

Ausbildung in der Akustik

Stefan Sentpali, Malte Kob, Johanna Bronek, Stephan Pitsch, Ennes Sarradj, Johannes Weinzierl, Sebastian Greisinger, Maximilian Miltenberger, Monika Gatt

Die Wissenschaft der Akustik mit ihrer Vielfalt und Interdisziplinarität bietet hervorragende Möglichkeiten an beruflichen Betätigungsfeldern und hat viele von uns in ihren Bann gezogen. Ausbildung in der Akustik bedeutet mehr als Studierenden nur Wissen und Fähigkeiten zu vermitteln. Eigentlich ist nach dem Studium auch der Lernprozess nicht abgeschlossen, sondern wie viele Akustiker:innen meinen, fängt dieser erst dann richtig an. Um eine sehr gute Ausbildung zu gestalten, bedarf es neben Vorbildern an Personen auch Lehrformate, Methoden und Tools. Die folgenden sechs Kurzbeiträge sind Beispiele gelungener Maßnahmen in der Ausbildung der Akustik und sollen anregen, die Qualität in der Lehre stetig zu verbessern.

Einleitung

Stefan Sentpali

Wenn man einen Beitrag über die Lehre in der Akustik schreibt, gibt es prinzipiell die Möglichkeit wissenschaftliche Erkenntnisse der Didaktik aufzuzeigen oder über gelungene Beispiele aus der Welt der Bildung zu berichten. Letzteres fanden wir im Fachauschuss „Lehre der Akustik“ spannender und so ist eine Sammlung von sechs kurzen Einzelbeiträgen entstanden, was je nach Feedback in zukünftigen Beiträgen für das Akustik Journal weitergeführt werden kann.

Den Anfang macht Dr. Malte Kob. Er ist Professor an der Hochschule für Musik in Detmold und berichtet aus seinem aktuellen DEGA Projekt im Beitrag: „Mindestkanon 2.0 – welche Akustik-Lehre findet wo statt?“. Auch wenn der Bologna-Prozess die Modularisierung der Lehrinhalte vorangetrieben hat und im Prinzip eine vergleichende Übersicht der Lehrangebote in der Akustik möglich wäre, stellt sich in der Praxis die Suche nach Lehrinhalten der Akustik und Veranstaltungsorten, an denen entsprechende Qualifikationen vermittelt werden, als schwierig dar. Insbesondere neue Lehrformen – wie bspw. Tele-Teaching/MOOCs und kooperative Angebote – verlangen eine bessere Sichtbarkeit. Für die Akustik hat die DEGA bereits früh zwei Hilfsmittel entwickelt: den Mindestkanon für die Lehre akustischer Inhalte sowie den Studienführer Akustik. Im beschriebenen Projekt „Mindestkanon 2.0“, das unter Mitwirkung von Malte Kob in der DEGA und mit Unterstützung der EAA in den letzten beiden Jahren gefördert wurde, wurden beide Projekte verknüpft und weiterentwickelt.

Education in acoustics

The science of acoustics, with its diversity and interdisciplinary nature, has fascinated many of us and offers excellent opportunities in professional fields. Education in acoustics means more than just imparting knowledge and skills to students. Actually, the learning process is not over after graduation, but as many acousticians think, it only really begins then. In order to design a very good education, you need not only role models for people, but also teaching formats, methods and tools. The following six short contributions are examples of successful measures in acoustics training and are intended to encourage continuous improvement in the quality of teaching.

Johanna Bronek ist am Weiterbildungszentrum der Hochschule München verantwortlich für Marketing und Kommunikation. Sie stellt den Akustikstudiengang „Master Ingenieurakustik“ vor, allerdings nicht formal analog einem Modulhandbuch, sondern aus der Sichtweise der Menschen, die diesen Studiengang mit Leben füllen. Schließlich bilden wir nicht nur Studierende aus, sondern begleiten sie auf ihrem Weg der Weiterentwicklung.

Der Studiengang ist eine Kooperation zwischen zwei Hochschulen in zwei Bundesländern. Jeder, der mit seiner Familie in ein anderes Bundesland schon umgezogen ist, kennt die Problematiken der föderalen Struktur unseres Bildungssystems. Die Tatsache, dass Bildungsangelegenheiten in Deutschland Ländersache sind, ist für den Studiengang allerdings nicht nur herausfordernd, sondern bietet auch Vorteile.

In der klassischen akademischen Lehre wird die Theorie in Präsenzvorlesungen vermittelt und das vertiefte Verständnis folgt später durch Laborexperimente im Praktikum. Dies hat rein praktische Gründe, ist aber didaktisch nicht optimal. Dr. Stephan Pitsch ist Professor an der Hochschule Reutlingen in der Fakultät Technik. Er hat das Matlabprogramm „Acoustics“, eine MATLAB Toolbox für die Lehre, entwickelt, um auch während einer Vorlesung Schallanalysen durchzuführen. Die Toolbox ist ihm sehr gut gelungen und zeichnet sich durch ihre Einfachheit sowie eine unkomplizierte Bedienung aus. Außerdem ist diese kostenfrei nutzbar.

Vorlesungen zur Akustik in den Bachelor- und Masterstudiengängen an Hochschulen und Universitäten

entstehen oft in jahrelangen Prozessen der Optimierung der Arbeitsmaterialien und Ergänzung der Lehrinhalte für Vorlesungen, Praktika und Skripte. Nicht selten entstehen so mehrere passgenaue Module für die unterschiedlichen Studiengänge und Schwerpunkte. Möchte man einen neuen Schwerpunkt integrieren oder das Themenfeld des Körperschalls zwischen Bachelor- und Masterniveau differenzieren, wird es Zeit für eine „Flurbereinigung“ der Module und Lehreinheiten. Dr. Ennes Sarradj ist Professor an der Technischen Universität Berlin und leitet das Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik. Wie man dabei vorgehen kann, mit JUPYTER-Notebooks an Stelle eines Vorlesungsskriptes die recht komplizierten Fragestellungen des Körperschalls mit den sehr interessanten Theorien, Herleitungen und Berechnungen sowie wichtigen Aspekten für die Lärminderungspraxis im Masterstudium zu integrieren und gleichzeitig die Neugier der Studierenden zu erhöhen, beschreibt er in seinem Beitrag „Körperschall interaktiv – über eine neue Lehrveranstaltung an der TU Berlin“.

Wie schwer es ist per Videokonferenz ein akustisches Praktikum abzuhalten, haben viele Referenten während der Restriktionen in den letzten vier Semestern in Coronazeit erfahren. So gibt es Studierende im ersten bis vierten Semester, die kaum oder noch nie an einer Vorlesung in Präsenz teilnehmen konnten oder sogar die Räumlichkeiten ihrer Hochschulen noch nie besuchten. Randbedingungen zwingen uns zur Improvisation und schaffen damit oft auch Innovationen, von denen auch nach der Coronazeit profitiert werden kann. Maximilian Miltenberger ist Laboringenieur im Akustiklabor der Hochschule München und neben der Betreuung von Versuchen für Forschung und Entwicklung besonders für die Ausbildung in den Akustikpraktika verantwortlich. Mit zwei seiner Studenten, Johannes Weinzierl und Sebastian Greisinger, hat er versucht, in der Coronazeit Abhilfe von den eintönigen Videokonferenzen zu schaffen. Im Beitrag „Aufbau eines virtuellen und interaktiven Akustikpraktikums mit Hilfe von VR Technik“ werden verschiedene Methoden der VR gezeigt und die Möglichkeiten zur Ergänzung von Praktika diskutiert. Eine übliche Antwort auf die Frage „Was ist Schall?“ lautet die Antwort „Schall ist die zeitliche Änderung der Dichte eines Mediums“. Mathematisch gesehen ist dies zwar eine hinreichende, aber nicht ausreichende Definition. Somit fehlt eine weitere Abgrenzung, wie „Schall ist das, was wir hören“. Gerade dieser zweite Aspekt, in dem der Mensch im Vordergrund steht, macht die physikalische Disziplin der Akustik für viele von uns interessant, allerdings nicht einfacher. Sobald menschliche Bedürfnisse, Empfindungen und die Pflicht der Gesundheitsfürsorge als Zielgröße ab-

geleitet werden müssen, werden ethische Fragen tangiert. Was in Medizin und Pflegewissenschaft Standard ist, ist für die Akustik noch teilweise ungewohnt. Dr. Monika Gatt ist praktische Philosophin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme an der Technischen Universität München. Sie versucht uns in einem für Ingenieure leicht verständlichen und kurzen Beitrag zu „Ethik und Akustik“ dieses Thema näher zu bringen.

Projekt „Mindestkanon 2.0“ – welche Akustik-Lehre findet wo statt?

