



Praktikum ohne Präsenz - geht das?

S. Odenbach, J. Morich, L. Selzer

*Magnetofluidynamik, Mess- und Automatisierungstechnik, Institut für Mechatronischen Maschinenbau,
Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden*

Abstract

Praktika stellen eine zentrale Komponente der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung dar. Im Rahmen von Präsenz-Veranstaltungen werden derartige Praktika in Vorlesungen mit großen Hörerzahlen in der Regel in dicht besetzten Praktikumsräumen mit Gruppen von deutlich über 10 Studierenden durchgeführt, um überhaupt die Verteilung der Praktikumsversuche über das Semester gewährleisten zu können. Unter Pandemie-Bedingungen waren diese Präsenzpraktika nicht mehr durchführbar, wodurch entweder die Möglichkeit bestand, (i) die Praktika ausfallen zu lassen, (ii) sie als Computer- oder Vorführversuche im Videostream zu gestalten oder (iii) neue Konzepte zu suchen, mit denen reales Experimentieren zu Hause möglich werden kann. Da der Ausfall zu signifikanten Störungen des Studienablaufs geführt hätte und reine Computerversuche einer experimentellen Ausbildung geschadet hätten, wurde am Lehrstuhl f. Magnetofluidynamik, Mess- und Automatisierungstechnik der TU Dresden eine Praktikum@home-Struktur entwickelt, die sowohl die erforderlichen Lehrinhalte transportiert als auch experimentelles Arbeiten ermöglicht. Die entwickelten Konzepte und die damit gemachten Erfahrungen sind Gegenstand dieses Beitrags.

Practical courses are a central component of engineering education. In the context of face-to-face courses, such practicals in lectures with large numbers of students are usually carried out in densely occupied practical rooms with groups of well over 10 students, in order to be able to guarantee the distribution of the practicals over the semester at all. Under pandemic conditions, these face-to-face practicals were no longer feasible, which meant that there was either the possibility of (i) cancelling the practicals, (ii) designing them as computer or demonstration experiments in the video stream, or (iii) looking for new concepts with which real experimentation at home could become possible. Since the failure would have led to significant disruptions in the course of studies and pure computer experiments would have been detrimental to experimental training, a Praktikum@home structure was developed at the Chair of Magnetofluidynamics, Measurement and Automation Technology at the TU Dresden, which both transports the required teaching content and enables experimental work. The concepts developed and the experiences made with them are the subject of this article.

*Corresponding author: stefan.odenbach@tu-dresden.de

1. Praktikum im Kontext des Gesamtlehrkonzepts

Praktika stellen gerade im ingenieurwissenschaftlichen Studium, aber auch in vielen naturwissenschaftlichen Studiengängen, eine zentrale Komponente der Ausbildung dar. Sie schaffen durch die Arbeit an real existierenden Anlagen einen Bezug zwischen den oft sehr theoretischen Vorlesungsinhalten und der realen Arbeits- und Lebensbedingungen. Gleichzeitig nimmt in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen die Zahl der angebotenen Praktika gerade in den Grundlagenfächern mit großen Hörerzahlen aufgrund der immensen personellen, zeitlichen und räumlichen Anforderungen immer weiter ab.

Bei der Betrachtung von Praktika muss – gerade vor dem Hintergrund der Covid19-Pandemiesituation, die seit dem Sommersemester 2020 die Lehrtätigkeit an den Universitäten massiv beeinträchtigt, zwischen Praktika im Rahmen von Spezialvorlesungen und solchen im Rahmen von Grundvorlesungen grundsätzlich unterschieden werden. Praktika für Spezialvorlesungen mit niedrigen Hörerzahlen von bis zu 50 Studierenden können auch bei Kontaktbeschränkungen mit erhöhtem Personal- und Zeitaufwand durchaus auch in Präsenz durchgeführt werden.

Hingegen ist diese Möglichkeit bei Praktika für Grundvorlesungen mit mehreren hundert Hörern eigentlich von vornherein ausgeschlossen. Nichtsdestoweniger sind gerade in diesen Fächern die Praktika eine essentielle Komponente, die neben dem Fachwissen auch die Begeisterung für das entsprechende Fach und damit die Motivation zu einer intensiven Beschäftigung mit den Inhalten bereitstellen muss. Der Motivationsaspekt war dabei unter den Bedingungen von Pandemie und Lockdown schon im Sommersemester 2020 ein ganz wesentlicher Aspekt, dessen Bedeutung mit zunehmender Dauer der Beschränkungen im akademischen Lehrbetrieb immer weiter wächst.

Bei allen Betrachtungen zur Durchführung von Praktika in der Pandemie-Situation musste zudem immer berücksichtigt werden, dass eine Streichung von curricular verankerten Praktika

nicht möglich ist und eine Verschiebung in spätere Semester zu extremen Mehrbelastungen der Studierenden führen würde.

