

TEXTE

163/2020

Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen

Abschlussbericht

TEXTE 163/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 51 100 0
FB000335

Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen

Abschlussbericht

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahe,
Alexander Alaimo Di Loro, M.Sc.

Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal

Dr. rer. nat. Uwe Müller,
Priv.-Doz. Dr. med. Eva-Maria Elmenhorst,
Dott. Riccardo De Gioannis, Stefan Schmitt

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln

Dipl.-Wirtschaftspsych. Christin Belke,
Sarah Benz, M.Sc., Stephan Großarth, M.Sc.,
Dr. rer. nat., Dirk Schreckenber

ZEUS GmbH, Hagen

Dipl.-Ing (FH) Christian Eulitz, M.Eng.,
Bianca Wiercinski, M.Sc.,
Dipl.-Ing. Ulrich Möhler

Möhler + Partner Ingenieure AG, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Möhler + Partner Ingenieure AG
Paul-Heyse-Straße 27
80336 München

Abschlussdatum:

Juni 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 2.4 „Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen“
Jördis Wothge

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen

Die akustische Umweltbelastung hat sich in den letzten Jahren unter anderem auch als Folge von steigendem Siedlungsdruck und der Energiewende verändert. Dauerhafte technische Geräusche von stationären Geräten und Anlagen führen zu neuen Umweltbedingungen. In der öffentlichen Diskussion stehen zunehmend Beeinträchtigungen von Anwohnern durch Anlagen und Geräte, die Infraschall emittieren. In vielen Fällen wird auf das als unzureichend erlebte Schutzniveau Bezug genommen und eine stärkere Begrenzung der Immissionen gefordert.

In vorliegender Veröffentlichung wurde die Fragestellung untersucht, welche physischen oder psychischen Belastungen bei Probandinnen und Probanden durch die Exposition mit Infraschall hervorgerufen werden können. Hierzu wurde betrachtet, ob Infraschallimmissionen unter Laborbedingungen einerseits subjektiv als belästigend und unangenehm beurteilt werden und inwieweit sie andererseits messbare körperliche Akutreaktionen hervorrufen. Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurde eine Laboruntersuchung durchgeführt. Die Bearbeitung der Studie gliederte sich in die folgenden Aspekte:

- ▶ Konzeption eines geeigneten Studiendesigns für eine Laboruntersuchung zu den physiologischen und psychologischen Akutwirkungen von Infraschall
- ▶ Durchführung eines Pretests
- ▶ Durchführung einer Laboruntersuchung

Zur Beantwortung der Fragestellungen befasste sich ein interdisziplinäres Team mit aktuellen Forschungsergebnissen zu Infraschalleinwirkungen. Es wurde ein Studiendesign entwickelt und anhand einer Voruntersuchung getestet. Schließlich wurde eine Laboruntersuchung mit 44 Versuchspersonen durchgeführt, in der durch die Darbietung unterschiedlicher Infraschallgeräusche die physiologischen und psychologischen Auswirkungen von Infraschall untersucht wurden.

Die Laboruntersuchung kommt zu folgendem Ergebnis:

- ▶ Infraschallimmissionen bei einem Schalldruckpegel zwischen 85 dB und 105 dB rufen keine körperlichen Akutreaktionen hervor, dennoch werden Infraschallimmissionen an und oberhalb der Hörschwelle als belästigend und unangenehm beurteilt. Auch ruft Infraschall mit zeitlichen Schwankungen des Schallpegels eine höhere Belästigungswirkung hervor als ein zeitlich konstantes Schallereignis.
- ▶ Die in der Literatur und Normung aufgeführten frequenzabhängigen Wahrnehmungsschwellen im Infraschallbereich konnten bei der Untersuchung bestätigt werden. Nicht wahrnehmbare Infraschallimmissionen wurden nicht als belästigend bewertet.
- ▶ Vorbelastete und nicht vorbelastete Versuchspersonen weisen keine signifikanten Unterschiede auf. (Vorbelastete Personen haben im Vorfeld bei Behörden tieffrequente oder Infraschallimmissionen im persönlichen Umfeld gemeldet, die durch spätere Schallmessungen bestätigt wurden.) Eine Sensibilisierung von Personen konnte aus diesem Untersuchungskonzept nicht nachgewiesen werden.

- ▶ Es ist noch ungeklärt, ob körperliche Infraschallauswirkungen erst nach einer länger andauernden Exposition nachgewiesen werden können. Hierzu sind weiterführende - insbesondere epidemiologische - Untersuchungen erforderlich. Diese sind im Prinzip dann geeignet, eine Assoziation zwischen langandauernder Infraschallexposition und der Entstehung von Krankheiten zu untersuchen, wenn über einen längeren Zeitraum der Vergangenheit die tatsächliche und die von Betroffenen wahrgenommene Infraschallbelastung sicher bestimmt und gleichzeitig ausgeschlossen werden kann, dass mögliche resultierende Krankheiten andere Ursachen haben (beispielsweise Veränderungen im Herz-/Kreislaufsystem durch Übergewicht, Rauchen oder Bewegungsmangel). Insofern erscheint eine isolierte Betrachtung von Infraschallimmissionen im Rahmen einer epidemiologischen Studie praktisch nicht möglich; dies umso mehr, da für die dann notwendige Ermittlung der Infraschallbelastung bisher kein erprobtes Berechnungsverfahren vorliegt.

Abstract: Noise effect of infrasound immissions

Over the last few years, increasing development pressure has had a profound influence on the acoustics of the environment. This may also affect the way we perceive annoyance. Ongoing technical noise from stationary equipment and installations has caused new environmental conditions. Public debate is focusing increasingly on the negative impact on residents, caused by equipment and installations emitting infrasound. In many cases reference is made to what is deemed an inadequate level of protection, and affected persons are demanding more stringent noise abatement measures.

The present publication investigates the following issue: What kind of physiological or psychological effects does infrasound cause in the test subjects? The subject of this survey was whether infrasound immissions will be judged as annoying or uncomfortable, on the one hand. On the other hand, measurable and acute reactions on the bodies of the test subjects were also investigated. To answer these questions, a laboratory test was conducted. The study was broken down into the following aspects:

- ▶ Development of an appropriate study design for laboratory investigation of the physiological and psychological effects of infrasound.
- ▶ Execution of a preliminary investigation
- ▶ Execution of a preliminary investigation
- ▶ Development of an action guideline relating to infrasound immission

In response to the above issues, an interdisciplinary team looked into the most recent research findings regarding the effects of infrasound. A study design for laboratory investigation was developed and tested in a preliminary investigation. Finally, a laboratory investigation involving 44 test subjects was performed, in which physiological and psychological effects were analyzed by exposure to a variety of different infrasound noises.

The laboratory investigation yielded the following results:

- ▶ Noise in the infrasonic range at a sound level between 85 and 105 dB does not cause an acute physical response; however, infrasonic noise in the vicinity of and above the auditory threshold is considered as annoying and unpleasant. Also, noise with varying sound level causes a higher annoyance effect.
- ▶ No significant difference was found between predisposed and non-predisposed test subjects. (Predisposed persons being persons who reported low-frequency or infrasonic noise emissions in their personal environment; the presence of the noise was subsequently confirmed by noise measurements.)
- ▶ Frequency-dependent perception thresholds in the infrasound range mentioned in literature and official standards were found to be viable. Non-discernible infrasound immissions were not judged as being annoying.

- ▶ As yet, the question as to whether physical effects of infrasound can be detected only after prolonged exposure remains open and will require further investigation – specifically through epidemiological surveys. In principle, these will be capable of demonstrating a relationship between prolonged exposure to infrasound and the development of diseases, only if the exposure to infrasound perceived by the affected person can be reliably determined over a prolonged period in the past and other causes of any diseases that may have developed (such as effects on the cardiovascular system caused by overweight, smoking and lack of exercise) can be ruled out. To this extent the separate investigation of infrasound immissions within the framework of an epidemiological study appears to be impracticable, all the more so, given that so far there is no reliable calculation method for the determination of the infrasonic load, which would be necessary in this case.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis.....	16
Zusammenfassung.....	18
Summary	29
1 Einleitung.....	40
2 Hintergrund und Forschungsfrage	42
2.1 Aktustische Eigenschaften von Infraschall.....	42
2.2 Wahrnehmungsschwelle von Infraschall	44
2.3 Mögliche Auswirkungen von Infraschall	46
2.4 Forschungsfragestellung	47
3 Methodologisches Vorgehen	49
3.1 Versuchsort und Versuchsraum.....	49
3.1.1 Auswahl der Örtlichkeit	49
3.1.2 Versuchsraum	51
3.2 Akustische Darbietungen des Infraschalls	53
3.2.1 Beschallungssystem zur Generierung des Infraschalls	54
3.2.2 Messtechnik zur Pegelkontrolle des Infraschalls.....	61
3.2.3 Ruhegeräusch	63
3.3 Geräuschszenarien.....	63
3.3.1 Infraschall von technischen Geräuschquellen	63
3.3.2 Auswahl der Geräuschszenarien für die Studiendurchführung.....	65
3.4 Lärmbelastigungsuntersuchung.....	68
3.4.1 Literaturanalyse zur Ableitung von Befragungsinhalten	68
3.4.2 Fragebogeninventar zur Lärmbelastigungsbeurteilung.....	73
3.5 Physiologische Messungen	74
3.5.1 Blutdruck.....	75
3.5.2 Herzfrequenzvariabilität	75
3.5.3 Wach-EEG.....	76
3.5.4 Neurologische Testung	78
3.6 Auswahl der Testpersonen	78
4 Studiendurchführung	83
4.1 Versuchspersonen	83

4.2	Versuchsablauf.....	83
4.3	Störgeräusche während der Versuche.....	85
4.4	Statistik.....	86
5	Ergebnisse	88
5.1	Ergebnisse der Befragungen	88
5.1.1	Ergebnisse Fragebogenteil A: Angaben zur Person, Umweltbelastung und Wohlbefinden vor dem Versuch	88
5.1.2	Ergebnisse Fragebogenteil B: Belästigung, Wohlbefinden und Geräuschbewertung	92
5.1.3	Ergebnisse Fragebogenteil C: ... Zu guter Letzt.....	105
5.2	Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen	111
5.2.1	Blutdruck.....	111
5.2.2	Herzfrequenzvariabilität	114
5.2.3	Wach-EEG.....	120
5.2.4	Neurologische Testung	122
6	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	128
6.1	Akute Lärmbelästigung und Wahrnehmung des Infraschalls	128
6.2	Akute physiologische Reaktionen	129
6.3	Allgemeine Einordnung und Interpretation.....	130
6.4	Mögliche weitere Forschungsfragen.....	132
7	Quellenverzeichnis	134
A	Der Pretest	137
A.1	Ablauf	137
A.2	Geräuschszenarien.....	138
B	Nachweis Rückführung der verwendeten Infraschallmesstechnik	147
C	Fragebogen für die Laborstudie	151
D	Auswertungstabellen zur Befragung in der Laborstudie.....	176
D.1	Deskriptive Statistik	176
D.2	Inferenzstatistik zur Bewertung von Unwohlsein, Druck- und Vibration	179
D.3	Varianzanalysen mit Messwiederholungen	194

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Frequenzbereiche und Wellenlängen von Luftschall	18
Abbildung 2:	Prozentuale Verteilung der Beschwerden über Infraschall aufgeteilt nach Quellen-gruppen	19
Abbildung 3:	Verschiedene Hörschwellen (Anm.: Werte der Schwelle nach Møller und Pedersen z.T. interpoliert)	21
Abbildung 5:	Konzept der Beschallungsanlage, Versuchs- und Kontrollbereich über kommunizierende Räume	24
Abbildung 6:	Räumlichkeiten für die Versuchsdurchführung.....	24
Abbildung 7:	Infraschalllautsprecher – Rotationstieftöner TRW-17 im Kontrollraum.....	25
Abbildung 10:	Ergebnisse zur Belästigung während der dargebotenen Infraschallgeräusche.....	26
Abbildung 11:	Frequenzbereiche und Wellenlängen von Luftschall	42
Abbildung 12:	Prozentuale Verteilung der Beschwerden über Infraschall aufgeteilt nach Quellen-gruppen	43
Abbildung 13:	Verschiedene Hörschwellen (Anm.: Werte der Schwelle nach Møller und Pedersen z.T. interpoliert)	45
Abbildung 16:	Labor für die Hauptstudie in Eggebek	50
Abbildung 17:	Grundriss des Gebäudes 92, Eggebek	51
Abbildung 18:	Versuchsbereich mit Wohnraumatmosphäre im Versuchsraum.....	52
Abbildung 19:	Mittlere Nachhallzeit RT_{60} im Versuchsraum	52
Abbildung 20:	Konzept der Beschallungsanlage, Versuchs- und Kontrollbereich über kommunizierende Räume	53
Abbildung 21:	Vergleich der Emissionsspektren verschiedener Subwoofer ...	55
Abbildung 22:	Gehäuse des Infraschallgenerators an der Wand zum Hörraum und mit dem seitlich positionierten TRW-17, der die Luft im Gehäuse zu einer oszillierenden Bewegung anregt	55
Abbildung 23:	Infraschalllautsprecher – Übergang vom Kontrollraum in den Versuchsraum.....	56
Abbildung 24:	Infraschalllautsprecher – exemplarische Beschallung mit dem Rotationstieftöner	57
Abbildung 25:	Aufbau des Gehäuses mit zusätzlichem Absorptionsmaterial und Gegenlautsprechern.....	58
Abbildung 26:	Verwendete Schallgeber	58
Abbildung 27:	Aufbau und Betriebsweise des Gegenschallsystems.....	59
Abbildung 23:	Systeme und Arbeitsplätze im Kontrollraum	60
Abbildung 24:	Frequenzspektrum mit der 1. Harmonischen bei 10 Hz und den höheren Harmonischen; ohne Gegenschall	61
Abbildung 25:	Frequenzspektrum mit der 1. Harmonischen bei 10 Hz und den höheren Harmonischen; mit Gegenschall	61

Abbildung 26:	Vergleich Schalldruckpegel gemessen mit einem gängigen Messmikrofon und einem Mikrobarometer (in dB).....	62
Abbildung 27:	Terzspektrum des Ruhegeräuschs im Versuchsraum.....	63
Abbildung 28:	Infraschallimmissionen technischer Geräuschquellen – Beispiel Heizkraftwerk	64
Abbildung 29:	Infraschallimmissionen technischer Geräuschquellen – Beispiel Windenergieanlage links: Zeitverlauf der A-bewerteten Summenpegel, rechts: Frequenzspektrum	64
Abbildung 30:	Frequenzspektren der Geräuschszenarien Nr. 1 bis Nr. 5.....	66
Abbildung 31:	Lage der bei der Messung des Wach-EEGs verwendeten Elektroden	77
Abbildung 32:	Gewinnung der Versuchspersonen	79
Abbildung 33:	Umfeld des Gebäudes Nr. 92.....	85
Abbildung 34:	Gemessene Windgeschwindigkeiten und Geräuschpegel im Versuchsraum am 10. November 2017	86
Abbildung 35:	Lärmbelästigung der fünf Szenarien in der Laborsituation, abgetragen auf der fünfstufigen Verbalskala nach ICBEN.....	93
Abbildung 36:	Lärmbelästigung der fünf Szenarien in der Laborsituation, abgetragen auf der elfstufigen Verbalskala nach ICBEN	94
Abbildung 37:	Antizipierte Lärmbelästigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches zwischen 06:00 und 18:00 Uhr	95
Abbildung 38:	Antizipierte Lärmbelästigung der fünf Szenarien bei Auftreten des Geräusches zwischen 18:00 und 22:00 Uhr	96
Abbildung 39:	Antizipierte Lärmbelästigung durch die verschiedenen Szenarien, abgetragen auf der elfstufigen Verbalskala nach ICBEN, bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum von 22:00 bis 06:00 Uhr	97
Abbildung 40:	Absolute Nennungen zur Wahrnehmung der Geräuschszenarien	99
Abbildung 41:	Geräuschbewertungen aus Frageblock 9 (Mittelwerte)	100
Abbildung 42:	Polaritätsprofil der semantischen Differenziale zum Geräuschempfinden (Frageblock 9, Mittelwerte).....	102
Abbildung 43:	Wahrnehmung von Unwohlsein in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien	103
Abbildung 44:	Wahrnehmung von Vibration in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien	104
Abbildung 45:	Wahrnehmung von Druck in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien.....	104
Abbildung 46:	Mittelwerte und Standardfehler des arteriellen Mitteldrucks für die dargebotenen Szenarien.....	113

Abbildung 47:	Mittelwerte und Standardfehler des Interbeat-Intervalls für den frühen und späten Messzeitpunkt im jeweiligen Szenario	118
Abbildung 48:	Mittelwerte und Standardfehler des SNS-Index für den frühen und späten Messzeit-punkt im jeweiligen Szenario	118
Abbildung 49:	Mittelwerte und Standardfehler der LF/HF-Ratio für den frühen und späten Messzeitpunkt im jeweiligen Szenario	119
Abbildung 50:	Ergebnisse zur Belästigung während der dargebotenen Infraschallgeräusche.....	129

