

# Einfluss von visuellem Umfeld und Beleuchtung auf die Lästigkeit von Lärm in Hörversuchen

Michaela Marxt<sup>1</sup>, Ulrich Schanda<sup>1</sup>, Jan Krüger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Hochschule Rosenheim, Deutschland, Email: Michaela.Marxt@stud.th-rosenheim.de

<sup>2</sup> Hochschule für Technik Stuttgart, Deutschland

## Einleitung

Über rein physikalische Größen kann die Lärmwirkung auf den Menschen nicht vollumfänglich charakterisiert werden. Als gängige Beurteilungsgröße gewinnt die psychoakustische Lästigkeit in diesem Kontext zunehmend an Bedeutung [1]. Deren Erfassung erfolgt entweder standortbezogen über Feldstudien oder allgemeiner durch Hörversuche in Laboren. Das Vorgehen bei Hörversuchen ist nicht normativ geregelt und wird folglich sehr unterschiedlich geplant. Häufig werden die Empfehlungen der ISO/TS 15666:2021 hinsichtlich der Beurteilungsskala eingehalten [2]. Die Wahl des Befragungsortes hängt in der Regel von den technischen und ressourcenbedingten Begebenheiten des jeweiligen Standortes ab. Somit werden Hörversuche mit Lautsprecheranordnungen oder Kopfhörern beispielsweise in reflexionsarmen Räumen, wohnlich eingerichteten Räumen, Kabinen, minimalistischen Räumen oder unter Einsatz von Virtual Reality durchgeführt [3]. Mit einer wohnzimmerartigen Einrichtung wird versucht, die natürlich empfundene Langzeit-Lästigkeit im eigenen Wohnumfeld anzunähern. Da Lärm am Abend lästiger als unter Tags empfunden wird, ist oftmals auch die Tageszeit durch abhängige Fenster mit berücksichtigt [4]. Unterstützt wird dieses Szenario durch eine instruierte Situation, in die sich die Probanden während der Hörversuche hineinversetzen sollen. Üblich sind Formulierungen wie die folgende:

*„Stellen Sie sich vor, Sie würden sich abends in einer ruhigen, gemütlichen Wohnzimmersituation bei geschlossenen Fenstern ausruhen. Dabei hören Sie regelmäßig wiederkehrend Straßenlärm von draußen.“*[3]

Bisher ist nicht bekannt, inwiefern sich ein solches Szenario in einer Laborsituation reproduzieren lässt. Zudem ist unklar, ob die daraus resultierenden Unterschiede einen messbaren Effekt seitens der Lästigkeitsangaben bewirken. Diese Zusammenhänge sollen im Rahmen der Studie geprüft werden. Daraus lässt sich die Forschungsfrage formulieren:

*„Wie gut können sich Probanden in Hörversuchen zur Lästigkeit von Lärm in eine abendliche Wohnzimmersituation versetzen? Anpassungseffekte des visuellen Umfeldes und der Tageszeit“*[3]

## Bezugspunkt für Lästigkeitsangaben

Das Urteil in Hörversuchen wird stark durch den bestehenden Bezugspunkt beeinflusst. Wichtige Faktoren sind dabei Teil des Kontextes und umfassen unter anderem die vorzustellende Situation, Beispiel-Soundclips, die Urteilsskala und den individuellen Hintergrund [5].

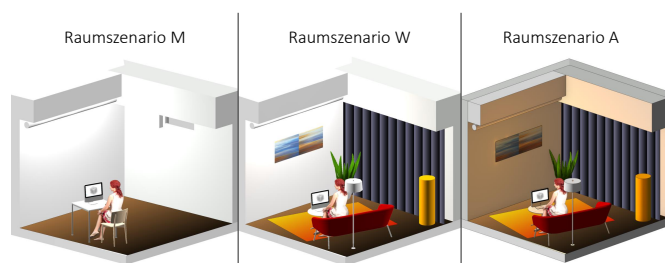
Neben weitgehend zeitstabilen Eigenschaften wie der Lärmempfindlichkeit, dem Chronotyp und persönlichen Erfahrungen mit Lärm tragen auch Faktoren wie Stress und Gesundheit zur Lärmwahrnehmung bei [6].

Der Chronotyp beschreibt als messbare Größe des circadianen Rhythmus den Mittelpunkt des Schlafes einer Person und damit das natürliche Schlafverhalten an freien Tagen [7]. In der Lärmforschung findet das Feld der auditiven Chronobiologie unter Berücksichtigung der Lästigkeit in Abhängigkeit der Tageszeit zunehmend Anwendung [8].