2. Die Lehrveranstaltung

Die Lehrveranstaltung, Mess- und Automatisierungstechnik (MAT) ist ein zweisemestriges Modul mit Beginn im Wintersemester. Sie setzt sich zusammen aus 2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung und 1 SWS Praktikum.

Die Veranstaltung wurde im Sommersemester 2020 mit 450 Teilnehmenden durchgeführt. Ab dem Wintersemester 2020/21 sind es durch eine Veränderung der Studien- und Prüfungsordnung je Semester rund 600 Studierende.

Unter den Bedingungen der Corona Pandemie wurde die Vorlesung als YouTube Livestream zur Verfügung gestellt [1], da für die große Hörerzahl andere Streamingstrukturen nicht die notwendige Stabilität aufwiesen und gleichzeitig nur bei einer Live-Veranstaltung eine, wenn auch begrenzte, Interaktion zwischen Studierenden und Lehrenden möglich ist. Darüber hinaus bieten Livestream bei YouTube den Vorteil, dass direkt nach der Veranstaltung eine asynchrone Form der Lehrveranstaltung zur Verfügung steht, was unter den Bedingungen des Lockdowns unverzichtbar war. Dabei sind die Aufzeichnungen bei YouTube zudem datenschutzrechtlich vergleichsweise gut umsetzbar, da durch das Ausblenden des Live-Chats, über den während der Vorlesung die Interaktion mit den Studierenden erfolgt, keine Rückschlüsse auf die anwesenden Studierenden getroffen werden können.

Für die Übungen wurden Matrixräume und in einzelnen Fällen ZOOM-Meetings eingesetzt.

Die größte Problematik für die Umsetzung der Veranstaltung stellen offensichtlich die Praktika dar. Vom Konzept her ist die Veranstaltung hier so ausgelegt, dass pro Semester drei Versuche in Präsenz durchgeführt werden.

Im Sommersemester 2020 bestand der Vorteil, dass die Studierenden im Wintersemester bereits an der ersten Veranstaltungsgruppe zur Mess- und Automatisierungstechnik teilgenommen hatten und damit mit dem Lehrkonzept und den handelnden Personen vertraut

waren. Dieser Vorteil entfiel mit dem Wintersemester 2020/21, weil hier eine neue Kohorte mit dem Modul begann.

Den Abschluss des Semesters stellt eine schriftliche Prüfung dar, die seit dem Sommersemester 2020 in digitaler Form über das Onlineprüfung Tool der BPS OpalExam durchgeführt wird. Erfahrungen mit der Erstellung und Durchführung der Onlineprüfungen werden an anderer Stelle berichtet [2].



Abb. 1: Typische Anordnung für einen Präsenzpraktikumsversuch (hier Messdynamik) für 16 Teilnehmer und einen Betreuer.

In normalen Präsenzsemestern werden die Praktikumsversuche in Gruppen von 16 Studierenden, die in Zweiergruppen an acht Versuchständen das Praktikum mit einem Betreuer durchführen, umgesetzt. Dabei sind die Praktikumsversuche auf Flächen in der Größenordnung von 25 m² für die entsprechenden 16 Teilnehmer und den zugehörigen Betreuer untergebracht (siehe Abb. 1). Nimmt man die Abstandsregeln, die die Universitätsleitung seit dem Sommersemester 2020 zumindest bis einschließlich Sommersemester

2021 festgelegt hat, so bedeutet dies, dass die Praktika je nach räumlicher Anordnung mit drei, maximal vier Teilnehmern durchgeführt werden könnten. Bei einer Gesamtzahl von rund 110 Praktikumseinheiten, die pro Semester für 600 Studierende eines Jahrgangs durchgeführt werden müssen, stellt dies eine enorme Zusatzbelastung an personellen und räumlichen Ressourcen dar. Hierdurch entsteht ein bis zu fünffacher Aufwand an Betreuungsleistung

Damit musste bereits im Sommersemester 2020 eine umfangreiche Neukonzipierung des Praktikumsbetriebs vorgenommen werden, die dann – mit Blick auf das komplett digitale Studienjahr 2020/2021 signifikant ausgebaut werden musste.

Mit Blick auf einen späteren Vergleich zwischen Präsenzpraktika und Praktika mit einem hohen Anteil digitaler Komponenten sei an dieser Stelle auch auf die durchaus bekannten Probleme in den Präsenzpraktika hingewiesen. Hierzu gehört in erster Linie die Tatsache, dass nur sehr begrenzte Präsenzzeit zur Verfügung steht. In dieser kurzen Zeit müssen sich die Studierenden in das Praktikum einarbeiten, die einzelnen Versuche durchführen und sie auswerten. Da die Vorbereitung in der Regel über schriftliche Praktikumsanleitungen erfolgt, führt dies dazu, dass der effektive Lernerfolg derartiger Praktika in der Regel kaum den technischen und personellen Aufwand rechtfertigt, der mit der Erstellung und Durchführung der Praktika verbunden ist. Nur die Studierenden, die sich mit entsprechend hohem Aufwand auf das Praktikum vorbereitet haben, werden einen echten inhaltlichen Nutzen aus der Durchführung des Praktikums ziehen. Dies ist seit vielen Jahren ein Problem im Rahmen der Durchführung der Praktika, mit dem wir uns beschäftigt haben, für das wir aber keine Lösung finden konnten, da die Motivation der Studierenden zum Selbststudium oft sehr gering ist.