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schalldruckpegel der Geräuschszenarien mit unterschiedlicher Pegelbewertung	67
Tabelle 2:	Ergebnisse der Literaturrecherche – Auswirkungen und Effekte der einzelnen Schallarten in Labor- und Feldstudien	69
Tabelle 3:	Ergebnisse der Literaturrecherche – Wirkungen und Effekte kombinierter Schallarten in Labor- und Feldstudien.....	71
Tabelle 4:	Überblick der Items zur Empfindlichkeit gegenüber tieffrequentem Schall	82
Tabelle 5:	Zufriedenheit mit Wohnung und Wohngegend	89
Tabelle 6:	Kategorien frei genannter Lärmbelastigungsquellen	90
Tabelle 7:	Antworthäufigkeiten zum Frageblock Hörfähigkeit. N = absolut, % = relativ	91
Tabelle 8:	Antizipierte Lärmbelastigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum 06:00 bis 18:00 Uhr	95
Tabelle 9:	Antizipierte Lärmbelastigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum 18:00 – 22:00 Uhr	96
Tabelle 10:	Antizipierte Lärmbelastigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum 22:00 – 06:00 Uhr	97
Tabelle 11:	Bewertung der Lautheit der Szenarien.....	99
Tabelle 12:	Verständnis des Begriffs „Infraschall“	105
Tabelle 13:	Geräuscheigenschaften von Infraschall.....	106
Tabelle 14:	Vermutete Wirkungen von Infraschall auf den Menschen	107
Tabelle 15:	Verständnis des Begriffs „tieffrequenter Schall“	108
Tabelle 16:	Geräuscheigenschaften von tieffrequentem Schall	108
Tabelle 17:	Vermutete Wirkungen von tieffrequentem Schall auf den Menschen	109
Tabelle 18:	Deskriptive Statistik der Parameter aus den Blutdruckmessungen in den einzelnen Szenarien.....	112
Tabelle 19:	Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der Blutdruckmessung.	113
Tabelle 20:	Deskriptive Statistik der Herzfrequenzvariabilität (HRV) in den einzelnen Szenarien.....	115
Tabelle 21:	Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV).....	119
Tabelle 22:	Deskriptive Statistik der Parameter aus den EEG-Messungen in den einzelnen Szenarien (geöffnete Augen).	120
Tabelle 23:	Deskriptive Statistik der Parameter aus den EEG-Messungen in den einzelnen Szenarien (geschlossene Augen).....	120

Tabelle 24:	Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der EEG-Power Density (geöffnete Augen).	121
Tabelle 25:	Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der EEG-Power Density (geschlossene Augen).....	121
Tabelle 26:	Übersicht zu den Ergebnissen des Romberg-Tests.....	122
Tabelle 27:	Übersicht zu den Ergebnissen des Bárány-Zeigerversuchs.....	123
Tabelle 28:	Übersicht zu den Ergebnissen des Finger-Nase-Versuchs.....	124
Tabelle 29:	Übersicht zu den Ergebnissen der vestibulären Prüfung mit Frenzelbrille	125
Tabelle 30:	Übersicht zu den Ergebnissen des Kopf-Impuls-Tests (KIT) ...	126

Abkürzungsverzeichnis

ANC	Active Noise Cancellation
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DAGA	Deutsche Jahrestagung für Akustik
DAkKS	Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
dB	Dezibel, Hilfsmaßeinheit zur Kennzeichnung von Pegeln
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSP	Digitaler Signalprozessor
EEG	Elektroenzephalografie, eine Methode zur Messung der elektrischen Aktivität des Gehirns durch Aufzeichnung der Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche beziehungsweise die grafische Darstellung der Messergebnisse
EKG	Elektrokardiogramm, eine Methode zur Messung der elektrischen Aktivität der Herzmuskelfasern durch Aufzeichnung der Spannungsänderungen an der Körperoberfläche beziehungsweise die grafische Darstellung der Messergebnisse
EMG	Elektromyografie, eine Methode zur Messung der elektrischen Muskelaktivität einzelner oder mehrerer Muskelfasern oder motorischer Einheiten durch Aufzeichnung der Potentialschwankungen im ruhenden beziehungsweise kontrahierten Muskel entweder an der Körperoberfläche oder intramuskulär beziehungsweise die grafische Darstellung der Messergebnisse
EOG	Elektrookulografie, eine Methode zur Messung der Augenbewegungen oder Potenzialänderungen der Netzhaut durch Aufzeichnung der auftretenden Spannung zwischen zwei auf der Haut angebrachten Elektroden
e.V.	Eingetragener Verein
f	Frequenz in Hertz [Hz]
FFT	Fast Fourier-Transformation, ein Algorithmus zur effizienten Berechnung einer diskreten Fourier-Transformation
h	Stunde(n) (lateinische: hora)
HF	Absolute Power im hohen Frequenzband (0,15 – 0,4 Hz) [ms^2]
HKW	Heizkraftwerk
HRV	Herzfrequenzvariabilität, Englisch: heart rate variability
Hz	Hertz, SI-Einheit für die Frequenz
IBI	Interbeat Interval, Zeitintervall zwischen zwei Herzaktionen
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise
ISO	International Organization for Standardization
LF	Absolute Power im niedrigen Frequenzband (0,04 – 0,15 Hz) [ms^2]
min	Minuten

ANC	Active Noise Cancellation
NoiSeQ-R	Noise Sensitivity Questionnaire – Reduced; Kurzform
oG	Obere Grenzabweichung
PNS	Parasympathisches Nervensystem
RAR	Reflexionsarmer Raum
RMSSD	Quadratisches Mittel aufeinanderfolgender RR-Intervalldifferenzen (RR-Intervall = Abstand zwischen zwei R-Zacken im EKG)
RT60	Zeitspanne, in der der Schalldruck in einem Raum um 60 dB, also auf den tausendsten Teil seines Ursprungswerts abfällt, en: Reverberation Time 60
SDNN	Standardabweichung der NN-Intervalle (NN = Normale Schläge im Sinusrhythmus)
SI	Internationale Einheitensystem, Französisch: Système international d’unités
SNS	Sympathisches Nervensystem
SPL	Sound Pressure Level (Schalldruckpegel)
TRW	Bezeichnung für den verwendeten Rotationstieftöner, Englisch: Thigpen Rotary Woofer
SWI	Scheuch-Winkler Index zur Messung des sozialen Status
UBA	Umweltbundesamt
uG	Untere Grenzabweichung
VLF	Absolute Power im sehr niedrigen Frequenzband (0 – 0,04 Hz), sympathische Aktivität [ms ²]
WEA	Windenergieanlage

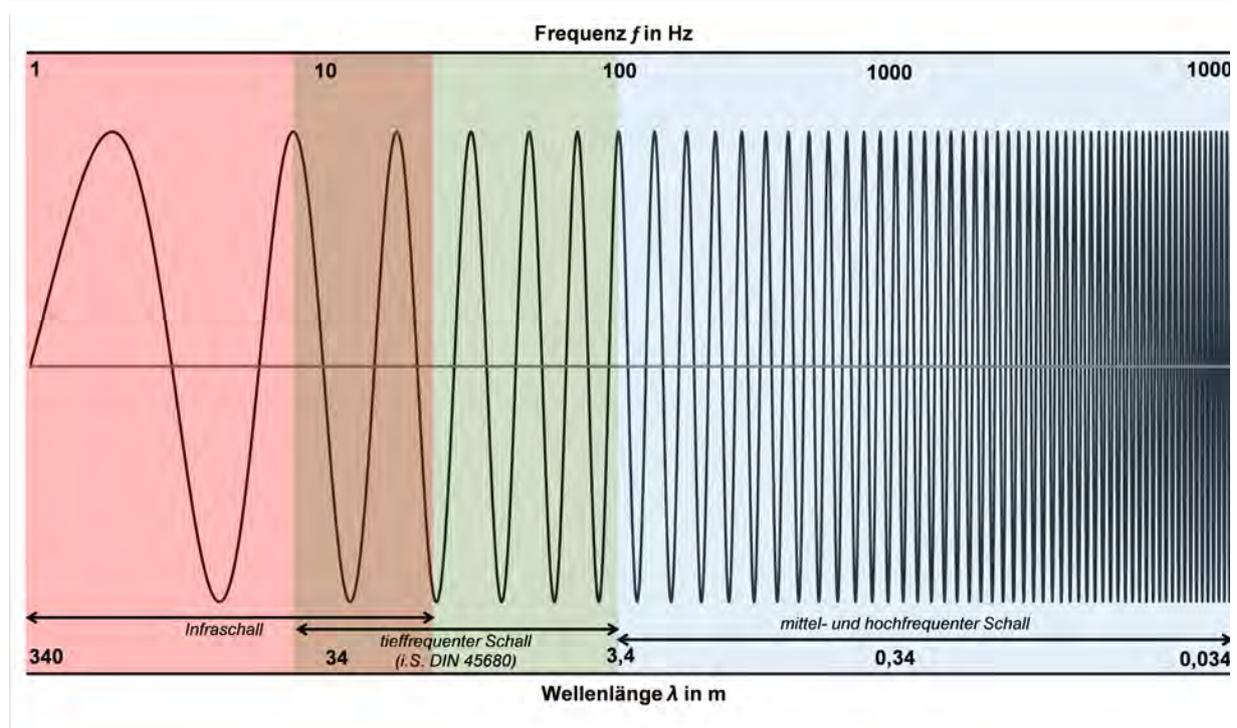
Zusammenfassung

Die akustische Umweltbelastung hat sich in den letzten Jahren unter anderem auch als Folge von steigendem Siedlungsdruck und der Energiewende verändert. Dauerhafte technische Geräusche von stationären Geräten und Anlagen führen zu neuen Umweltbedingungen. In der öffentlichen Diskussion stehen hierbei immer wieder auch die Beeinträchtigungen durch Anlagen und Geräte, die sehr tieffrequenten - nicht hörbaren Schall – sogenannten Infraschall emittieren können. Dazu zählen zum Beispiel Kraftwerks- und Biogasanlagen, Pump- und Umspannstationen, Heizwerke oder Windenergieanlagen. Bereits in den Genehmigungsverfahren derartiger Anlagen werden seitens der Nachbarschaft häufig Bedenken im Hinblick auf Infraschall Immissionen geäußert. In vielen Fällen wird dabei eine stärkere Begrenzung der „ganz tiefen Töne“ gefordert, die von den Betroffenen mit besonderen Belästigungsmerkmalen und einer breiten Palette von Krankheitsbildern in Zusammenhang gebracht werden.

Die akustischen Eigenschaften von Infraschall

Nach der internationalen Norm ISO 7196 (1995) bezeichnet Infraschall Luftschallwellen im Frequenzbereich von 1 bis 20 Hertz (Hz). Definitiv betrachtet liegt Infraschall damit unterhalb des für den Menschen hörbaren Bereichs. Da der genaue Verlauf der Hör- und Wahrnehmungsschwelle von Person zu Person jedoch verschieden ist, kann der wahrnehmbare Bereich sich individuell unterscheiden. Aus diesem Grund ist eine scharfe Abgrenzung zwischen tieffrequenten Geräuschen und Infraschall derzeit nicht abschließend möglich. Stattdessen überschneiden sich diese beiden Schallarten in einem Teilbereich (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Frequenzbereiche und Wellenlängen von Luftschall



Quelle: eigene Darstellung

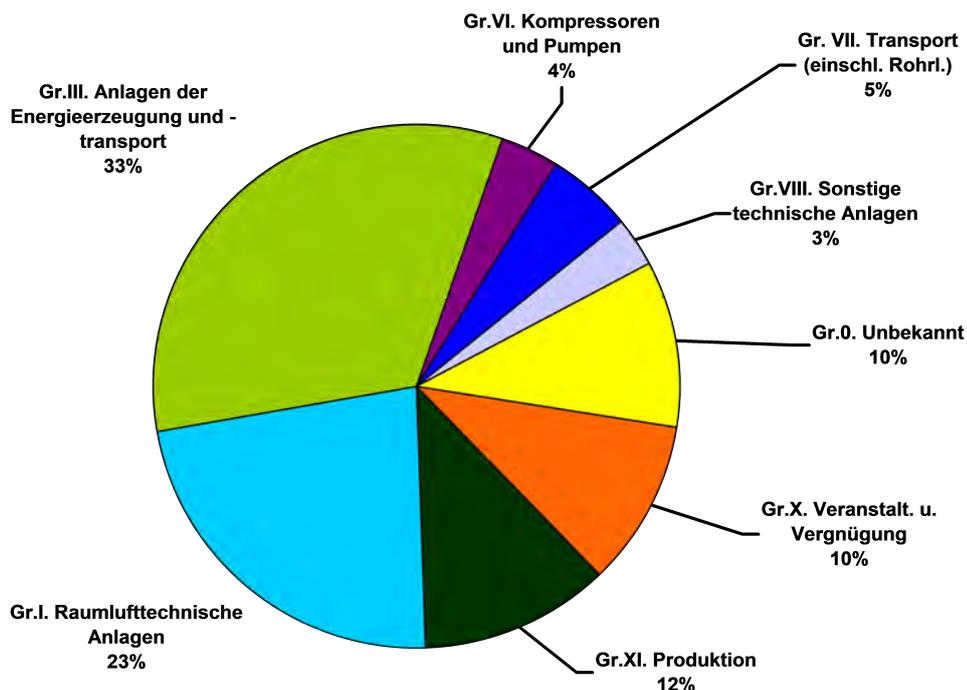
Infraschall stellt sehr langsam wechselnde Druckschwankungen dar. Er kann sowohl von natürlichen als auch von anthropogenen Quellen ausgehen. Infraschall kann beispielsweise bei Gewitterlagen, Wasserströmungen oder starkem Wind, der durch die Bäume eines Waldes weht, entstehen.

Anthropogener Infraschall von technischen Quellen, beispielsweise Windenergieanlagen, unterscheidet sich von natürlichem Infraschall in der Regel durch die sich oftmals periodisch wiederholenden Schallereignisse, die einen charakteristischen Zeit- und Frequenzverlauf aufweisen. Natürlicher Infraschall unterliegt demgegenüber zumeist zufälligen Schwankungen.

Infraschall weist sehr große Wellenlängen im Bereich von etwa 20 Metern bis zu mehreren hundert Metern auf. Wellenlängen des Infraschalls können sich daher in der Regel nicht in Aufenthaltsräumen ausbilden. Stattdessen bewegt sich der Luftschalldruck wie ein wechselnder Füllstand in einem Tank auf und ab. Man spricht in diesem Fall von dem sogenannten Druckkammereffekt, bei welchem sich keine Wellenfelder im Raum ausbilden, sondern die Schallfeldverteilung im Raum überall nahezu gleich ist. Von relevanter Bedeutung für den Infraschall technischer Quellen sind Anlagen, bei deren Betrieb große Luftmassen oder Oberflächen in Bewegung sind beziehungsweise in Bewegung versetzt werden. Anlagen, die durch ihre Eigenart (Größe, Betriebsmodalitäten und so weiter) geeignet sind, Erschütterungen zu verursachen sowie Einrichtungen, von denen energiehaltige Schallimpulse erzeugt werden (z. B. Knalle), gelten ebenfalls als typische technische Infraschallquellen.

Somit ergibt sich eine Vielzahl potenzieller Quellen, durch die es zu Infraschallimmissionen kommen kann. In einer bundesweiten Abfrage der Beschwerdesituation im Rahmen einer im Auftrag des Umweltbundesamtes (Krahé et al., 2014) durchgeführten Untersuchung wurden die in Abbildung 2 dargestellten Infraschallquellen als besonders relevant wahrgenommen.

Abbildung 2: Prozentuale Verteilung der Beschwerden über Infraschall aufgeteilt nach Quellengruppen



Quelle: Krahé et al, 2014

Bei einer Vielzahl stationärer technischer Anlagen entsteht neben den Hörschallanteilen auch Infraschall. Technische Schallquellen, die ausschließlich Infraschall und keinen Hörschall erzeugen, sind nicht bekannt. Da Infraschall aufgrund verschiedener Ausbreitungsbedingungen weit weniger gedämpft wird als normaler Hörschall, ist es möglich, dass in größeren Entfernungen jedoch ausschließlich Infraschall festgestellt wird.

Bei den hierfür notwendigen Ausbreitungswegen von mehreren Kilometern ist die Energie des Infraschalls gegenüber einem Immissionsort in Anlagennähe deutlich reduziert.

Die Erzeugung von reinem Infraschall auf einem Pegelniveau nahe oder oberhalb der Wahrnehmungsschwelle ist bereits unter Laborbedingungen sehr aufwendig. Mit speziellen Rotationstief- tonlautsprechern und Oberwellenkompensation kann jedoch Infraschall erzeugt werden, dessen höherfrequente Anteile aufgrund ihrer geringen Schalldruckpegel vernachlässigbar sind.

