Echoes of Wellbeing – Raumakustische und Psychoakustische Analyse der Arbeitsumgebung in Österreichischen Schulen

Sarah Ambros[1], Sebastian Kraync[2], Christoph Reuter[1]

[1] *Universität Wien, Institut für Musikwissenschaft, 1090 Wien,*
E-Mail: sarah.ambros@univie.ac.at, christoph.reuter@univie.ac.at
[2] *Ecophon Österreich, 1100 Wien, E-Mail: sebastian.kraync@ecophon.at*

Einleitung

Die Raumakustik in Schulen und anderen Bildungseinrichtungen ist in Neu- und Umbauten durch verbindliche Richtlinien zur Nachhallzeit geregelt. Dabei besteht seit längerer Zeit laut Aussagen des Vorsitzenden des Normenausschusses DIN18041 kein Erkenntnisproblem mehr, sondern vielmehr ein Umsetzungsproblem von geeigneten Maßnahmen [zit. n. 1], was in einer Vielzahl internationaler messtechnischer Untersuchungen der letzten Jahre bestätigt wurde. Überschreitungen der Regelungen finden sich beispielsweise über Bundesländer hinweg betrachtet in deutschen Schulen [2] und in vereinzelt untersuchten Volksschulen in Italien [3]. Auswirkungen der raumakustischen Bedingungen und hoher Lärmpegel auf Lehrende wurden in einem Anfang des Jahres veröffentlichten Review zu 33 themenbezogenen Studien zusammengefasst [s. 4].

In Österreich gibt es vereinzelte, ältere Untersuchungen einiger Einrichtungen [5], bislang fehlt jedoch eine größer angelegte, messtechnische Erhebung über Bundesländer und Schularten hinweg. Auch Befragungen einer aussagekräftigen Stichprobe österreichischer Lehrender zur Wahrnehmung der Bestandssituation liegen bisher keine vor.

Ziele und Hypothesen

Ziel dieser laufenden Untersuchung ist eine Überprüfung des aktuellen raumakustischen Bestands und der Ausstattung in österreichischen Schulen anhand von Messdaten sowie eine subjektive Erhebung durch Befragungen von Lehrenden. Nach einer Literaturrecherche zu bisherigen Ergebnissen und in Bezug auf psychoakustische Aspekte werden die folgenden Hypothesen getestet:

H.1.1 Eine (gemessene) negative raumakustische Situation am Arbeitsort geht mit einer geringeren Zufriedenheit, Motivation und geringerem Wohlbefinden der Lehrenden einher.

H.1.2 Es gibt Gruppenunterschiede in der Wahrnehmung raumakustischer Bedingungen hinsichtlich des sensorischen Profils und habituellen Grundtendenzen der Verarbeitung von Befragten.

Methode

Die raumakustischen Messungen werden angelehnt an die Messmethode in ISO 3382-2 durchgeführt, wobei Impulsantworten und Nachhallzeiten (T_{20}) in unbesetzten repräsentativen Räumen erhoben werden. Als repräsentativ gelten Räume, in denen täglich Unterricht stattfindet. In jeder Einrichtung werden neben einem Klassenraum von jeder Größe und dem Lehrer*innenzimmer weitere Räume wie der Turnsaal, Musikraum oder (offene) Lernflächen, Aufenthaltsräume und Flure gemessen. Um genauere Messergebnisse zu gewährleisten, kommen pro Einrichtung zwei Messmethoden zum Einsatz:

- Impulse durch platzende Luftballons anhand von
  - Aufnahmen mit einem kalibrierten Schallpegelmessgerät (NTi XL2)
  - oder durch Messmikrofone und der Aufnahme in Audition.
- Sinus-Sweep-Messungen in den Oktav-Frequenzbändern 125-4000 Hz.

Für die Erhebung der raumakustischen Wahrnehmung wurde ein Online-Fragebogen entwickelt und an bereits akustisch vermessene Schulen ausgesendet.

Abhängige Variablen

Neben der vor Ort gemessenen Nachhallzeit werden Einflüsse auf den beurteilten Störfaktor verschiedener Lärmquellen, beschreibende Parameter der Hauptunterrichtsräume und von den Lehrenden beurteiltes Wohlbefinden und Motivation für den Beruf untersucht.