3. Ausgangslage im Sommersemester 2020

Durch die Corona-Krise und den mit ihr verbundenen Lockdown war es im Frühjahr 2020 lange Zeit nicht klar, ob und in welchem Maße Lehrveranstaltungen in Präsenz möglich sein

würden. Für das Praktikum in der MAT bedeutete dies, dass mit fortschreitender Zeit das zur Verfügung stehende Zeitfenster für die Durchführung der Praktikumsversuche immer kleiner wurde, sodass noch vor den Entscheidungen der Universitätsleitung zur Durchführung von Präsenzlehre klar war, dass selbst unter normaler Vollbesetzung der Praktikumsräume eine Durchführung der Versuche für alle Studierenden rein zeitlich nicht mehr möglich sein würde.

Da die MAT ein zweisemestriges im Wintersemester startendes Modul ist, hatten die Studierenden, die im Sommersemester für den Kurs eingetragen waren, im Wintersemester bereits drei Versuche in Präsenz durchgeführt. Das reduzierte automatisch die Auswahl an Experimenten, die für ein digitales Praktikum einsetzbar und an den Stoff der Veranstaltung angepasst sein konnten.

Im Regelfall, d. h. in Semestern mit Präsenzlehre, sind für das Sommersemester drei Versuche vorgesehen:

Ein Versuch zur **Messdynamik**, einer zum **Regelkreis** und ein dritter zur **speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS)**.

Der Versuch **Messdynamik** befasst sich mit der Beeinflussung von Signalen durch Übertragungsglieder mit Zeitverzögerung sowie mit der Umsetzung analoger Signale in digitalen Messsystemen. Dabei sollen Fragen der formgetreuen Abbildung von Signalen ebenso praktisch erlebt werden wie die Auswirkung des Abtasttheorems auf digital erfasste Signale. Der Versuch für die Präsenzlehre besteht dabei aus einem Funktionsgenerator, einer Elektronik, die ein zeitabhängiges Verhalten des Übertragungsglieds darstellt, sowie einer Oszilloskopkarte in einem Computer, die Eingang- und Ausgangssignal aufnimmt und über eine entsprechende Software für die Auswertung zur Verfügung stellt.

Der Versuch **Regelkreis** besteht aus einem Hochbehälter, der über eine Tauchpumpe mit Wasser gefüllt wird, wobei über einen externen elektronischen Regler die Pumpe so angesteuert werden soll, dass der Wasserstand, der über einen Drucksensor am Boden des Hochbehälters bestimmt und auf einem gegebenen Sollwert gehalten werden kann. Die Aufgabe

besteht darin, Regler und Strecke zu charakterisieren und die Regelaufgabe als solche praktisch umzusetzen.

Der **SPS-Versuch** gehört zu den mit Abstand beliebtesten Versuchen im Praktikum der MAT, da hier mithilfe einer Siemens SPS eine große Eisenbahnanlage, die mit vielen Weichen, Reed-Kontakten zur Bestimmung der Position des Zugs und regelbaren Transformatoren zur Einstellung der Geschwindigkeit ausgestattet ist, für bestimmte Fahraufgaben zu programmieren ist. Hierzu fertigen die Studierenden an zur Verfügung stehenden Rechnern die Programme für die SPS an, welche dann in der Auswertung des Versuchs mit dem Betreuer des Praktikums auf die SPS aufgespielt werden, worauf hin die Bewegung des Zugs auf der Anlage beobachtet werden kann, was mögliche Fehler direkt optisch sichtbar macht.

4. Die Lage zum Wintersemester 2020/21

Auch im Wintersemester 2020/21 konnten keine Präsenzpraktika durchgeführt werden, da die Zahl der Studierenden im Wintersemester auf 600 gestiegen war und die räumlichen Beschränkungen zusammen mit den Abstandsregeln, den zur Verfügung stehenden Praktikumszeiten und dem verfügbaren Personal eine Präsenzdurchführung unmöglich machten.

Da durch die Verkürzung der Semesterdauer um zwei Wochen sowieso eine grundsätzliche Umgestaltung der Vorlesung erforderlich war, wurde diese Umgestaltung gezielt mit Blick auf das Praktikum realisiert. Dabei wurden zwei Versuche, die im Sommersemester als Heimpraktika zur Verfügung gestellt worden waren, in das Wintersemester übernommen. Der Heimversuch zur digitalen Bildverarbeitung und der Computerversuch zur Messdynamik ließen sich inhaltlich und thematisch gut in den Vorlesungsablauf einbinden und durch entsprechende Strukturierung der Vorlesung konnte dafür gesorgt werden, dass im Gegensatz zu den üblichen Präsenzpraktika der notwendige Vorlesungsstoff vor der Durchführung der Praktika vermittelt worden war.