Ein standardisiertes Prognose- oder Berechnungsverfahren zur Entstehung und zur Schallausbreitung von Infraschall im Freien existiert nicht. Abschätzungen von vorhandenen oder zukünftigen Infraschallimmissionen sind mit aufwendigen numerischen Simulationen möglich, unterliegen jedoch einer erhöhten Unsicherheit. Daher ist bislang nur die Messung vorhandener Infraschallimmissionen, nicht aber deren Prognose praktisch umsetzbar.

Der Umgang mit schädlichen Umwelteinwirkungen durch gefährliche, erheblich nachteilige oder erheblich belästigende Immissionen wird in Deutschland durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geregelt. Vor allem kommt dabei der Vorsorge und dem Schutz vor Lärm eine wesentliche Rolle zu. Die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) konkretisiert als Verwaltungsvorschrift zum BImSchG für technische Anlagen den unbestimmten Rechtsbegriff der „schädlichen Umwelteinwirkungen“ durch Lärm. Das allgemeine Beurteilungsverfahren der TA Lärm beruft sich auf „A-bewertete“ Schallpegel. Die Schädlichkeitsschwelle tieffrequenter Schallereignisse beziehungsweise des Infraschalls wird durch das allgemeine Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren der TA Lärm jedoch nicht ausreichend konkretisiert, da die A-Bewertung zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche ungeeignet ist. Die TA Lärm verweist deshalb zur Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche auf die DIN 45680 mit ihrem zugehörigen Beiblatt 1, in der Fassung von 1997. Nach dieser Norm hat eine messtechnische Ermittlung der Immissionen innerhalb von Aufenthaltsräumen zu erfolgen. Von der DIN 45680 wird auch Infraschall im Frequenzbereich zwischen 8 Hz und 20 Hz (Terzmittenfrequenzen) erfasst.

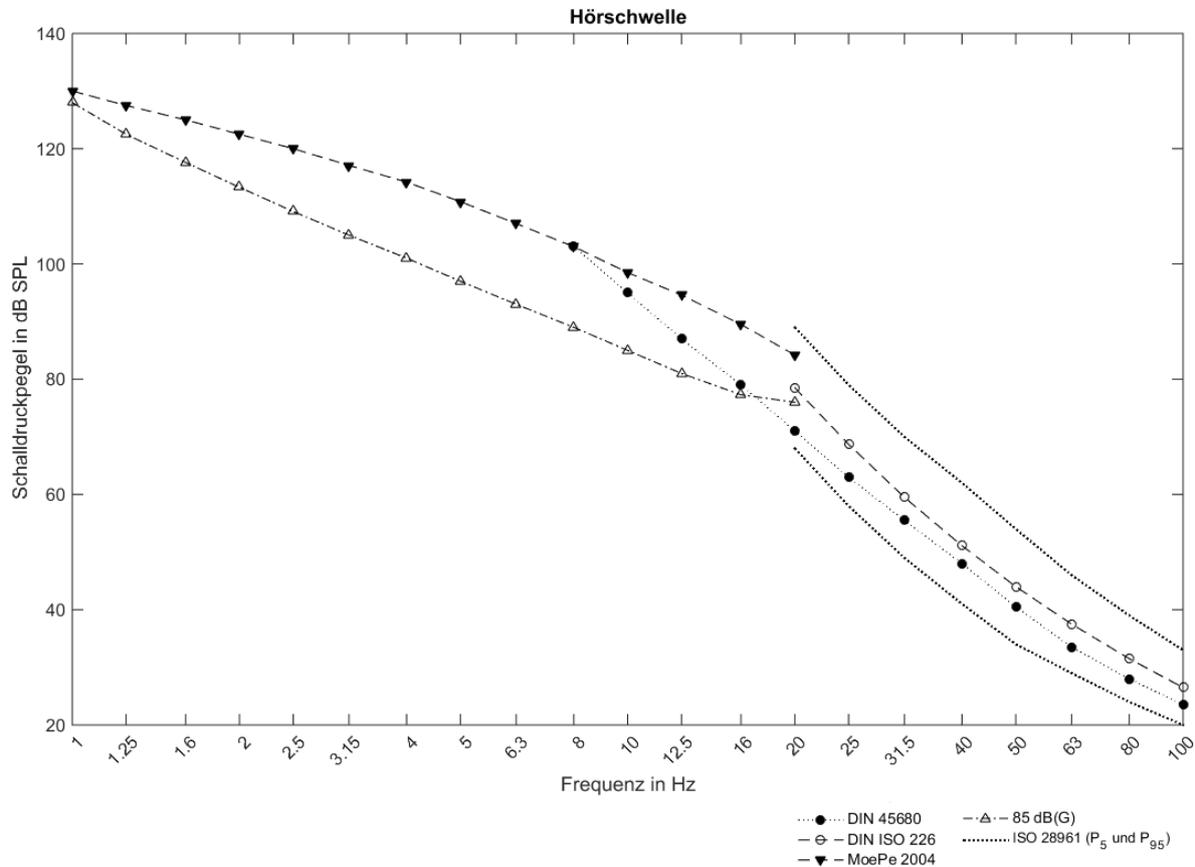
Die Wahrnehmungsschwelle von Infraschall

Schall wird in der Regel erst dann wahrgenommen, wenn der Schalldruckpegel die Hörschwelle erreicht. In Richtlinien (zum Beispiel ISO 28961 (2012)) werden die über eine große Anzahl untersuchter Personen gemittelten Werte als Hörschwelle definiert. Diese beziehen sich jedoch nicht auf den Infraschallbereich, sondern beginnen zumeist ab 20 Hz. Im Infraschallbereich liegen deutlich weniger Daten für die Definition einer Wahrnehmungsschwelle vor. Es existieren verschiedene Veröffentlichungen mit geringen Probandinnen- und Probandenzahlen. Abbildung 3 zeigt die Hörschwelle im Infraschallbereich (< 20 Hz) nach Møller und Pedersen (2004), die in der Literatur häufig Anwendung findet, sowie weitere Schwellen aus Richtlinien, u.a. die über die G-Bewertung definierte Schwelle von 85 dB(G).

Die Wahrnehmungsschwelle nach Møller und Pedersen beruht auf statistischen Berechnungen, wobei die dabei berücksichtigten Fallzahlen wesentlich geringer sind als in den genormten Normalhörschwellen im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz.

Im Bereich des Infraschalls ist daher mit höheren Unsicherheiten und größeren individuellen Abweichungen von den Wahrnehmungsschwellen zu rechnen. So ist davon auszugehen, dass die individuelle Wahrnehmungsschwelle für 20 Hz bei etwa 1 Prozent der Bevölkerung um bis zu 15 dB höher oder niedriger ausfallen kann (ISO 28961:2012).

Abbildung 3: Verschiedene Hörschwellen (Anm.: Werte der Schwelle nach Møller und Pedersen z.T. interpoliert)



Quelle: eigene Darstellung

Die möglichen Auswirkungen von Infraschallimmissionen

Die Wirkung von Infraschall auf den menschlichen Organismus wurde medizinisch bislang wenig untersucht. In den vorhandenen Untersuchungen variieren die Beschreibung und Beurteilung physischer und psychologischer Auswirkungen von Infraschall stark. In der Machbarkeitsstudie zu Infraschallwirkungen im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden nach Sichtung der bisher existierenden wissenschaftlichen Literatur zusammenfassend folgende mögliche Wirkungen einer Belastung durch tieffrequenten Schall beziehungsweise Infraschall auf den menschlichen Körper bei Schalldruckpegeln ab zirka 75 dB identifiziert:

- ▶ Veränderung im Herz-/Kreislaufsystem (z. B. Änderung des Blutdrucks, Herzfrequenz Herzrate)
- ▶ Konzentrationsschwäche
- ▶ Einwirkung auf das Gleichgewichtsorgan

- ▶ mit den oben genannten physiologischen Wirkungen einhergehende psychovegetative Störungen beziehungsweise erlebtes Unbehagen (Schwindel, Müdigkeit, Benommenheit, Druckgefühl am Trommelfell, Vibrationsgefühl)

Allerdings bieten die in der Machbarkeitsstudie identifizierten Untersuchungen keine genauen Angaben zu den Schallpegeln, sodass eine Differenzierung zwischen Einwirkungen im Infraschallbereich und Einwirkungen im tieffrequenten Hörschallbereich oft nicht möglich war. Darüber hinaus zeigten die bisherigen Studien zu Infraschall-Exposition und physiologischen Reaktionen des Menschen ein uneinheitliches Bild. Blutdruckreaktionen sowie Störungen des Gleichgewichtsorgans in Form von sogenannten Nystagmen (unkontrolliertes Augenzittern) wurden von einigen Autoren beschrieben, von anderen wiederum angezweifelt.

Beruhend auf den Erkenntnissen zu den akustischen Eigenschaften, der Wahrnehmungsschwelle von tieffrequenten Geräuschen und Infraschall sowie den möglichen Wirkungen von Infraschall untersucht die vorliegende Studie, ob kurzzeitig dargebotener Infraschall einen Einfluss auf akute physiologische Reaktionen des Körpers sowie die akute Lärmbelästigung hat.

Versuchsdesign, Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Zu diesem Zweck wurden in einer Laborstudie Versuchspersonen in wechselnder Reihenfolge für jeweils 30 Minuten verschiedene Infraschallgeräuschkonzepte dargeboten. Die Versuchspersonen wurden während der Infraschallgeräuschkonzepte medizinisch überwacht und schilderten ihre Wahrnehmung und ihr akutes Belastungserleben mithilfe von Fragebögen.

Im Einzelnen wurden vier Geräuschkonzepte zwischen 3 Hz und 18 Hz und eine Ruhebedingung zu Kontrollzwecken dargeboten. Folgende Geräuschkonzepte wurden eingespielt:

1. Sinus 3 Hz 100 % amplitudenmoduliert mit 1 Hz, 105 dB (aufgrund der Modulation im Schalldruckpegel schwankend und mit Nebenmaxima bei 1 Hz bis 16 Hz), Pegel 105 dB (Z-bewertet / unbewertet)
2. Sinus 5 Hz, Pegel 105 dB (Z-bewertet / unbewertet)
3. Sinus 10 Hz, Pegel 95 dB (Z-bewertet / unbewertet)
4. Sinus 18 Hz, Pegel 85 dB (Z-bewertet / unbewertet)
5. Ruhe

Mit der Wahl der Frequenzen wurde der Infraschallbereich über eine weite Spanne abgedeckt. Die Konzepte waren so gewählt, dass ein Stimulus (Nummer 4, 18 Hz mit 85 dB) zirka 10 dB oberhalb der Hörschwelle nach DIN 45680 lag. Dieser sollte entsprechend gut hörbar sein. Ein Stimulus (Nummer 3, 10 Hz, 95 dB) lag im Pegel auf dieser Hörschwelle und sollte damit zumindest von einigen der Probanden zu hören sein. Die Konzepte Nummer 1 (Sinus 3 Hz, amplitudenmoduliert mit 1 Hz, 105 dB) und Nummer 2 (Sinus 5 Hz, 105 dB) lagen außerhalb des Geltungsbereiches der DIN 45680.

Um die physiologischen Akutwirkungen in dieser Studie während aller eingespielten Konzepte zu untersuchen, wurden in der vorliegenden Studie folgende etablierte Messverfahren aus der Physiologie angewendet: Elektrokardiogramm (EKG), Elektroenzephalogramm (EEG), Blutdruckmessung (jeweils 2x pro Konzept), Nystagmusmessung mittels Frenzel-Brille, Bárány-Zeigeversuch, Kopfpulstest und der Finger-Nase-Versuch.

Im Rahmen der psychologischen Untersuchung wurden die Versuchspersonen mithilfe eines Fragenkatalogs befragt. Dieser wurde von den Probandinnen und Probanden während des laufenden Versuches an einem Tablet-PC ausgefüllt. Während jedes Geräuscheszenarios wurden die Kurzzeitbelästigung, die Geräuschwahrnehmung (ob und wo das Geräusch zu hören/spüren war) und eine subjektive Geräuschbeschreibung (bspw. Dröhnen, Rauschen, Pfeifen) erhoben.

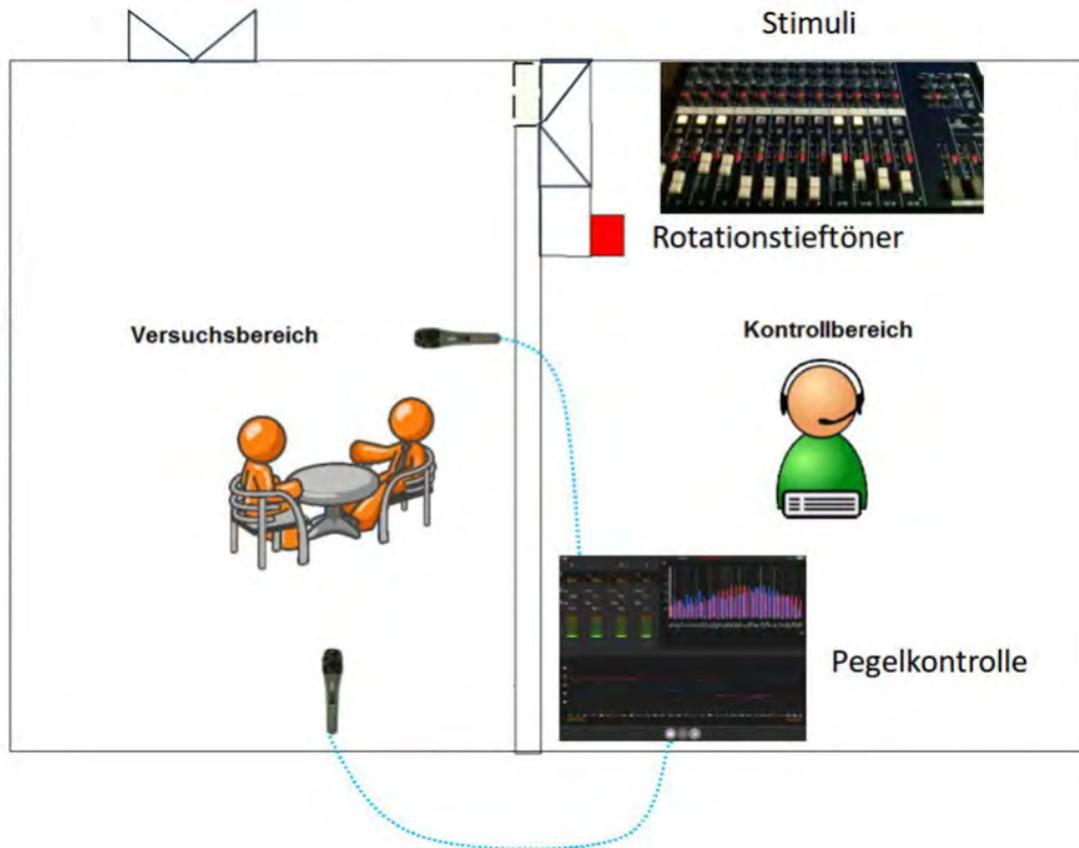
Darüber hinaus wurde eine Bewertung einzelner Geräuschmerkmale (sogenannte semantische Differenziale; bspw. harmlos-bedrohlich, unangenehm-angenehm und so weiter) sowie differenzierte Abfragen zu Unwohlsein, Wohlbefinden (zum Beispiel das Empfinden von Panik, Unbehagen und Entspannung), Druck und Vibrationsempfinden durchgeführt. Abschließend wurde zudem eine Gesamtbewertung der Lästigkeit des jeweiligen Geräuscheszenarios abgefragt.

In der Laborstudie wurden insgesamt 44 Versuchspersonen im Zeitraum zwischen Oktober 2017 und Februar 2018 untersucht, wobei fünf Personen nachträglich aufgrund medizinischer Kriterien (drei aufgrund von Bluthochdruck, zwei aufgrund mangelnden Hörvermögens) nicht für die Auswertung der physiologischen Daten genutzt werden konnten. Es wurde angestrebt, zu gleichen Teilen durch Infraschall vorbelastete und nicht vorbelastete Versuchspersonen zu untersuchen. Als „vorbelastet“ wurden dabei jene Personen definiert, die sich schon einmal mit der Bitte um Messung oder der Aufklärung eines Infraschallproblems in der häuslichen Umgebung an eine staatliche Stelle oder ein Ingenieurbüro gewandt hatten. Als Versuchspersonen wurden aus dieser Gruppe nur diejenigen Personen berücksichtigt, bei denen die Messungen tatsächlich eine Infraschallbelastung in der häuslichen Umgebung nachweisen konnten.