Unabhängige Variablen

Anhand einer Selbstbeurteilung werden sensorische und habituelle Grundtendenzen der Verarbeitung und Bewertung von Lehrenden anhand des *Short Eysenck Personality Profiler with NEO-PI-R-Openness* [6, erfolgreich angewendet in 7] und 13 Items, angelehnt an das *Short Sensory Profil* [8] aufgenommen.

Die Persönlichkeitsmerkmale werden in 4 Skalen zu Extraversion (α=,660), Neurotizismus (α=,496), Psychotizismus (α=,170) und einer zusätzlichen Dimension Offenheit für neue Erfahrungen (α=,722) zusammengefasst. Hinzu kamen Items in Bezug auf die sensorische Verarbeitung von Reizen, die zwei Skalen zu Auditivem Filtern (α=.686) und Visueller Sensitivität (α=.622) bilden.

Zudem werden Unterschiede durch Art der Bildungseinrichtung und der Klassenraumausstattung durch angebrachte absorbierende Materialien betrachtet.

Auswertung

Mithilfe des Audition Plugins Aurora Acoustical Parameters konnten bisher aufgenommene Impulsantworten hinsichtlich relevanter Parameter ausgewertet werden (z.B. Nachhallzeit, Deutlichkeit, Stärkemaß).

Die statistische Auswertung und Visualisierung der Daten erfolgte über SPPS und Excel.

Ergebnisse

Die vorläufigen Ergebnisse beziehen sich auf 22 messtechnisch erhobene Schulen in 6 österreichischen Bundesländern, dabei wurden 33 Klassenräume analysiert. Die Befragungsdaten betreffen insgesamt 73 vollständige Datensätzen aus 9 unterschiedlichen Einrichtungen (s. Abb. 1). Die Teilnehmenden sind mehrheitlich weiblich (56♀, 16♂, 1⚥) mit einem mittleren Alter von 42,8 Jahren (22-62; STD: 11,9).

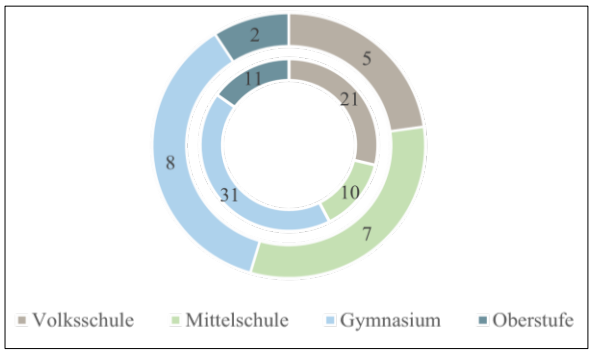

Abbildung 1: Aufteilung der Messdaten (außen) sowie Befragungsdaten (n=73, innen) auf 4 verschiedene Schularten.

Vergleich mit österreichischen Richtlinien

Die in Österreich verbindliche Richtlinie 5 des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB-5) schreibt für Bildungseinrichtungen im Neu- und Umbau abhängig vom Nutzungszweck der Hörsamkeit oder Lärmminderung Bestimmungen zur Nachhallzeit oder des Schallabsorptionsgrades vor [9]. In dieser Auswertung wird lediglich auf gemessene Klassenräume eingegangen, die unter Hörsamkeit als Kommunikationsräume eingestuft werden und für die eine vom Volumen abhängige ideale Nachhallzeit angegeben ist. Die bereits untersuchten Klassenräume weisen Volumina von 125-250 m^3 auf, für die gemäß OIB-5 Nachhallzeiten von 0,50 - 0,59 s im besetzten Zustand vorgesehen wären. Die ÖNORM B8115-3 zu Schallschutz und Raumakustik empfiehlt zusätzlich zur idealen Nachhallzeit eine Berücksichtigung von Inklusionsbedarf anhand einer 20-prozentigen Verringerung [10].

Die gemessenen Klassenräume wurden gemäß ihrer Flächenmittelwerte (62m^2) der Übersicht halber in kleinere (n=17) und größere Räume (n=13) unterteilt (Abb. 2). Gemittelte Nachhallzeiten im unbesetzten Zustand liegen dabei bei T_{klein}=0,68 s und $T_{groß}$=0,65 s, wobei Messdaten aus Containerklassen (n=3) nicht eingerechnet sind.

Berechnet wurde ein theoretischer Nachhall für die halbbesetzten Klassen (10 Kinder + 1 Lehrende*r). Dieser wurde mit Angaben in österreichischen Richtlinien verglichen. Dabei könnten die Grenzwerte mit einem 20-prozentigen Toleranzbereich in den einzelnen Frequenzbändern in 55% der Fälle eingehalten werden.

