die Dehnung ε über der angehängten Masse m aufgetragen. Die Ergebnisse der Viertelmessbrücke sind in Abbildung 6 (a) zu sehen und die der Vollmessbrücke in Abbildung 6 (b). Es sind sowohl die Ergebnisse aus der Messung der Diagonalspannung mit dem Arduino als auch mit dem Voltmeter abgebildet. Dabei ist, unabhängig von der gewählten Brückenschaltung, zu erkennen, dass beide Messmethoden beinahe identische Ergebnisse liefern. Allerdings gibt es eine Abweichung von den theoretisch zu erwartenden Werten.

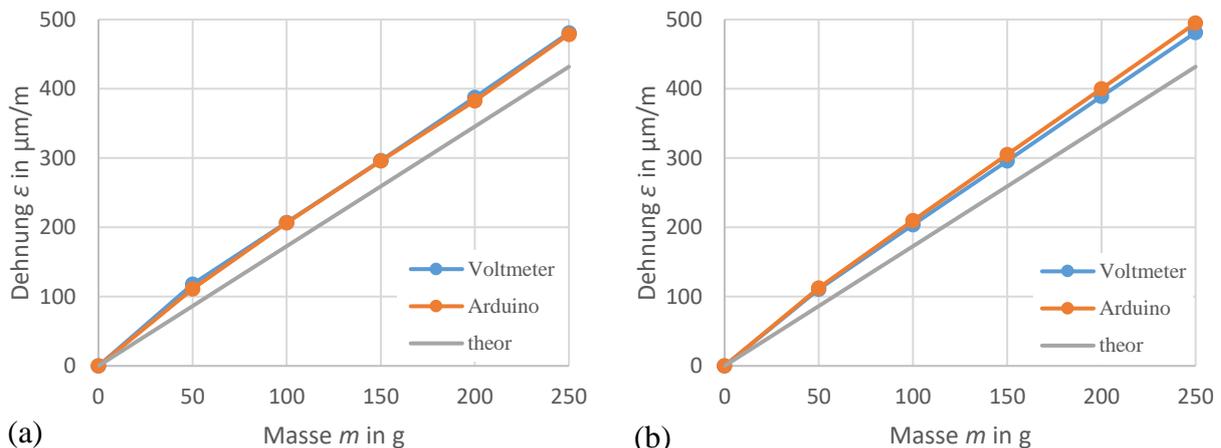


Abb. 6: Die mechanische Dehnung des Biegebalkens gemessen mit einem Voltmeter und dem Arduino sowie theoretisch berechnet. Für die einzelnen Messpunkte wurde der Mittelwert aus zehn Einzelmessungen gebildet. Bei (a) wurde eine Viertelmessbrücke verwendet, bei (b) eine Vollmessbrücke.

Bemerkenswert ist hier, dass die Ergebnisse von Arduino und Voltmeter bei beiden Brückenschaltungen annähernd identisch sind und in beiden Fällen von den theoretischen Werten abweichen. Dies spricht gegen einen Fehler im Arduino-Sketch oder in der elektrischen Schaltung. Eine mögliche Ursache für die Abweichung besteht darin, dass die Schaltung nicht ideal ist und Kontaktwiderstände auftreten, die im theoretischen Modell nicht berücksichtigt werden. Es ist ebenfalls denkbar, dass das momentan verwendete theoretische Modell nicht für die Beschreibung des Messsystems geeignet ist. Die Ursache muss jedoch noch tiefer gehend untersucht werden. Ein Ansatz besteht darin, ein anderes Modell zur theoretischen Beschreibung zu nutzen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen, um herauszufinden, ob die Abweichung noch immer auftritt. Beispielsweise könnte eine Simulationssoftware wie ANSYS oder SolidWorks zur Bestimmung des Spannungs- bzw. Dehnungszustands im Biegebalken eingesetzt werden.