Als dritter Versuch wurde ein neues Heimexperiment zur **Versuchsplanung und Fehler-**

rechnung ins Programm aufgenommen. Dabei geht es um die grundsätzlich einfache und bereits aus dem Physikpraktikum zu Beginn des Studiums bekannte Problematik der Bestimmung der Erdbeschleunigung aus der Schwingungsdauer eines Pendels. Dies ist ein grundsätzlich von der dahinterstehenden Theorie einfacher Versuch, bei dessen Aufbau und Durchführung die Tücke aber im Detail liegt.

5. Umsetzungsmöglichkeiten im Rahmen digitaler Semester

Für die Umsetzung der Versuche als präsenzfreies Praktikum waren zwei grundlegende Vorbedingungen angesetzt: Einerseits sollte unter keinen Umständen ein rein digitales Praktikum entstehen, da das Experimentieren eine maßgebliche Komponente der praktischen Ausbildung darstellt und darstellen muss. Die zweite Vorbedingung zielte von vorneherein darauf, die zu erwartenden Motivationsverluste der Studierenden in einem Online Semester und bei massiv reduzierten Kontaktmöglichkeiten zu bekämpfen. In einen kurzen Satz gefasst hieß das – das Praktikum muss Spaß machen!

Der Versuch **Messdynamik** ist offensichtlich ohne ernstzunehmende Abstriche digital umsetzbar. Hierzu musste ein Programm entwickelt werden, das es erlaubt, ein zeitabhängiges Eingangssignal zu generieren, dieses über die bekannten Antwortfunktionen zeitabhängiger Übertragungsglieder zu modifizieren und in einer Grafik auszugeben (Abb.2). Die Programmentwicklung erfolgte unter Python und den Studierenden wurde eine ausführbare Datei je nach Betriebssystem zur Verfügung gestellt, die beim Start eine „Laborplatz-Nummer“ erzeugt, womit alle Studierenden unterschiedliche Parameter in der Software eingestellt bekommen, wodurch die Ergebnisse von Kommilitonen nicht einfach übernommen werden können.

Gedanklich ist eine derartige programmtechnische Lösung einfach umsetzbar. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Realisierung in einem Programm, das auf unterschiedlichsten Betriebssystemen stabil einsetzbar ist, eine außerordentlich komplexe Herausforderung darstellen kann. Programmierung und Testung des Praktikumsprogramms unter

Windows, Linux und IOS sind dabei Aufgaben, die außerordentlich viel Zeit erforderten, so dass dieser Versuch erst ganz am Ende des Sommersemesters zum Einsatz kommen konnte.

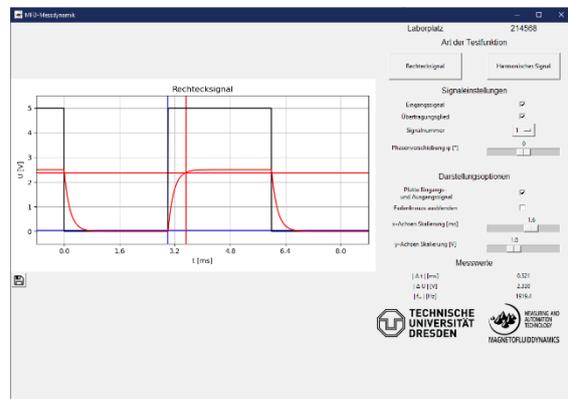


Abb. 2: Programmoberfläche des Versuchs Messdynamik mit Eingangs- und Ausgangssignal und Messdatenanzeige.

Der Versuch **Regelkreis**, der schon im Präsenzpraktikum den Studierenden die größten Probleme bereitet, wäre im Prinzip auch durch eine programmtechnische Lösung umsetzbar. Allerdings erwies sich eine entsprechende Programmierung für die zur Verfügung stehende Zeit als zu komplex, sodass auf diese Versuchsthematik im Sommersemester 2020 verzichtet werden musste.

Der Versuch zur **SPS** hingegen ist relativ gut in einer digitalen Variante umsetzbar, da die Studierenden das entsprechende Programm auch an ihrem eigenen Computer erstellen können. Die Notwendigkeit ist außerdem dadurch gegeben, da die lizenzierte Entwicklungsumgebung für die SPS nicht in derartigem Umfang für die Studenten zur Verfügung gestellt werden kann.

Um die für das Siemens-Entwicklungsumgebung Step7 typische automatische Einfügung von Variablennamen in den Programmcode möglich zu machen kam der als Freeware verfügbare Texteditor Atom zum Einsatz, in dem ein Text-File mit den Variablennamen integriert werden kann, woraufhin diese als Autovervollständigung zur Verfügung stehen. Die Herausforderung bestand dann darin, die fahrende Eisenbahn für die Studierenden sichtbar zu machen und damit einen wesentlichen Motivationsaspekt beizubehalten. Hierzu wurden

multiple Kameras an die Eisenbahnanlage montiert, mit denen im Rahmen einer GoTo-Meeting Sitzung das Fahren des Zugs beobachtet werden konnte (Abb. 3).



