

Interaktive Akustik-Apps zur Veranschaulichung akustischer Phänomene in der Lehre

Johannes Schmid, Jonas Schmid, Lennart Moheit und Steffen Marburg

Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme, TU München, 85748 Garching, Deutschland, E-Mail: johannes.d.schmid@tum.de

Einleitung

In der Vorlesung oder im Schulunterricht werden Experimente eingesetzt, um physikalische Effekte zu erklären und die dahinterstehende Theorie anschaulich zu verdeutlichen. Zudem tragen Experimente dazu bei, den Frontalunterricht aufzulockern und eine lebhaftere Lernumgebung zu schaffen. Jedoch ist der Aufbau und die Durchführung von Versuchen oft mit aufwendigen Messaufbauten und mit der Anschaffung von teuren Messgeräten verbunden. Zusätzlich können für das Gelingen eines Experiments spezielle Laborbedingungen notwendig sein. Um diese Nachteile der aufwendigen Versuchsdurchführung zu vermeiden, wird deshalb oft auf Experimente in der Lehre verzichtet, was sich möglicherweise negativ auf das Verständnis der Lernenden auswirkt.

Der Einsatz von Simulations-Apps umgeht diese Probleme und ermöglicht es, Effekte der Akustik und Strukturdynamik ohne großen Aufwand in einem „virtuellen Experiment“ zu demonstrieren. Durch den Einsatz der Akustik-Apps kann also in der Lehre viel Zeit und Geld eingespart werden und es können im Vergleich zum realen Experiment Versuchsparameter schnell und interaktiv verändert und die dahinterstehenden Effekte anschaulich visualisiert werden. Zusätzlich können die Apps natürlich auch Experimente in der Lehre ergänzen und z.B. die haptischen und auditiven Eindrücke des realen Versuchs mit einem visuellen Ergebnis erweitern. Dadurch können akustische Effekte sichtbar gemacht werden. Der Einsatz digitaler Medien spricht zudem speziell junge Menschen an und bietet diesen einen einfachen Zugang zu wissenschaftlich-technischen Problemstellungen. Dadurch lassen sich auf spielerische Art und Weise weitere Menschen für das Themengebiet der Akustik begeistern. Durch den Einsatz der Akustik-Apps werden also physikalische Phänomene direkt erlebbar gemacht und das interaktive Konzept trägt zu einem besseren Verständnis und zu einer lebhaften Lernumgebung bei.

Das Prinzip

Der Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme der Technischen Universität München bietet dazu eine e-Learning-Plattform in Form einer App-Bibliothek [1] an, auf der zahlreiche Simulations-Apps frei zugänglich zur Verfügung stehen. Diese können einfach über einen PC, ein Tablet oder ein Smartphone mit dem Webbrowser geöffnet werden. Die zugrunde liegenden physikalischen Problemstellungen werden dabei im Hintergrund auf Basis der Finite Elemente Methode (FEM) mithilfe des kommerziellen Simulationsprogramms COMSOL Multiphysics[®] berechnet und die Ergebnisse werden dann online im Webbrowser dargestellt. Dem Anwender werden während der Nutzung der Apps nur die

relevanten Parameter dargestellt, sodass dieser auch ohne Expertenwissen und ohne teure Softwarelizenzen die Simulation mithilfe einer graphischen Benutzeroberfläche durchführen kann. Dadurch wird die Simulation für jeden zugänglich gemacht und bleibt nicht nur Experten vorbehalten.

Der Nutzer hat die Möglichkeit, mit der Maus oder durch Toucheingabe die Geometrie und die Berechnungsparameter interaktiv zu verändern und so z.B. über Schieberegler und Texteingabefelder die Geometrieparameter und die Randbedingungen des Modells zu variieren. Die tatsächliche Berechnung erfolgt anschließend dezentral auf einem Server und lediglich die Ergebnisse werden auf dem Endgerät des Anwenders angezeigt. In der App kann sich der Nutzer dann die berechneten Ergebnisse anschaulich visualisieren und dabei aus verschiedenen Darstellungsformen auswählen. Schließlich lassen sich die Ergebnisse zudem animieren und auch ein Video der Animation kann im Anschluss lokal heruntergeladen werden. Diese vielfältigen Möglichkeiten der Visualisierung in der App ermöglichen es dem Nutzer, die akustischen Phänomene in Detail zu analysieren und zu verstehen.

