Raumakustische Untersuchung der Mensa der Hochschule Luzern – Technik & Architektur: Ein Fallbeispiel

Armin Taghipour[1], Andreas Odermatt[1], Saeed Abbasion[2], Patrick Walczak[1] und Thomas Graf[1]
[1] *Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Schweiz: armin.taghipour@hslu.ch*
[2] *EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Schweiz*

Abstract

Wegen Beschwerden seitens der Studierenden und der Mitarbeitenden der Hochschule Luzern - Technik & Architektur bezüglich der Lautstärke / Lärmkulisse in der Mensa wurde deren raumakustische Qualität durch akustische Messungen und Simulationen untersucht. Nach einer qualitativen Analyse der Situation (inkl. Vergleich mit der Literatur) wurden folgende Messungen an mehreren Orten im Raum durchgeführt: Hintergrundgeräuschpegel, Noise-Kurven-Vergleichswerte, Nachhallzeit und Schallausbreitung (Schalldruckpegel-Abnahme, SPL-Abnahme) im leeren Raum, sowie Schalldruckpegel-Messungen bei typischer Besetzung vor und während der Corona-Pandemie (d.h. im reduzierten Betrieb). Der Median- Schalldruckpegel (SPL) der Hintergrundgeräusche lag bei 45.1 dBA, Median Noise-Rating-Kurve bei RNC-40 bzw. NR-40, d.h. verträglich. Der typische SPL (LAeq) betrug 72.6 dBA vor und 66.4 dBA während der Corona-Pandemie (Median-Werte), was darauf schliessen lässt, dass der Essbereich für eine niedrigere Gästeanzahl geeigneter wäre als für die Normalbesetzung. Die Nachhallzeit betrug 0.82 Sekunden, was für multiple Sprachkommunikationen in einem engen Raum nicht ganz geeignet ist. Die Messergebnisse zur Schallausbreitung zeigen ein Potential, durch Intervention mit z.B. zusätzlichen Hochfrequenz-Absorbern die Raumakustik zu verbessern. Parallel zu den Messungen wurde der Raum mit der Software COMSOL Multiphysics raumakustisch simuliert. Der Einfluss zusätzlicher absorbierender Materialien an der Decke und den Wänden auf die Qualität der Sprachkommunikation wurde anhand mehrerer simulierten Szenarien untersucht.

Einleitung

Die Mensa der Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU T&A) wurde von Mitarbeitenden und Studierenden während der Mittagszeit als sehr laut beschrieben. Abbildung 1 zeigt den Grundriss dieser Mensa.

Es wurde berichtet, dass man während der Mittagszeit Tischgespräche schwer verfolgen kann. Als Konsequenz erteilte die Hochschule den Auftrag für eine akustische Untersuchung der Mensa. Das Ziel war es, die Möglichkeiten, oder viel mehr die Notwendigkeit für Massnahmen abzuleiten.

Für die Akustik von Mensen wurden in der Literatur drei Einflussparameter besonders hervorgehoben: Raumvolumen, Absorberfläche, sowie Gästeanzahl [1]. Vor allem scheint die Gästeanzahl einerseits am wichtigsten zu

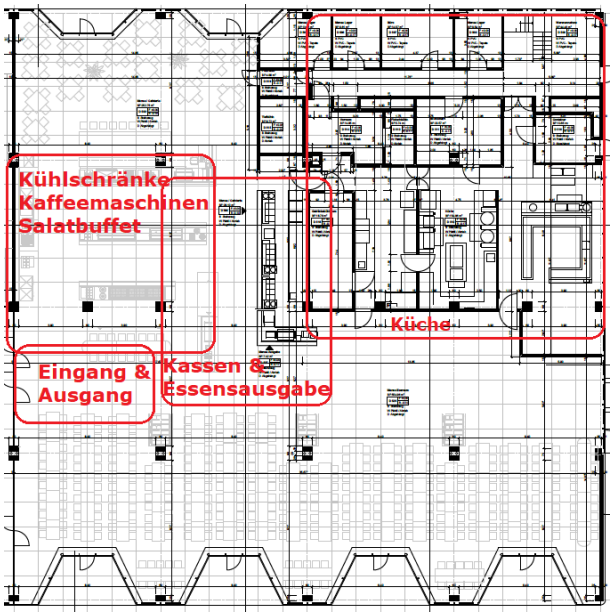

Abbildung 1: Grundriss der Mensa der HSLU T&A.