Das neue Format hat gegenüber dem traditionellen Laborpraktikum für die Studierenden verschiedene Vorteile. Zum einen sind die Teilnehmenden bei der Durchführung nicht mehr örtlich

oder zeitlich gebunden. Ohne das Antestat und die Restriktion des Stundenplans, das Praktikum in den vorgegebenen drei Stunden zu absolvieren, entfällt viel Druck. Die strikte zeitliche Begrenzung ließ kaum Raum für Fehler, da beispielsweise für eine erneute Messwertaufnahme keine Zeit blieb. Im Take-Home Lab besteht ausreichend Gelegenheit, sich ausgiebig mit den Praktikumsinhalten zu beschäftigen und mit Praktikumpartner:in und Lerngruppe Inhalte, Vorgehensweisen und Ergebnisse zu diskutieren sowie Messungen zu wiederholen. Darin liegt jedoch auch ein Risiko des Formats. Dessen Offenheit lässt es zu, dass die angestrebte Bearbeitungszeit überschritten wird, wenn die Studierenden Fehler in Aufbau oder Umsetzung nicht finden und allein nicht weiterkommen. Da im Gegensatz zum Laborpraktikum keine kontinuierliche Betreuung angeboten wird, sollte bei der Gestaltung des Take-Home Labs mehr Zeit für Fehlersuche der Studierenden, darüber hinaus aber auch für die Selbstorganisation und die Strukturierung der Gruppenarbeit, eingeplant werden.

Zwar gibt es eine Konsultation als Betreuungsangebot, allerdings bietet diese erst dann den größten Mehrwert, wenn die Studierenden ihren Arbeitsprozess vorausschauend planen und auf diesen Termin abstimmen. Das Take-Home Lab fordert folglich andere Kompetenzen von den Studierenden als bisher. Ohne den festen Zeitrahmen müssen die Teilnehmenden ihren Arbeitsprozess eigenständig organisieren und das Zeitmanagement selbst bewältigen. In dem dreiwöchigen Bearbeitungszeitraum gibt es nur zwei feste Eckpunkte: die freiwillige Konsultation und die Abgabefrist. Wie sich die Studierenden die Arbeit einteilen, ist ihnen freigestellt und wird nicht überprüft. Somit ist dieses Format für Studierende mit hoher Selbstkompetenz und Selbstregulation deutlich einfacher zu bewältigen.

Die bisher genannten Herausforderungen, die das Format an die Studierenden stellt, heben gerade die Relevanz einer guten Betreuung hervor. Deren angemessene Gestaltung stellt für die Autor:innen die größte Herausforderung bei der Umsetzung des Take-Home Labs dar. Eine Schwierigkeit stellen die unterschiedlichen Bedarfe der Studierenden dar. Während einige gut mit der eigenständigen Arbeit zurechtkommen, benötigen andere eine regelmäßige Betreuung bzw. eine Ansprechperson, die bei Rückfragen zur Verfügung steht. Dies kann jedoch aufgrund der personellen Kapazitäten nicht umgesetzt werden. Deshalb besteht die zukünftige Aufgabe darin, herauszufinden, wie das bestehende Angebot gestaltet werden muss, dass es von den meisten Studierenden genutzt wird und wie es ihnen den größten Nutzen bringt. Es ist es möglich, dass die Studierenden in dieser Lehrveranstaltung zum ersten Mal mit einem solchen Format konfrontiert werden und deshalb unsicher bezüglich des Ablaufs und den Anforderungen sind. Um die Studierenden dazu zu bringen, sich wie gewünscht auf die Konsultation vorzubereiten und sie gegebenenfalls sogar aktiv mitzugestalten, wären klar kommunizierte Erwartungen hilfreich. Ferner sollte der Mehrwert der Konsultation hervorgehoben werden. Darüber hinaus könnte zu Semesterbeginn beispielhaft gezeigt werden, wie der Arbeitsprozess an einem Praktikum ablaufen kann und auf welche Aspekte bei der Zeitplanung besonders geachtet werden sollte, damit die Studierenden sich daran orientieren können.

