

Bauakustik im Metaverse: Das VR-Lernlabor der Universität Stuttgart zur Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen

Holger Röseler¹, Benjamin Müller², Jan de Boer², Matthias Brodbeck¹, Yuan Fang², Paul Kischkat², Philip Leistner^{1,2}, Michael Singer², Jan Zerelles²

¹ Universität Stuttgart, Institut für Akustik und Bauphysik, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart
E-Mail: info@master-bauphysik.de

² Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
E-Mail: kognitive-ergonomie@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Messtechnische Übungen sind grundlegender Bestandteil (nicht nur) der ingenieurwissenschaftlichen Aus- und Weiterbildung. Gerade die einzelnen Teilgebiete der Bauphysik eignen sich durch die hohe Praxisnähe für didaktische Konzepte, die durch eine explorative Komponente den Lernerfolg nachhaltig verbessern. Aus Messungen von Kennwerten und Vorgängen in den Teilgebieten Wärme, Feuchte, Akustik, Raumklima, Licht und Stadtbauphysik wird das Verständnis für bauphysikalische Phänomene stark gefördert und Zusammenhänge werden besser erkannt.

In Pandemiezeiten, aber auch aufgrund der Verfügbarkeit von Messgeräten und Laboren, können messtechnische Übungen nicht beliebig oft angeboten werden. Eine Virtual Reality (VR) Laborumgebung kompensiert diesen Mangel und es werden sowohl Labor- als auch in-Situ-Messungen in Räumen, Gebäuden und im urbanen Kontext weitgehend zeit- und ortsunabhängig verfügbar. Eine solche VR Umgebung wird gemeinsam vom Institut für Akustik und Bauphysik der Universität Stuttgart (IABP) und vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP für zwei experimentelle Übungen des Studiengangs Master Online Bauphysik und Umweltgerechtes Bauen (MOBU) aus den Bereichen Licht und Akustik entwickelt. Die entstandene Multi-User-Umgebung mit integriertem Sprachchat ermöglicht angeleitetes Experimentieren und zugleich kollaboratives Lernen im virtuellen Raum. Die Nutzung kann ortsunabhängig erfolgen, so dass die Studierenden von verschiedenen Orten aus teilnehmen können. Das (mess-)technische Verständnis wird durch die Kombination von Informationen mit der Immersion der Versuchsumgebung gesteigert.



Abbildung 1: Ansicht des realen Empfangsraums im Storyboard als fotografische Darstellung.

Eine exemplarische Messung der Luftschalldämmung am Türenprüfstand verdeutlicht das Konzept.

Storyboard

Für die Implementierung der Versuche entstand zunächst jeweils ein Storyboard, in dem die grundlegenden Vorgänge für eine normgerechte Messung nach DIN EN ISO 10140-2 [1] in der VR-Umgebung in Form von Skizzen, Bildern (Abb. 1) sowie Texten festgelegt sind.

Für die Messung der Luftschalldämmung in der VR-Laborumgebung sind die folgenden Schritte im Storyboard definiert:

- Erfassung der Randbedingungen, wie Raumgeometrie, Untersuchungsobjekt, Klima, usw.
- Einbau des Prüfgegenstandes
- Festlegen der notwendigen Messungen
- Auswahl des notwendigen Equipments (Stative, Mikrofone, Lautsprecher, Analysator, Verstärker, Kabel, Kalibrator, ...)
- Überprüfen der Messkette mit Kalibrator
- Fremdgeräuschmessung
- Schallpegeldifferenzmessungen mit mehreren Messpunkten und Lautsprecherpositionen
- Nachhallzeitmessung im Empfangsraum
- Optional: Einbau weiterer Prüfgegenstände und deren Messung
- Überprüfen der Messkette mit Kalibrator
- Fremdgeräuschmessung
- Messwerte zur Verfügung stellen und auswerten

Technik

Die entwickelte VR-Laborumgebung basiert auf einer etablierten Game-Engine (Unity) [2]. Diese bietet eine Plattform für die virtuelle Umgebung und ermöglicht unter anderem die Simulation von visuellen Einflüssen. Hierfür wurde ein CAD-Modell des Türenprüfstands in die Game-Engine implementiert (Abb. 2).

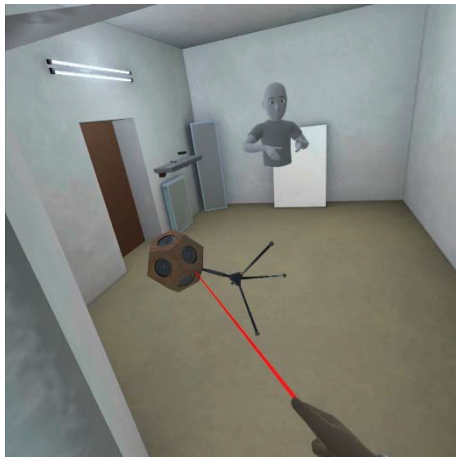


Abbildung 2: Blick in den Senderaum des Türenprüfstandes in der VR-Laborumgebung.