Da die Wahrnehmung stets multisensorisch erfolgt, werden die Geräusche der Soundclips nicht unimodal bewertet. Stattdessen bildet sich im Gehirn ein repräsentatives Umfeld aus Sinnesreizen und Informationen aus dem Langzeitgedächtnis [9]. Durch unterschiedliche Zusammensetzung und Gewichtung der Faktoren unterscheidet sich diese Verbildlichung stark zwischen Personen. Visuelle und auditive Reize sind dabei dominant. Am Befragungsort werden Hintergrundgeräusche vermieden, wodurch insbesondere das visuelle Umfeld wahrgenommen wird. Wesentliche Eigenschaften des visuellen Umfeldes sind durch die Einrichtung und die Beleuchtung geprägt. Die Beleuchtung steht zudem in einem möglichen Zusammenhang mit der Tageszeit.

## Raumszenarien und Versuchsmethodik

In den drei Raumszenarien minimalistisch, wohnlich und abendlich sollen Einrichtung und Beleuchtung so variiert werden, dass Anpassungseffekte gut wahrnehmbar sind. Die unterschiedlichen Gestaltungen sind als Raummodelle in Abbildung 1 mit einer Auflistung der Einrichtungsobjekte dargestellt.



**Abbildung 1: Raumszenarien für visuelles Umfeld und Tageszeit.** Raumszenario M mit minimalistischer Einrichtung (Stuhl, Tisch, Leuchtstoffröhren), Raumszenario W mit Wohnzimmereinrichtung (Couch, Wohnzimmertisch, Teppich, Pflanze, Wandbild, Stehleuchte (aus), Leuchtstoffröhren), Raumszenario A mit abendlichem Wohnzimmer (wie W, mit Stehleuchte (gedimmt), Lichterkette)[3]

Der verwendete Kellerraum an der Technischen Hochschule Rosenheim besteht aus dem zuvor abgebildeten, etwa  $10 \text{ m}^2$  großen Befragungsort und einem abgetrennten Technikraum, in dem sich die betreuende Person aufhält. Gemäß dem Ceteris-Paribus-Prinzip werden weitere Raumparameter über alle Szenarien konstant gehalten. Soll-Werte sind aus der Literatur abgeleitet und können weitgehend realisiert werden. Die Nachhallzeit beträgt ähnlich zu einem Wohnzimmer  $T = 0,4 \text{ s}$  und Hintergrundgeräusche liegen in besetztem Zustand bei einem A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel von etwa  $L_{A,eq} = 22 \text{ dB}$ . Das Raumklima wird in Anlehnung an DIN EN ISO 7730:2006 von den Probanden mit dem vorausgesagten mittleren Votum (PMV) „neutral“, als Mittelwert zwischen „heiß“ und „kalt“, bewertet. Raumtemperatur und relative Luftfeuchte liegen gemäß DIN EN 16798-1:2022 mit  $23 \text{ °C}$  und  $58 \%$  im Normbereich. Die halbzyklische Beleuchtungsstärke am Augpunkt reduziert sich von  $E_{sz} = 166 \text{ lx}$  mit  $3.900 \text{ K}$  Farbtemperatur in Raumszenario W auf  $E_{sz} = 20 \text{ lx}$  mit  $3.300 \text{ K}$  in Szenario A. Geringe Unterschiede bei der gemessenen Farbtemperatur können auf wenig blau-Anteile der Leuchtstoffröhren und den in Szenario A dominant abstrahlenden Bildschirm zurückgeführt werden. Entsprechend der Modelle sind vor Ort ausreichend sichtbare Differenzen der Beleuchtungszustände vorliegend.

Um Einflussfaktoren durch Personenvariablen zu minimieren, sollen dieselben Probanden alle drei Raumszenarien in getrennten Hörversuchen durchlaufen. Damit ein praktisch signifikanter Mittelwertunterschied von etwa 1 auf der 11-stufigen numerischen Skala der ISO/TS 15666:2021 gemessen werden kann, werden mindestens 63 Probanden benötigt. Die praktische Signifikanz orientiert sich an der üblichen Standardabweichung der Lästigkeit zwischen  $\pm 1,5$  und  $\pm 2,5$  [8][10]. Die Berechnung der Soll-Stichprobengröße erfolgt anhand des G\*Power Tools der Universität Düsseldorf. Als Auswertungsverfahren wird die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung gewählt. Weitere Eingangsparameter sind das Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ , die Teststärke  $1 - \beta = 0,80$  und die ungünstigste Standardabweichung  $\pm 2,5$ . Je mehr Probanden rekrutiert werden, desto höher ist die Teststärke und damit die Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Über Radiowerbung, soziale Medien und persönliche Ansprache wird eine Ist-Stichprobengröße von 84 Personen erzielt. Die 47 Frauen und 37 Männer liegen in einem Altersbereich zwischen 20 Jahren und 69 Jahren.