5 Zusammenfassung

Die Überarbeitung des Laborpraktikums „Dehnungsmessung“ von einem traditionellen Vor-Ort-Format zu einem ortsunabhängigen Take-Home Lab wurde durch verschiedene Faktoren initiiert, darunter die Notwendigkeit während der Corona-Pandemie, das Praktikum unabhängig von den Laborräumlichkeiten anzubieten und den Studienfortschritt sicherzustellen. In diesem Beitrag ist

der Entwicklungsprozess des innovativen Praktikumsformats dokumentiert und der Einsatz bezüglich Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse bewertet.

Die Entscheidung für ein Take-Home Lab basierte darauf, dass dieses ortsunabhängig durchführbar ist, den Erwerb praktischer Fähigkeiten ermöglicht und für eine große Teilnehmendenzahl umsetzbar ist.

Die Struktur des umgestalteten Praktikums umfasst die frühzeitige Bereitstellung von Materialien und digitalen Ressourcen für die Studierenden sowie die Bildung von Lerngruppen zur Förderung des Austauschs und der Zusammenarbeit. Das Angebot von Konsultationen ermöglicht eine interaktive Diskussion individueller Fragen und Herausforderungen.

Die Aufgabenstellung des Praktikums wurde so konzipiert, dass sie den Ablauf eines Forschungsprozesses widerspiegelt und die Studierenden schrittweise anspruchsvollere Aufgaben lösen lässt.

Die Rückmeldung der Studierenden zum Take-Home Lab beinhaltete kritische Punkte wie die Unzuverlässigkeit der Messergebnisse und den höheren Zeitaufwand für die Bearbeitung. Um diese Probleme zu verstehen, wurden umfassende Messungen durchgeführt und analysiert, um mögliche Verbesserungen zu identifizieren.

Insgesamt zeigte sich, dass das im Take-Home Lab verwendete Messsystem deutlich komplexer, aber auch flexibler ist als das des Laborpraktikums, wobei die Flexibilität jedoch zu Lasten der Stabilität geht. Es konnte gezeigt werden, dass der verwendete Versuchsaufbau funktioniert und reproduzierbare Ergebnisse liefert, allerdings nur, wenn bekannt ist, dass das System sensibel auf Umgebungseinflüsse reagiert und dies bei der Versuchsdurchführung berücksichtigt wird. Dies erfordert ein tiefgehendes Verständnis der verwendeten Sensoren und deren Sensibilität gegenüber Umwelteinflüssen, das den Studierenden gegebenenfalls noch fehlt.

Dieses Problem kann durch die Gestaltung der Aufgabenstellung gelöst werden, indem diese so gewählt wird, dass die Studierenden z. B. schrittweise Einflussfaktoren kennenlernen und eigenständig Lösungen bzgl. Versuchsaufbau und -durchführung entwickeln. Diese können in der nächsten Aufgabe angewendet werden, sodass der Erfolg direkt sichtbar ist. Bei der Überarbeitung der Aufgabenstellung sollte außerdem berücksichtigt werden, dass die Studierenden momentan fast das Doppelte der vorgesehenen Zeit für das Praktikum benötigen und deshalb der Arbeitsumfang reduziert werden sollte.

Das Take-Home Lab hat mehrere Vorteile für Studierende im Vergleich zum traditionellen Laborpraktikum. Die räumliche und zeitliche Flexibilität ermöglicht es den Teilnehmenden, ohne Druck und limitierenden Zeitrahmen zu arbeiten. Dies eröffnet ausreichend Gelegenheit, sich ausgiebig mit den Praktikumsinhalten auseinanderzusetzen und mit Praktikumpartnern zu diskutieren. Allerdings besteht das Risiko, dass die offene Struktur dazu führt, dass Studierende die vorgegebene Bearbeitungszeit überschreiten, insbesondere wenn sie Schwierigkeiten haben und keine unmittelbare Antwort auf Rückfragen erhalten. Das Format erfordert daher, dass Studierende eigenständig ihren Arbeitsprozess organisieren und das Zeitmanagement selbstständig bewältigen. Diese Herausforderungen betonen die Relevanz einer effektiven Betreuung, wobei unterschiedliche Bedarfe der Studierenden berücksichtigt werden müssen. Eine klare Kommunikation der Erwartungen und des Mehrwerts der Konsultation könnten dabei helfen, das Format besser zu nutzen und Unsicherheiten zu minimieren.