sein und andererseits unterschätzt zu werden [2]. Da die Anzahl der Gäste der Mensa der HSLU T&A in den letzten 10 Jahren – bis vor der Corona-Pandemie – stetig zugenommen hat, die Räumlichkeit aber gleichgeblieben ist, wurde die Bestuhlung verdichtet. Die Tatsache, dass wir sowohl vor der Corona-Pandemie (d.h., bei Vollbesetzung der Mensa), als auch während der Corona-Pandemie (d.h., im reduzierten Betrieb) SPL-Messungen in der Mittagszeit durchführen konnten, hat uns erlaubt den Einfluss des Parameters “Gästeanzahl” auf die Akustik in dieser Mensa zu quantifizieren.

Die Rolle dieses Parameters kann man sich so vorstellen, dass mit steigender Gästeanzahl auch mehr Gespräche in Mensen stattfinden. Gespräche sind aus akustischer Sicht Schallquellen. Eine Erhöhung der Schallquellen-Anzahl führt zu einer Erhöhung der Gesamt-Schallleistung, folglich zu einer Zunahme des Gesamt-SPLs. Für jedes einzelne Gespräch ist diese Gesamt-Geräuschkulisse das “Hintergrundgeräusch”. Um sich zu hören/verstehen, reden die Sprecher folglich lauter (d.h. mit hoherem Stimmaufwand [3]), was wiederum zu einer Erhöhng des SPLs der Gesamt-Geräuschkulisse führt. Das ist ein Teufelskreis. Dieser Effekt ist als “Lombard-Effekt” bekannt [3, 4]. Mehr Details zum Zusammenhang zwischen dem Signal-Rausch-Verhältnis SNR (d.h., Sprachpegel-Hintergrundpegel-Verhältnis), dem Stimmaufwand und dem Lombard-Effekt findet man in [1, 3, 4, 5, 6].

Ein weiterer Punkt, den die Autoren hervorheben möchten ist, dass vor wenigen Jahren die Decke saniert wurde. Das absorbierende Vlies hinter den Deckenlamellen musste ersetzt werden. Ob diese Renovationsarbeit einen negativen Einfluss auf die Deckenabsorption hatte, ist uns nicht bekannt.

Die akustische Untersuchung wurde mit verschiedenen Methoden angegangen, die unten im Einzelnen beschrieben werden.

Qualitative Situationsanalyse

Eine erste qualitative Analyse der Situation in der Mensa und ein Vergleich mit Ergebnissen aus der Literatur haben zur folgenden Lagebeschreibung geführt. In der Mensa sind viele schallharte Oberflächen vorhanden (s. Abbildung 2).

Abbildung 2: Schallharte Oberflächen in der Mensa: Boden, Tische, Wände , sowie Glastüren/Glasfenster.

Wie in der Einleitung erwähnt, ist es fraglich, ob die aktuelle Decke genügend Absorption aufweist. Hierbei ist die Mensa als ein akustischer Flachraum zu betrachten mit ungenügender SPL-Abnahme mit der Entfernung von der Schallquelle. Gerade in solchen Flachräumen ist der Absorptionsgrad der Decke sehr wichtig [7].

Folgende Geräusche wurden in der Mensa festgestellt: Kühlschränke, Kühlflächen, Kaffeemaschinen, Hintergrundmusik, Essensausgabe, Geschirr, Strassenverkehrslärm (von Aussen) und Gespräche. Gesprächsquellen waren mit Abstand am lautesten wahrnehmbar.

Abbildung 3: Messung der Hintergrundgeräusche (HLKS) in der leeren Mensa.

Abbildung 4: Messung der Nachhallzeit RT60 in der leeren Mensa.

Quantitative Methoden

Die Mensa wurde mit unterschiedlichen Mess- und Simulationsmethoden untersucht.