Die Darbietung der angesprochenen Geräuscheszenarios geschah mittels eines Beschallungssystems und nicht über einen Kopfhörer. Dabei wurde ein Infraschall-Luftschallfeld erzeugt, das ortsunabhängig gleichmäßig im Versuchsraum vorherrschte, d.h. die Probandinnen und Probanden konnten sich während der Beschallung an verschiedenen Positionen im Raum aufhalten, ohne dass sich die Schallexposition veränderte. Das Konzept ist aus Abbildung 4 ersichtlich. Durch diese Versuchsanordnung und die fortlaufende Überwachung des Versuchsablaufs mit Schallpegelaufzeichnungen im Versuchsraum wurden kontrollierte Laborbedingungen sichergestellt. Die Probandinnen und Probanden wurden in Nebenräumen auf die Versuche vorbereitet (siehe Abbildung 5, links). Der Versuchsraum selbst wurde als typischer Wohnraum eingerichtet, sodass eine alltagsnahe Atmosphäre herrschte (siehe Abbildung 5, rechts).

Bei Untersuchungen nahe der Hörschwelle können Störgeräusche durch Fremdquellen leicht einen messbaren Einfluss auf das Ergebnis haben. Daher wurden die Untersuchungen in einem sehr ruhigen Raum mit geringem Grundgeräuschpegel durchgeführt. Für die Untersuchung wurde ein abseits gelegenes Gebäude in Alleinlage auf einem ehemaligen Militärflughafen angemietet, in dem während der Untersuchung alle potenziellen Störquellen (beispielsweise Heizungen) stromlos geschaltet wurden. Kontrollmessungen im Versuchsraum ergaben während der Versuche einen mittleren Schalldruckpegel von zirka 20 bis 25 dB(A).

Abbildung 4: Konzept der Beschallungsanlage, Versuchs- und Kontrollbereich über kommunizierende Räume



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 5: Räumlichkeiten für die Versuchsdurchführung

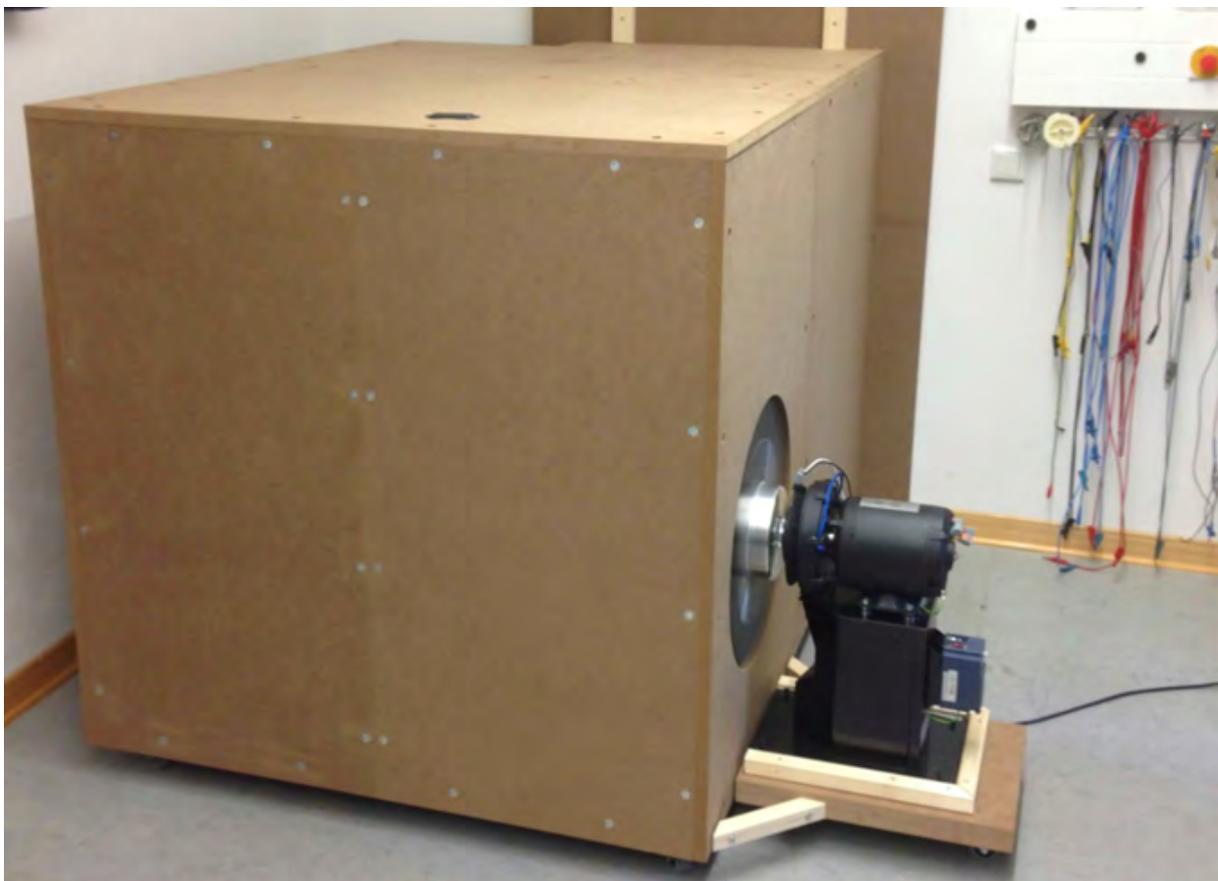
links: Vorbereitung einer Probandin im Labor, rechts: der Versuchsraum



Quelle: eigene Darstellung

Die Auslegung des Beschallungssystems erforderte eine erhöhte Sorgfalt, da die Wiedergabe der sehr tiefen Frequenzen ohne weitere Maßnahmen zu Verzerrungen führt. Dies hat zur Folge, dass das Spektrum des abgestrahlten Geräusches nicht nur die Komponente des anzusteuernenden Signals, sondern weitere Komponenten bei höheren Frequenzen enthält. Infolge der höheren Empfindlichkeit der Hörwahrnehmung in diesem Frequenzbereich wäre beim Auftreten von Verzerrungen nicht auszuschließen, dass der oder die Hörende statt des gewünschten Infraschalls diese höherfrequenten Verzerrungskomponenten hört und bewertet. Die Erzeugung der vorgegebenen Pegel insbesondere im Frequenzbereich von 10 Hz und darunter ist mittels eines normalen Basslautsprechers nicht möglich. Eingesetzt wurde daher ein speziell für die Infraschallwiedergabe entwickelter Schallgeber ähnlich einem Ventilator, bei dem die sich drehenden Flügel in ihrer Steigung angesteuert und verändert werden (Rotary Subwoofer TRW-17 der Fa. Eminent Technology, siehe Abbildung 6). Auf diese Weise kann die Luft ein- bis 20-mal pro Sekunde hin und her bewegt und damit ein Infraschallpegel bis zirka 115 dB erzeugt werden. Allerdings führt auch das eingesetzte System zu Verzerrungen, die jedoch durch destruktive Interferenz (Gegenschall) reduziert wurden, sodass sie unterhalb der Hörschwelle lagen. Der zur Auslöschung der Verzerrungskomponenten notwendige Gegenschall wurde durch einen hochwertigen aktiven Subwoofer (Neumann KH 870) erzeugt.

Abbildung 6: Infraschalllautsprecher – Rotationstieftöner TRW-17 im Kontrollraum



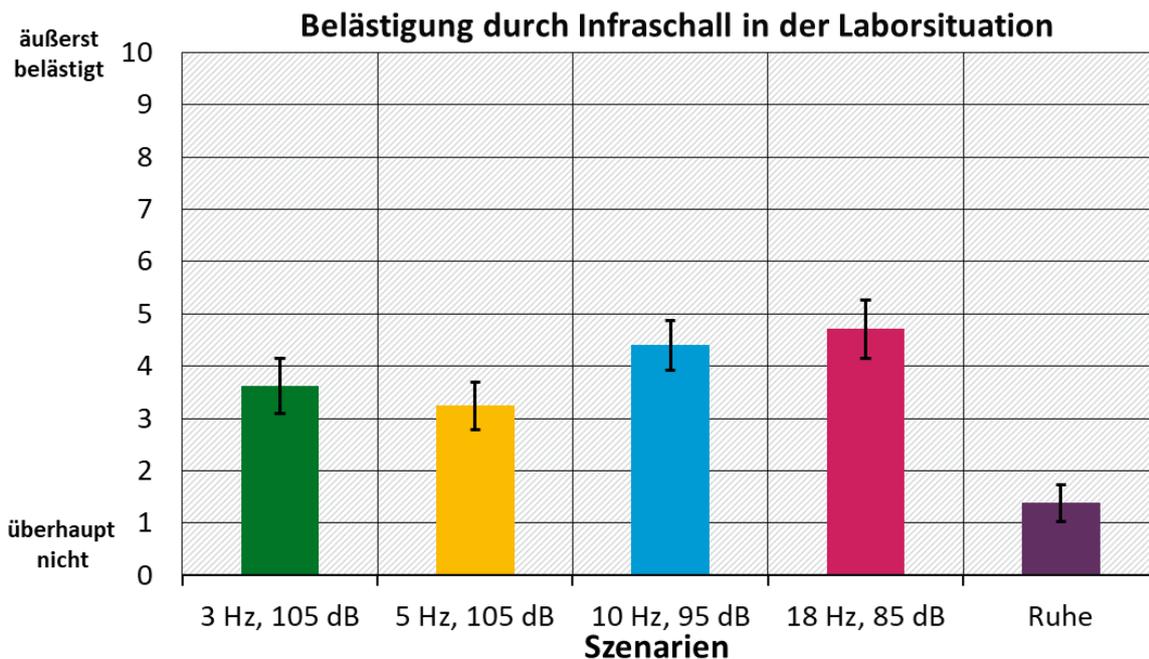
Quelle: eigene Darstellung

Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse des psychologischen Untersuchungsteils zeigen, dass die einzelnen Geräuschszenarien von den Probandinnen und Probanden unterschiedlich wahrgenommen und als unterschiedlich beeinträchtigend beurteilt wurden. In Abbildung 7 ist exemplarisch das Ergebnis der Frage nach dem Belästigungsempfinden dargestellt. Es zeigt sich, dass die Szenarien 3 (10 Hz, 95 dB) und 4 (18 Hz, 85 dB), deren Schallpegel auf oder knapp oberhalb der Hörschwelle nach DIN 45680 lagen, insgesamt am negativsten bewertet wurden. Sie lösten die höchsten Belästigungs- und Lautheitsurteile aus und wurden stärker als die anderen Geräuschszenarien in Form von Vibrationen am Körper sowie an Objekten im Gebäude (beispielsweise Blumenvase im Regal) wahrgenommen.

Zudem lösten beide Szenarien ein höheres Unwohlsein und die Wahrnehmung von Vibration und Druck im Kopfbereich aus. Szenario 4 wurde außerdem häufiger als die anderen Geräuschszenarien als brummend, dröhnend sowie als vibrierend, aufdringlich und dumpf wahrgenommen. Dieses Szenario wies die höchste Grundfrequenz der untersuchten Szenarien auf. Zudem lag der Schallpegel in diesem Szenario oberhalb der Hörschwelle nach DIN 45680. Damit lag das Szenario 4 sowohl spektral als auch im Hinblick auf den Schallpegel am nächsten am hörbaren Bereich. Darüber hinaus fiel auf, dass obwohl die Frequenzen der dargebotenen Infraschallszenarien zwar per Definition außerhalb des hörbaren Bereichs lagen, die Wahrnehmung trotzdem im Wesentlichen über die Ohren stattfand. Das modulierte Geräusch in Szenario 1 sowie das Geräusch in Szenario 3 wurden zudem als pulsierend wahrgenommen, Szenario 3 als stärker tonhaltig als die übrigen Szenarien.

Abbildung 7: Ergebnisse zur Belästigung während der dargebotenen Infraschallgeräusche



Quelle: eigene Berechnung

Zusammenfassend erscheint es, dass vor allem eingespielte Infraschallgeräusche, die an oder oberhalb der Hörschwelle liegen, als unangenehm erlebt und beurteilt wurden. Es fällt auf, dass in allen Geräuschkonstellationen das Vibrations- und Druckgefühl mit dem empfundenen Unwohlsein korreliert. Ein stärkeres Vibrations- oder Druckempfinden in der Kopfregion steht somit in direktem Zusammenhang mit einem stärkeren Unwohlsein und damit der Lästigkeit des Geräusches.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den als vorbelastet und den als nicht vorbelastet eingestuften Personen wurde bei der Bewertung nicht festgestellt. Vorbelastete Personen hatten im Vorfeld bei Behörden tieffrequente oder Infraschallimmissionen im persönlichen Umfeld gemeldet, die durch spätere Schallmessungen bestätigt wurden.

Im Gegensatz zur Lärmbelastigungsuntersuchung zeigen die Ergebnisse der physiologischen Messungen keine messbaren Akutreaktionen während der 30-minütigen Geräuschkonstellationen. Die Probandinnen und Probanden zeigten in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Veränderungen des Blutdrucks oder der Herzfrequenz während der Infraschallexposition im Vergleich zum Ruheszenario. Auch das EEG und die durchgeführten neurologischen Tests lieferten keinen Hinweis auf akute physiologische Reaktionen auf den Infraschall. Weder die vorbelasteten, noch die nicht vorbelasteten Versuchspersonen zeigten Veränderungen der gemessenen Parameter im Vergleich zum Ruheszenario.

Diskussion der Ergebnisse

Damit stehen die Ergebnisse der physiologischen Laboruntersuchungen nicht im Einklang mit den von Betroffenen geäußerten Beeinträchtigungen durch Infraschall. Jedoch findet die Exposition durch Infraschall im Wohnumfeld in der Regel über einen längeren Zeitraum hinweg statt. Aufgrund der Ergebnisse der Laboruntersuchung kann folglich nicht ausgeschlossen werden, dass es bei einer langfristigen oder andauernden Exposition nicht doch zu physiologischen Veränderungen kommen kann. So könnte beispielsweise eine Sensitivierung von Probandinnen und Probanden durchaus erst nach längerer Lärmexposition erfolgen.

Eine Möglichkeit, die Assoziation zwischen langandauernder Infraschallexposition und der Entstehung von Krankheiten zu untersuchen, sind epidemiologische Studien. Hierfür müsste jedoch über einen längeren Zeitraum der Vergangenheit die tatsächliche Infraschallbelastung der Betroffenen sicher bestimmt werden können. Gleichzeitig müssten Alternativursachen für mögliche resultierende Krankheiten ausgeschlossen werden. Hierzu zählen zum Beispiel Veränderungen im Herz-/Kreislaufsystem durch Übergewicht, Rauchen, Lärm, Luftschadstoffe oder Bewegungsmangel.

Für die Erzeugung eines reinen Infraschallfeldes im Versuchsraum der Studie waren eine aufwändige Signalverarbeitung und spezielle Wiedergabe- und Messtechnik nötig. Daher lassen die Ergebnisse der Laboruntersuchung die Vermutung zu, dass sich die von Anwohnerinnen und Anwohnern geäußerten Beschwerden zu Infraschall tatsächlich nicht auf den Infraschall, sondern möglicherweise auf Kombinationen mit tieffrequentem respektive Hörschall beziehen, da verzerrungsfreier Infraschall ohne Frequenzanteile im hörbaren Bereich im Alltag praktisch nicht vorkommt.

Insbesondere Geräuscszenarien, deren Frequenz nah am hörbaren Bereich und deren Pegel an oder oberhalb der Hörschwelle liegen, wurden von den Probanden als belästigend und unangenehm bewertet. Der Großteil der Testpersonen konnte die vier Infraschallsszenarien dabei eindeutig von der Ruhe unterscheiden. Damit haben sich die in der Literatur und Normung aufgeführten Hörschwellen im Infraschallbereich im Wesentlichen als tragfähig erwiesen. Auch zeigte sich, dass ein moduliertes Geräusch (Schwankungen des Geräuschpegels) eine höhere Belästigung in der Laborsituation hervorrief als kontinuierliche Geräusche.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie gewonnenen Daten bieten vielfältige Erkenntnisse über die Wahrnehmung und die Reaktionen auf Infraschallexposition. Zwar lieferten die eingesetzten Methoden keine messbaren physiologischen Akutreaktionen, in der psychologischen Befragung zeigten sich dennoch signifikante Effekte. Für die weitere Forschungsarbeit auf diesem Gebiet lässt sich auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse ein breites Spektrum möglicher Anknüpfungspunkte für weitere Studien finden. Fragestellungen, die sich beispielsweise näher mit dem Einfluss verschiedener Modulationsgrade befassen, wären dabei ebenso denkbar wie die Suche nach möglichen Methoden, die berichtete subjektive Wahrnehmung auch durch physiologische Messungen objektiv zu begründen.