Malte Kob

Das Gemeinschaftsprojekt von Monika Gatt, Jörn Hübelt und Malte Kob entstand aus der Arbeit des Fachausschusses Lehre und des Hochschulbeirats der DEGA als Ergebnis einer Umfrage, wie viele der in der zuletzt 2019 revidierten DEGA-Empfehlung 102 „Mindestkanon: Akustik in der Hochschul-Ausbildung“ [1] gelisteten Inhalte tatsächlich in Bachelor-Studiengängen unterrichtet werden. Die ernüchternde Erkenntnis war, dass die Aufteilung von Lehrinhalten in Bachelor-, Master- und Promotions-Studiengänge kaum mit dem Mindestkanon abbildbar ist. Um auf Basis des tatsächlich vermittelten Lehrinhalts eine verbesserte Aufstellung machen zu können, wurde das Projekt „Mindestkanon 2.0“ initiiert. Für die Ermittlung der Lehrinhalte wurden zunächst zwei Methoden genutzt:

- Abfrage der bestehenden Inhalte aus dem europäischen Studienführer „EAA Schola“ (<https://euracoustics.org/schola>)
- Ergänzung der Inhalte um neue Einträge, mit denen aktuelle Inhalte und Ziele der Ausbildung besser erfasst werden

Bei einer umfangreichen Recherche in der bestehenden Schola-Datenbank [2] wurden 120 Editoren in 33 Ländern gefunden, die für die Pflege der Inhalte zuständig sein sollten. Von diesen sind nach persönlicher Ansprache aktuell knapp 40 noch aktiv und haben die Einträge der Lehrveranstaltungen aktualisiert. In Abbildung 1 (siehe folgende Seite) ist ein Ausschnitt der neuen graphischen Suche in Schola abgebildet.

Als Ergebnis der Umfrage wurden in Ergänzung der bestehenden Angaben zu Kursen weitere Inhalte definiert, die neu den vorhandenen oder neuen Lehrangeboten zugefügt werden können:

- Specialisation/Branch
- Joint course offer
- Aptitudes after completion of course
- Remote lecture (Y/N)
- Online course material available

Die Arbeiten zur Suche, Implementierung und Auswertung der Inhalte wurden im Rahmen des DEGA-Projekts von je einer Studentin der TU München (An-

EAA Schola: the online study guide of acoustics in europe

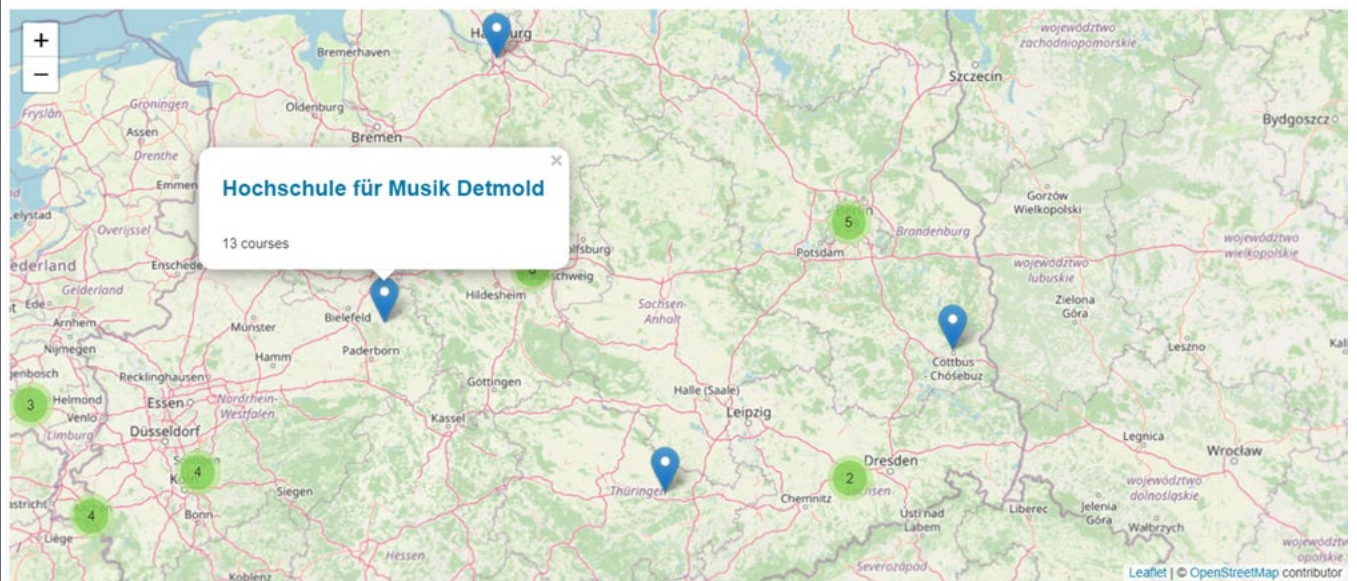
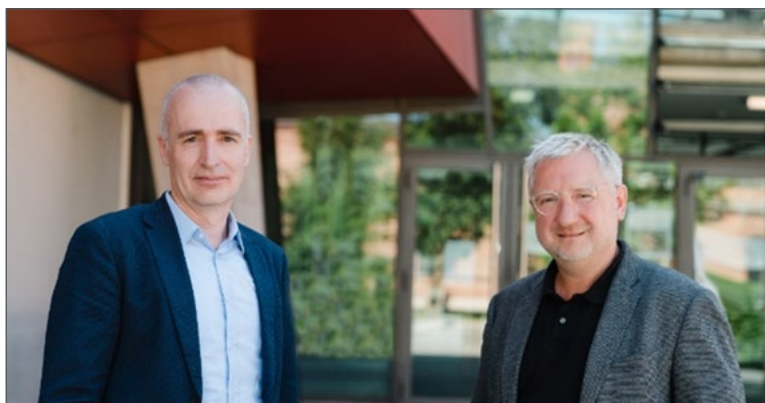


Abb. 1: Grafische Suche nach Lehrinhalten im EAA-Studienführer „Schola“

dra Ebner) und der HfM Detmold (Anja Müller) durchgeführt. Das Web-Team der EAA (Luc Jaouen, Mathieu Gaborit) gestaltet zurzeit das Userinterface neu. Nach Abschluss der Arbeiten auf der neuen Seite der Europäischen Akustischen Gesellschaft (EAA) erlaubt der Studienführer künftig neben einer übersichtlicheren Darstellung und Suche auch per Email die Update-Erinnerung der Editoren, die an den jeweiligen Einrichtungen für die Aktualisierung der Lehrinhalte zuständig sind. Für die Nutzung bei der Suche kann eine Filterfunktion künftig die Darstellung auf gewünschte Qualifikationsziele oder Stichworte beschränken und somit bspw. die Auswahl von Studienorten oder möglichen Kooperationspartnern bei kooperativer Lehre erleichtern.

Abb. 2: Prof. Dr. Jörn Hübelt (li.) und Prof. Dr. Stefan Sentpali (re.) leiten den berufsbegleitenden Masterstudiengang Ingenieurakustik an den Hochschulen Mittweida und München. Besonders wichtig ist ihnen, dass die Studierenden Qualität in vielerlei Hinsicht erhalten. (Foto: Chris Eberhardt)



Für ein Folgeprojekt des FA Lehre und des Hochschulbeirats der DEGA kann der überarbeitete Studienführer eine Grundlage zur Neugestaltung des Mindestkanons liefern. Ein Treffen des Fachausschusses ist im Herbst 2022 in Detmold geplant.

Berufsbegleitend den Master in Ingenieurakustik absolvieren

Johanna Bronek

Zwei Hochschulen, zwei Bundesländer, ein akustisches Meisterwerk: Die Hochschule München und die Hochschule Mittweida kooperieren im Masterstudiengang Ingenieurakustik (siehe Tabelle 1) sehr eng miteinander. Gemeinsam entwickelt, starten sie das berufsbegleitende Studienangebot im kommenden Wintersemester 2022/23 bereits zum achten Mal. Dabei steht die Qualität ganz oben und ist den beiden Studiengangsleitern Prof. Dr. Stefan Sentpali (Hochschule München) und Prof. Dr. Jörn Hübelt (Hochschule Mittweida) in vielerlei Hinsicht wichtig (siehe Abb. 2). Und das geht weit über die Qualität der Lehre hinaus.

Work-Study-Balance

„Wenn ich studiere, studiere ich und wenn ich arbeite, dann arbeite ich“. Das könnte ein Leitsatz unserer Studierenden sein, und wir schaffen das notwendige sowie passende Ambiente, damit sie sich auch daran halten können“, geht Stefan Sentpali auf das berufsbegleitende Modell des Masters Ingenieurakustik ein. Und in der Tat ist der Ablauf des Studiums optimal dafür gestaltet. Präsenzphasen und Selbstlern-

einheiten, flankiert durch betreute Onlineübungen wechseln sich ab. Die Präsenzzeiten finden während des Semesters in Form von Blockkursen mit üblicherweise drei Tagen pro Monat statt. Dies ermöglicht den Studierenden einerseits ein hohes Maß an Flexibilität. Andererseits bietet diese Struktur mit Blockkursen, die in der Vorlesungszeit einmal pro Monat stattfinden, eine räumliche Trennung von Studium und Job. „Die Präsenzphasen kommen bei unseren Studierenden sehr gut an“, so Sentpali weiter. „Sie wissen es zu schätzen, sich die vorgesehenen drei Tage pro Monat voll und ganz der Lehre widmen zu können. Dann sind die Studierenden auch absolut bei der Sache und können sich auf die Theorie und auch die Praxis ohne Ablenkungen von außen einlassen.“ Nach den Blockveranstaltungen gehen die Studierenden wiederum voll und ganz in ihren Beruf und können sich darauf konzentrieren, was gerade im Job wichtig ist – mit dem Vorteil, dass sie sich in den Lehrveranstaltungen theoretisches und praktisches Wissen aneignen konnten, welches sie direkt in ihren beruflichen Alltag einfließen lassen. Exzellente technische Ausstattung an beiden Studienstandorten unterstreichen dabei die Praxisorientierung. So sammeln die Studierenden z.B. Erfahrungen mit Rollenprüfstand und Fahrzeugakustik, Alphakammer und akustischen Materialverhalten, Tonstudio und Soundgestaltung sowie analytischen und numerischen Berechnungen. Dabei ergänzen sich die Standorte Mittweida und München ideal, sodass die beiden Hochschulen das komplette Spektrum der Akustik abdecken. Studierende lernen während ihres Ingenieurakustik-Studiums unter anderem das Labor für Akustik und Fahrzeugtechnik in München und die Labore für Psychoakustik und für Technische Akustik in Mittweida kennen. Dass die Lehrblöcke teilweise in München und teils in Mittweida stattfinden, haben die Studierenden bisher immer sehr positiv aufgenommen. Manchmal spricht ja einiges dafür, nicht nur den Job kurzzeitig hinter sich zu lassen, sondern auch das sonstige gewohnte Umfeld. Mittweida oder München als neue Stadt kennenzulernen und sich abends nach den Lehrveranstaltungen vielleicht noch mit den Kommiliton:innen und manchmal auch Referent:innen weiter auszutauschen, hat sicher seinen Reiz und stärkt das Miteinander ebenso wie den persönlichen und fachlichen Austausch.