In einem Vorab-Fragebogen werden Lärmempfindlichkeit und Chronotyp gemäß „Noise Sensitivity Questionnaire“ (NoiSeQ) und „Munich ChronoType Questionnaire“ (MCTQ) erfasst. Die Auswertung des NoiSeQ erfolgt über den in [12] ermittelten Cut-Off-Wert 53. Stresslevel und Gesundheitszustand werden vor jedem Hörversuch schriftlich angegeben, um systematische Abweichungen durch die Tagesform erkennen zu können. Die allgemeine Behaglichkeit wird auf einer 11-stufigen numerischen Skala von „überhaupt nicht behaglich“ bis „äußerst behaglich“ abgefragt. Zudem wird die Uhrzeit der Hörversuche

(Uhrzeit HV) mit ausgewertet. Zur Beurteilung des Hineinversetzens werden folgende Fragen nach dem letzten Hörversuch beantwortet:

„Wie gut konnten Sie sich in die abendliche Wohnzimmersituation in den drei Hörversuchen hineinversetzen?“

→ gut; eher gut; befriedigend; eher schlecht; schlecht

„Fiel Ihnen das Hineinversetzen in dem wohnlich eingerichteten und abendlichen Szenario leichter?“

→ ja; nein [3]

In allen Raumszenarien wird derselbe Hörversuch mit zehn verschiedenen, 25 Sekunden langen Sequenzen von Straßenlärm durchgeführt. Dabei handelt es sich um dieselben Hörversuche wie in [10]. Drei Soundclips werden jeweils in der randomisierten Wiedergabe wiederholt, um die Zuverlässigkeit der Lästigkeitsangaben beurteilen zu können. Zwei Beispiel-Soundclips werden nicht bewertet und geben für einen besseren Kontext das lauteste und das leiseste Geräusch vor. Mit den Instruktionen und der Abfrage der Variablen hält sich jede Person durchschnittlich 15 Minuten am Befragungsort auf. Vor dem ersten Hörversuch unterschreiben alle Probanden für die Datenverarbeitung und die freiwillige Teilnahme. Die Reihenfolge der Raumszenarien wird zufällig variiert, um auch hier Sequenzeffekte zu vermeiden.

## Ergebnisse aus Hörversuchen

Mithilfe einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung kann gezeigt werden, dass die Reihenfolge der Raumszenarien keine Rolle für die Lästigkeit spielt. Durch die gleichmäßige Verteilung von Stresslevel und Gesundheitszustand, sind auch hier keine ungewünschten Effekte zu vermuten. In der nachfolgenden Abbildung 2 sind alle arithmetisch gemittelten Ergebnisse, separiert für die drei Raumszenarien M, W und A, dargestellt.

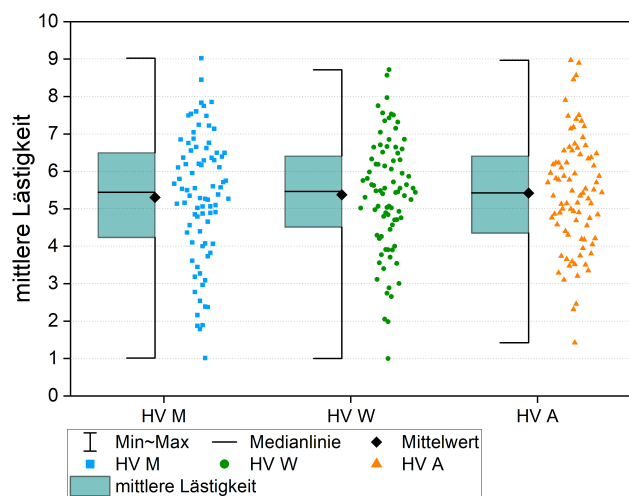


Abbildung 2: Mittlere Lästigkeit in den Raumszenarien M, W, A. Darstellung aller Lästigkeitsangaben mit je  $n = 84$ . Standardabweichung: 2,0. ANOVA mit Messwiederholung führt nicht zu signifikanten Mittelwertunterschieden: F-Wert: 0,46 und p-Wert: 0,63.

Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Lästigkeit liegen mit 5,3 für Szenario M und 5,4 für die Szenarien W und A bei weniger als 0,1. Gleichzeitig ist die Standardabweichung mit  $\pm 2,0$  zwar hoch, jedoch im üblichen Bereich. Die mittleren Lästigkeitsangaben der Soundclips decken sich statistisch signifikant mit den Ergebnissen in [10] und werden hier nicht weiter betrachtet.

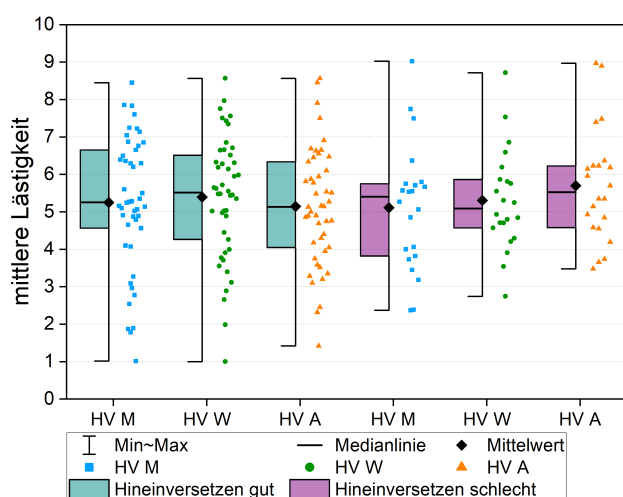
Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen, wird eine Prüfung auf Konsistenz durchgeführt. Dazu werden die Bewertungen doppelter Soundclips und Unterschiede im Bewertungsmuster näher betrachtet. Letzteres bezieht sich auf Differenzen zwischen Lästigkeitsangaben im Vergleich der drei Hörversuche für jede Person isoliert. Sind Selektionskriterien erfüllt, werden betroffene Datensätze einzeln auf Plausibilität geprüft. Insgesamt sieben Datensätze müssten darauf basierend exkludiert werden. In einem Mittelwertvergleich zu den nicht selektierten Daten mit  $n = 84$  liegen Differenzen der mittleren Lästigkeit und der Standardabweichung bei unter  $\pm 0,1$ . Als Konsequenz sind die gemessenen Werte belastbar und können vollständig weiter verwendet werden.

Durch die Normierung auf den Gesamt-Mittelwert der drei Raumszenarien lassen sich der individuelle Offset und die Tagesform herausrechnen. Die Standardabweichung reduziert sich damit von  $\pm 2,0$  auf  $\pm 1,2$ . Der berechnete Standardfehler von  $\pm 0,1$  spricht dafür, dass die gemessenen Mittelwerte weitgehend mit den in der Grundgesamtheit zu erwartenden Werten übereinstimmen.

Die Varianzanalyse ergibt mit einer Teststärke von annähernd 1,0, dass keine signifikanten Mittelwertunterschiede der Lästigkeit, basierend auf Einrichtung und Beleuchtung, vorliegen. Vergleiche mit den Variablen Behaglichkeit, Chronotyp und Uhrzeit HV sollen Zusammenhänge mit dem visuellen Umfeld und mit der Tageszeit näher prüfen. Das Raumszenario M wird im Mittel mit einer niedrigen Behaglichkeit von 3 bewertet. Die Raumszenarien W und A liegen bei einer Behaglichkeit von 7 und 8. Eine signifikante Korrelation mit der mittleren Lästigkeit besteht nach Pearson nicht. Der Chronotyp steht mit einem Korrelationskoeffizienten  $r = -0,24$  auf dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  negativ mit der Lästigkeit in Zusammenhang. Obwohl der Chronotyp signifikant mit der Uhrzeit der Hörversuche korreliert ( $r = 0,29$  und  $p \leq 0,05$ ), besteht kein Zusammenhang zwischen Uhrzeit HV und Lästigkeit. Dadurch wird deutlich, dass es durch den jeweiligen Chronotyp eine Präferenz für die Uhrzeit der Hörversuche gibt und frühe Chronotypen die Geräusche lästiger bewerten. Während der kurzen Verweildauer am Befragungsort ist die Beleuchtung jedoch nicht in der Lage, dem Körper eine bestimmte Tageszeit im circadianen Rhythmus zu suggerieren.