Take-Home Labs sind ein vielversprechender Ansatz für die Flexibilisierung von Laborpraktika. Die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse bieten wertvolle Einblicke in die Herausforderungen und Chancen des innovativen Lehransatzes. Dieser Beitrag soll Lehrende dazu ermutigen, ähnliche Konzepte in ihren Fachbereichen zu adaptieren und weiterzuentwickeln.

6 Literatur

- Abrams, D., & Schadschneider, A. (2023). Einsatz von Reading Logs in Inverted Classroom Veranstaltungen. *Lessons Learned*, 3(1).
- Durfee, W., Li, P. & Waletzko, D. (2004). Take-home lab kits for system dynamics and controls courses. In *Proceedings of the 2004 American Control Conference ACC*. June 30–July 2, 2004, Boston Sheraton Hotel, Boston, Massachusetts (1319–1322 vol. 2). Evanston, Ill: American Automatic Control Council.
- Haller, K. (1999). Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum. Berlin: Logos-Verlag.
- Klinger, T. & Madritsch, C. (2016). Use of virtual and pocket labs in education (Demo). In *Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. Date and venue: 24–26 February 2016 in Madrid, Spain, S. 267–268.
- May, D.; Terkowsky, C.; Haertel, T. & Pleul, C. (2013). The laboratory in your hand. Making remote laboratories accessible through mobile devices. In *2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2013)*. Berlin, Germany, 13–15 March 2013, S. 335–344.
- May, D. (2020). Cross Reality Spaces in Engineering Education – Online Laboratories for Supporting International Student Collaboration in Merging Realities. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)* 16 (03), 4. doi:10.3991/ijoe.v16i03.12849.
- Sacher, M. D. & Bauer, A. B. (2020). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In *Labore in der Hochschullehre – Didaktik, Digitalisierung, Organisation.*, S. 51-66.
- 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*. Acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Terkowsky, C. (2022). Labordidaktik in the making. Erforschung eines Desiderats der ingenieurwissenschaftlichen Hochschullehre. Dortmund: Technische Universität Dortmund.
- Terkowsky, C., May, D. & Frye, S. (2020). Forschendes Lernen im Labor: Labordidaktische Ansätze zwischen Hands-on und Cross-Reality. In *Labore in der Hochschullehre – Didaktik, Digitalisierung, Organisation.*, S. 13-34.
- Welzel, M. & Haller, K. et al. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *ZfDN* 4 (1). S. 29–44.
- Westphal, W. H. (1938). *Physikalisches Praktikum*. Braunschweig.

7 Anhang

7.1 Komponenten Herstellung Biegebalken

Tab. 1: Auflistung der Komponenten und ihrer Kosten, die für das Take-Home Lab benötigt werden.

Posten	Stück/Länge/Menge	Zeit [h]	Stundenlohn [€]	Kosten (gesamt) [€]
Blechstreifen	1			8,56
Pins	11			0,05
Schrumpfschlauch				
1,6 mm	10			0,10
4,8 mm	5			0,05
6,4 mm	1			0,01
9,5 mm	1			0,01
Lötzinn	5 g			0,26
Kabel	40 cm			0,38
Lötstützstellen (Paar)	5			3,25
Kabelbinder	1			0,03
Dehnungsmessstreifen	4			7,00
Schnellklebstoff	1			0,46
Kleber (DMS)	2 g			0,05
Polyurethanlack	1			0,71
Reinigungsset	1			1,05
Zugentlastung	1			0,26
Kosten Material Biegebalken				22,23
Fertigung Kabel		0,5	30,00	15,00
Kleben DMS		0,5	30,00	15,00
Kosten Fertigung Biegebalken				30,00
Arduino	1			5,80
Breadboard	1			1,60
Verstärker (A/D-Wandler)	1			1,33
Schraubzwinge	1			3,60
Widerstände	3			0,01
Jumper-Kabel (M2M)	10			1,89
Summe				64,57