Summary

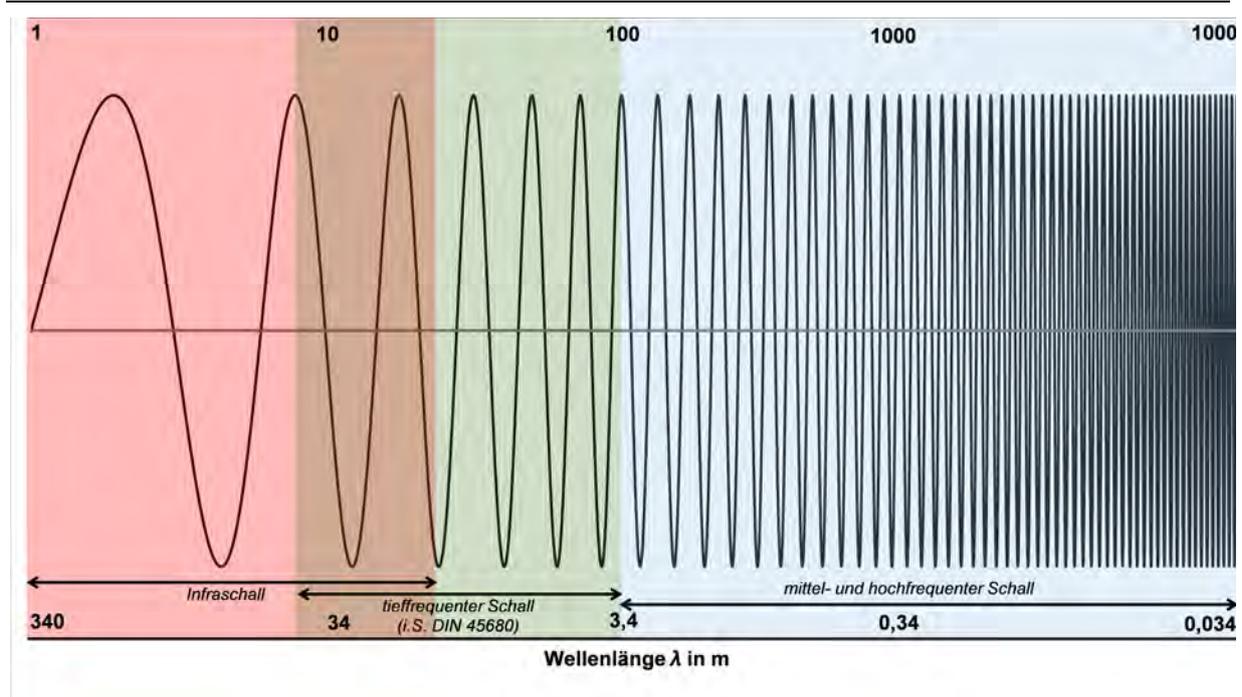
Over the last few years, increasing development pressure has had a profound influence on the acoustics of the environment. This may also affect the way we perceive annoyance. Ongoing technical noise from stationary equipment and installations has caused new environmental conditions. Public debate is focusing increasingly on the negative impact of equipment and installations emitting presumed - non-audible - noise, called infrasound. Such facilities include, for example, power stations and biogas facilities, pumping and transformer stations, heating plant or wind turbine generators. Concerns regarding infrasound immissions from such facilities are frequently raised already during the approval process by inhabitants in the vicinity of such installations. In many cases, the need for a stricter limitation of "very low sounds" is brought up, which are associated with very specific annoyance properties and a broad range of symptoms.

Acoustic properties of infrasound

Infrasound is defined by the relevant international standards (ISO 7196, 1995) as airborne sound having a frequency below 20 Hz. Hence the tonal pitch of infrasound is by definition a range regarded as below the human auditory threshold.

Detailed curves for the thresholds of audibility and perception differ among persons; hence the perceptible range can also vary. For this reason, it is currently not possible to draw a clear line between infrasound and low-frequency noise. Instead, these two types of sound partially overlap (cf. Figure 1).

Figure 1: Frequency ranges and wavelengths of air-conducted sound



Source: Own diagram

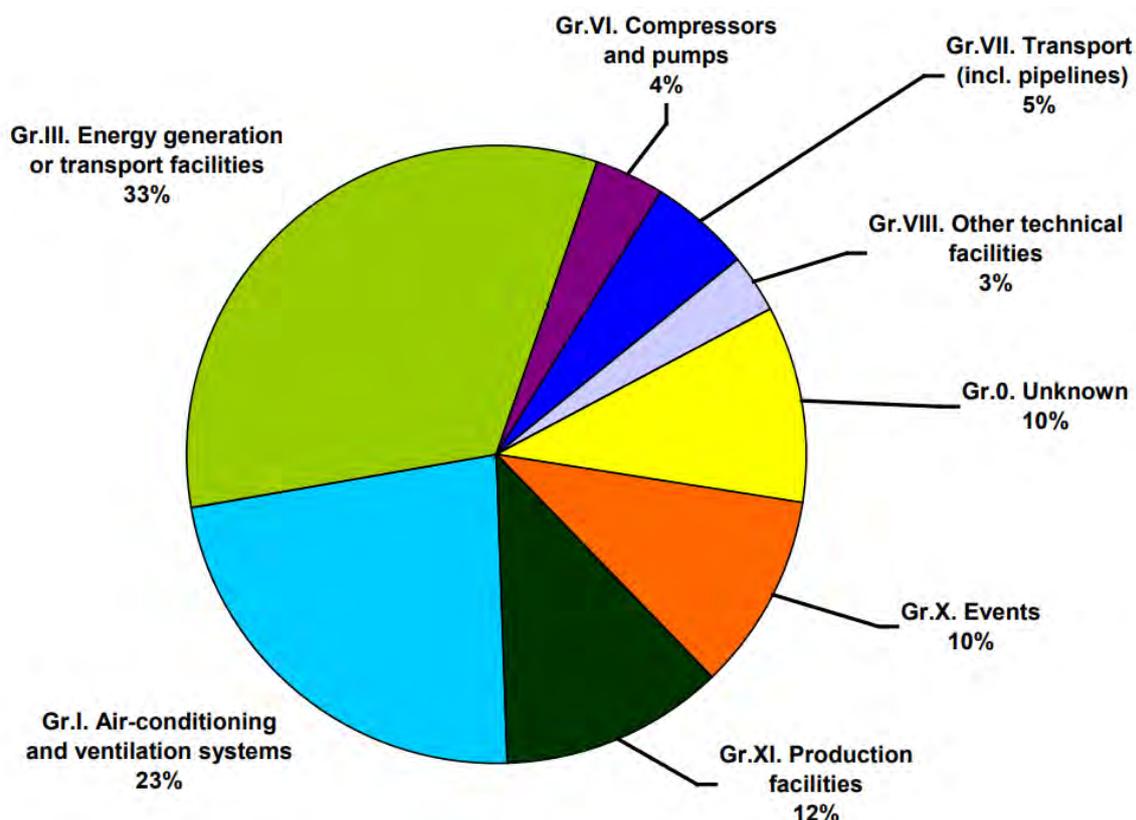
Infrasound can be described as a slowly alternating pressure variation. It can derive from both natural and anthropogenic sources. Natural sources can be thunderstorms, water currents, or strong wind, blowing through the woods. Anthropogenic infrasound originating from technical sources, e.g. wind turbines, differs from natural infrasound in so much as it is characterized by mostly periodic, repetitive sound events, with a characteristic time and frequency pattern. Natural infrasound, on the other hand, is usually subject to random fluctuations.

Infrasound exhibits very long wavelengths in the range from approx. 20 meters to several hundred meters. As a rule, infrasound wavelengths therefore cannot form within rooms. Rather, the airborne infrasonic sound pressure will increase and decrease within these rooms, similar to the variation of the filling level within a tank. This is referred to as the pressure chamber effect, which means that no wave fields will form within the room, such that the sound field distribution is virtually identical at almost any point in the room.

Relevant sources of infrasound from technical sources are essentially installations where there is significant movement of air or of large surfaces. Installations which, due to their inherent characteristics (size, operating modes et cetera) are likely to cause shocks, as well as facilities generating pulse-type noise with high energy content (e.g. blasts) are also considered as typical sources of technical infrasound. This shows that there are many potential sources of infrasound immission.

In a nationwide survey of overall complaints, part of a study commissioned by the German Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt) (Krahé et al., 2014), the infrasound sources shown in Figure 2 were perceived as particularly relevant.

Figure 2: Breakdown of infrasound-related complaints into different source groups



Source: Krahé et al. (2014)

The majority of stationary technical installations generates both audible sound and infrasound. There are no known sources of sound emitting exclusively infrasound and no audible sound. Given that infrasound is dampened far less than ordinary audible sound, due to the different conditions of propagation, only infrasound may be detected at larger distances. Considering the propagation path of several kilometers required for this to happen, the infrasound energy will be significantly reduced compared to an immission site in the vicinity of the emitting plant. Even under laboratory conditions, the generation of pure infrasound at a sound level reaching the perception threshold constitutes a major challenge. However, special rotary woofers and harmonic compensation can be used to generate infrasound whose higher-frequency components are negligible due to their low sound pressure levels.

There is no standardized method for predicting or calculating outdoor propagation of infrasound. Estimates of existing or future infrasound immissions are possible if complex numerical simulations are used, but they are subject to increased uncertainty. Therefore, only the measurement of existing infrasound immissions is feasible so far, but not their prognosis.

In Germany, the handling of harmful environmental effects caused by hazardous, considerably detrimental or considerably annoying immissions is governed by the German Immission Control Act (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG). Special importance is attached to the prevention of and protection against noise. The German Technical Guidelines for Noise Reduction (TA Lärm) – as administrative order for the German Immission Control Act as far as technical installations are concerned – contains a more specific definition of the unspecific legal term "harmful environmental effects caused by noise".

The general assessment procedure contained in the German Technical guidelines for Noise Reduction refers to "A-weighted" sound levels. The harmfulness threshold of low-frequency noise or infrasound is therefore not defined in sufficiently concrete terms by the determination and assessment method specified in the German Technical Guidelines for Noise Reduction. For this reason, as far as the determination and assessment of low-frequency noise is concerned, the German Technical Guidelines for Noise Reduction make reference to DIN 45680 with the associated Supplement Sheet 1, as published in 1997. In accordance with this standard, the measurement of immissions must be performed within rooms intended for prolonged occupancy. DIN 45680 also covers infrasound in the frequency range between 8 Hz and 20 Hz (third-octave center frequencies).

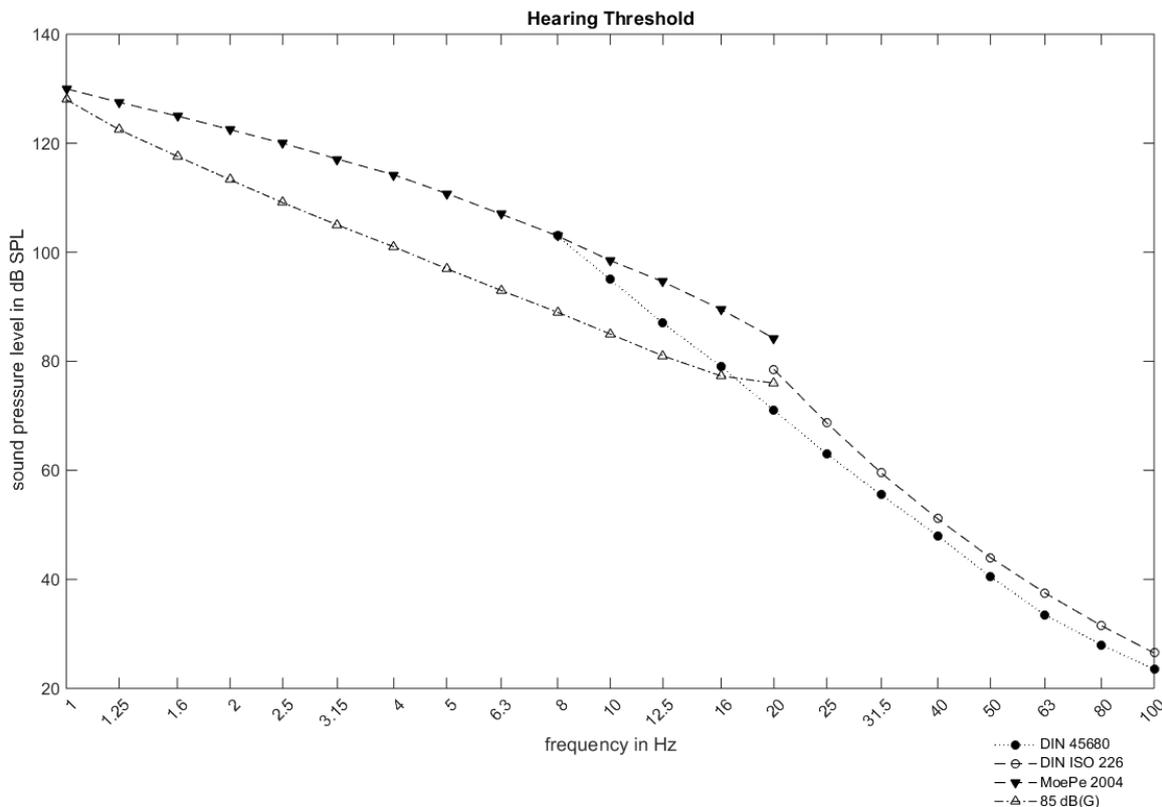
Perception threshold of infrasound

Sound is perceived, if the sound pressure level reaches the auditory threshold. In guidelines (e.g. ISO 28961 (2012)), auditory thresholds are defined by calculating mean values determined from a large number of test persons. These, however, do not refer to the infrasound range, but usually start at 20 Hz. For the infrasound range, much less data are available for the definition of the perception threshold. There are various publications showing data from small numbers of test persons.

Figure 3 illustrates the auditory threshold in the infrasonic range (< 20 Hz) according to Møller and Pedersen (2004), which is frequently applied in literature, along with further thresholds from guidelines, amongst them the threshold of 85 dB(G) defined by G-weighting.

The perception threshold is calculated statistically, whereby the case numbers taken into account in this calculation are significantly lower than the standardized normal auditory thresholds within the frequency range from 20 Hz to 20 kHz. Higher uncertainty and higher individual deviations of perception thresholds can therefore be expected in the infrasonic range. It is to be assumed that the individual perception threshold for 20 Hz may be up to 15 dB higher or lower in approx. 1 percent of the population (ISO 28961, 2012).

Figure 3: Different auditory thresholds (Note: Values of thresholds according to Møller and Pedersen were obtained partly by interpolation)



Source: Own diagram

Possible effects of infrasound immissions

Based on the evaluation of the hitherto existing scientific literature, the potential effects of low-frequency/infrasound noise exposure on the human body identified in the feasibility study on the effect of infrasound conducted on behalf of the Federal Environmental Agency can be summarized as follows:

- ▶ Changes in the cardiovascular system (e.g. change in blood pressure, heart rate)
- ▶ Lack of concentration
- ▶ Effects on vestibular system
- ▶ Psycho-vegetative disorders associated with the above physiological effects, such as experienced unease (vertigo, tiredness, drowsiness, feeling of pressure on tympanic membrane, feeling of vibration)

However, the studies identified in the feasibility study do not provide exact sound levels. Therefore, a differentiation between effects in the infrasound range and effects in the low-frequency audible range was often not possible. In addition, studies on infrasound exposure and human physiological responses conducted until now were inconclusive. Variations in blood pressure and effects on the vestibular system in the form of uncontrolled eye movement (referred to as nystagmus) were described by some authors but called into doubt by others.

Based on the findings on the acoustic properties, the perception threshold of low-frequency sounds and infrasound and the possible effects of infrasound, the present study investigates whether infrasound presented over a short time period has an influence on acute physiological reactions as well as on acute perceived noise pollution.

Experimental design, set-up, and execution

To this end, selected test subjects were exposed in a laboratory study to different noise scenarios, each lasting 30 minutes, run in alternating sequence. As regards noise assessments and effects acquired, a distinction was made between effects captured by means of an inventory of questions and measured physiological effects. The questions were answered during exposure to the noise. Parallel to the presentation of the noise, measurements were conducted to capture possible physiological body reactions. In detail, four noise scenarios between 3 Hz and 18 Hz were performed with one silence scenario for control purposes. The following noise scenarios were investigated:

1. 3 Hz, 105 dB, with varying noise intensities (sound pressure levels) (amplitude-modulated, with a pure sinus tone of 1 Hz)
2. 5 Hz, 105 dB
3. 10 Hz, 95 dB
4. 18 Hz, 85 dB
5. Silence

This choice of frequencies allowed extensive coverage of the infrasound range. The scenarios were chosen so that one stimulus (no. 4, 18 Hz with 85 dB) was about 10 dB above the auditory threshold according to DIN 45680. Therefore, this stimulus should have been readily audible. The level of one stimulus (no. 3, 10 Hz, 95 dB) was at this auditory threshold and should therefore have been audible for at least some of the subjects. Scenarios no. 1 (sinus 3 Hz, amplitude-modulated with 1 Hz, 105 dB) and no. 2 (sinus 5 Hz, 105 dB) were outside the scope of DIN 45680.

To identify the acute physiological effects in the present study during all scenarios examined, the following well-established physiological measurement methods were applied. Electrocardiogram (ECG), electroencephalogram (EEG), blood pressure measurement (2x per scenario), nystagmus measurement by means of Frenzel goggles, pointing test according to Bárány, head impulse test, and finger-nose test.