Abb. 3: Kameraaufnahme der Eisenbahnanlage im Versuch SPS zur Beobachtung der Zugfahrt.

Damit fehlte für die vollständige Umsetzung des Praktikums im Sommersemester ein Versuch. Hierzu wurde ein Thema aus der MAT1-Vorlesung – die Charakterisierung einer Kamera hinsichtlich ihrer Auflösung, d. h. die Bestimmung der Modulations-Transferfunktion, hinzugezogen, der als echter Heimversuch umgesetzt werden konnte. Dieser Versuch (**Digitale Bildverarbeitung**) kann ohne Beeinträchtigung des Lerneffekts mit jeder beliebigen Kamera durchgeführt werden. Damit ist von vornherein sichergestellt, dass jeder Studierende den Versuch durchführen kann. Egal ob die Kamera des Handys, eines Tablets oder Laptops, eine Webcam oder eine aufwändige Spiegelreflexkamera zum Einsatz kommt - die Versuchsschritte sind die Gleichen. Die Fragen der Interpretation des Ergebnisses lassen sich auch in identischer Weise bearbeiten. Als zusätzliche erforderliche Komponente ist nur eine Rasierklinge oder, wenn eine solche nicht

vorhanden ist, eine gerade Kante, wie man sie typischerweise am Küchenmesser findet, erforderlich. Damit kann ein realer experimenteller Heimversuch durchgeführt werden.

Der für das Wintersemester zusätzlich entwickelte Versuch **Versuchsplanung und Fehlerrechnung** erfordert für eine präzise Bestimmung der Erdbeschleunigung eine ausgesprochen detaillierte Versuchsplanung.

Dies kann leicht an einem Beispiel gesehen werden, das mit erheblichem Aufwand an der Professur für Magnetofluidynamik Mess- und Automatisierungstechnik durchgeführt wurde.

Ein großes mathematisches Pendel mit 11,83 m Pendellänge wurde im Treppenhaus des Mollier-Baus installiert (Abb. 4), die Schwingungsdauer mittels digitaler Bildverarbeitung bestimmt und es wurden alle wesentlichen und erkennbaren Voraussetzungen für die Verwendung der Theorie für ein mathematisches Pendel erfüllt.



Abb. 4: Versuchsaufbau „Pendel“ im Treppenhaus des Mollier-Baus

Insbesondere wurde eine Pendelschnur aus Zahnseide verwendet, deren Masse im Vergleich zur Masse des Pendelkörpers vernachlässigbar war. Bei der Auswertung dieses Versuchs ergab sich eine Schwerebeschleunigung

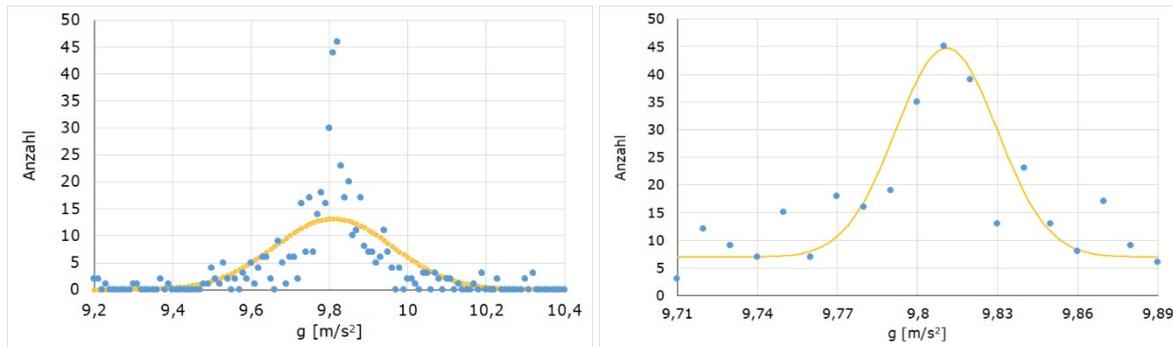


Abb. 5: (a) Gesamtverteilung der im Praktikum erzielten Daten und (b) Gauß-verteilte Daten rund um den Erwartungswert.

von $(9,818 \pm 0,012) \text{ m/s}^2$ und damit eine Abweichung von 0,06 % von dem von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) für Dresden gegebenen Wert [8] von $9,81168 \text{ m/s}^2$. Auf diese Abweichung wird später noch zurückgekommen.