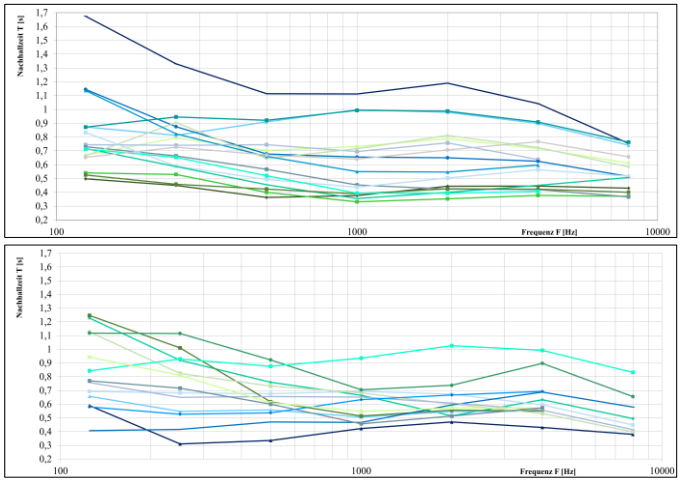

Abbildung 2: Nachhallzeiten in den Oktavfrequenzbändern 125-4000/8000 Hz in unbesetzten kleinen (oben) und großen Klassenräumen (unten).

Einrichtungsabhängige Effekte

Die unabhängige Variable *Art der Bildungseinrichtung* hat einen signifikanten Einfluss auf die Variablen zur eingeschätzten *Befindlichkeit nach einem Arbeitstag* ($F_{(3,69)}$ = 4,794, p = <,05; $F_{(3,69)}$ = 5,424, p = <,05) und zum *Wohlbefinden am Arbeitsort* ($F_{(3,69)}$ = 3,581, p< ,05). Durch verschiedene Klassenraumausstattungen können Unterschiede in der subjektiven *Beschreibung der hauptsächlich genutzten Räume* ($F_{(6,66)}$ = 2,521, p< ,05), dem *Störfaktor Lärm* (F(6,66) = 3,344, p< ,05) und bezüglich des *Stimmverhaltens beim Unterrichten* ($F_{(6,66)}$ = 2,782, p< ,05) belegt werden.

Die Angabe der Befindlichkeiten *Müdigkeit* und *Angespanntheit nach einem Arbeitstag* sind bei Lehrenden an Mittelschulen im Vergleich zu Volksschulen ausgeprägter vorhanden (Scheffé: 2,186, 95%-CI [0,11-4,26]). Oberstufenlehrende (dunkelblau) beurteilen das Befinden auf der 10-stufigen Skala im Vergleich zu Mittelschullehrenden (grün) stärker in Richtung Entspanntheit und Vitalität (2,536, 95%-CI [0,18-4,89]).

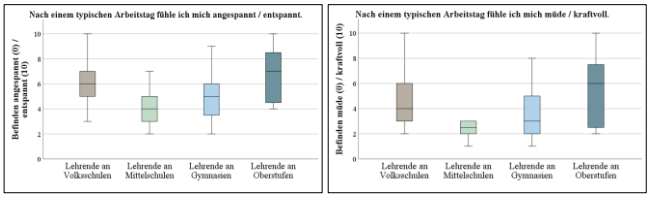

Abbildung 3: Boxplot-Diagramme der 4 untersuchten Einrichtungsarten (altersaufsteigend von links nach rechts) bezüglich der *Befindlichkeiten nach einem typischen Arbeitstag*.

Das *Wohlbefinden im Unterricht* wird besonders von Lehrenden an allgemein höher bildenden Schulen (Gymnasien) geringer eingeschätzt im Vergleich zu Befragten, die in anderen Bildungseinrichtungen tätig sind (Abb. 4).

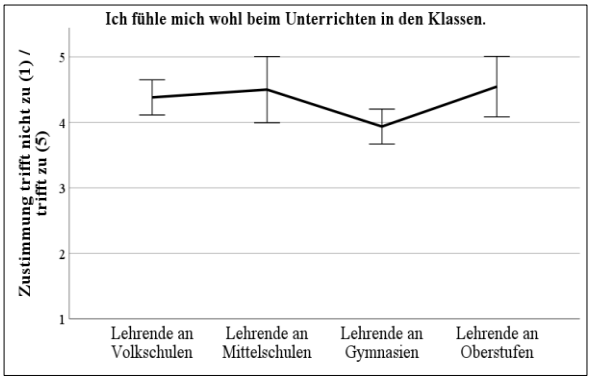

Abbildung 4: Unterschiede im bewerteten *Wohlbefinden im Unterricht* zwischen Ratings aus verschiedenen Einrichtungsarten.