To be able to identify the above-mentioned acute physiological effects comprehensively in the present study during all scenarios played out, the following measurement methods were applied, which are well-established in noise effect research: Electrocardiogram (ECG), Electroencephalogram (EEG), blood pressure measurement (2x per scenario), nystagmus measurement by means of Frenzel goggles, Pointing test according to Bárány, Head impulse test, and finger-nose test.

To perform the psychological examination, a questionnaire was used to interview the test persons. These questions were answered by the test subjects while the test was in progress, using a tablet PC. For each noise scenario, the short-term annoyance, the perception of the noise (whether and where the subject was able to hear/feel the noise), and the subjects' description of the noise (e.g. droning, rustling, whistling) were recorded.

In addition, an assessment of individual noise properties (so-called semantic differentials, such as harmless vs. threatening, comfortable vs. uncomfortable, et cetera) and a detailed inquiry into feelings of unease and well-being (e.g. feeling of panic, discomfort or relaxation), pressure and vibration sensation were carried out. In conclusion, the test subjects were asked to assess the overall level of annoyance caused by the respective noise scenario.

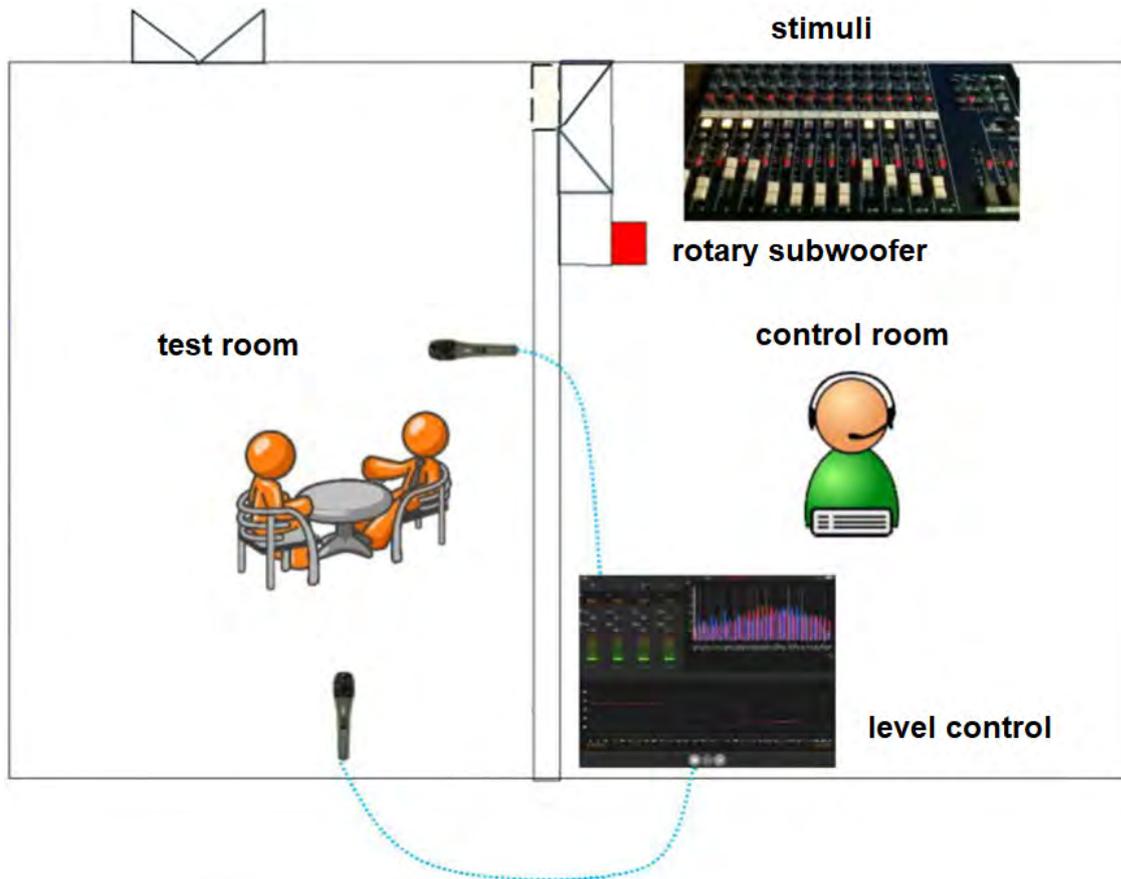
A total of 44 test subjects took part in the laboratory study, which was conducted between October 2017 and February 2018, whereby it subsequently became necessary to exclude five of these from the evaluation of physiological data due to medical reasons (three due to high blood pressure, two due to inadequate hearing ability).

The aim was to include both test subjects who were predisposed to infrasound and test subjects who were non-predisposed in equal proportions. Predisposed persons were defined as subjects having previously contacted a regulatory body or engineering firm with the request to measure or investigate a problem with infrasound in their home environment. In this group, only those persons were taken into account, where measurements actually confirmed the presence of infrasound in their homes.

The above-mentioned noise was presented through a loudspeaker system rather than through headphones. With this setup an airborne infrasonic acoustic field was created, which was present throughout the test room irrespective of location, meaning that the test subjects were able to move around in the room without any significant effect on noise exposure. The concept is shown in Figure 4. This test setup along with continuous monitoring of the test procedure, including recording of the noise level in the test room, ensured verifiable, controlled laboratory conditions. The test subjects were prepared for the test in adjacent (confer Figure 5, left). The test room was furnished as a typical living room to create an authentic atmosphere (see Figure 5, right).

During examinations close to the auditory threshold, noise from external sources can easily have a measurable impact on the result. This is why the examinations were performed in a very quiet room with low background noise. For this reason, an isolated, detached building situated on an abandoned military airport was rented for the duration of the study. All potential sources of disturbance (heating system et cetera) were switched off during the study. Control measurements in the test room resulted in a moderate sound pressure level of approximately 20 to 25 dB(A).

Figure 4: Conception of sound system, test and control areas in communicating rooms



Source: Own diagramm

Figure5: Test rooms

left: Preparing a test subject in the laboratory, right: Test room

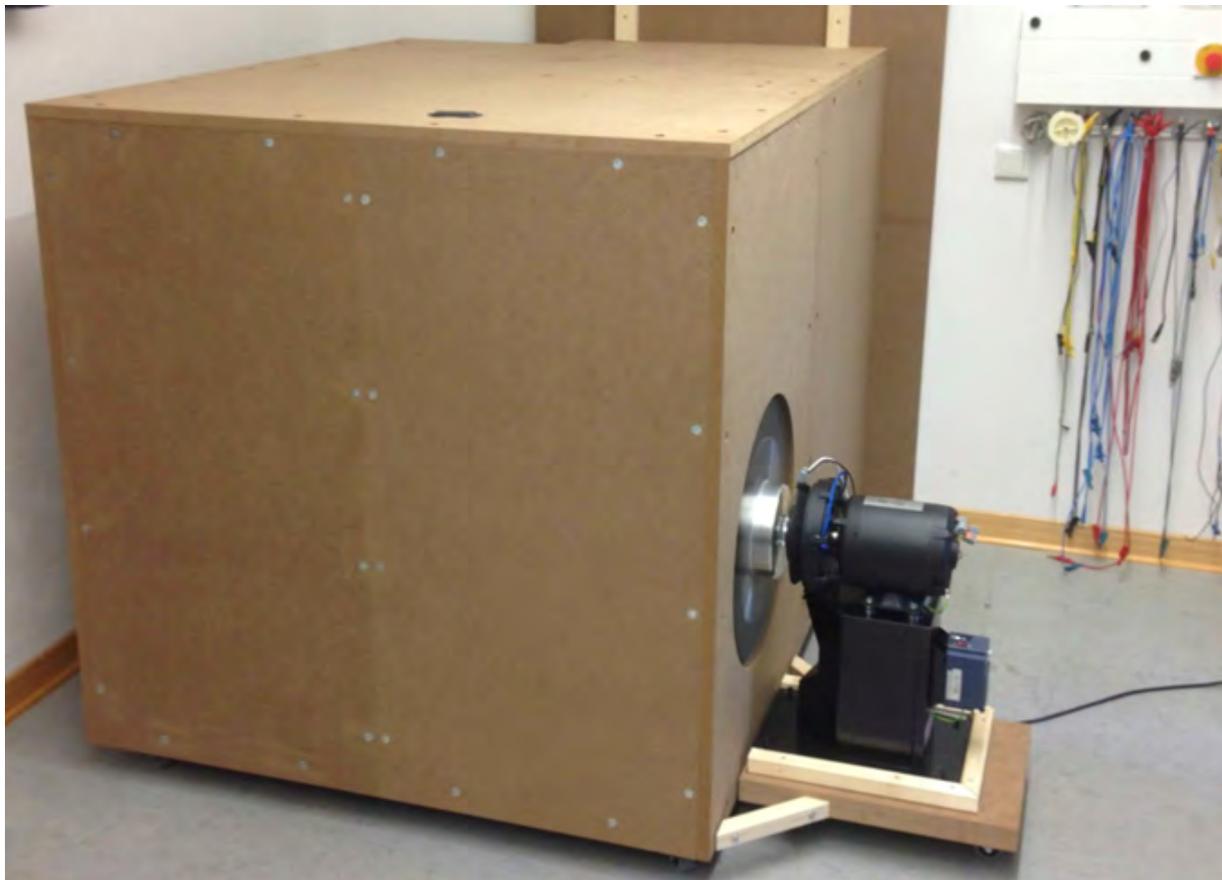


Source: Own photography

The design of the speaker system required increased accuracy, since the reproduction of very low frequencies without further measures leads to distortions. This means that the spectrum of emitted sounds will contain not only the desired signal component, but also further, higher-frequency components. Given the higher sensitivity of hearing perception in this frequency range, the possibility of the subject hearing and assessing these higher-frequency components instead of the infrasound under analysis cannot be ruled out.

The generation of the required sound levels would exceed the capabilities of an ordinary bass speaker, particularly at frequency ranges of 10 Hz and below. For this reason, a sound generator was specially developed. It is similar in construction to a fan where the pitch of the rotating blades can be controlled and varied (Rotary Subwoofer TRW 17, Eminent Technology, cf. Figure 6). This device enabled the air to be moved backwards and forwards approx. 1 to 20 times per second, enabling infrasound levels up to 115 dB to be generated. However, even when generated in this way, the infrasound was not entirely free from distortion. This problem was remedied by using destructive interference (active noise cancellation) to keep the respective components below the auditory threshold. A high-end active subwoofer (Neumann KH 870) was used for active noise cancellation.

Figure 6: Infrasound loudspeaker – rotary subwoofer TRW-17 in the control room



Source: Own photography

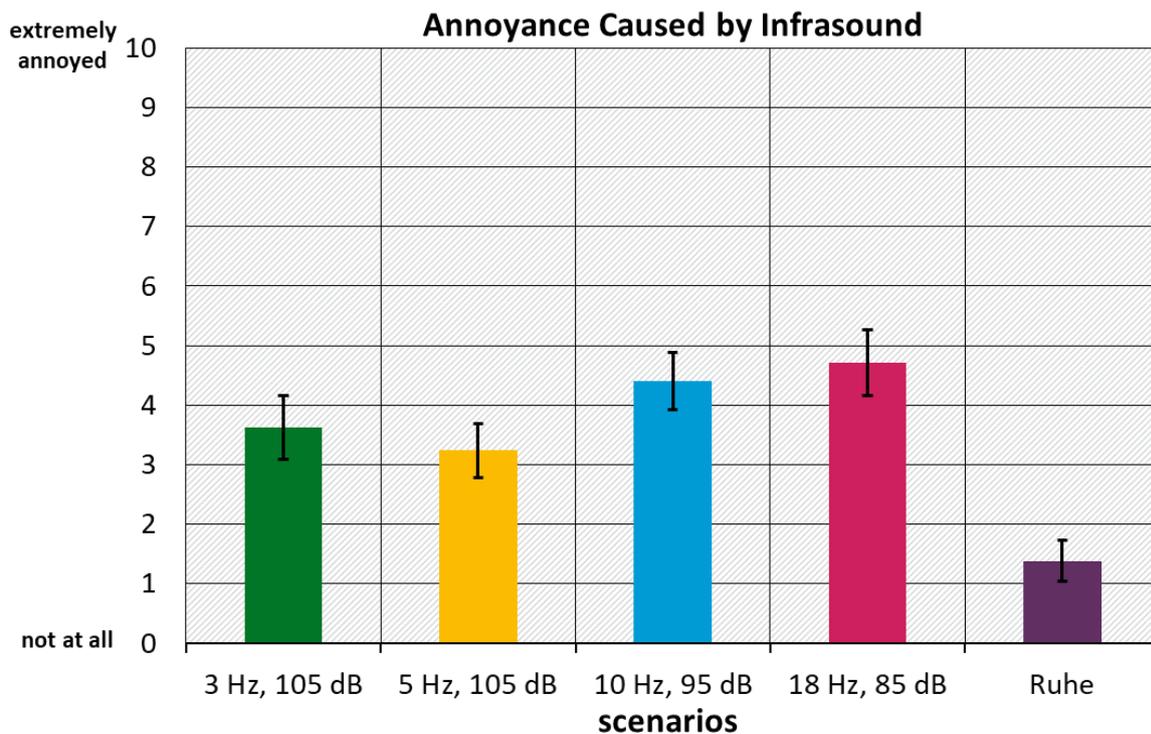
Test results

The results of the psychological part of the investigations revealed that the test subjects perceived the different noise scenarios in different ways, with the subjects assessing the level of discomfort in a varying manner. Figure 7 shows the results for the question concerning perceived discomfort, as an example. Scenarios 3 (10 Hz, 95 dB) and 4 (18 Hz, 85 dB), whose sound levels were at or just above the auditory threshold according to DIN 45680, were judged most negatively overall.

They triggered the highest ratings for annoyance and loudness and were perceived more strongly in the form of vibrations affecting the body and on objects in the building (e.g. a vase in the cupboard) than the other noise scenarios.

Both scenarios triggered a higher degree of unease and a perception of vibration and pressure in the head region. More frequently than other scenarios, Scenario 4 was perceived as humming, droning and vibrating, intrusive and thumping. This scenario had the highest base frequency of all scenarios. Furthermore, its sound level was above the auditory threshold according to DIN 45680. As for spectral characteristics and in terms of the sound level, this Scenario 4 was thus closest to the audible range. In addition, it could be seen that although the frequencies of the presented infrasound scenarios were by definition outside of the audible range, the sounds were essentially perceived via the ears. The modulated noise in scenario 1 and the noise in scenario 3 were both perceived as pulsating, scenario 3 was described as having a stronger tonal component than the remaining scenarios.

Figure 7: Assessment of annoyance caused by emitted infrasound noise



Source: Own diagramm

Summarizing, it appears that particularly infrasonic noise close to or above the auditory threshold is experienced and assessed as more annoying. It is noticeable that in all noise scenarios the feeling of vibration and pressure correlates with the perceived discomfort. Increased feelings of vibration or pressure in the head region are thus directly related to a stronger feeling of discomfort and disturbance by the noise.

A significant difference between the persons classified as predisposed and those classified as non-predisposed was not found during the evaluation. Predisposed persons had previously reported low-frequency or infrasound immissions in their personal environment to the authorities, the presence of which was subsequently confirmed by noise measurements.

In contrast to the noise pollution study, the results of the physiological measurements show no measurable acute reactions during the 30-minute noise presentations. In the present study, the subjects showed no significant changes in blood pressure or heart rate during infrasound exposure compared to the silence scenario. In addition, the EEG and the neurological tests performed did not provide any indication of acute physiological reactions to the infrasound. Changes in the measured parameters compared to the silence scenario were not found for either the predisposed or the non-predisposed subjects.

Discussion of the results

The results of the physiological laboratory tests are not in line with the discomfort caused by infrasound expressed by those affected. However, the exposure to infrasound of affected persons in their living environment usually takes place over a longer period of time. Therefore, it cannot be concluded from our results that long-term or continuous exposure does not result in physiological changes.

It may well be, e.g., that a sensitization of the test subjects does not occur until they have been exposed to the noise for an extended period of time.

Epidemiological studies could be helpful in investigating a relationship between long-term exposure to infrasound and the development of diseases. What is needed, however, is a reliable measurement of the actual infrasound exposure of the persons concerned over a longer period of time in the past. At the same time, alternative causes for possible resulting diseases would have to be excluded. These diseases include changes in the cardiovascular system due to excess weight, smoking, noise, air pollutants, or lack of exercise.

To generate an undisturbed infrasound field for the study in the test room, complex signal processing and special playback and measurement technology were required. Therefore, the results of the laboratory investigation allow the assumption that the complaints about infrasound expressed by residents do not in fact relate to infrasound but possibly to combinations with low-frequency or audible sound, since infrasound without frequency components in the audible range is practically non-existent in everyday life.