Zur Beurteilung des Hineinversetzens in eine abendliche Wohnzimmersituation werden die Probanden anhand der Befragung zum „Hineinversetzen“ kategorisiert. Die Ergebnisse lassen sich gemäß Abbildung 3 für die Raumszenarien M, W und A darstellen. Die Mittelwerte der Gruppe „Hineinversetzen gut“ unterscheiden sich nicht

signifikant. Hier könnte das Modell Multitasking [13] Anwendung finden. Wenn sich Personen in eine abendliche Wohnzimmersituation hineinversetzen, wird das Umfeld durch begrenzte Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses weitgehend ausgeblendet. Können sich Probanden jedoch nicht eine solche Situation vorstellen, werden entsprechend der multisensorischen Wahrnehmung [13] weitere Reize aus der Umgebung hinzugezogen. Dadurch wirkt sich der Raum stärker auf die mittlere Lästigkeit aus und es zeigt sich ein steigender Trend von der Lästigkeit 5,1 in Raumszenario M zur Lästigkeit 5,7 in Raumszenario A. Zwischen diesen beiden Szenarien liegt gemäß der Varianzanalyse (Teststärke: 0,8) mit anschließendem post hoc Tukey Test ein signifikanter Mittelwertunterschied vor. Die Differenz ist mit 0,6 jedoch kleiner als die festgelegte Grenze 1,0 und damit praktisch kaum signifikant. Eine anschließende ANOVA zwischen den Mittelwerten der Gruppen „Hineinversetzen gut“ und „Hineinversetzen schlecht“ ergibt keine signifikanten Unterschiede.



**Abbildung 3: Mittlere Lästigkeit der Gruppen Hineinversetzen gut/schlecht.** Keine signifikanten Mittelwertunterschiede in der Gruppe Hineinversetzen gut mit  $n = 46$ , F-Wert: 1,22 und p-Wert: 0,30. Signifikante Mittelwertunterschiede zwischen HV M und HV A der Gruppe Hineinversetzen schlecht (post hoc Tukey Test) mit  $n = 22$ , F-Wert: 4,10 und p-Wert: 0,02.

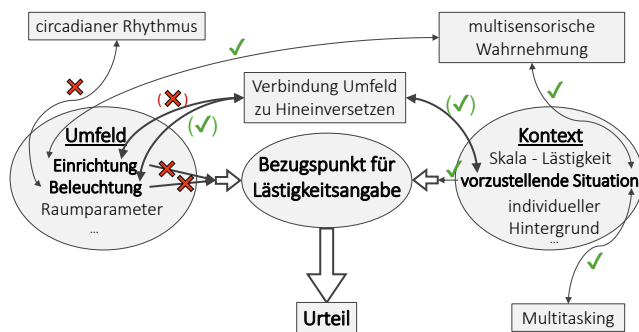
Im Wesentlichen wird daraus deutlich, dass sich die instruierte vorzustellende Situation als Teil des Kontextes auf die Lästigkeitsangaben auswirkt. Allgemein können sich Probanden in Hörversuchen zur Lästigkeit von Lärm größtenteils gut in eine abendliche Wohnzimmersituation hineinversetzen. Anpassungseffekte durch das visuelle Umfeld am Befragungsort und die Tageszeit spielen dabei keine Rolle.

### Bedeutung für die Praxis

Alle wesentlichen Erkenntnisse sind zusammenfassend in Abbildung 4 visualisiert und nachfolgend aufgelistet:

- Die Beleuchtung hat keinen Einfluss auf den circadianen Rhythmus.
- Das Umfeld wird multisensorisch wahrgenommen.

- Einrichtung und Beleuchtung haben keinen direkten Einfluss auf die Lästigkeit.
- Probanden können sich gut in eine abendliche Wohnzimmersituation hineinversetzen.
- Die vorzustellende Situation hat einen Einfluss auf die Lästigkeit (über Multitasking bzw. multisensorische Wahrnehmung).
- Ohne vorzustellende Situation besteht ein statistischer jedoch praktisch nicht signifikanter Unterschied zwischen Lästigkeitsangaben bei abendlicher Beleuchtung mit wohnlicher Einrichtung und heller Beleuchtung mit minimalistischer Einrichtung.