In Summe wurden im Praktikum gut 500 Werte für die Erdbeschleunigung bestimmt. Abb. 5 zeigt die erzielte Werteverteilung. Der Mittelwert beträgt $(9,81085 \pm 0,0068) \text{ m/s}^2$ (dass hier mehr Stellen angegeben werden als bei dem gegebenen Fehler üblich ist dem Vergleich mit dem PTB-Wert geschuldet) und weicht damit nur 0,008% von dem von der PTB gegebenen Wert ab.

Dass diese Abweichung deutlich geringer ist als die des vorgenannten Pendelversuchs im Mollier-Bau hängt mit der Tatsache zusammen, dass die Zahnseide die als Pendelseil zum Einsatz kam, geringfügig flexibel ist. Diese Dehnung bewirkt eine Veränderung der Pendellänge in den Umkehrpunkten, was wiederum zu Abweichungen in der Schwingungsdauer führt, die ihrerseits zu einer, wenn auch geringen, Fehlbestimmung der Erdbeschleunigung Anlass geben.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Versuchsplanung für das Messergebnis an dieser Stelle von zentraler Bedeutung ist.

Die Tatsache, dass sich in der in Abb. 5a gezeigten Verteilung eine Abweichung von der normalen Gaußverteilung ergibt, liegt daran, dass wir hier die Gesamtverteilung betrachten. Betrachtet man in Abb. 5b nur die Daten, die nahe dem erwarteten Wert für die Erdbeschleunigung liegen, also jene, die nur durch zufällige Fehler von diesem Wert abweichen, so zeigt sich bei insgesamt gut 320 Werten eine

hervorragende Gaußverteilung. Durch die Nachbesprechung des Versuchs mit den Studierenden in der Vorlesung konnte damit die Tatsache, dass zufällig fehlerbehaftete Messwerte gaußverteilt sind, weit jenseits der normalen theoretischen Besprechung dieses Vorlesungsinhalts am praktischen Beispiel belegt und damit für das weitere Verständnis bei den Studierenden wesentlich besser besetzt werden.

6. Gesamtumsetzung

Für die Gesamtumsetzung des digitalen Praktikums mussten zunächst die Praktikumsanleitungen auf die modifizierten Versuche für den Heimbetrieb umgestellt werden.

Als Ersatz für die typischerweise vom Praktikumsbetreuer vorgenommene Einführung in das Praktikum wurden für jeden Versuch Einführungsvideos erstellt, in denen im Detail alle Schritte des Praktikums mit konkreten Durchführungshinweisen erläutert wurden [4-7]. Diese Videos wurden, wie auch die Vorlesungsvideos, bei YouTube zur Verfügung gestellt.

Die Praktikumsanleitungen, die für die Versuche Messdynamik und SPS erforderlichen Programme sowie vorgefertigte Protokollbögen wurden auf der Lernplattform Opal in den jeweiligen MAT-Kursen zur Verfügung gestellt.

Ab dem Start standen für jeden Versuch drei Wochen für die Bearbeitung zur Verfügung. Nach ca. 1-1,5 Wochen wurden für Gruppen von ca. 60 Studierenden Chat Räume für Echtzeitkommunikation geöffnet, in denen in Konsultationen Fragen zum Versuch gestellt werden konnten. Diese Räume können an der TU Dresden über das Tool **Matrix** erstellt werden

[9], Danach standen entsprechend weitere 1,5-2 Wochen für die abschließende Bearbeitung zur Verfügung.

Die entstandenen Protokolle der Praktikumsversuche mussten von den Studierenden im Opal-Kurs in Ordnern, die nach Studienrichtungen sortiert waren, hochgeladen werden.

In den Einführungs-Videos wurde explizit darauf hingewiesen, dass es sinnvoll ist, im Rahmen des Praktikums in Gruppen zusammenzuarbeiten. Auch wenn diese Gruppen durch die Kontaktbeschränkungen im Sommer- wie im Wintersemester im Wesentlichen nur digital konferieren konnten, konnte festgestellt werden, dass sich die Studierenden auch wirklich gezielt in Gruppen zusammengefunden hatten, um die entsprechenden Versuche zu bearbeiten.

Dabei war ein Download der Protokolle durch die Studierenden nicht möglich, sodass kein beliebiger unautorisierter Austausch von Protokollen erfolgen konnte.

Nach dem Upload der Protokolle konnte die Auswertung und Notenvergabe vergleichsweise zügig erfolgen, da in den Protokollbögen gezielt die Fragen beantwortet werden mussten und dann entsprechend Punkte vergeben werden konnten, die über ein Excel-Sheet registriert und in die Praktikumsnoten umgerechnet werden konnten. Für die Notenberechnung wurde der Standardnotenspiegel Messung Automatisierungstechnik eingesetzt.

7. Erfahrungen mit dem digitalen Praktikum

Die erste Erfahrung mit dem digitalen Praktikum war, dass wir eine quasi 100%ige Beteiligung der Studierenden an den Versuchen feststellen konnten.