In particular, noise scenarios whose frequency is close to the audible range and whose level is at or above the auditory threshold were rated as causing discomfort and unpleasant by the test persons. The majority of the test persons were able to clearly distinguish the four infrasound scenarios from the silence scenario. Thus, the auditory thresholds in the infrasonic range proposed in current literature and official standards were essentially proven to be robust. It was also shown that a modulated noise (variation of noise level) causes a higher annoyance effect in laboratory conditions than continuous noise.

The data obtained in the present study offer a wide range of insights into the perception of and reactions to infrasound exposure. Although the methods used did not produce any measurable physiological acute reactions, the psychological survey nevertheless showed significant effects. Based on the results of this study, a broad spectrum of possible starting points for further research work or studies have become apparent. Questions that, for example, deal more closely with the influence of different degrees of modulation are just as conceivable as the search for new methods for carrying out physiological measurements in order to objectively substantiate the reported subjective perceptions.

1 Einleitung

In der öffentlichen Diskussion stehen zunehmend die Beeinträchtigungen durch Anlagen und Geräte, die sehr tieffrequenten - nicht hörbaren Schall – sogenannten Infraschall emittieren können. Dazu zählen zum Beispiel Kraftwerks- und Biogasanlagen, Pump- und Umspannstationen, Heizwerke oder Windenergieanlagen. Bereits in den Genehmigungsverfahren derartiger Anlagen werden seitens der Nachbarschaft häufig Bedenken im Hinblick auf Infraschall Immissionen geäußert. In vielen Fällen wird dabei eine stärkere Begrenzung der „ganz tiefen Töne“ gefordert, die von den Betroffenen mit besonderen Belästigungsmerkmalen und einer breiten Palette von Krankheitsbildern in Zusammenhang gebracht werden.

Die akustische Umweltbelastung hat sich in den letzten Jahren unter anderem auch als Folge von steigendem Siedlungsdruck und der Energiewende verändert. Dauerhafte technische Geräusche von stationären Geräten und Anlagen führen zu neuen Umweltbedingungen. Je tieffrequenter die Schallwellen sind, umso größer sind die Entfernungen, über die sie sich ausbreiten. Bei entsprechend ruhigen Umgebungsbedingungen ist ein messtechnischer Nachweis von tieffrequentem Schall beziehungsweise Infraschall noch möglich, auch wenn die Geräuschpegel weit unterhalb des für Menschen üblicherweise wahrnehmbaren Bereichs liegen. Dies kann zum Beispiel zu Störungen von hochsensiblen technischen Einrichtungen (wie beispielsweise Forschungs- und Laboreinrichtungen) führen, die gezielt in besonders ruhiger Umgebung errichtet und betrieben werden. Diese müssen daher teilweise mit aufwändigen technischen Kompensationsmaßnahmen entstört werden. Infraschallimmissionen kommen inzwischen in unserer Umgebung häufig und in verschiedensten Ausprägungen vor und werden von vielen technischen Geräten abgestrahlt.

Als Infraschall werden nach der internationalen Norm ISO 7196 (1995) Luftschallwellen im Frequenzbereich von 1 bis 20 Hertz (Hz) bezeichnet. Damit liegt die Tonhöhe von Infraschall definitionsgemäß unterhalb des für den Menschen mit dem Gehör wahrnehmbaren Bereichs. Infraschall stellt sehr langsam wechselnde Druckschwankungen dar. Er kann sowohl von natürlichen als auch von anthropogenen Quellen ausgehen. Infraschall kann beispielsweise bei Gewitterlagen, Wasserströmungen oder starkem Wind, der durch die Bäume eines Waldes weht, entstehen. Anthropogener Infraschall von technischen Quellen, beispielsweise Windenergieanlagen, unterscheidet sich von natürlichem Infraschall in der Regel durch die sich oftmals periodisch wiederholende Schallereignisse, die einen charakteristischen Zeit- und Frequenzverlauf aufweisen. Natürlicher Infraschall unterliegt demgegenüber zumeist zufälligen Schwankungen.

Von relevanter Bedeutung für den Infraschall technischer Quellen sind Anlagen, bei deren Betrieb große Luftmassen oder Oberflächen in Bewegung sind oder in Bewegung versetzt werden. Anlagen, die durch ihre Eigenart (Größe, Betriebsmodalitäten und so weiter) geeignet sind, Erschütterungen zu verursachen sowie Einrichtungen, von denen energiehaltige Schallimpulse erzeugt werden (z. B. Knalle), gelten ebenfalls als typische technische Infraschallquellen. Somit ergibt sich eine Vielzahl potenzieller Quellen, durch die es zu Infraschallimmissionen kommen kann.

Die Bewertung und Beurteilung von Infraschall erfolgen in Deutschland derzeit nach der Norm DIN 45680 (1997). Sie regelt den Frequenzbereich oberhalb von 8 Hz (Terzmittenfrequenz, vgl. DIN 45680). Für den Bereich der Infraschallimmissionen unter 8 Hz gibt es aktuell keine Regelwerke zur Messung und Beurteilung.

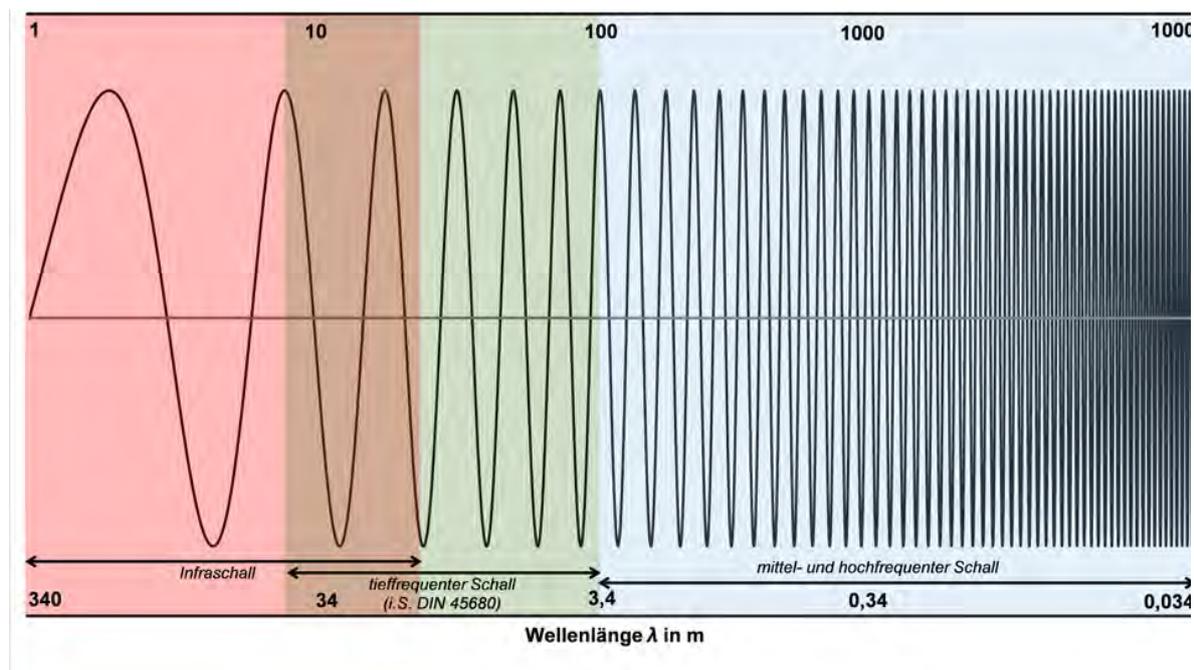
Ein Grund hierfür ist, dass es in der Lärmwirkungsforschung bislang wenig wissenschaftliche Erkenntnisse zu den physiologischen und Belästigungswirkungen von Infraschallimmissionen auf den Menschen im Bereich des gesamten Infraschallbereichs (1Hz bis 20Hz) und insbesondere unterhalb von 8 Hz gibt. Die vorliegende Studie untersucht daher den Zusammenhang zwischen einer kurzzeitigen Exposition mit unterschiedlicher Infraschall-Reizen und den akuten körperlichen sowie Stör- und Belästigungswirkungen auf den Menschen unter Laborbedingungen. Aus den Ergebnissen der physiologischen Messungen und den Belästigungsbefragungen sollen auf Grundlage des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes Hypothesen generiert werden, welche gesundheitlichen Folgen eine Exposition der untersuchten Lärmarten haben kann.

2 Hintergrund und Forschungsfrage

2.1 Aktustische Eigenschaften von Infraschall

Nach der internationalen Norm ISO 7196 (1995) bezeichnet Infraschall Luftschallwellen im Frequenzbereich von 1 bis 20 Hertz (Hz). Definitiv betrachtet liegt Infraschall damit unterhalb des für den Menschen hörbaren Bereichs. Da der genaue Verlauf der Hör- und Wahrnehmungsschwelle von Person zu Person jedoch verschieden ist, kann sich der wahrnehmbare Bereich individuell unterscheiden. Aus diesem Grund ist eine scharfe Abgrenzung zwischen tieffrequenten Geräuschen und Infraschall derzeit nicht abschließend möglich. Stattdessen überschneiden sich diese beiden Schallarten in einem Teilbereich (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: Frequenzbereiche und Wellenlängen von Luftschall



Quelle: eigene Darstellung

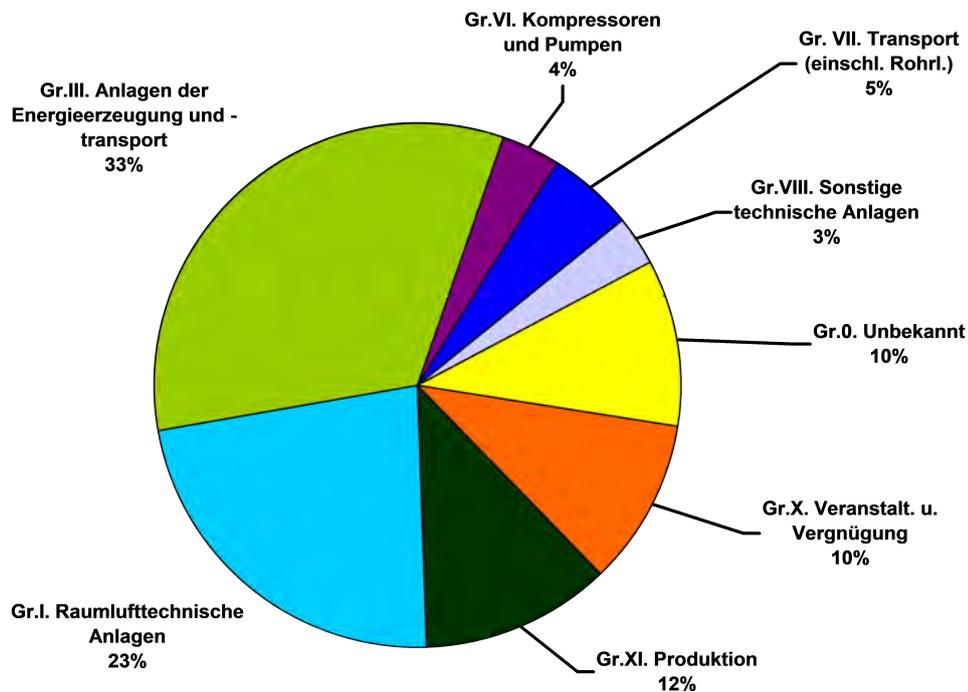
Infraschall stellt sehr langsam wechselnde Druckschwankungen dar. Er kann sowohl natürlich als auch durch anthropogene Quelle entstehen. Infraschall kann beispielsweise bei Gewitterlagen, Wasserströmungen oder starkem Wind der durch die Bäume eines Waldes weht entstehen. Anthropogener Infraschall – also Infraschall von technischen Quellen - unterscheidet sich von natürlichem Infraschall in der Regel durch die sich oftmals periodisch wiederholende Schallergebnisse, die einen charakteristischen Zeit- und Frequenzverlauf aufweisen. Natürlicher Infraschall unterliegt demgegenüber zumeist zufälligen Schwankungen.

Infraschall weist sehr große Wellenlängen im Bereich von etwa 20 Metern bis zu mehreren hundert Metern auf. Wellenlängen des Infraschalls können sich daher in der Regel nicht in Aufenthaltsräumen ausbilden. Stattdessen bewegt sich der Luftschalldruck wie ein wechselnder Füllstand in einem Tank auf und ab. Man spricht in diesem Fall von dem sogenannten Druckkammerereffekt, bei welchem sich keine Wellenfelder im Raum ausbilden, sondern die Schallfeldverteilung im Raum überall nahezu gleich ist. Von relevanter Bedeutung für den Infraschall technischer Quellen sind Anlagen, bei deren Betrieb große Luftmassen oder Oberflächen in Bewegung sind beziehungsweise in Bewegung versetzt werden.

Anlagen, die durch ihre Eigenart (Größe, Betriebsmodalitäten und so weiter) geeignet sind, Erschütterungen zu verursachen sowie Einrichtungen, von denen energiehaltige Schallimpulse erzeugt werden (z. B. Knalle), gelten ebenfalls als typische technische Infraschallquellen.

Somit ergibt sich eine Vielzahl potenzieller Quellen, durch die es zu Infraschallimmissionen kommen kann. In einer bundesweiten Abfrage der Beschwerdesituation im Rahmen einer im Auftrag des Umweltbundesamtes (Krahé et al., 2014) durchgeführten Untersuchung wurden die in Abbildung 9 dargestellten Infraschallquellen als besonders relevant wahrgenommen.

Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der Beschwerden über Infraschall aufgeteilt nach Quellengruppen



Quelle: Krahé et al. (2014)

Bei einer Vielzahl stationärer technischer Anlagen entstehen Hörschallanteile und Infraschall. Technische Schallquellen, die ausschließlich Infraschall und keinen Hörschall erzeugen, sind nicht bekannt. Da Infraschall aufgrund verschiedener Ausbreitungsbedingungen weit weniger gedämpft wird als normaler Hörschall, ist es möglich, dass in größeren Entfernungen jedoch ausschließlich Infraschall festgestellt wird. Bei den hierfür notwendigen Ausbreitungswegen von mehreren Kilometern ist die Energie des Infraschalls gegenüber einem Immissionsort in Anlagennähe deutlich reduziert. Die Erzeugung von reinem Infraschall auf einem Pegelniveau nahe oder oberhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen ist demgegenüber bereits unter Laborbedingungen sehr aufwendig. Mit speziellen Rotationstieftonlautsprechern und Oberwellenkompensation ist es jedoch möglich reinen Infraschall zu erzeugen, dessen höherfrequente Anteile aufgrund ihrer geringen Schalldruckpegel vernachlässigbar sind.

Der Umgang mit schädlichen Umwelteinwirkungen durch gefährliche, erheblich nachteilige oder erheblich belästigende Immissionen wird in Deutschland durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geregelt. Vor allem kommt dabei der Vorsorge und dem Schutz vor Lärm eine wesentliche Rolle zu. Die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) konkretisiert als Verwaltungsvorschrift zum BImSchG für technische Anlagen den unbestimmten Rechtsbegriff der „schädlichen Umwelteinwirkungen“ durch Lärm. Das allgemeine Beurteilungsverfahren der TA Lärm beruft sich auf „A-bewertete“ Schallpegel.

Die Schädlichkeitsschwelle tieffrequenter Schallereignisse beziehungsweise des Infraschalls wird durch das allgemeine Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren der TA Lärm nicht ausreichend konkretisiert, da die A-Bewertung zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche ungeeignet ist. Die TA Lärm verweist deshalb zur Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche auf die DIN 45680 mit ihrem zugehörigen Beiblatt 1, in der Fassung von 1997. Nach dieser Norm hat eine messtechnische Ermittlung der Immissionen innerhalb von Aufenthaltsräumen zu erfolgen. Von der DIN 45680 wird auch Infraschall im Frequenzbereich zwischen 8 Hz und 20 Hz (Terzmittelfrequenzen) erfasst.