Fachliches Netzwerk erweitern

Nicht nur beim abendlichen Zusammenkommen steht das Netzwerken im Vordergrund, auch in den Lehrveranstaltungen selbst – hier sicherlich mit einem stärkeren fachlichen als persönlichem Hintergrund. „In den Lehrveranstaltungen tauschen wir Dozenten uns mit den Studierenden zu unseren Er-

Tab. 1: Studium Ingenieurakustik auf einen Blick

Kooperationsstudiengang Ingenieurakustik	
Abschluss	Master of Science (M.Sc.)
Start	Wintersemester
Regelstudienzeit	4 Semester plus 1 Semester Masterarbeit
ECTS	90
Kosten	2.450 Euro pro Semester in der Regelstudienzeit zzgl. Semesterbeiträge in Mittweida und München (Studienkosten sind steuerlich absetzbar)
Bewerbungszeitraum	15. April bis 15. Juli (online über die Hochschule Mittweida)
Zulassungsvoraussetzungen	■ Natur- oder ingenieurwissenschaftliches Studium ■ Bachelor- oder Diplomabschluss (oder gleichwertiger Abschluss) ■ mind. sechs theoretische Studiensemester ■ mind. 180 ECTS
Highlights	■ Joint-Degree: Kooperation Hochschule Mittweida mit Hochschule München ■ direkter Praxisbezug ■ alle Lehrenden mit Industrieexpertise ■ optimal berufsbegleitend studierbar ■ direkt nach dem Bachelor möglich (konsekutiv) ■ vernetzter Austausch mit Lehrenden und Studierenden ■ Qualifikationen in Fahrzeug-, Raum-, Bau-, Medien- und Psychoakustik, lärmarmen Konstruktion, Schallschutz und Simulation ■ Modulstudium: einige Module können einzeln studiert werden und mit einem Hochschulzertifikat abgeschlossen werden
Informationen	https://hm.edu/ingenieurakustik

fahrungen in den unterschiedlichen Branchen aus und die Studierenden untereinander natürlich auch“, erläutert Jörn Hübelt den Netzwerkgedanken in den Kohorten. „Einerseits führt es zu Aha-Erlebnissen, indem die einen erkennen, dass sie mit ihren Herausforderungen nicht allein sind. Andererseits eröffnen sich natürlicherweise Perspektivenwechsel, da die Studierenden sehr oft aus verschiedenen Fachbereichen zusammenkommen.“ Schnell geht es dann um konkrete Fragestellungen, die die Studierenden aus ihrem beruflichen Alltag mitbringen und die durch die Kommiliton:innen aus unterschiedlichen Richtungen betrachtet werden. So treffen Hörakustikerinnen auf Laboringenieure, Fahrzeugakustiker auf Audiotechnikerinnen oder Psychoakustikerinnen auf Fachkräfte, die sich mit dem Schallschutz beschäftigen – und die Aufzählung könnte noch weiter gehen.



Abb. 3: In den anwendungsorientierten Lehrveranstaltungen verbinden die Studierenden Theorie und Praxis miteinander und können direkt ihre eigenen beruflichen Fragestellungen in die Diskussionen einfließen lassen. (Foto: Johanna Weber)

„Unsere kleinen Lerngruppen fördern den intensiven, interdisziplinären Austausch und die daraus entstehenden Synergien. Da auch alle Dozenten aus der Praxis kommen und mehrere Jahre Berufserfahrung in leitenden Positionen mitbringen, hört das Netzwerk nicht am Dozentenpult auf“, so Hübelt weiter. „Wir auf der Seite der Lehrenden freuen uns mindestens genauso über den interdisziplinären Akustik Austausch wie die Studierenden. Dadurch bekommen unsere Erfahrungen und aktuellen Fragestellungen frischen Wind und eine ganz neue Qualität.“

Promotion in Sicht

Apropos Qualität und wie zu Anfang schon erwähnt, ist auf diese ein besonderes Augenmerk im Masterstudiengang Ingenieurakustik gelegt. Deshalb ist er so ausgelegt, dass eine Promotion für die Absolvent:innen möglich ist. Die dazu notwendigen 300 ECTS-Leistungspunkte werden nach Abschluss meistens schon mit dem vorangegangenen Bachelor- oder gleichwertigen Studium in Summe erreicht. Sollten dennoch ECTS-Leistungspunkte fehlen, können diese mithilfe von Brückenkursen sowohl an der Hochschule Mittweida als auch an der Hochschule München erlangt werden. Auf die Qualität in der Lehre wird hier natürlich auch ganz genau geschaut. „Um unsere Studierenden auf ein Promotionsvorhaben oder ihre jeweiligen Herausforderungen im Job adäquat vorzubereiten, arbeiten wir im Master mit Spitzenleuten aus unterschiedlichen Unternehmen und Professor:innen mit vielen Jahren Wirtschaftserfahrung zusammen“, erläutert Sentpali. So haben sich die Studiengangsleiter Hübelt und Sentpali selbst während ihrer Zeit bei einem Automobilhersteller kennengelernt und pflegen im-

mer noch Kontakt zu anderen früheren Kolleg:innen – inner- und außerhalb des Unternehmens. Aber da der Masterstudiengang die ganze Bandbreite der Akustik behandelt, kommen natürlich auch die unterschiedlichsten Fachleute als Dozent:innen zusammen. „Von Psychologen über Ingenieure bis hin zu Physikern und Mathematikern sind in unserem Ingenieurakustik-Kollegenkreis alle Spezialisten vertreten, die das komplette Spektrum abdecken, das wir im Studiengang lehren möchten“, so Sentpali weiter. „Es ist uns wichtig, dass unsere Studierenden mit erfahrenen Praktikerinnen und Praktikern in Kontakt kommen und so ihre eigene berufliche Praxis reflektieren können und mit theoretischem und anwendungsorientiertem Wissen bereichern.“

Kurz und gut

Übrigens beinhaltet das Masterstudium über sich selbst hinaus auch die Möglichkeit des so genannten Modulstudiums an der Hochschule München. Dabei schreiben sich Interessierte in ein oder mehrere Module aus dem Ingenieurakustik-Master ein und absolvieren diese mit einem Hochschulzertifikat. Die Zulassungsvoraussetzungen an einer Teilnahme am Modulstudium orientieren sich an denen des Masterstudiums, das heißt ein erstes berufsqualifizierendes Studium muss bereits abgeschlossen sein. Mit dem Modulstudium ist eine passgenaue Fokussierung auf ein bestimmtes Thema, beispielsweise Lärmarme Konstruktion und Schallschutz oder Fahrzeugakustik, möglich. Praktisch dabei ist auch, dass ein erfolgreich abgeschlossenes Modulstudium später auf den Master angerechnet wird und somit die Studienzeit des Masters verkürzt.

Alles in allem: Der Masterstudiengang Ingenieurakustik setzt auf Qualität – sowohl in der anwendungsorientierten Lehre (siehe Abbildung 3) als auch im Aufbau des persönlichen fachlichen Netzwerks sowie in der Vereinbarkeit von Studium und Beruf. In vier berufsbegleitenden Semestern plus einem Semester, das der abschließenden Masterarbeit gewidmet ist, setzen sich die Studierenden intensiv mit dem Experimentieren, Erforschen und Erfassen von Schall auseinander. Das übergeordnete Ziel ist es, Geräuschkulissen in den unterschiedlichsten Situationen zu beeinflussen. Neben den technischen Aspekten steht der Mensch mit seinem Hörvermögen immer im Mittelpunkt. Alle, die Lust und Leidenschaft für das Thema Akustik in der ganzen Bandbreite mitbringen, können sich für das Studium an den Hochschulen München und Mittweida bewerben. Akustikerfahrene sind dabei ebenso willkommen wie Quereinsteiger:innen in das Themenfeld. Wichtig ist, dass sie einen ersten, vorzugsweise technischen oder naturwissenschaft-

lichen Hochschulabschluss mitbringen. Da der Studiengang optimal berufsbegleitend organisiert und angeboten wird, bietet es sich an, dass Interessierte bereits im Berufsleben stehen oder bald einsteigen möchten. Der Studiengang ist konsekutiv, das heißt er kann direkt nach dem ersten Abschluss auch ohne Berufstätigkeit im Teilzeitmodell studiert werden. Die Studiengangsleiter sowie alle Lehrenden möchten die Absolventinnen und Absolventen auf gehobene Fach- und Führungspositionen in der Industrie, bei Ingenieurdienstleistern und bei Behörden sowie für wissenschaftliche Tätigkeiten an Hochschulen, Universitäten und Forschungseinrichtungen vorbereiten. Dies wird insbesondere durch den modularen Aufbau und die berufsbegleitende Studienorganisation (siehe Abbildung 4) begünstigt.