Darüber hinaus war festzustellen, dass die Studierenden außerordentlich gut vorbereitet in die Konsultationen in den Matrixräumen gekommen sind. Es zeigte sich, dass nach den 1-1,5 Wochen, die bis zu den Konsultationen zur Verfügung standen, bereits intensiv an den Versuchen gearbeitet worden war, so dass sehr zielgerichtet Fragen gestellt werden konnten. In der Betrachtung der Resultate der Praktikumsversuche setzte sich dieser ausgesprochen positive Trend fort. Es zeigte sich, dass

die erbrachten Leistungen zu erheblichen Teilen weit über die geforderten Aufgaben hinausgingen.

Um zwei Beispiele zu nennen: Im Sommersemester war im Versuch für die Charakterisierung digitaler Kameras die Erstellung von zwei Modulations-Transferfunktionen und deren Vergleich gefordert. In den wenigsten Protokollen waren nur zwei entsprechende Modulations-Transferfunktionen aufgenommen worden. Die meisten Studierenden hatten eine Vielzahl von Parametern verändert, die entsprechenden Modulations-Transferfunktionen bestimmt und im Anschluss ausgesprochen umfangreiche Diskussionen der Ergebnisse niedergeschrieben. Diese Auswertungen zeigten oftmals durchaus tiefgreifendes Verständnis der entsprechenden Aufgabenstellung und ihrer Kernprobleme.



Abb. 4: 2 Studierende im leeren Studentenwohnheim bei der Durchführung des Versuchs zur Kamera-Charakterisierung. [10]

Im Wintersemester zeigte sich ein ähnlicher Trend z.B. beim Versuch zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. Hier konnte beobachtet werden, dass die Studierenden mit zum Teil erheblichem Aufwand dieses Experiment geplant und aufgebaut hatten. Messsysteme mit Lichtschranken und Arduino-Controller, Messungen mittels digitaler Bildverarbeitung, komplexe Bestimmungen der Trägheitsmomente der Pendelmassen und ähnliches fanden sich in Hunderten von Protokollen.

Damit erscheint der Lerneffekt in diesem Praktikum deutlich höher gewesen zu sein als in den bisherigen Präsenzpraktika. Dies dürfte einerseits der Tatsache geschuldet sein, dass die

Studierenden die Möglichkeit hatten, über einen längeren Zeitraum von drei Wochen die Problematik bearbeiten zu können, sich dementsprechend mit ihren Kommilitonen austauschen konnten und demzufolge gut vorbereitet in die Konsultationen gegangen sind. Hinzu kommt sicherlich auch, dass diese Form des Praktikums in der sehr schwierigen Situation des digitalen Semesters offensichtlich eine willkommene Abwechslung geboten hat, die mit konkreter praktischer Arbeit den zum Teil durch den Lockdown demotivierenden und frustrierenden Alltag unterbrechen konnte.

8. Ausblick auf das Sommersemester 2021

Da es sich bei der MAT wie erwähnt um einen zweisemestrigen Kurs handelt, können im Sommersemester 2021 nicht einfach wieder die Versuche zum Einsatz kommen, die im Sommersemester 2020 verwendet wurden, da der Computerversuch zur Messdynamik und der Heimversuch zur digitalen Bildverarbeitung bereits im Wintersemester eingesetzt wurden. Der Versuch zur SPS wird für das Sommersemester erhalten bleiben.

Damit sind zwei Versuche erforderlich, um das Gesamtcurriculum der experimentellen Ausbildung in der MAT zu komplettieren. Dabei sind zwei maßgebliche Themenkomplexe aus der MAT abzudecken. Einerseits fehlt mit den bisher im Programm befindlichen Experimenten die statische und dynamische Charakterisierung von Messgliedern und andererseits ist im Sommersemester das Themengebiet Regelkreise auch experimentell umzusetzen.

Während sich die Charakterisierung von Übertragungsgliedern nur in realen Experimenten durchführen lässt, könnte man im Prinzip Versuche zum Regelkreis analog zu dem Versuch zur Messdynamik als Computerprogramm zur Verfügung stellen. Damit würde allerdings die konkrete experimentelle Auseinandersetzung der Studierenden mit der Thematik entfallen.

Aus diesem Grund wurde für das Sommersemester mit Unterstützung des FOSTER-Programms der TU Dresden [11] ein neues und in Zukunft ausbaubares Konzept für Heimversu-

che installiert. Dabei handelt es sich um Experimentierkoffer, die reale mess- und regeltechnische Versuche ermöglichen sollen. D. h. diese Experimentierkoffer sind mit den Sensoren und Stellgliedern ausgestattet, die für die Versuche erforderlich sind, und beinhalten zudem einen Arduino-Mikrocontroller.

Mit diesen Experimenten können gleich zwei inhaltlich didaktische Aspekte erreicht werden. Einerseits werden die normalen praktikumstypischen Aufgaben der MAT in realen von den Studierenden aufzubauenden Versuchen umgesetzt und andererseits werden die Studierenden mit der Verwendung von Mikrocontrollern am Beispiel des Arduino-Mikrocontrollers vertraut gemacht.