7.2 Arduino-Sketch für das Take-Home Lab „Dehnungsmessung“

```

/*****
/* Name: Praktikum Dehnungsmessung */
/* Version: 26.10.2022 */
*****/

/*****
/* Importierte Bibliotheken */
/* Fehlende Bibliotheken bitte nachinstallieren über: */
/* Menu > Werkzeuge > Bibliotheken verwalten > */
/* "HX711 Arduino Library" von Bogdan Necula */
*****/
#include "HX711.h"

/*****
/* Pins festlegen */
*****/
const byte hx711_data_pin = A2;
const byte hx711_clock_pin = A3;
const int analogPin4 = A4;
const int analogPin5 = A5;
const float U_in = 5; // Speisespannung des Arduinos
const byte gain = 128;
float U_d;
float m; // Empfindlichkeit des Verstärkers [mV/digit]
long digit;
float Time;

/*****
/* Initialisieren des Messverstärkers */
*****/
HX711 hx711;

/*****
/* Initialisierung des Arduino-Programms */
*****/
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Mess- und Automatisierungstechnik");
  Serial.println("Praktikum Dehnungsmessung");
  Serial.println();
  Serial.print("Zeit \t");
  Serial.print("U_0 [V] \t"); // Versorgungsspannung der WB
  Serial.print("HX711_out [digit] \t"); // Wert des Messverstärkers
  Serial.print("U_d [mV] \t"); // Ausgabewert umgerechnet in mV
  Serial.println();
  hx711.begin(hx711_data_pin, hx711_clock_pin, gain);
}

/*****

```

```

/* Schleife des Arduino-Programms */
/*****/
void loop() {
    digit = hx711.read(); // Verstärker auslesen

    // aktuelle Versorgungsspannung auslesen
    float U_0 = (analogRead(analogPin4) - analogRead(analogPin5))*U_in/1023;

    // Koeff. zur Bestimmung des linearen Zusammenhangs zw. digit und mV
    m = U_0/gain/pow(2, 24);

    U_d = (digit * m) * pow(10, 3); // Umrechnung von digit in mV
    Time = millis();

    Serial.print((Time/1000),3); Serial.print("\t"); //Zeit ab Programmstart
    Serial.print(U_0); Serial.print("\t"); // Versorgungssp. in V
    Serial.print(digit,DEC); Serial.print("\t"); // HX711 in digit
    Serial.print(U_d,10); Serial.print("\t"); // Diagonalsp. in mV
    Serial.println();
    delay(500);
}
/*****/

```

CAROLINE WERMANN

Technische Universität Dresden, Institut für Mechatronischen Maschinenbau, Professur für Magnetofluidodynamik, Mess- und Automatisierungstechnik
 George-Bähr-Straße 3, 01069 Dresden
caroline.wermann@tu-dresden.de

PROF. RER. NAT. HABIL STEFAN ODENBACH

Technische Universität Dresden, Institut für Mechatronischen Maschinenbau, Professur für Magnetofluidodynamik, Mess- und Automatisierungstechnik
 George-Bähr-Straße 3, 01069 Dresden
stefan.odenbach@tu-dresden.de

Zitieren dieses Beitrags:

Wermann, C., Odenbach, S. (2024). Eine flexible Alternative zu Laborpraktika – das Praktikum „Dehnungsmessung“ als Take-Home Lab. Journal of Technical Education (JOTED), 12(2), 63–80.