- Hintergrundpegelmessungen (HLKS) im leeren Raum (06:00 - 07:00 Uhr) und Vergleich mit Noise-Rating-Kurven (NR) [8] (s. Abbildung 3);
- (Typische) Schalldruckpegelmessungen im besetzten Raum zur Mittagszeit;
- Nachhallzeit, RT60, im leeren Raum [9] (s. Abbildung 4);
- Schallausbreitung, d.h., Pegelabnahme mit der Distanz [7];
- Simulationen von der Nachhallzeit, sowie Beispiel-Gesprächsszenarien mit der Software COMSOL Multiphysics [10, 11] (s. Abbildung 5);

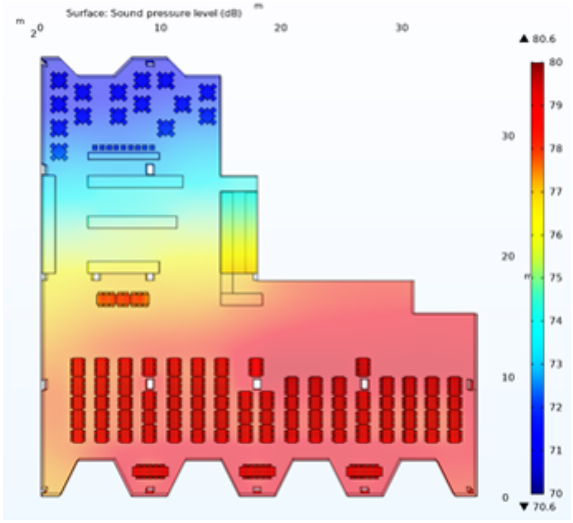

Abbildung 5: Simulation mit der Software COMSOL Multiphysics.

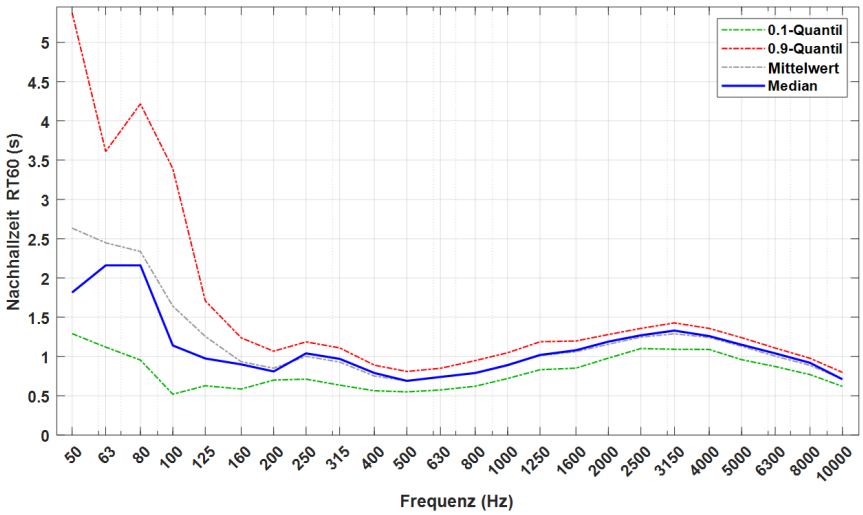

Abbildung 6: Nachhallzeitmessungen in der leeren Mensa.

Ergebnisse

Hintergrundgeräusche in der leeren Mensa: In der leeren Mensa wurde an mehreren Orten der Hintergrundpegel gemessen. Der Median L_{Aeq} betrug 45.1 dBA. Der maximale L_{Aeq}, der bei den Kühlschränken und -Fächern beobachtet wurde, betrug 53.9 dBA. Der Vergleich mit NR-Kurven [8] hat für den Median-L_{Aeq} und Maximum-L_{Aeq} zu NR-40 und NR-51 geführt. Die Hintergrundgeräusche sind somit als nicht-problematisch einzustufen. Die Maximalwerte wären nur dann kritisch, wenn sie direkt im Essbereich existieren würden. Sie wurden aber im Bereich der Essensausgabe resp. Kasse gemessen.