**Abbildung 4: Visualisierte Ergebnisse der Forschungsfrage.** Es besteht weder ein direkter noch ein indirekter signifikanter Zusammenhang zwischen Umfeld und Lästigkeit.

Der Geltungsbereich der Studie ist limitiert auf die Stichprobe einer Kleinstadt, auf Straßenlärm, Innenräume und die Kurzzeit-Lästigkeit unter Laborbedingungen. Einige Studien mit Virtual Reality zeigen, dass unter der Verwendung von Head-Mounted Displays (HMD) signifikante Unterschiede zwischen Lästigkeitsangaben in verschiedenen Umgebungen vorliegen [14]. Durch den vermehrten Einsatz in Soundscape-Studien werden in der Regel Außenräume virtuell dargestellt. Auf solche Szenarien sind die Ergebnisse dieser Studie nicht übertragbar.

Für die Gestaltung des Befragungsortes können konkrete Empfehlungen formuliert werden. Der Blick aus dem Fenster auf eine Straße oder Natur kann sich stark auf die Lästigkeit auswirken [15]. Demnach sollten Fenster im Sichtfeld der Probanden abgehängt werden [4]. Hinsichtlich der Raumausstattung genügt ein einfacher Stuhl mit Tisch, außerdem kann die vorhandene Beleuchtung genutzt werden.

Trotz der vernachlässigbaren Bedeutung des Befragungsortes gibt es einige weitere Aspekte, die bei Hörversuchen eine Rolle spielen. Ein standardisiertes Vorgehen bei der Planung und Durchführung von Hörversuchen zu Lästigkeit von Lärm unterstützt die Vergleichbarkeit und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Zur Orientierung ist in [3] ein Leitfaden zur Dokumentation von Hörversuchen in Anlehnung an ISO/TS 15666:2021 ausgearbeitet. Nur anhand einer vollständigen Dokumentation können Ergebnisse umfassend interpretiert und verallgemeinert werden.

## Literatur

- [1] Pieren, R. D.: Auralization of environmental acoustical sceneries: synthesis of road traffic, railway and wind turbine noise. Dissertation, Delft University of Technology, 2018.
- [2] Genuit, K. und Fiebig, A.: Der Einsatz der Psychoakustik zur Bewertung von Umweltgeräuschen. DAGA 2015 Nürnberg, S. 199–202
- [3] Marxt, M.: Standardisierung des Befragungsortes von Hörversuchen zur Lästigkeit von Lärm – visuelles Umfeld und Tageszeit. Masterarbeit, Technische Hochschule Rosenheim, 2024
- [4] Beilhache, S., Jagla, J. und Guigou, C.: CSTB-Projet Environnement et ambiances: effet des basses fréquences sur le confort acoustique-tests psychoacoustiques. CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment. (2014)
- [5] Ellermeier, W. u.a.: Kompendium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis. (2008)
- [6] Hongisto, V., Mäkilä, M. und Suokas, M.: Satisfaction with sound insulation in residential dwellings–The effect of wall construction. Building and environment 85 (2015), S. 309–320
- [7] Roenneberg, T. u.a.: Chronotype and Social Jetlag: A (Self-) Critical Review. Biology 8.54 (2019), S. 1–19
- [8] Frescura, A.: Psychological and physiological responses to sounds from neighbours in wood residential buildings. Dissertation, University of Liverpool, 2022
- [9] Quak, M., London, R. E. und Talsma, D.: A multisensory perspective of working memory. Frontiers in human neuroscience 9 (2015)
- [10] Krüger, J. u.a.: Annoyance inside buildings due to road traffic noise. DAGA 2023 Hamburg
- [11] Faul, F. u.a.: G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behavior Research Methods, 39, 175-191 (2007)
- [12] Alniacik, A. und Çakmak, E.: Determination of a cutoff for noise sensitivity: Psychometric evaluation of the Turkish Noise Sensitivity Questionnaire (Tr-NoiseQ). Noise & health 24.113 (2022), S. 82–88
- [13] Wickens, C. D. u.a.: Engineering Psychology and Human Performance. 5. Aufl. New York und London: Routledge, 2022. ISBN: 978-1-032-01173-8
- [14] Hou, Y. u.a.: Exploring annoyance in a soundscape context by joint prediction of sound source and annoyance. Forum Acusticum 2023, Bd. 10
- [15] Van Renterghem, T.: Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. Urban Forestry and Urban Greening 40 (2019), S. 133–144