In Verbindung mit der Raumausstattung durch absorbierende Materialien wurden Unterschiede in der Raumbeschreibung als *angenehm / unangenehm* ($F_{(6,66)} = 2{,}521$, $p < ,05$) sowie bei der Störung von *Lärm im Unterricht* ermittelt ($F_{(6,66)} = 3{,}344$, $p < ,05$). Ein post-hoc Test (Gabriel) zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Räumen mit günstigen Mineralfaserakustikplatten und jenen ausgestattet mit Lochdecken, wobei letztere deutlich angenehmer bewertet (2,675, 95%-CI, [0,24-5,11]) und der *Störfaktor Lärm im Unterricht* geringer eingeschätzt wird (1,104, 96%-CI, [0,11-2,09]). Die Bewertung des Items „*Ich muss meine Stimme erheben, um gehört zu werden*“ unterscheidet sich signifikant zwischen jenen Klassenraumbedingungen (Abb. 5), die gänzlich ohne absorbierende Materialien sowie mit Rasterdecken ausgestattet sind (1,786, 95%-CI [,03-3,54]).

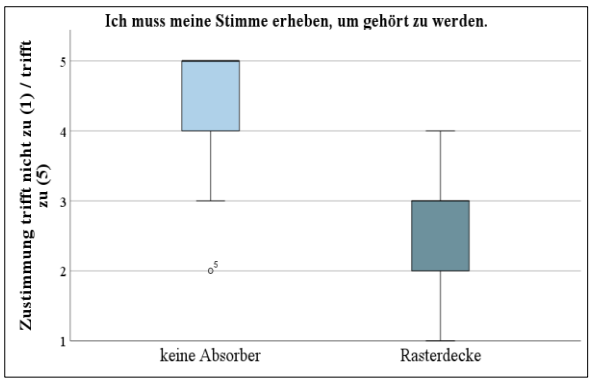

Abbildung 5: Boxplot-Diagramme der Klassenraumausstattungen ohne absorbierende Materialien sowie mit Rasterdecke und der Zustimmung zum *Stimmverhalten im Unterricht*.

Auswirkungen durch Persönlichkeitsausprägungen

Die Wahrnehmung von Echos zeigt je nach Ausprägung der Befragten im Merkmal Neurotizismus Unterschiede – Personen mit ausgeprägteren Zügen stimmen der Aussage stärker zu, bereits Echos bei der Arbeit wahrgenommen zu haben ($t_{(71)} = 2{,}492$; $p < ,05$). Gleichzeitig werden negative, schwache Zusammenhänge des beurteilten Echos und der *Leichtigkeit beim Sprechen im Unterricht* ($r = -,322$; $p < ,05$) sowie in Verbindung zur *Heiserkeit nach dem Arbeitstag* ($r = -,249$, $p < ,05$) festgestellt.

Die Ausprägung der Neurotizismuswerte wirkt sich auch auf die subjektive *Beschreibung der Unterrichtsräume* sowie den *Störfaktor Lärm* aus. Lehrende mit Ausprägungswerten über dem Median (1) bewerten die Räume lauter ($t_{(71)} = -2{,}946$; $p < ,05$) und fühlen sich von Lärm beim konzentrierten Arbeiten in der Klasse gestörter ($t_{(71)} = 3{,}364$; $p < ,001$) (Abb. 6).

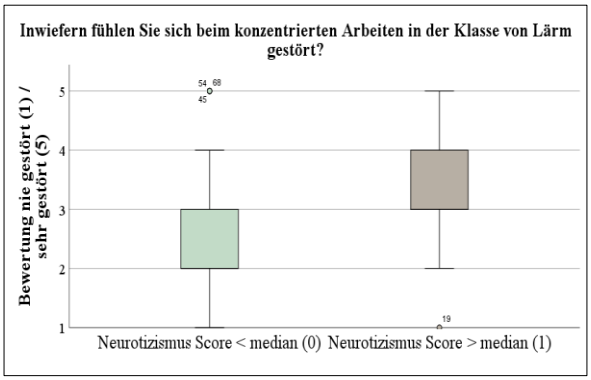

Abbildung 6: Boxplot-Diagramme in Abhängigkeit der Neurotizismus Ausprägung zur Bewertung der *Lärmstörung*.