Der SPL während der Mittagszeit: Der SPL in der typisch besetzten Mensa wurde zu zwei Zeitpunkten gemessen: im September 2019 (vor der Corona-Pandemie, Normalbetrieb) und im Oktober 2020 (während des Corona-bedingten Minimalbetriebs). Jeweils wurden mehrere Beispiel-Messungen an unterschiedlichen Orten in der Mensa durchgeführt. Im Normalbetrieb vor der Corona-Pandemie wurde ein Median L_{Aeq} von 72.6 dBA bzw. ein Maximal L_{Aeq} von 77.9 dBA gemessen. Im Minimalbetrieb während der Corona-Pandemie wurde hingegen ein Median L_{Aeq} von 66.4 bzw. ein Maximal L_{Aeq} von 69.1 dBA gemessen. Die gemessenen Durchschnittspegelwerte im Normalbetrieb sind zu hoch. Die Werte im Minimalbetrieb repräsentieren aber gute Rahmenbedingungen für akustischen Komfort sowie angenehme Sprachkommunikation [5]. Dieser Unterschied unterstreicht die Wichtigkeit des Parameters “Gästeanzahl”. Unabhängig davon, welche raumakustischen Verbesserungsmassnahmen in einer Mensa durchgesetzt werden, kann eine hohe Anzahl an Schallquellen eine unerträgliche und für die Sprachkommunikation inakzeptable akustische Situation darstellen [5].

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Nachhallzeit-Messungen (RT60) in der leeren Mensa. Der Median, der Mittelwert, das 0.1-Quantil und das 0.9-Quantil der Messungen an unterschiedlichen Orten, sowie mit unterschiedlichen Messgeräten sind in der Abbildung farblich gekennzeichnet. Die Median Nachhallzeit betrug bei den meisten Terzbänder über 800 ms, bei vielen sogar über 1 s (bei tiefen und hohen Frequenzen). 90% der Messungen zeigen bei allen Terzbändern einen Wert über 500 ms. Das sind zu hohe Nachhallzeiten. Obwohl das keine katastrophale Situation darstellt, wären Werte unter 500 ms im Sprachbereich von ca. 125 bis ca. 2000 Hz wünschenswert.

Die Ergebnisse der Schallausbreitung in der Mensa – d.h., Pegelabnahme mit der zunehmenden Distanz von der Schallquelle – sind in der Abbildung 7 zu sehen. Dabei sind beispielhaft vier Terzbänder mit den Mittenfrequenzen 100, 500, 1000 und 2000 Hz gezeigt. Die Messung zeigt, dass vor allem bei hohen Frequenzen der Schallpegel mit der Distanz von der Schallquelle nicht genügend abnimmt. Auch hier ist die Situation nicht so schlimm wie bei einer vollkommen schallharten Deckenoberfläche. Allerdings können diese Ergebnisse als mangelhafte Absorption durch die Decke interpretiert werden. Die Frage, ob nur die Decke dafür verantwortlich ist, oder auch andere harte Oberflächen hierbei eine Rolle spielen, ist ausserhalb unseres Untersuchungsbereichs. Klar ist, dass Verbesserungspotenzial besteht.

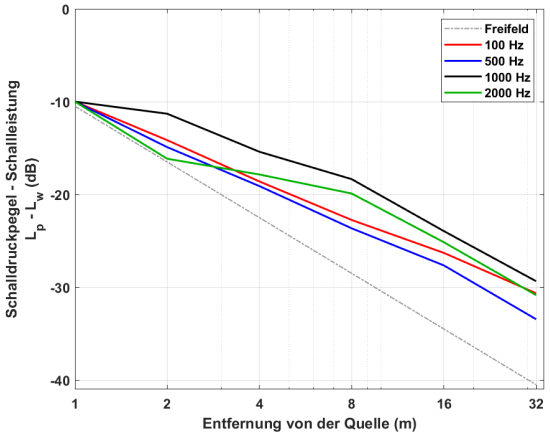

Abbildung 7: Schallausbreitung im Raum: Pegelabnahme mit der Distanz von der Schallquelle.

Berechnungen der Raumakustik mit der Software COMSOL Multiphysics [10]: Die Raumgeometrie der Mensa konnte präzise in die Modelle übertragen werden. Der Wert der Nachhallzeit RT60, berechnet mittels analytischer Abschätzung (Sabine) oder mittels numerischer Simulation (Ray Tracing oder Diffusion der Schallenergie) hängt kritisch von der Absorption der Raumbegrenzung ab. Wie oben diskutiert, ist die Begrenzung der Mensa nahezu schallhart. Der exakte Wert von α_w ist nicht bekannt, aber auch nicht entscheidend. Entscheidend ist einzig, dass mit grossem α_w möglicher Absorber (Vorhänge, Deckenabsorber, Trennelement) und einer sinnvollen Belegung der Flächen eine Reduktion der Nachhallzeit RT60 erreicht werden kann. Für die Berechnungen der sogenannt "schallharten" Mensa (das entspricht etwa dem aktuellen Mensaraum) wurde ein α_w von etwa 0.1 für die Raumbegrenzung gewählt. Der Wert ist zu tief, wie der Vergleich zwischen Berechnung und Messung der Nachhallzeit RT60 zeigt. Insbesondere liefert die Berechnung mittels Sabine'scher Formel hohe Werte der Nachhallzeit. Verschiedene Verbesserungsszenarien wurden berechnet.