Apps für die Lehre der Akustik

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten für den Einsatz der Apps in der Lehre der Akustik. Moheit et al. [2] stellen praktische Beispiele aus der Lehre am Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme vor. In diesem Beitrag werden anhand von drei Apps weitere Einsatzmöglichkeiten speziell in der Lehre der Akustik aufgezeigt. Es handelt sich dabei um eine Wellenphänomene-App, eine App zur Veranschaulichung der Vorgänge in einem Impedanzrohr und eine Anwendung zur Visualisierung von Chladnischen Klangfiguren. Der generelle Aufbau einer App ist in Abbildung 1 dargestellt.

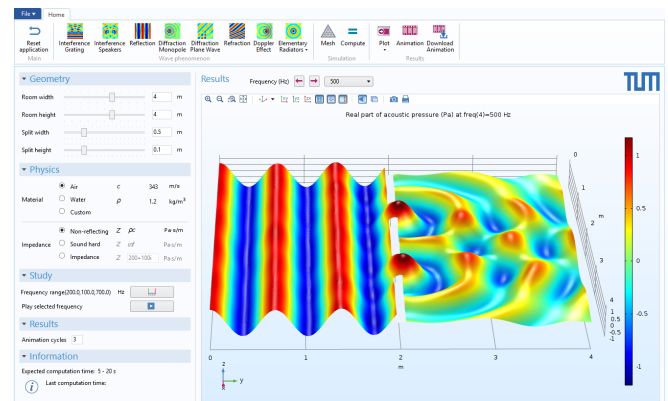


Abbildung 1: Aufbau einer App am Beispiel der Wellenphänomene-App zur Visualisierung der Interferenz am Doppelspalt.

Wellenphänomene

Die Idee der Wellenphänomene-App ist es, grundlegende Wellenphänomene und Effekte der Akustik zu visualisieren, um diese in der Lehre anschaulich erklären zu können. Bisher implementiert sind die Effekte der Reflexion, Beugung, Brechung und Interferenz. Exemplarisch ist in Abbildung 2 die Beugung und Interferenz einer schräg einlaufenden ebenen Welle an einer Schallschutzwand dargestellt.

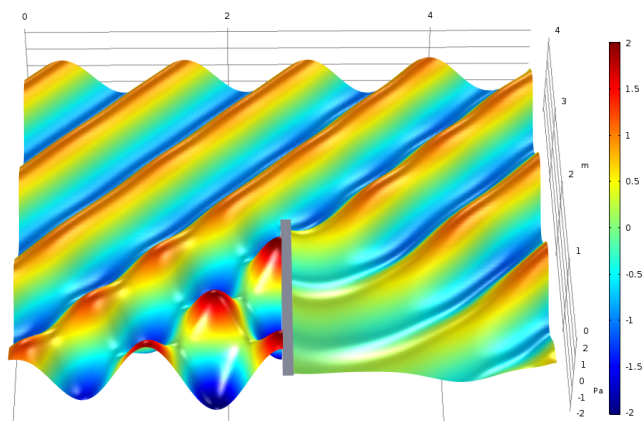


Abbildung 2: Visualisierung des Schalldruckfelds bei der Beugung und Interferenz einer schräg einlaufenden ebenen Welle an einer Schallschutzwand bei einer Frequenz von 600 Hz in der Wellenphänomene-App.

Zusätzlich sind Visualisierungen des Doppler-Effekts und der Elementarstrahler bis zum Typ des Quadrupols enthalten. In der App können die Geometrie- und Berechnungsparameter, wie z.B. Randbedingungen, frei verändert und dadurch das untersuchte Phänomen im Detail analysiert werden. Da die Modelle im Hintergrund im Frequenzbereich gelöst werden, kann das Ergebnis in einem selbst gewählten Frequenzbereich für unterschiedliche Frequenzen dargestellt werden. Dies ist sehr hilfreich für die Veranschaulichung bestimmter Effekte, da die Abhängigkeiten von der Frequenz sichtbar gemacht werden können.