„Acoustics“ - Eine MATLAB-Toolbox für die Lehre

Stephan Pitsch

Motivation für die Entwicklung

Wer technisch orientierte Vorlesungen hält und zur Auflockerung und Vertiefung der theoretischen Einheiten ab und zu ein Experiment einstreuen möchte, sieht sich mit einigen Herausforderungen konfrontiert: im Rahmen einer 90-minütigen Vorlesung darf das Experiment nicht lange dauern, der Versuchsauf-



Abb. 4: Zeit fürs Studium und Zeit für den Job können durch das berufsbegleitende Modell ideal voneinander getrennt werden. So leiden weder der Arbeitsalltag noch der angestrebte Masterabschluss, sondern bedingen sich gegenseitig und profitieren voneinander. (Foto: Johanna Weber)

bau muss zum Hörsaal transportiert werden können, und die Vorbereitung darf nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Je mehr Mess- und Analysetechnik dabei über Software abgedeckt werden kann, umso besser, denn es müssen weniger Geräte aufgebaut und transportiert werden. Mittlerweile gibt es ein breites Spektrum an Softwarepaketen, Apps und Tools für

Abb. 5: Grafische Benutzeroberfläche der MATLAB toolbox „Acoustics“. Bereich A: Einstellung der Datenerfassung und Anzeige des Zeitsignals. Bereich B: Datenanalyse und Ergebnisanzeige.



Tab. 2: Implementierte Funktionen im Detail (Version 2021.05.01)

Datenerfassung
Interne Schnittstelle: Windows Sound Cards
Externe Schnittstellen: National Instruments NI 9219, 9220 und 9234
Sensortypen: Mikrofon, Beschleunigung, Spannung allgemein
Datenimport im Zeitbereich (*.wav oder *.mp3 Format)
Markieren, Schneiden und Speichern von Signalbereichen
Kontinuierliche Datenerfassung oder Einzelmessungen
Signalgenerator: Sinus, Sägezahn, Teiltöne, Rauschen, Chirp, Pulse
Datenanalyse
Sensorkalibrierung
Berechnung: Schalldruck, Schallschnelle, Effektivwerte, SPL (Zeitkonstante FAST)
FFT für Einzelsignale oder im kontinuierlichen Betrieb
Mittelwertbildung: Moving Window, Mehrfache Messungen
A-Bewertung
Oktav- / Terzbandanalyse
Korrektur Hintergrundgeräusch
Spektrogramm
Frequenzgang
Einfüge- / Durchgangsdämpfung (DIL/DTL)
Impedanzmessung
Grundfrequenz- und Teiltonbestimmung
Datenexport (*.mat und *.xlsx)
Bestimmung von Zeit- / Frequenz- / Amplitudendifferenzen
Frequenzschwerpunkt

akustische Messungen, die aber oft zu komplex für eine schnelle Anwendung in einer Unterrichtssituation oder in ihrem Funktionsumfang nicht auf eine Grundlagenvorlesung zugeschnitten sind.

Die Toolbox „Acoustics“ [3] wurde speziell für den Live-Einsatz in einer Akustikvorlesung entwickelt, die sich inhaltlich an der DEGA-Empfehlung 102 [1] orientiert und Themen wie z. B. Messung und Darstellung von akustischen Grundgrößen oder Frequenzanalyse mittels FFT behandelt. Als Entwicklungsumgebung wurde MATLAB verwendet.

Konzeption und Funktionalität der Toolbox

Um sowohl Lehrenden als auch Studierenden eine leichte Bedienbarkeit zu ermöglichen, sollten alle Parameter und Funktionen über ein einziges grafisches User-Interface (GUI) ohne versteckte Untermenüs zugänglich sein. Außerdem sollten für eine optimale Vergleichbarkeit immer das gemessene Zeitsignal und das Analyseergebnis gleichzeitig sichtbar sein. Aus dem Grund wurde das GUI in zwei Bereiche für die Datenerfassung und die Analyse eingeteilt (vgl. Abbildung 5). Zur Reduzierung der für die Experimente notwendige Hardware sollte die interne Soundkarte zur Messung und Wiedergabe von akustischen Signalen verwendet werden können, ein Datenimport vorgesehen werden und ein einfacher Signalgenerator integriert sein. Tabelle 2 zeigt den aktuellen Funktionsumfang der Toolbox (Version 2021.05.01). Zur ursprünglichen Programmversion wurden mittlerweile auch einige Funktionen hinzugefügt, die den Einsatz der Toolbox bei aufwändigeren Messungen ermöglichen, wie z. B. die Implementierung von weiteren externen Schnittstellen mit bis zu 4 Kanälen, verschiedener Methoden für die Mittelwertbildung, oder die Bestimmung von Frequenzgängen und Impedanzen.

Zugänglichkeit und Setup

Das „Acoustics“ GUI wurde mit Hilfe des GUIDE-Assistenten in MATLAB 2018b entwickelt. Voraussetzung vor der Inbetriebnahme ist die Installation der „Signal Processing Toolbox“, der „Data Acquisition Toolbox“, des „Data Acquisition Toolbox Support Package for Windows Sound Cards“ sowie ein Neustart von MATLAB. Vor Verwendung der bereits implementierten Schnittstellen NI 9219, NI 9220 oder NI 9234 ist die Installation des „Data Acquisition Toolbox Support Package for National Instruments NI-DAQmx Devices“ erforderlich. Es gibt zwei Varianten, die Toolbox zu verwenden: 1) Als MATLAB-Skript über den Editor: Der Quellcode und die Bedienungsanleitung werden als *.zip Datei über den File Exchange Service auf der Mathworks Webseite [4] heruntergeladen, und das Skript „Acoustics.m“ ausgeführt. In diesem Modus sind alle Dateien einfach zugänglich und können weiterentwickelt werden. 2) Als MATLAB interne Toolbox: „Acoustics“ kann über den Add-On Explorer in MATLAB gesucht, installiert und durch Eingabe von „Acoustics“ in der Kommandozeile gestartet werden.

Körperschall interaktiv – über eine neue Lehrveranstaltung an der TU Berlin

Ennes Sarradj

Im Curriculum einer vertieften Lehre im Bereich der technischen Akustik sind Inhalte zum Thema Körper-

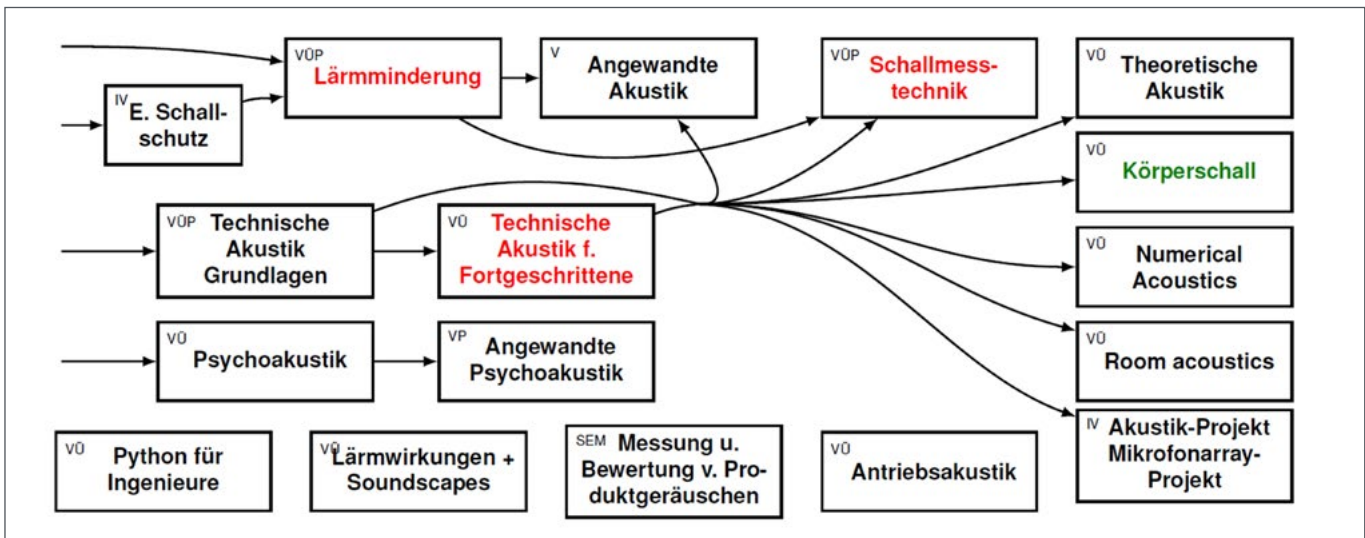


Abb. 6: Lehrveranstaltungen (Module) am Fachgebiet Technische Akustik der TU Berlin, rot: Aspekte des Themas Körperschall sind integriert, grün: neue Lehrveranstaltung zur Vertiefung des Themas Körperschall.

schall wegen ihrer Relevanz für viele akustische Fragestellungen vom Erschütterungsschutz über die Lärminderung an Maschinen bis hin zum Ultraschall in Festkörpern sehr wünschenswert. Im Beitrag wird die 2019 vollständig neu konzipierte Lehrveranstaltung „Körperschall“ an der TU Berlin vorgestellt. Ausgangspunkt war dabei, dass einige Grundlagen zum Thema zwar bereits Bestandteil in anderen Lehrveranstaltungen sind, es aber an einem Angebot für Studierende in Masterstudiengängen fehlt, die sich auch in der zugrunde liegenden Theorie des Körperschalls, den zugehörigen Methoden und deren Anwendung vertiefen wollen. Für die Lehre auf diesem Niveau ist das Thema insofern herausfordernd, weil das Vermitteln von Sachverhalten allein nicht ausreichend ist. Jedoch erfordern schon einfache Herleitungen einen erheblichen mathematischen Aufwand. So besteht die Gefahr, dass nur sehr wenige wesentliche Zusammenhänge herausgearbeitet werden können und der Bezug zur Anwendung verloren geht.