Die VR-Laborumgebung ist für eine spezifische Hardware (3D Brille, Oculus Quest 2) [3] optimiert. Diese Brille integriert alle notwendigen Systeme und erfordert keine weiteren aufwändigen Hilfskomponenten, beispielsweise zum Tracking der Personen im Raum.

Zur Steigerung der Immersion wird neben der detaillierten visuellen Aufbereitung auch auf eine hochwertige Auralisation [4], also die Hörbarmachung der Versuche in der VR-Umgebung, Wert gelegt. Unity ist jedoch für eine realistische Auralisation der akustischen Umgebung unzureichend. Das erfordert die Anbindung der akustischen Middleware WWISE [5], mit der die richtungs- und positionsabhängige Auralisierung einer Schallquelle im Raum, auch unter Verwendung frequenzabhängiger Schalldämmmaße des Prüfbauteils, ermöglicht wird. Grundlagen bezüglich der Anbindung von Unity mit WWISE mussten erarbeitet und die Raumakustik des realen Raums im virtuellen Raum nachgebaut werden. Als Basis hierfür wurden frequenzabhängige akustische Messungen nach DIN EN ISO 10140-2 [1] im Türenprüfstand des Fraunhofer IBP durchgeführt. In Abb. 3 sind die durch die Middleware generierten Schalldämm-Maße eines exemplarischen Trennbauteils den gemessenen Werten gegenübergestellt. Es zeigt sich eine hohe qualitative Übereinstimmung der Verläufe, jedoch mit leicht geringeren Werten bei der Simulation.

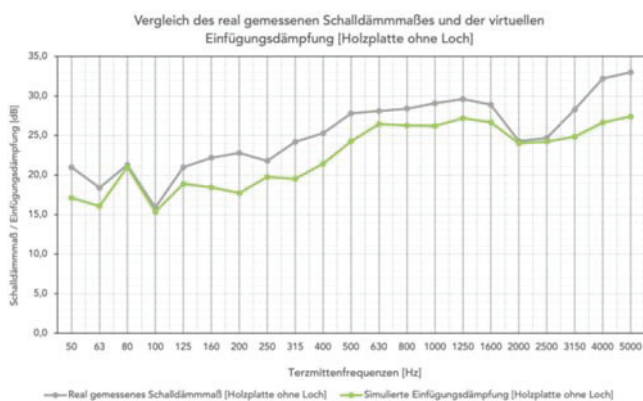


Abbildung 3: Vergleich des real gemessenen Schalldämmmaßes und der virtuellen Einfügungsdämpfung im VR-Labor.

Zusätzlich zu den normativen Messungen erfolgten binaurale Kunstkopfaufnahmen in den realen Laboren (Abb. 4) für einen Abgleich der Auralisierung in der VR-Umgebung mit dem Klang aus der echten Welt.



Abbildung 4: Akustische Messungen sowie binaurale Kunstkopfaufnahmen im Türenprüfstand.

Didaktik

Didaktisch eignet sich die Umgebung für blended-learning Konzepte, um Messübungen qualitativ hochwertig und realitätsnah vorzubereiten. Abb. 5 zeigt den typischen Verlauf eines Semesters im Studiengang MOBU.



Abbildung 5: Typischer Verlauf eines Semesters im Studiengang MOBU.

Im Laufe eines Semesters sind drei Präsenzphasen vor Ort vorgesehen. Während die erste Präsenzphase der inhaltlichen und organisatorischen Einführung dient und in der letzten die Prüfungen stattfinden, sind Mess- und Laborübungen in der mittleren Präsenzphase regelmäßiger Bestandteil [6]. Der Online-Anteil des Studiengangs besteht in der Regel aus der Bearbeitung von Online-Lernmodulen, Online-Tutorien sowie kooperativen Online-Arbeitsformen und dient vor allem dem selbstständigen Aneignen von Fachwissen. Gezielt aufbereitete Aufzeichnungen werden eingesetzt, um komplexe Sachverhalte verständlich zu vermitteln. Die Selbstlernphasen sind individuell gestaltbar und tragen zur notwendigen Flexibilität des berufsbegleitenden Studiums bei.

Der Einsatz der VR-Laborumgebung ist im Rahmen des blended-learning Ansatzes während der Online-Phase

vorgesehen. So dient das VR-Labor in der ersten Online-Phase zur Vorbereitung auf die realen Messungen, die während des Zwischenworkshops stattfinden. Dementsprechend können die Studierenden die Zeit während der Präsenzphasen intensiv für die praxisrelevanten Messungen nutzen. Ebenso ist die Einsatzmöglichkeit der VR-Laborumgebung im Rahmen reiner Fernlehre gegeben, indem die Messungen vollständig in der VR-Umgebung vorbereitet und durchgeführt werden.