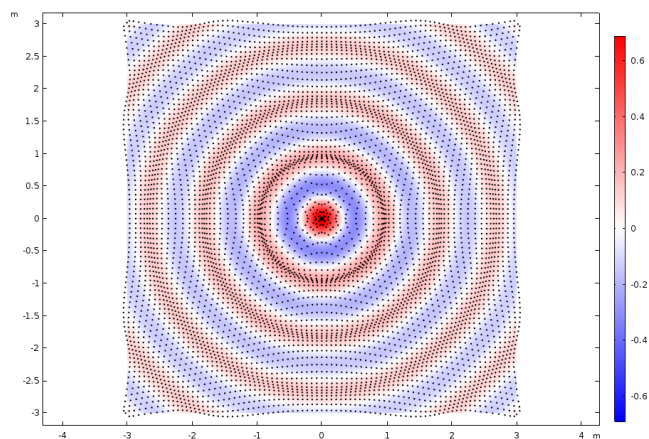


Abbildung 3: Schalldruckfeld eines Monopols visualisiert durch die Verschiebung eines Teilchenfelds in der Wellenphänomene-App bei einer Frequenz von 400 Hz.

Dies liefert speziell bei Phänomenen wie der Beugung oder der Interferenz interessante Erkenntnisse, die wichtig für das Verständnis sind. Des Weiteren bietet die App interessierten Studierenden noch weitere Möglichkeiten, um die Hintergründe bestimmter Wellenphänomene zu verstehen. So können z.B. das Schalldruckfeld und das Schnellefeld getrennt betrachtet oder die akustische Impedanz berechnet werden. Außerdem kann die Wellenausbreitung anhand der Verschiebung eines Teilchenfelds animiert und visualisiert werden, wie in Abbildung 3 anhand eines Monopols dargestellt ist. Zusammenfassend bietet der Einsatz der Wellenphänomene-App also die Möglichkeit, grundlegende Effekte der Akustik in der Lehre anschaulich zu visualisieren und ohne großen Aufwand anhand der App verständlich zu erklären.

Impedanzrohr

Die App zum Impedanzrohr soll das klassische Experiment des Kundtschen Rohrs [3] mit einer einfachen Simulation ergänzen und die stehenden Wellen im Rohr auf anschauliche Art und Weise sichtbar machen. Mit der App können die experimentell ermittelten Wellenlängen der stehenden Wellen mit den Simulationsergebnissen bei einer bestimmten Frequenz verglichen und das Schalldruck- bzw. das Schnellefeld im Rohr visualisiert werden. In Abbildung 4 ist das Schalldruckfeld der stehenden Wellen im Impedanzrohr dargestellt. Diese Kombination aus Experiment und simulativer Visualisierung trägt dazu bei, dass die physikalisch ablaufenden Effekte besser nachvollzogen und verstanden werden können.

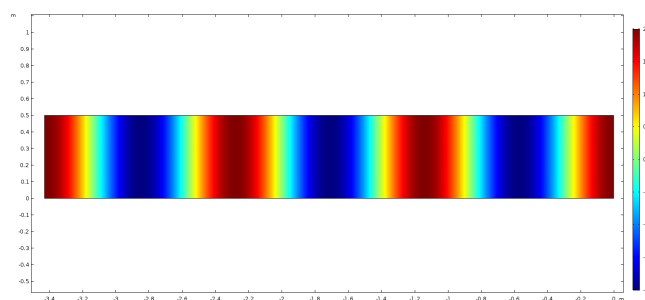


Abbildung 4: Simuliertes Schalldruckfeld in einem 3,4 m langen Impedanzrohr bei einer Frequenz von 300 Hz und einer schallharten Randbedingung am Ende des Rohrs.

Außerdem können die Länge und Breite des Rohrs sowie die Randbedingungen am Ende des Rohrs von schallhart über eine definierte komplexe Impedanz bis hin zu bekannten vordefinierten Absorptionsmodellen von porösen Absorbentien verändert werden. Nach der Berechnung online auf dem Server können neben der Schalldruck- und der Schnelleverteilung auch der Absorptionskoeffizient, der Reflexionskoeffizient und die akustische Impedanz berechnet und in Abhängigkeit der Frequenz dargestellt werden. Somit bietet die App eine ideale Ergänzung zum Experiment mit dem Impedanzrohr und die Sachverhalte können in der Lehre anschaulich und leicht nachvollziehbar vermittelt werden.