Ausgangspunkt

Das Fachgebiet Technische Akustik an der TU Berlin bietet seine Lehrveranstaltungen (siehe Abb. 6) für Studierende vieler unterschiedlicher Bachelor- und Masterstudiengänge an. Damit soll sowohl eine Ergänzung zu anderen Inhalten (beispielsweise aus dem Bereich Maschinenbau oder Umwelttechnik) als auch eine Vertiefung in solchen Studiengängen möglich sein, bei denen ein Schwerpunkt auf die Akustik gewählt werden kann. Verschiedene Aspekte des Themas Körperschall sind dabei auch in drei verschiedenen Lehrveranstaltungen integriert.

In „Lärminderung“ wird die Biegequelle, ihre Anregung und Abstrahlung sowie die Schalldämmung unter Verzicht auf Herleitungen vorgestellt. In

„Technische Akustik für Fortgeschrittene“ gibt es einen Überblick über verschiedene Wellenarten des Körperschalls und deren Wellengleichungen sowie ausführliche Herleitungen zur Abstrahlung und zur Schalldämmung. In „Schallmesstechnik“ wird die Körperschallmesstechnik sowie die Modalanalyse als Anwendung behandelt. In keiner dieser Lehrveranstaltungen wird jedoch das Thema Körperschall vertieft. Deshalb wurde eine neue Lehrveranstaltung „Körperschall“ entwickelt, die eine solche Vertiefung vor allem für Studierende von Masterstudiengängen möglich macht. Die Zielsetzung ist dabei sowohl vertieftes Verständnis für die Physik des Körperschalls als auch die Vermittlung anwendbarer Grundlagen für Lärminderung, Ultraschall und andere Bereiche. Dazu ist ein sicherer Umgang mit den zugehörigen mathematischen Modellen nötig. Die Anwendung auf verschiedenste Problemstellungen muss beherrscht werden. Aus diesen Überlegungen folgt, dass eine reine Faktenvermittlung sicher nicht ausreichend ist. Eine Besonderheit beim Thema Körperschall ist auch, dass die Physik nicht sehr anschaulich ist, da Körperschall kaum direkt wahrgenommen und auch nicht einfach beobachtet werden kann. Diese Abstraktheit trifft auf mathematische Modelle, die teils recht umfangreiche Herleitungen erfordern und kompliziert sind. Teilweise können Sachverhalte nur anhand numerischer Lösungen erschlossen werden. Auch die Anwendung erfordert oft langwierige Berechnungen, die eher den Einsatz eines Computers als den von Papier und Bleistift nahelegen.

Konzept und Inhalte

Auf der Grundlage dieser Überlegungen wurde folgendes Konzept für die Lehrveranstaltung entwickelt. Zunächst werden im Rahmen der Vorlesung

die physikalischen Grundlagen erklärt und wichtige Herleitungen und mathematische Modelle entwickelt. Auch wenn die Physik und die Modelle für Ultraschall angewendet werden könnten, werden parallel dazu vor allem Anwendungen mit Schwerpunkt auf die Technische Akustik und Lärminderung behandelt. Um die zuvor erwähnten Probleme durch mangelnde Anschaulichkeit und aufwändige Herleitungen abzumildern, wird bereits während der Vorlesung auf eine stetige Interaktion der Studierenden mit den Vorlesungsinhalten am Computer gesetzt. Herleitungen, Diagramme, Ergebnisse sollen dabei in direkter Interaktion mit dem Computer gewonnen werden. Neben der Vorlesung wird in einer Übung in kleinen Gruppen die Anwendung des Stoffs in Projektform vertieft. Dabei werden Komplexaufgaben gelöst und damit auch die Problemlösungskompetenz gefördert. Die Lösungen liegen dann letztlich in Form von kleinen Computerprogrammen bzw. deren Ergebnissen vor. Die Auswahl der behandelten Inhalte orientiert sich auch daran, dass bestimmte Themen wie Abstrahlung und Schalldämmung bereits in anderen Lehrveranstaltungen vertieft behandelt wurden. Ausgehend von Bewegungs- und Wellengleichungen werden zunächst Körperschallwellen im unendlich ausgedehnten Medium behandelt, bevor dann Spezialfälle wie Platten und Balken untersucht werden. Dieses Vorgehen ist analog zum Luftschall, wo auch ausgehend von der Wellengleichung zunächst freie Schallfelder und später solche in Kanälen und Räumen behandelt werden.

Weitere Themen sind Impedanzen, Körperschalldämmung und -dämpfung sowie endliche Systeme. Abschließend werden diffuse Körperschallfelder und deren Behandlung im Rahmen der Statistischen Energieanalyse vorgestellt. Insgesamt gibt es 13 Lektionen:

1. Einführung
2. Lineare Systeme
3. Wellengleichungen für Körperschall
4. Reflexion ebener Wellen
5. Plattenwellen
6. Wellen auf Balken
7. Punktimpedanzen
8. Transmission über Plattenstossstellen
9. Dämpfung und Dämpfungsbelege
10. Wellen auf endlichen Balken
11. Wellen auf endlichen Platten
12. Statistische Energieanalyse
13. Anwendung der SEA

Umsetzung

Ein wesentliches Element bei der Umsetzung des Konzepts sind die verwendeten Lehrmaterialien. Die übliche Form eines Vorlesungsskriptes erlaubt jedoch nur sehr begrenzt eine direkte Interaktion

bzw. muss diese Interaktion durch die lernende Person vollständig selbst organisiert werden. Einen Ausweg bietet ein Vorlesungsskript, das interaktive Elemente mit einbaut oder sogar vollständig interaktiv ist. Ein solches vollständig interaktives Vorlesungsskript lässt sich mit Hilfe von JUPYTER-Notebooks realisieren. JUPYTER ist ein Projekt [5], das quell-offene Software für interaktive wissenschaftliche Berechnungen und Datenauswertungen bereitstellt. Zentral ist dabei das JUPYTER-Notebook, ein elektronisches Dokumentformat, das Text, mathematische Formeln und Abbildungen mit ausführbarem Programmcode, Visualisierungen und interaktiven Steuerelementen einer grafischen Benutzeroberfläche verbindet. Text und Formeln können über eine simple Markdown-Formatierung gestaltet werden, während für den Programmcode verschiedene Programmiersprachen verfügbar sind (insbesondere Julia, PYThon und R, aus denen sich das Projekttakronym zusammensetzt). Die Notebooks können also wie ein interaktives Buch eingesetzt werden, welches nicht nur interaktive Elemente enthält, sondern vom Nutzer vollständig bearbeitet werden kann.

Durch den Einsatz von JUPYTER-Notebooks an Stelle des Vorlesungsskripts wird es möglich, neben den erklärenden Texten auch Berechnungen und Herleitungen bereitzustellen, in die beim Lernen direkt eingegriffen werden kann. Darüber hinaus können Sachverhalte auch als interaktiv veränderbare Abbildungen und Diagramme oder sogar als interaktiv veränderbare Animationen begreifbar gemacht werden. Mit Bezug auf die erwähnten Besonderheiten beim Thema Körperschall bringt das insbesondere folgende Vorteile mit sich:

- Für langwierige und komplizierte Herleitungen können alle Schritte, die im Grunde nur aus längst bekannten und geübten mathematischen Umformoperationen bestehen, durch computergestützte Formelmanipulation ersetzt werden (siehe Abb. 7). So ist bei der Behandlung der Herleitungen die Konzentration auf die wesentlichen Überlegungen möglich.
- Notwendige numerische Berechnungen können „live“ umgesetzt werden (siehe Abb. 8). Das demonstriert zum einen unmittelbar die praktische Umsetzung einer solchen Berechnung (der Quellcode ist einsehbar) und zum anderen ist das wesentlich überzeugender als die bloße Angabe von Ergebnissen aus der Literatur.
- Verschiedene Diagramme, Abbildungen und Animationen werden interaktiv gesteuert (siehe Abb. 9). Damit werden gerade kompliziertere Zusammenhänge viel besser sichtbar und erlebbar als das mit einfachen Abbildungen der Fall wäre.