Abb. 6: Versuchsaufbau zum Regelkreis mit Regelstrecke und messtechnischer Peripherie.

Von der didaktischen Konzeption her wird der erste Versuch einige Experimente zur grundlegenden Verwendung des Arduino beinhalten und andererseits die Charakterisierung eines Temperatur-Messfühlers sowohl bezüglich seiner statischen als auch seine dynamischen Eigenschaften in den Blick nehmen. Außer den im Experimentierkoffer enthaltenen Komponenten benötigen die Studierenden für dieses

Experiment eigentlich nur einen Topf mit kochendem Wasser und einen Computer, von dem aus sie den Arduino steuern können.

Der zweite Versuch zum Regelkreis wird an einem sehr anschaulichen Beispiel zur Lageregelung eines Styroporballs (Abb. 6) in einer Plexiglasröhre unterschiedlichste Aspekte der Regeltechnik adressieren.

Für beide Versuche werden den Studierenden für den Arduino grundlegende Programme zur Verfügung gestellt. Dies erfolgt, da Studierende, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht mit Arduino gearbeitet haben, ansonsten vor dem Problem stehen würden, sich zunächst vollständig in die Verwendung und Programmierung des Arduino einarbeiten zu müssen. Gleichzeitig wird den Studierenden aber angeboten, diese Programme zu verändern und gegebenenfalls zu optimieren. Im letzteren Fall müssen die entsprechenden Codes für die nachfolgende Bewertung der Messergebnisse im Protokoll mit angegeben werden.

9. Lessons Learned

Die bisherigen Erfahrungen mit Heimversuchen in der MAT haben gezeigt, dass die Studierenden die Möglichkeit, sich über mehrere Wochen mit den Versuchen zu beschäftigen, nutzen, um umfangreiche Experimentserien durchzuführen und damit ein wesentlich vertieftes Verständnis der inhaltlichen Aspekte zu erreichen. Großen Wert legen wir bei den Protokollen zu den Versuchen auf die Interpretation der Daten und deren kritische Reflexion.

Blickt man über die Zeit der digitalen Praktika hinaus, so ergeben sich sofort einige Veränderungen, die an einem dann hoffentlich wieder möglichen Präsenzpraktikum vorgenommen werden können. Bei Versuchen wie der Messdynamik oder der SPS ist offensichtlich, dass die Bearbeitung der Praktikumsaufgaben zu Hause entscheidende Vorteile bietet, da sie mehr Zeit zur Verfügung stellt und man dann die Zeit in den Präsenzkonsultationen nutzen kann, um mit den Studierenden die nach der Bearbeitung offengebliebenen Fragen zu klären. Auf diese Weise soll sowohl in diesen Versuchen als auch in den anderen Versuchen, die in der MAT zum Einsatz kommen, die Beschäftigung mit dem Praktikumsstoff zu verstärken

und damit das Verständnis für die entsprechenden Inhalten deutlich zu verstärken.

Danksagung

Großer Dank gilt dem gesamten Team der Magnetofluiddynamik, das mit Ideen, Hilfen zur technischen Umsetzung, der Entwicklung der Arduino-Versuche, Umarbeitung der Praktikumsanleitungen und dem Test der Versuche zum Gelingen des digitalen MAT-Praktikums beigetragen hat. Besonderer Dank geht dabei an Hr. Höbold und Hr. Sturm für die Entwicklung der Experimentierkoffer für das kommende Wintersemester und Hr. Mokronowski für die Erstellung der Einführungsvideos! Darüber hinaus danken wir dem FOSTER-Programm der TUD (Exzellenzförderung) für die finanzielle Unterstützung zur Erstellung der Experimentierkoffer, die maßgeblich zur Umsetzung der zukünftigen Praktikumsstruktur beitragen wird.

Literatur

- [1] <https://bit.ly/MFD-YouTube-Kanal>
- [2] E. Dohmen, A. Lange, B. Kraus, S. Sturm, S. Odenbach, Online-Prüfung mit OPAL, ONYX und MAXIMA Chancen und Grenzen, Lessons Learned (2021) 1,1/2 <https://doi.org/10.25369/ll.v1i1/2.8>
- [3] [https://de.wikipedia.org/wiki/Atom_\(Texteditor\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Atom_(Texteditor))
- [4] Versuch „Digitale Bildverarbeitung“: <https://youtu.be/LHhgr0nVBQI>
- [5] Versuch „SPS“: <https://youtu.be/59xzLzSkIWw>
- [6] Versuch „Messdynamik“: <https://youtu.be/m-v4U2nx25Q>
- [7] Versuch „Versuchsplanung und Fehlerrechnung“ <https://youtu.be/GzEDpFrs7tU>
- [8] <https://bit.ly/g-Extractor-PTB>
- [9] <https://doc.matrix.tu-dresden.de/>
- [10] Foto: Julian Hagert, priv. comm.
- [11] <https://tud.link/6gws>