Sensorische Wahrnehmung

10 Items hinsichtlich der auditiven Wahrnehmung und dem Verhalten wurden von Befragten beurteilt und zur Skala *Auditives Filtern* zusammengefasst. Auf die Frage hin, inwiefern sich befragte Lehrende bei unterschiedlichen Aktivitäten von Lärm gestört fühlen, zeigen sich – wie in **H1.2** angenommen – signifikante Gruppenunterschiede von Personen, denen es schwerer fällt die auditive Umgebung auszublenden (1) und jenen Befragten, die Skalen-Scores unter dem berechneten Median aufweisen (0).

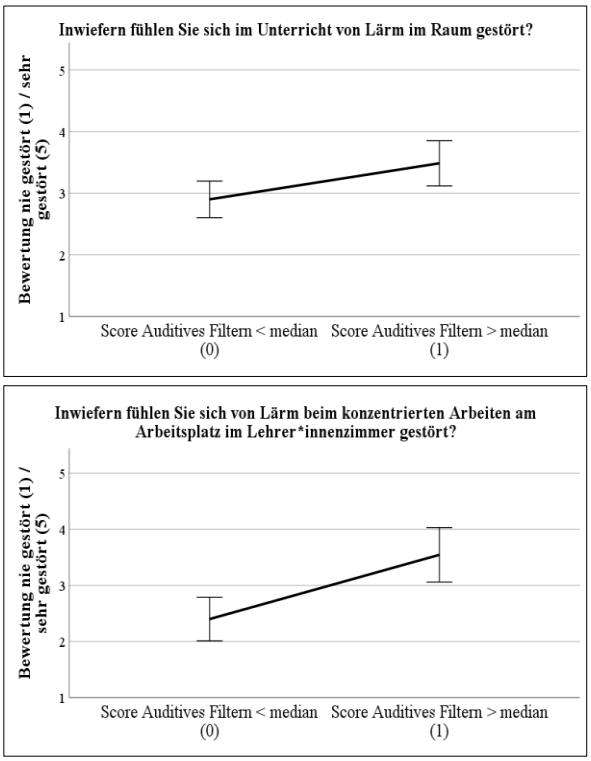

Abbildung 7: Unterschiede von Befragten mit besserer Fähigkeit zur Filterung der auditiven Umgebung (0) und Lehrenden mit stark ausgeprägten Scores (1) zur Bewertung der *Lärmstörung im Unterricht* (oben) und beim *konzentrierten Arbeiten* (unten).

Die Unterschiede beziehen sich auf Ratings zur *Lärmstörung im Unterricht* ($t_{(71)} = 2{,}544$; $p < ,05$), beim *Telefonieren im Lehrer*innenzimmer* ($t_{(71)} = 2{,}299$; $p < ,05$) und beim *konzentrierten Arbeiten am zugewiesenen Arbeitsplatz im Lehrer*innenzimmer* ($t_{(71)} = 3{,}782$; $p < ,001$). Besonders in

letztgenannter Situation zeigt die Fähigkeit zur Filterung der Umgebung eine deutlich geringer bewertete Störung (Abb. 7).

Die *Zufriedenheit mit der Tätigkeit als Lehrende*r* ($t_{(71)}$ = -2,281, $p < ,05$) sowie das *Befinden nach einem Arbeitstag* ($t_{(71)}$ = -2,106, $p < ,05$) fällt zudem bei jenen Teilnehmenden, die niedrige Werte beim Auditiven Filtern zeigen, d.h. ihre Umgebung gut ausblenden können, signifikant besser aus als in der Vergleichsgruppe (Abb. 8).

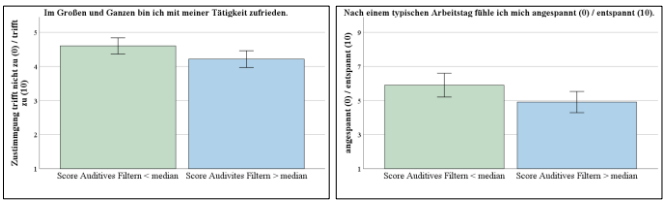

Abbildung 8: Bewertung der *Zufriedenheit mit der Tätigkeit* (links) sowie dem *Befinden als angespannt/entspannt* nach einem Arbeitstag (rechts) in Abhängigkeit der Fähigkeit zur auditiven Filterung der Umgebung.

Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung ist eine Überprüfung der raumakustischen Bestandssituation in österreichischen Bildungseinrichtungen. Im Vergleich mit Vorgaben zur Nachhallzeit in österreichischen Richtlinien, die für Neubauten und Umbauten verbindlich einzuhalten sind (OIB-5), weist der Großteil der bislang analysierten 33 Klassenräume im halbbesetzten Zustand richtlinienkonforme Werte auf. Das Baujahr der Einrichtungen hängt dabei nicht zwangsmäßig mit passenderen Nachhallzeiten zusammen.

Bei der Erhebung wurden 4 Arten von Bildungseinrichtungen sowie unterschiedliche Raumausstattungen mit absorbierenden Materialien untersucht. Befragungsdaten beziehen sich auf 73 Lehrende. Vorläufige Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede zwischen Klassenräumen mit Rasterdecken, Lochdecken und ohne eine absorbierende Decke hinsichtlich der subjektiven Bewertungen von Lehrenden zum Raum, der Lärmstörung und dem eigenen Stimmverhalten.

Hypothese 1.1 konnte mit den bislang erhobenen Daten nicht bestätigt werden. Die analysierten Fragebogendaten beziehen sich jedoch mehrheitlich auf Schulen, die regelkonforme Nachhallzeiten aufweisen, weshalb es für die Überprüfung der **H1.1** möglicherweise einer breiter gestreuten Stichprobe bedarf.

Die Bewertungen wurden in Hinblick auf habituelle Grundtendenzen der Verarbeitung hin untersucht (**H1.2**). Hier zeigen sich kleine, aber signifikante Unterschiede in der Wahrnehmung der Raumakustik sowie der Lärmstörung und den Persönlichkeitsausprägungen im Bereich Neurotizismus und Extraversion.
Sensorische Merkmale in der Verarbeitung der auditiven Umgebung von befragten Lehrenden beeinflussen hauptsächlich die eingeschätzte Störung durch Lärm am Arbeitsort und das (Wohl)befinden.

Literatur

[1] Zitat von Christian Nocke 2015, Vorsitzender des Normenausschusses DIN 18041, zit. n. Ruhe, C. (2020): Gestaltung von Klassen- und Fachklassenräumen für die inklusive Beschulung hörgeschädigter Kinder. *Akustik Journal 01/2020*, S. 7–23.

[2] Ruhe, C. (2023): Nachhallzeiten von Klassenräumen, eine bundesweite Erhebung. *Fortschritte der Akustik – DAGA* (2023), Hamburg, S. 51–54.

[3] Astolfi, A., Bottalico, P. & Barbato, G. (2012): Subjective and objective speech intelligibility investigations in primary school classrooms. *Journal of the Acoustical Society of America 1231/1*, S. 247–257.

[4] Mealings, K., Maggs, L. & Buchholz, J.M. (2024): The Effect of Classroom Acoustic Conditions on Teachers' Health and Well-Being: A Scoping Review. *Journal of Speech, Language and Hearing Research 67*, S. 346-367.

[5] Holub, A. (2009): Erhebung der Raumakustik in den Hauptschulen und Polytechnischen Schulen des Bezirkes Rohrbach. Zusammenfassender Endbericht. Bezirkshauptmannschaft Rohrbach.

[6] Von Georgi, R. & Herr, J.: SEPPO - Short Eysenck Personality Profiler with NEO-PI-R Openness. Unpublished ongoing research project. Berlin Institute of Biomusicology and Empirical Research (BIBER), Berlin School of Popular Arts, 2020.

[7] Herr, J., von Georgi, R., & Starcke, K. (2022): Massenmagnet oder Publikumskiller? Eine experimentelle online-Studie zum Einfluss von Hintergrundmusik und Persönlichkeit auf die subjektive Bewertung des präsentierenden Unternehmens eines Messestandes. Zanger, C. (Hrsg.): *Events und Wege aus der Krise*. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 139–158.

[8] McIntosh, D.N.; Miller, L.J.; Shyu, V. & Dunn, W. (1999): Development and validation of the short sensory profile. *Sensory Profile User's Manual*, S. 59–73.

[9] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik (2019): OIB-Richtlinie 5. Schallschutz. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.

[10] ÖNORM B 8115-3 (2005): Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 3: Raumakustik.