6.2 Energy Transport

- Intensity (rate of energy transport)

$$I = c_g w \quad (17)$$
- bending wave energy density (four components)
 - potential energy due to axial stresses
 - potential energy due to transversal stresses (negligibly small)
 - kinetic energy due to transversal displacement
 - kinetic energy due to rotation of beam section around z-axis (negligibly small)

$$Sw_{pot} = \frac{B}{2} \left(\frac{\partial^2 \xi_y}{\partial x^2} \right)^2 \quad (18)$$

$$Sw_{kin} = \frac{m'}{2} \left(\frac{\partial \xi_y}{\partial t} \right)^2 \quad (19)$$

- wave traveling in positive x direction

$$\xi_y = \xi_{y0} \cos(\omega t - k_B x) \quad (20)$$
- calculate power of the wave (energy per unit time):

$$P = I S \quad (21)$$

```
In [2]: 1 om = sy.symbols('omega',positive=True)
2 xiy0 = sy.symbols('xi_y0')
3 kB = sy.sqrt(om) * sy.root(m1/B,4) # wave number
4 cg = 2*om/kB # group speed
5 xiy_ = xiy0*sy.cos(om*t-kB*x) # wave in pos. x direction
6 # energy per unit length S*w
7 Swpot = B/2 * sy.diff(xiy,x,2)**2
8 Swkin = m1/2 * sy.diff(xiy,t)**2
9 # substitute the wave
10 wp = Swpot.subs(xiy,xiy_).doit()
11 wk = Swkin.subs(xiy,xiy_).doit()
12 # display energy densities
13 display(wp,wk)
14 # power
15 P = sy.simplify(cg*(wk+wp)).doit()
16 # display the power
17 P
```

$$\frac{m' \omega^2 \xi_{y0}^2 \cos^2 \left(\omega t - \frac{\sqrt[4]{m'} \sqrt{\omega x}}{\sqrt[4]{B}} \right)}{2}$$

$$\frac{m' \omega^2 \xi_{y0}^2 \sin^2 \left(\omega t - \frac{\sqrt[4]{m'} \sqrt{\omega x}}{\sqrt[4]{B}} \right)}{2}$$

```
Out[2]: \sqrt[4]{B} m'^{\frac{3}{4}} \omega^{\frac{5}{2}} \xi_{y0}^2
```

Abb. 7: Beispiel für computergestützte Formelmanipulation. Die in einer Biegewelle transportierte Energie setzt sich aus mehreren Anteilen zusammen. Für die Herleitung muss die Wellenfunktion mehrfach nach dem Ort und Zeit abgeleitet werden sowie in die Formel zur Berechnung der Intensität eingesetzt werden. Diese mathematischen Schritte werden durch den angegebenen Quellcode vom Computer erledigt. Ergebnis ist die Formel für die Leistung (bei Out[2]:).

- Da alle Teile des Notebooks bearbeitet werden können, kann der Text um einige Anmerkungen ergänzt werden und der Eingriff in den Quellcode erlaubt auf einfache Art und Weise eigene „Was wäre wenn?“-Rechenexperimente.

In den Notebooks wird als Programmiersprache Python [6] verwendet. Diese Programmiersprache ist sehr leicht zu erlernen, an Hochschulen und in der Industrie weit verbreitet und wird von vielen Studierenden bereits gut beherrscht. Für numerische Berechnungen, Formelmanipulation, grafische Darstellungen werden verschiedene Python-Pakete aus dem SciPy-Ökosystem [7] verwendet. Sämtliche einge-

setzte Software ist für alle gängigen Betriebssysteme frei verfügbar und einfach zu installieren. Ebenfalls möglich ist eine Nutzung in der Cloud, so dass von jedem Webbrowser aus gearbeitet werden kann. Das Vorlesungsskript und jeglicher Quellcode darin sind ebenfalls unter freien Lizenzen (CC 4.0, MIT) verfügbar [8].

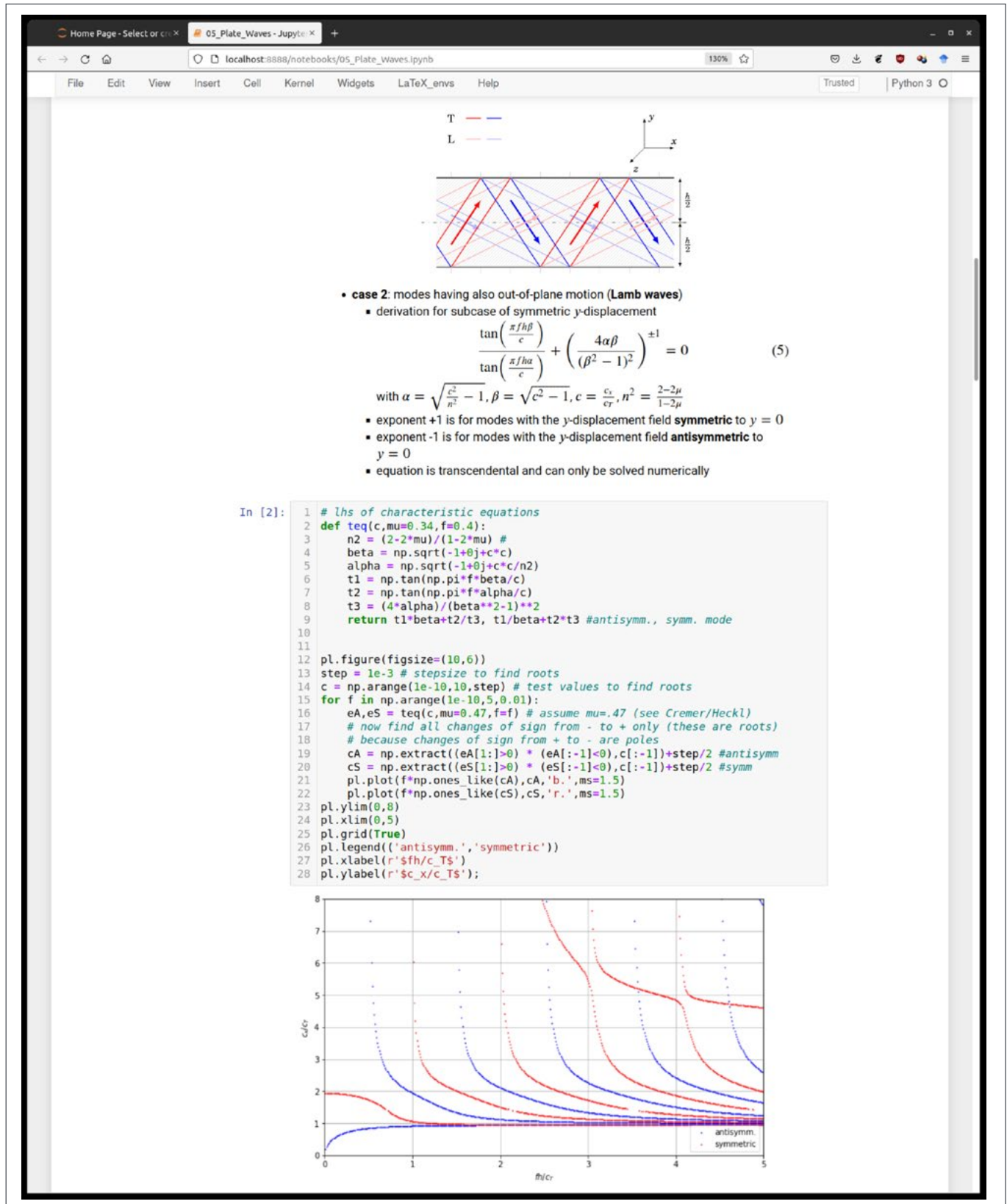


Abb. 8: Beispiel für numerische Berechnung. Auf Platten auftretende Lamb-Wellen sind bestimmte Moden in einem Wellenleiter, die sich aus Longitudinal- und Transversalwellen zusammensetzen, die jeweils an den freien Oberflächen reflektiert werden. Die sich aus diesen Überlegungen ergebende charakteristische Gleichung (5), mit der sich die Phasengeschwindigkeiten der einzelnen Wellen ermitteln lassen, ist transzendent. Der Quellcode zeigt die (näherungsweise) numerische Berechnung der Ergebnisse und die erzeugte zugehörige grafische Darstellung (Dispersionsdiagramm).