Chladnische Klangfiguren

Ein bewährter Versuch zur Veranschaulichung der Schwingungsformen einer Platte sind die Chladnischen Klangfiguren [4]. Dabei wird eine Platte zu Schwingungen angeregt und je nach Anregungsfrequenz ergeben sich unterschiedliche Schwingungsmuster, die mithilfe von feinem Sand auf der Platte veranschaulicht werden. Das Ziel der von COMSOL Multiphysics® entwickelten App ist es, das Experiment durch eine numerische Simulation zu erweitern und so die theoretisch berechneten Eigenschwingungsformen zu visualisieren und mit den experimentell ermittelten Klangfiguren bei einer bestimmten Frequenz zu vergleichen. In der App kann dabei die geometrische Form von einem Rechteck über einen Kreis bis zu einem Geigenkorpus verändert und die Geometrieparameter auf die vorliegende Chladni-Platte angepasst werden. Zusätzlich können die Materialeigenschaften je nach Material der Versuchsplatte ausgewählt werden. Im Anschluss werden im Hintergrund durch Anwendung der FEM und frei-freien Randbedingungen die Eigenschwingungsformen und die Eigenfrequenzen der Platte berechnet. Die Ergebnisse können dann online in der App aufgerufen und in verschiedenen Darstellungsformen visualisiert werden. Eine simulierte Eigenschwingungsform aus der App ist in Abbildung 5 dargestellt.

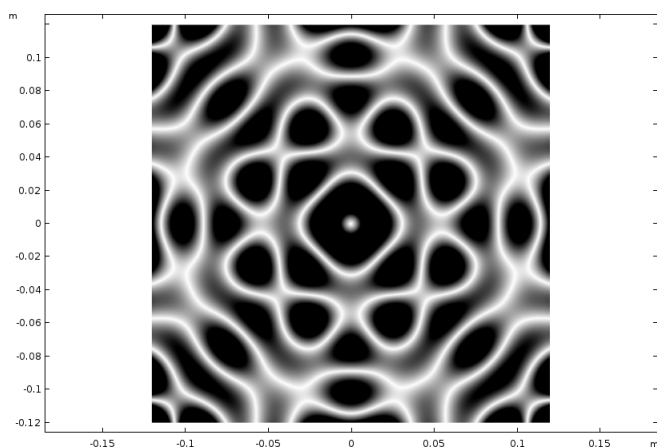


Abbildung 5: Eigenschwingungsform einer quadratischen Chladnischen Klangplatte bei einer Frequenz von 4821 Hz

Dabei sind die Knotenlinien der Platte in weißer Farbe hervorgehoben, sodass die Muster der theoretisch berechneten Eigenschwingungsformen mit den experimentell ermittelten Ansammlungen des Sandes in den Schwingungsknoten verglichen werden können. Des Weiteren können die gemessenen Resonanzfrequenzen mit den berechneten Eigenfrequenzen verglichen und die evtl. auftretenden Abweichungen diskutiert werden.

Ausblick

Zusätzlich zu den hier vorgestellten Apps gibt es in der App-Bibliothek der TU München noch zahlreiche weitere Apps. Diese sind über die Webseite des *Lehrstuhls für Akustik mobiler Systeme* zu erreichen oder direkt über www.apps.vib.mw.tum.de. Die Autoren erhoffen sich eine rege Nutzung der Apps und wollen dadurch zu einer

aktiven Bereicherung der Lehre in der Akustik beitragen. Da sich die App-Bibliothek derzeit noch im Aufbau befindet, freuen sich die Autoren zusätzlich über Feedback und Anregungen unter apps@vib.mw.tum.de.

Literatur

- [1] Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme, Technische Universität München: App-Bibliothek, URL: www.apps.vib.mw.tum.de
- [2] Moheit, L., Mäder, M., Marburg, S.: Interaktive Akustik-Apps - Akustik 'klickbar' machen in Schule, Studium und Beruf. Fortschritte der Akustik - DAGA 2018, 834 - 835
- [3] Kundt, A.: Über eine neue Art akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen. Annalen der Physik und Chemie, 1866, Band 127, No. 4, S. 497-523
- [4] Chladni, E. F. F.: Entdeckungen über die Theorie des Klages, Weidmanns Erben und Reich, Leipzig, 1787