Exemplarisch hat ein Szenario mit abgehängten Deckenpaneelen, Boden-Absorbern, Vorhängen und Wandabsorbern die berechnete Nachhallzeit nach Sabine bzw. Ray-Tracing um einen Faktor 5 bzw. 8 abgesenkt. Zudem haben Simulationen von multiplen Gesprächssituationen zu einem ungenügenden SNR (-4.8 dB) für den Original-Raum, aber einem guten SNR (2.6 dB) für den akustisch verbesserten Raum geführt [5, 6].

Fazit

Die akustischen Messungen und Simulation haben gezeigt, dass die Raumakustik in der Mensa der HSLU T&A nicht optimal ist. Zwar sind die Hintergrundgeräusch-Pegel in der leeren Mensa akzeptabel, aber führen relativ hohe Nachhallzeiten, sowie unzureichende SPL-Abnahme mit der Entfernung von der Schallquelle zu einer schlechten Geräuschkulisse. Das ist vor allem am enormen Unterschied zwischen der typischen SPL zur Mittagszeit im Normalbetrieb (vor der Corona-Pandemie) und im Minimalbetrieb (während der Corona-Pandemie) zu erkennen. Dieser Umstand bestätigt die Wichtigkeit des Parameters "Gästeanzahl" und eine offensichtliche Fehleinschätzung diesbezüglich in der Mensa. Das Ergebnis ist ein Essraum, in dem Sprachkommunikation schwierig zustande kommen kann [5]. Das unzureichende SNR [5, 6] führt zur Notwendigkeit für hohen Stimmaufwand [3], was wiederum die Gesamt-Geräuschkulisse lauter werden lässt (Lombard-Effekt) [3, 4].

Sowohl die akustischen Messungen als auch die Simulationen zeigen raumakustisches sowie Raumgestalterisches (bezüglich der Gästeanzahl) Verbesserungspotenzial.

Die Autoren schlagen folgende Verbesserungen vor:

- Mehr Absorber an den Wänden;
- Transparente akustische Vorhänge vor den Fenstern;
- Kontrolle und ggfs. Überarbeitung der Decke (Absorber);
- Reduktion der Anzahl der Tische und Stühle (Reduktion der Anzahl der Besucher in Spitzenzeiten);
- Akustische Raumtrennelemente.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Herrn György Csikos für seine hilfreichen Ideen und Beiträge im Projekt.

Literatur

[1] Rindel, J. H.: Verbal communication and noise in eating establishments. Appl. Acoust. 71 (2010), 1156–1161.

[2] Rindel, J. H.: Acoustical capacity as a means of noise control in eating establishments. BNAM2012 (2012), Odense, Denmark.

[3] ISO 9921:2003: Ergonomics – Assessment of speech communication. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz.

[4] Lazarus H.: Prediction of verbal communication in noise – a review: part 1. Appl. Acoust. 19 (1986), 439–64.

[5] Lazarus H.: Prediction of Verbal Communication in Noise – A Development of Generalized SIL Curves and the Quality of Communication: Part 2. Appl. Acoust. 20 (1987), 245–261.

[6] Rindel, J. H.: Restaurant acoustics – Verbal communication in eating establishments. Acoustics in Practice, International e-Journal of the European Acoustics Association (EAA) 7 (2019).

[7] Fasold, W. & Veres, E.: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Beuth (2003).

[8] ISO 1996-1:2016: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz.

[9] ISO 3382-2:2008: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz.

[10] COMSOL Multiphysics®: https://www.comsol.com/comsol-multiphysics.

[11] Kang, J.: Numerical modelling of the speech intelligibility in dining spaces. Appl. Acoust. 63 (2002), 1315–1333.