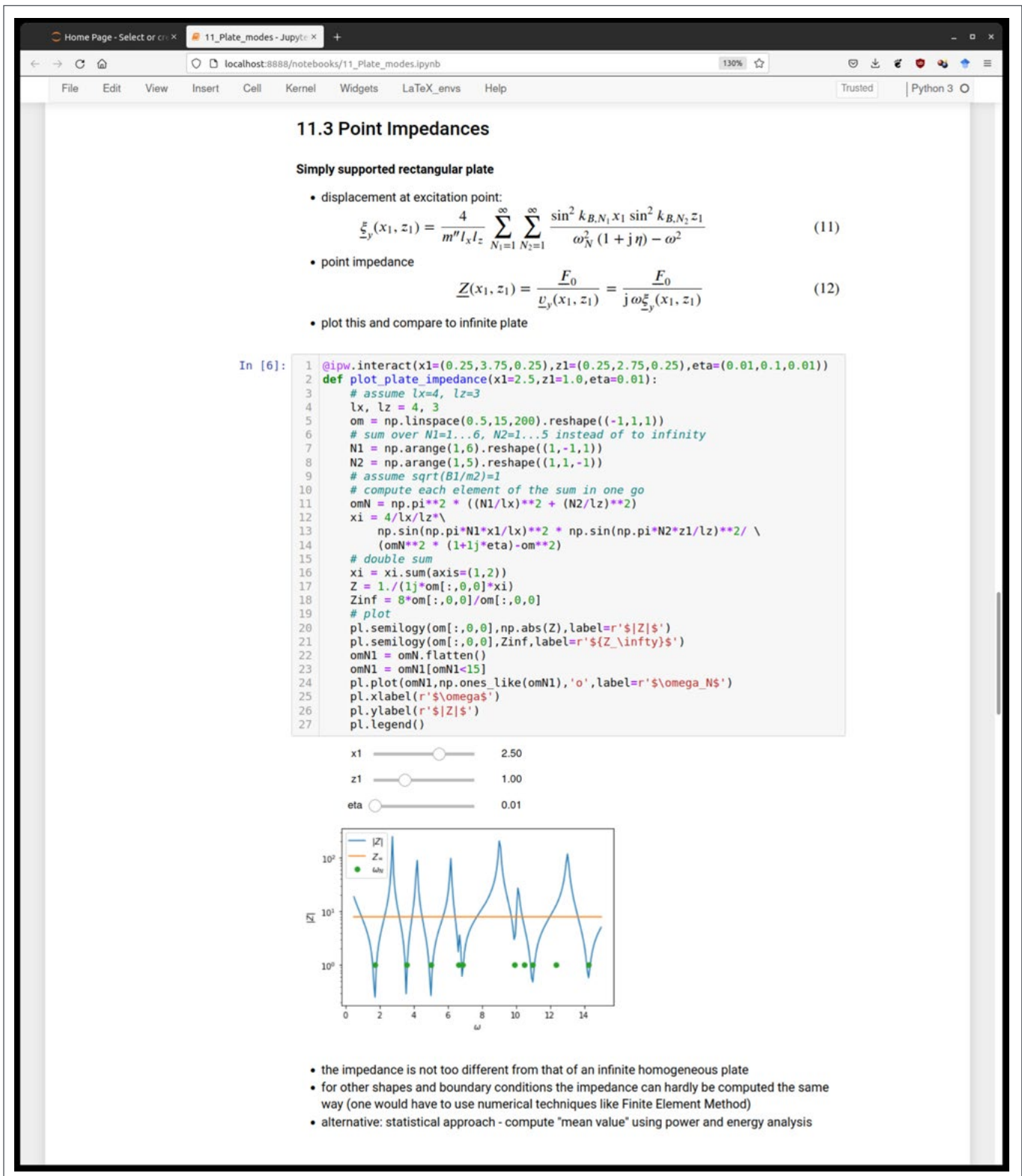


Abb. 9: Beispiel für ein interaktives Diagramm. Für eine rechteckige Platte lässt sich die Punktimpedanz für jeden Ort durch eine Summe über die Moden berechnen, (11) und (12). Diese Prozedur wird vom Quellcode umgesetzt, wobei die Koordinaten für die Punktimpedanz x_1 und z_1 sowie der Verlustfaktor interaktiv über die Schieberegler verändert werden können. Die sich ergebenden Frequenzverläufe der Punktimpedanz werden mit der für die unendliche Platte verglichen. So lässt sich herausfinden, dass zwar Punktimpedanzen unterschiedlich sind, sich im Mittel aber ein zur unendlichen Platte ähnlicher Wert ergibt.



Abb. 10: Vorderansicht R-Bau der Hochschule München mit VR-Kamera aufgenommen.

Aufbau eines virtuellen und interaktiven Akustikpraktikums mit Hilfe von VR-Technik

Johannes Weinzierl, Sebastian Greisinger, Maximilian Miltenberg

In den Bachelor- und Masterstudiengängen an der Hochschule München werden an der Fakultät Maschinenbau, Fahrzeug- und Flugzeugtechnik verschiedene Lehrmodule für Fahrzeugakustik und Technische Akustik angeboten. Diese setzen sich aus Vorlesungen und einem dazugehörigen Praktikum zusammen.

Durch die Pandemiesituation der letzten Semester und die Restriktion nur Onlinelehre durchführen zu können, hat sich deutlich gezeigt, dass Videokonferenzen zum Vermitteln von Inhalten der Akustikversuche im Praktikum, nur eingeschränkt geeignet sind.

Auf der Suche nach Alternativen zur Versuchsvorführung per Videokonferenz bieten die Darstellungstechniken von „Virtual Reality (VR)“ Möglichkeiten. Mit Interaktionsmöglichkeiten gekoppelt, erlaubt VR ein größeres Maß an Anschaulichkeit der Lehrinhalte. Außerdem können Studierende, die noch nie im Akustiklabor oder sogar an der Hochschule waren an einem kurzen virtuellen Rundgang teilnehmen, um die Räumlichkeiten kennenzulernen. Dafür wurden im Labor für Akustik und Dynamik eine 360°-Kamera, ein VR-Headset und Lizenzen für zwei verschiedene Softwaresuiten angeschafft. Bei der 360°-Kamera handelt es sich um eine Insta360 ONE X2, die auf der Vorder- und Rückseite jeweils eine Linse besitzt, welche die jeweiligen Aufnahmen zu einem umfassenden 360° Foto zusammenfügt (siehe Abb. 10).

Bei dem VR-Headset handelt es sich um eine HTC Vive Focus 3. Diese soll zum Testen und Durchführen des Praktikums während der Erstellungsphase verwendet werden. Alternativ ist es für die Studierenden ebenso möglich das Praktikum an einem PC



Make better spaces

with the complete software solution for room acoustics

Elegant and user friendly interface

Fast and reliable simulations and measurements

Available as: **B** Basics, **I** Industrial, **A** Auditorium & **C** Combined

Start your free trial at
www.odeon.dk



durchzuführen. Bei den verwendeten Softwarepaketen zur Erstellung des Praktikums handelt es sich um die „Virtual Reality Suite“ von present4D und „Captive“ von Adobe.

Die Programme unterscheiden sich dabei grundsätzlich in ihrem Aufbau. Die VR-Suite von present4D verwendet eine 360°-Umgebung, in der sich die Teilnehmenden umschaun und auf weitere Schauplätze des Labors wechseln können (siehe Abb. 11). Bei der Einblendung von 2D-Inhalten, z. B. Textfragen oder Videoeinspielungen, wird im 360-Grad-Umfeld ein Pop-up-Fenster angezeigt, welches die Inhalte wiedergibt. Das ermöglicht eine intuitive Bedienung ohne großen Aufwand bei der Erstellung der Inhalte. Dieses Programm ist sehr gut auf VR-Inhalte abgestimmt, bietet jedoch nur eingeschränkte Möglichkeiten bei der Erstellung von Ablaufschemata. Somit kann hier nur ein linearer Ablauf erstellt werden, der wie ein Film weiterläuft. Die Studierenden können hier also keine eigenen Entscheidungen treffen, sondern nur das Praktikum nach vorgegebenem Ablauf durchspielen.

Captive von Adobe verwendet ähnlich MS Power Point Folien, welche man flexibel anordnen kann. In diesen Folien können verschiedene Inhalte, wie z. B. 360°-Fotos oder -Videos dargestellt und interaktive Folien gestaltet werden. So erlaubt z. B. Captivate Drag-and-Drop-Funktionen oder Fragen in Form eines Quiz zur Überprüfung des Lernstandes zu im-