Über die rotierend zur Verfügung gestellte Leihhardware (3D Brille) können die Studierenden die Messungen während der Onlinephase kollaborativ und interdisziplinär in Gruppen virtuell in Echtzeit durchführen. Im VR-Labor lassen sich zu jeder Zeit Informationen zur Messung und zur Bedienung des Systems (Abb. 6) abrufen.



Abbildung 6: Darstellung der Hilfeseite mit Tastenbelegung der Controller zur Bedienung des Systems.

Eine programmierte Logik gewährleistet, dass Messungen im VR-Labor nur bei einer korrekt aufgebauten Messkette durchgeführt werden können. Die Messergebnisse erscheinen dann in Abhängigkeit des gewählten Prüfgegenstandes ebenfalls direkt in der VR-Laborumgebung.

Die Vernetzung mehrerer Systeme ermöglicht eine Multi-User-Nutzung und stellt einen synchronen Sprachchat zur Verfügung. Die Studierenden loggen sich gemeinsam mit einer Versuchsbetreuerin bzw. einem Versuchsbetreuer ein, um in der VR-Laborumgebung angeleitet experimentieren und lernen zu können. Die Verfügbarkeit interaktiver Messabläufe beeinflusst den Lernerfolg durch seine explorative Komponente positiv und stärkt das Verständnis der zu Grunde liegenden Phänomene deutlich [6]. In dieser Ausprägung intensiviert das VR-Labor schließlich auch den Zugang der Nutzerinnen und Nutzer zur fortschreitenden Digitalisierung in der Bauwirtschaft.

Im Gegensatz zu einer Kompensation von Messungen mittels Präsentationen, Videos und „Fernsteuerung“ über ein Online-Meeting-System, wie dies beispielsweise während der Covid-19 Pandemie im Studiengang Master Online Bauphysik und Umweltgerechtes Bauen (MOBU) kurzfristig praktiziert werden musste, bietet die VR-Laborumgebung durch seinen explorativen Ansatz einen adäquaten Ersatz für die realen Messungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Im vorgestellten Projekt zwischen dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und dem Institut für Akustik und Bauphysik der Universität Stuttgart (IABP) wird eine VR-Laborumgebung entwickelt, die in der akademischen Aus- und Weiterbildung Anwendung finden kann. Zur Vorbereitung realer Messungen bietet das VR-Labor einen didaktischen Mehrwert während der Online-Phase im Studiengang Master Online Bauphysik und Umweltgerechtes Bauen. Aber auch die Nutzung im Rahmen reiner Fernlehre ist gegeben. Technisch erfolgt die Anbindung einer akustischen Middleware an die genutzte Game-Engine, um eine realitätsnahe Auralisation zu ermöglichen. Dies steigert die Immersion in der VR-Laborumgebung und trägt maßgeblich zum Lernerfolg bei.

Mit der entwickelten VR-Laborumgebung werden mittelfristig weitere innovative Weiterbildungsaktivitäten für Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Architektinnen und Architekten angestrebt. Die Implementierung weiterer Teilgebiete der Akustik und Bauphysik ist vorgesehen. Sprechen Sie uns bei Interesse an!

Danksagung

Wir danken der Fraunhofer Academy für die Förderung der Entwicklung der VR-Laborumgebung.

Quellen

- [1] DIN EN ISO 10140-2:2021: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung. Beuth-Verlag, Berlin (2021)
- [2] Coronado E, Itadera S, Ramirez-Alpizar IG: Integrating Virtual, Mixed, and Augmented Reality to Human-Robot Interaction Applications Using Game Engines: A Brief Review of Accessible Software Tools and Frameworks. Applied Sciences (2023) 13(3):1292.
- [3] Nagta, A., Sharma, B., & Sharma, A.: Oculus: A New Dimension to Virtual Reality. International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS), IEEE (2022), S. 1169 - 1172
- [4] „Auralisation“. In: Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 19. Dezember 2022. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Auralisation&oldid=228999636> (Abgerufen: 27. März 2023)
- [5] Stéphane Beauchemin: Wwise and the Audio Programmer. In Guy Somberg (Hrsg.): Game Audio Programming. CRC Press, Boca Raton (2016)
- [6] Dworok, P.-M.; Mehra, S.-R.; Röseler, H.: Virtuelle und reale Labore. Ein Blended-Learning-Ansatz. In: Arnold, M. et.al.: Entwicklung von wissenschaftlichen Weiterbildungsprogrammen im MINT-Bereich. Münster, Waxmann (2017), S. 251-256