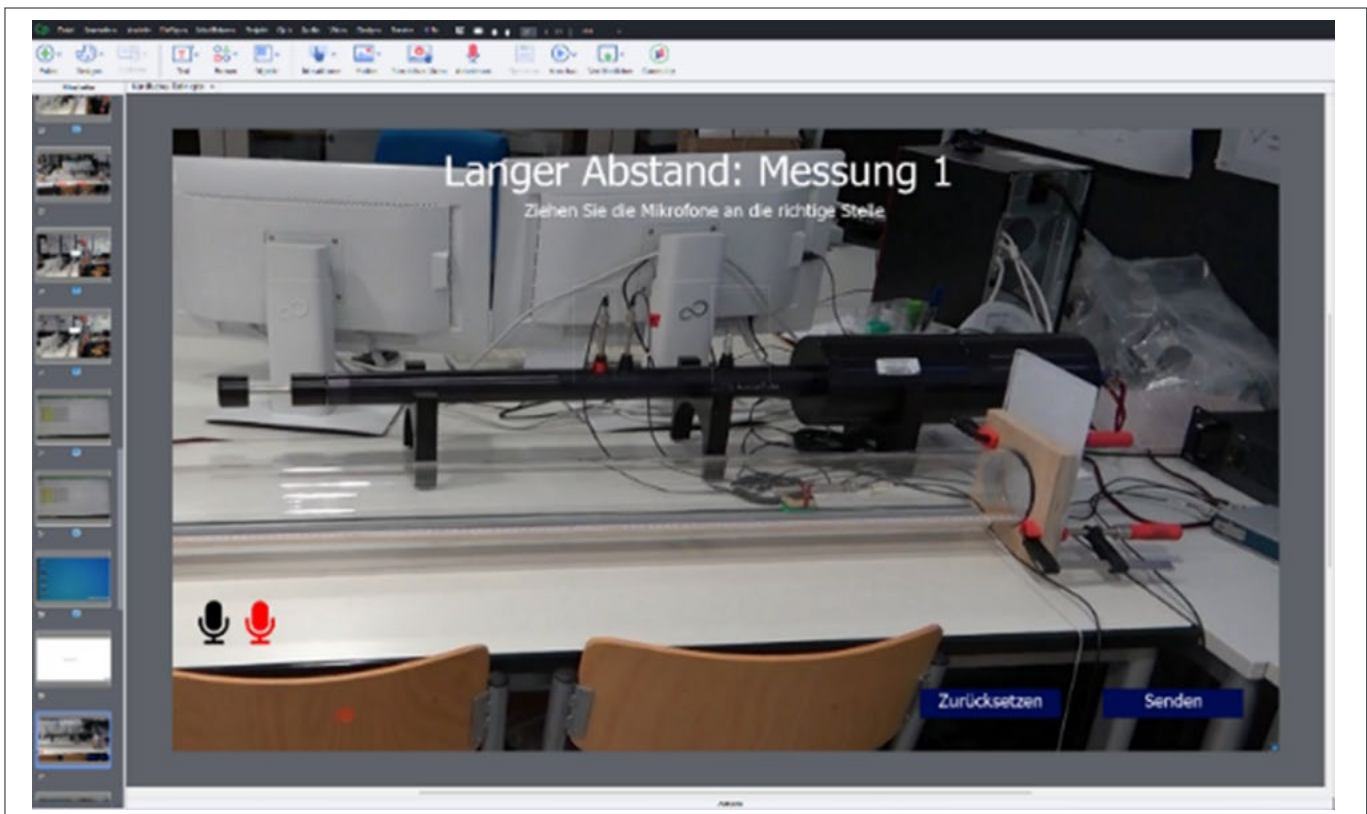


Abb. 11: Kundtsches Rohr in der VR-Suite

plementieren. Auch können von den Studierenden Entscheidungen getroffen werden, die den weiteren Verlauf des virtuellen Praktikums interaktiv beeinflussen. Diese Entscheidung kann dann entweder zu einem richtigen Ergebnis oder auch einem falschen führen. Man ist hier also wesentlich freier im Aufbau des Versuchs, allerdings ist hier die Verarbeitung der VR-Inhalte noch nicht optimal und man ist bei der Verwendung von VR-Inhalten noch teilweise eingeschränkt.

Bei der Entwicklung des digitalen Praktikums „Kundt'sches Rohr“ wird simultan mit den Softwarepaketen Adobe Captivate und Present4D VR-

Abb. 12: Drag-and-Drop in Adobe Captivate



Suite gearbeitet, um die jeweiligen Stärken beider Programme zu nutzen (siehe Abb. 12). Das fertige Lernpaket wird abschließend als HTML5 exportiert und kann von den Studierenden ohne zusätzliche Software im Webbrowser genutzt werden.

Geplant ist den Studierenden das Praktikum baldmöglichst zur Verfügung zu stellen, und weitere Akustikversuche, z. B. zur Ordnungsanalyse an Fahrzeugen, ebenso aufzuzeichnen und zu digitalisieren.

Ethik und Akustik

Monika Gatt

Die Lehre zur Ethik in der Akustik wird von drei Säulen getragen: erstens der Definition von Begriffen der Ethik, zweitens dem Erlernen der Theorien der Ethik inklusive der damit verbundenen Traditionen und drittens der Anwendung von Definitionen und Theorien auf aktuelle Beispiele in der Akustik. Die Ethik gehört zum Forschungs- und Lehrgebiet der Praktischen Philosophie und ist eine vollumfängliche wissenschaftliche Disziplin. Will man sich ethisch nachhaltig in der Ingenieurakustik positionieren, muss man die Philosophie dahinter verstanden haben. Will man im Ingenieurwesen, in der Akustik nachhaltige Produkte entwickeln, muss man die Mathematik und Physik dahinter verstanden haben.

Wir unterscheiden zunächst Ethik, Moral und Gewohnheit. Mit Ethik bezeichnen wir meist eine analytische Draufsicht auf Problemstellungen, die wir in DIN-Normen fixieren und mit Einschränkungen auch lösen. Normen sind weder wahr noch falsch, sie werden gesetzlich definiert und gelten sowohl im Allgemeinen als auch im Einzelfall. Mit Moral in der Akustik bezeichnen wir das tägliche menschliche Miteinander, zum Beispiel das Einhalten von Ruhezeiten in Wohngebieten. Mit Gewohnheit meinen wir zum Beispiel das Musizieren und das Meditieren. Wie wir ein Spannungsfeld in der Akustik beschreiben möchten und mit welchem Ziel wir Forschen, hängt maßgeblich davon ab, auf welcher Ebene wir eine Antwort der Ethik erwarten und einer Lösung entgegengehen möchten. Brauchen wir zum Lärmschutz und zu den Windkraftanlagen einen normativen Standpunkt oder interessiert uns die Ansicht der Bevölkerung, die unmittelbar von vorbeifahrenden Zügen oder einer Windkraftanlage betroffen ist?

Die beiden zentralen Begriffe der Ethik sind die Unantastbarkeit der menschlichen Würde und die Freiheit, als Werte sind sie gesetzlich und politisch unserer Gesellschaft grundgelegt. Die Würde ist insgesamt ein weiter Begriff, sie erstreckt sich deshalb auf alles Lebendige und alles Geistige. Hierzu gehört die Natur, die Pflanzen, die Tiere und das Universum, ebenso wie die Kultur, die Kunst, das Theater und die Naturwissenschaften.

Auf der Basis von Würde und Freiheit stehen die großen ethischen Lehren wie die Pflichtethik, die Tugendethik und der konsequentialistische Utilitarismus. Zudem sollte uns klar sein, ob wir die handelnde Person ethisch bewerten möchten, die Handlung selbst oder die Konsequenzen einer Handlung. Aktuell konfliktreich ist vor allem die frühzeitige Einschätzung der Technikfolgen. Auf der Abschätzung der Technikfolgen ruht die Verantwortungsethik. Wir sind ethisch dazu angehalten, vorhersehbare Folgen in den Konzeptionsprozess frühzeitig zu integrieren. Die Leistungsfähigkeit und Eleganz der Tugendethik besteht darin, dass sich Tugenden sowohl auf die handelnde Person als auch auf Maschinen sowie die Natur beziehen lassen. Beispiele für Tugenden sind Gerechtigkeit, Gastfreundschaft, Mut und die Fähigkeit zu Heilen. Der Kern der Kantischen Pflichtethik ist zweifach, wir haben einerseits die Pflicht, uns an die gesetzlichen Normen in der Akustik zu halten und andererseits die Pflicht, unsere individuelle Begabung zum Ausdruck zu bringen. Der Utilitarismus lebt davon, dass das „größte Glück der höchsten Zahl“ zugewiesen werden soll und übersieht, dass Glück ein individuelles Gut darstellt. Ein:e Kranke:r wünscht sich Gesundheit, ein einsamer Mensch ein schönes Gespräch, wer Hunger hat, braucht Nahrung. Von daher stehen sich der „Technische Imperativ“, der „Ökologisch/Ökonomische Imperativ“ und der „Kategorische Imperativ“ spannungsreich gegenüber. Wenngleich viele technische Entwicklungen derzeit möglich sind, müssen wir diese nicht unhinterfragt umsetzen.

Von daher geht es in den Lehrveranstaltungen zur Ethik im Ingenieurwesen und in der Akustik darum, Orientierung zu finden und weiterzugeben, um in Zukunft verantwortungsbewusst und nachhaltig in einer friedlichen Gesellschaft zu leben.

Literatur

- [1] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: „Mindestkanon: Akustik in der Bachelor-Ausbildung“. DEGA-Empfehlung 102. 2009.
- [2] EAA Schola
<https://euracoustics.org/schola>
- [3] Pitsch, S.: „Acoustics – Toolbox for Teaching“. Fortschritte der Akustik – DAGA 2022, Stuttgart, DEGA Berlin 2022.
- [4] Pitsch S.: „Acoustics“ Toolbox, MATLAB Central File Exchange, 2021.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/75360-acoustics>.
- [5] Project Jupyter
<https://jupyter.org/>
- [6] Python
<https://www.python.org/>
- [7] SciPy
<https://scipy.org/>
- [8] Lecture notes structure borne sound
<https://github.com/acoular/structure-borne-sound-lecture>

**Prof. Dr.-Ing.
Stefan Sentpali**
Hochschule München

**Prof. Dr.-Ing.
Malte Kob**
*Hochschule für
Musik Detmold*

Johanna Bronek
*Weiterbildungs-
zentrum an der
Hochschule München*

**Prof. Dr.-Ing.
Stephan Pitsch**
*Hochschule
Reutlingen*

**Prof. Dr.-Ing.
Ennes Sarrajdj**
*Technische Uni-
versität Berlin*

**Johannes
Weinzierl (B.Sc.)**
Hochschule München

**Sebastian
Greisinger (B.Sc.)**
Hochschule München

**Maximilian Mil-
tenberger (M.Sc.)**
Hochschule München

**Dr. phil.
Monika Gatt**
*Technische Uni-
versität München*