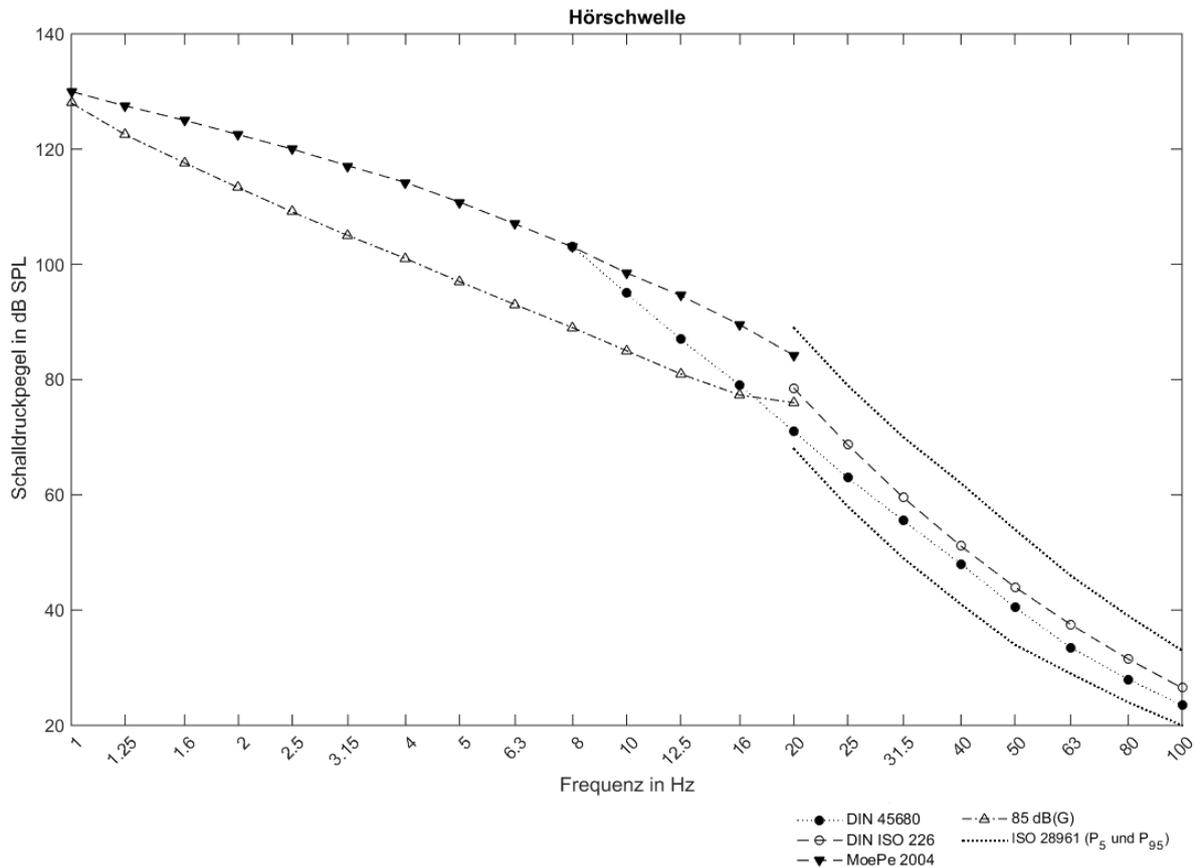
Ein standardisiertes Prognose- oder Berechnungsverfahren zur Entstehung und zur Schallausbreitung von Infraschall im Freien existiert nicht. Abschätzungen von vorhandenen oder zukünftigen Infraschallimmissionen sind mit aufwändigen numerischen Simulationen möglich, unterliegen jedoch einer erhöhten Unsicherheit, da diese Methoden bisher weder normiert noch validiert sind und keine Anforderungen an Emissionsdaten für Infraschall bestehen. Daher ist bislang nur die Messung vorhandener Infraschallimmissionen, nicht aber deren Prognose praktisch umsetzbar.

2.2 Wahrnehmungsschwelle von Infraschall

Schall wird in der Regel erst dann wahrgenommen, wenn der Schalldruckpegel die Hörschwelle erreicht. In Richtlinien (zum Beispiel ISO 28961, DIN ISO 226) werden die über eine große Anzahl untersuchter Personen gemittelten Werte als Hörschwelle festgelegt (ISO 28961:2012). Diese beziehen sich jedoch nicht auf den Infraschallbereich, sondern beginnen meist ab 20 Hz. Im Infraschallbereich liegen deutlich weniger Daten für die Definition einer Wahrnehmungsschwelle vor. Es existieren verschiedene Veröffentlichungen mit geringen Probandinnen- und Probandenzahlen. Abbildung 10 zeigt die Wahrnehmungsschwelle im Infraschallbereich (< 20 Hz) nach Møller und Pedersen (2004), sowie weitere Schwellen aus Richtlinien, u.a. die über die G-Bewertung definierte Schwelle von 85 dB(G).

Die Wahrnehmungsschwelle nach Møller und Pedersen beruht auf statistischen Berechnungen, wobei die dabei berücksichtigten Fallzahlen wesentlich geringer sind als die zur Ermittlung der genormten Normalhörschwellen im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz. Im Bereich des Infraschalls ist daher mit höheren Unsicherheiten und größeren individuellen Abweichungen von den Wahrnehmungsschwellen zu rechnen. So ist davon auszugehen, dass die individuelle Wahrnehmungsschwelle für 20 Hz bei etwa 1 Prozent der Bevölkerung um bis zu 15 dB höher oder niedriger ausfallen kann (ISO 28961:2012).

Abbildung 10: Verschiedene Hörschwellen (Anm.: Werte der Schwelle nach Møller und Pedersen z.T. interpoliert)



Quelle: eigene Darstellung

Nicht nur die Wahrnehmungsschwelle von Geräuschen kann sich individuell unterscheiden, sondern auch die Reizverarbeitung von Geräuschen kann zu einer unterschiedlichen Wahrnehmung führen. Dies hat zur Folge, dass zwei Menschen mit der gleichen Wahrnehmungsschwelle Geräusche dennoch anders wahrnehmen können. Der Vorgang des Hörens kann grob in drei „Funktionsblöcke“ untergliedert werden: Erfassen, Verarbeitung und Auswertung des Reizes. Der individuelle Anteil in der Verarbeitung nimmt bei jedem der Prozessschritte zu.

Watanabe und Yamada (2002) zeigen außerdem, dass die Summe unterschwelliger Komponenten zu einer überschwelligen Wahrnehmung führen kann. Es ist bislang unklar, durch welche Wirkungsmechanismen dies bedingt ist. Eng benachbarte Spektralkomponenten führen häufig zu Modulationen, sogenannte Schwebungen, also zu Schwankungen in der Einhüllenden des Geräusches. Es kann vermutet werden, dass ein solches Merkmal besonders belästigend empfunden wird. Das stützt die Annahme, dass spektral definierte Eigenschaften des Geräusches im ausgeprägt tieffrequenten Bereich vielmehr als zeitliche Struktur wahrgenommen werden. Allerdings sind die bisherigen Kenntnisse darüber mehr qualitativer denn quantitativer Art.

Zwar besteht im Bereich ausgeprägt tieffrequenten Schalls ein geringes Tonhöhenempfinden beim Menschen, sodass eine Differenzierung des Frequenzbereichs innerhalb des Infraschallbereichs zunächst nicht maßgebend erscheint, allerdings nimmt auch das Wahrnehmungsvermögen mit abnehmender Frequenz ab, sodass die Infraschallfrequenz eine Differenzierung des Schalldrucks unterstützt.

Es kann angenommen werden, dass ähnlich wie beim Hörschall neben der spektralen Zusammensetzung und der Schallenergie auch die zeitliche Struktur des Geräusches (beispielsweise Amplitudenveränderungen durch Modulation) einen erheblichen Einfluss auf die Wahrnehmung und das Empfinden haben kann (zum Beispiel Kalivoda und Steiner, 1998).

Die in der vorliegenden Studie untersuchten Stimuli sollten deshalb den Einfluss dieser verschiedenen Geräuscheigenschaften gleichermaßen berücksichtigen:

- ▶ Schallenergie (Schalldruckpegelniveau)
- ▶ Spektrale Feinstruktur
- ▶ Modulation

2.3 Mögliche Auswirkungen von Infraschall

Anwohnerinnen und Anwohner, die über Belästigungen durch Infraschall berichten, klagen vermehrt über Schwindel und Unbehaglichkeitsempfinden. Dies sind Störungen, die sowohl durch Herz-Kreislauf-Dysregulationen als auch durch Störungen des Gleichgewichtsorgans und des Nervensystems bedingt sein können und in Untersuchungen auch bereits damit assoziiert wurden (Krahé et al., 2014). Im Rahmen der Machbarkeitsstudie des Umweltbundesamts zu den Wirkungen von Infraschall wurden über 1.200 Publikationen hinsichtlich der Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen ausgewertet und in einer Datenbank aufbereitet (Krahé et al., 2014). Der Datenbestand wird weiterhin laufend aktualisiert und liegt aktuell bei etwa 1.400 Publikationen. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie deuten darauf hin, dass Infraschallpegel von mehr als 140 dB negative Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen haben (zum Beispiel Landström, 2000). Im Bereich von immissionsschutztechnisch relevanten Schalldruckpegeln um die Wahrnehmungsschwelle zeigen die analysierten Untersuchungen kein einheitliches Bild (eine Übersicht der vorhandenen Studien bieten McCunney et al. (2014) und Harris et al. (1976)). Blutdruckreaktionen sowie Störungen des Gleichgewichtsorgans in Form von Nystagmen (unkontrolliertes Augenzittern) wurden von einigen Autorinnen und Autoren beschrieben (Danielsson und Landström, 1985, Evans et al., 1971, 1972), von anderen wiederum angezweifelt (Harris et al., 1976). Wiederum andere Untersuchungen beschreiben negative Auswirkungen von Infraschall bereits bei Schalldruckpegeln nahe unterhalb der Hörschwelle. Untersuchungen von Wysocki und Kolleginnen und Kollegen zeigten erste negative Auswirkungen bei Schalldruckpegeln von zirka 75 dB bei einer Frequenz von 8 Hz (Wysocki et al., 1980). Aufgrund des in der Untersuchung verwendeten Geräuschespektrums lassen sich Auswirkungen der höheren Frequenzanteile auf die Untersuchungsergebnisse jedoch nicht ausschließen. Eine kürzlich durchgeführte Studie von Weichenberger et al. (2017), die sich die Wirkung von Infraschall nahe der individuell bestimmten Hörschwelle auf die Hirnaktivität mittels resting-state functional magnetic resonance imaging (rsfMRI), einer speziellen Form der Magnetresonanztomografie (MRT) ansah, wies unter anderem Veränderungen im anterioren cingulären Cortex sowie in der Amygdala nach. Verglichen wurden dabei einer ruhige und eine hörbare Studienbedingung (12 Hz, 122,3 dB (Median)). Aktivierungen dieser Hirnregionen werden mit Konfliktverarbeitung in Verbindung gebracht. Der eingesetzte Ton wurde für eine Dauer von 300 s bei einem Pegel von 2 dB unter der individuellen Hörschwelle eingespielt, die im Median der Stichprobe bei 86,5 dB lag. Somit gibt diese Untersuchung Hinweise darauf, dass unterhalb der Hörschwelle eine corticale Verarbeitung von Infraschall stattfindet und dass sich diese von der Verarbeitung hörbarer Reize unterscheidet.

Durch die kurze Darbietung des Tons bleibt offen, ob es sich dabei um eine akute Reaktion auf den Reiz handelt oder tatsächlich auch langfristige Aktivierungen stattfinden. Die Untersuchung weist jedoch darauf hin, dass autonome Reaktionen aufgrund der aktivierten Hirnareale möglich sind. Eine Studie zur objektiven Schlafqualität unter Infrascallexposition (Jalali et al. 2016) konnte darüber hinaus keine objektiven Auswirkungen auf den Schlaf nachweisen, wohingegen sich die subjektive Einschätzung der Schlafqualität durch den Einfluss von Infraschall verschlechterte.

Im Einzelnen wurden folgende körperlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper bei einer Belastung durch tieffrequenten Schall respektive Infraschall bei Schalldruckpegeln ab zirka 75 dB identifiziert:

- ▶ Veränderung im Herz-/Kreislaufsystem (z. B. Änderung des Blutdrucks, Herzfrequenz)
- ▶ Konzentrationsschwäche
- ▶ Einwirkung auf das Gleichgewichtsorgan
- ▶ mit den oben genannten physiologischen Wirkungen einhergehende psychovegetative Störungen beziehungsweise erlebtes Unbehagen (Schwindel, Müdigkeit, Benommenheit, Druckgefühl am Trommelfell, Vibrationsgefühl)

Die empfundene Lärmbelästigung durch Schallereignisse hängt von vielen Faktoren ab. So hat neben dem Schalldruckpegel als offensichtliche Einflussgröße auch die spektrale Zusammensetzung des Geräuschs Auswirkungen auf die Wahrnehmung. Auch Variationen im Schalldruckpegel oder der dargebotenen Frequenz können die individuelle Empfindung beeinflussen.

2.4 Forschungsfragestellung

Beruhend auf den Erkenntnissen zu den akustischen Eigenschaften, der Wahrnehmungsschwelle von tieffrequenten Geräuschen und Infraschall, sowie den möglichen Wirkungen von Infraschall untersucht die vorliegende Studie, ob kurzzeitig dargebotener Infraschall einen Einfluss auf akute physiologische Reaktionen des Körpers sowie das akute Lärmbelästigungempfinden hat.

Da im Wohnumfeld der Bevölkerung in Deutschland im Wesentlichen mit Infraschallimmissionen im Pegelbereich um die Hörschwelle zu rechnen ist, wurden für die dargebotenen Infrascalldruckreize Schallpegel und Frequenzen um die Wahrnehmungsschwelle gewählt. Da weiterhin sowohl die zeitliche Struktur als auch die Modulation des Geräuschs einen Einfluss auf das Lästigkeitspotenzial haben können, wurden sowohl amplitudenmodulierte Stimuli als auch Stimuli mit unterschiedlichen spektralen Eigenschaften untersucht. Für die Darbietung des Infraschalls wurde ein Lautsprecherkonzept gewählt, welches nicht nur die Amplitude der Wiedergabeeinrichtung, sondern auch deren Phase im Frequenzbereich bis 1 Hz mit Pegeln bis zirka 120 dB synthetisieren kann. Der Infraschall wurde dabei durch ein Schallfeld (d.h. über Lautsprecher) dargeboten. Durch die Schallfelddarbietung wirkt der Schall auf den gesamten Körper und nicht rein auditiv auf die teilnehmenden Versuchspersonen ein.

Die meisten Untersuchungen zur Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle bei tieffrequentem Schall oder Infraschall beziehen sich auf Sinustöne, die in der Regel rein auditiv einwirken, indem sie über spezielle Kopfhörer wiedergegeben werden (vgl. Krahé et al., 2014). In der vorliegenden Studie wurde der Infraschall ganzheitlich und kontrolliert in einem natürlichen Wohnumfeld dargeboten.

Aus der Literaturrecherche konnten keine belastbaren Veröffentlichungen zu Laborstudien mit physiologischen Messungen zu Infraschallimmissionen im Bereich des Immissionsschutzes gefunden werden. Experimente mit höheren Pegeln und physiologischen Messungen sind jedoch im Bereich der Luft- und Raumfahrt durchgeführt worden (z. B. Nussbaum, 1979). Daher wurden für die vorliegende Laborstudie die allgemein anerkannten physiologischen Reaktionen aus dem Bereich der Lärmwirkungsforschung ausgewählt. Insgesamt wurden sieben etablierte Messverfahren aus der Physiologie angewandt, um die beschriebenen möglichen physiologischen Akutwirkungen identifizieren zu können: Blutdruckmessung (jeweils 2x pro Szenario), Elektrokardiogramm (EKG), Elektroenzephalogramm (EEG), Nystagmusmessung mittels Frenzel-Brille, Bárány-Zeigerversuch, Kopfpulstest, Finger-Nase-Versuch.

Die Lärmbelastigung wurde mit Hilfe eines Fragebogeninventars untersucht. Ziel des Fragebogeninventars war eine differenzierte und hinreichend präzise Quantifizierung der Belästigungswirkung von tieffrequentem Schall beziehungsweise Infraschall und Hörschall.

3 Methodologisches Vorgehen

Um die in Kapitel 2 vorgestellte Forschungsfrage zu untersuchen, wurde eine Laborstudie durchgeführt. Im Folgenden werden der Versuchsort und dessen akustische Gegebenheiten, die Synthese und Darbietung der akustischen Stimuli, die physiologischen Messungen sowie die Lärmbelastigungsuntersuchung und das Verfahren zur Auswahl der Probandinnen und Probanden vorgestellt.

3.1 Versuchsort und Versuchsraum

3.1.1 Auswahl der Örtlichkeit

Für die Durchführung der Studie wurde ein geeignetes Gebäude in Deutschland gemietet. Es wurde so ausgestattet, dass es den Teilnehmenden eine weitgehend gewohnte Umgebung bietet, zugleich aber auch akustische Parameter gut zu kontrollieren waren.

An die Räumlichkeiten wurden daher verschiedene Anforderungen gestellt, damit während der Infraschallexposition Störeinflüsse (z. B. Umgebungsgeräusche) auf die Versuchspersonen möglichst ausgeschlossen werden konnten.

Für die Auswahl der Örtlichkeit wurden insbesondere folgende Parameter berücksichtigt:

- ▶ Freistehendes Gebäude in Alleinlage
- ▶ Ausreichender Abstand zu möglichen Geräuschquellen (beispielsweise Straßen-, Schienen-, und Luftverkehr, Windenergieanlagen oder Industrieanlagen)
- ▶ Keine natürlichen Geräuschquellen (zum Beispiel Bachlauf, Meeresbrandung, windstarke Lagen und ähnliches)

Neben der Lage der Immobilie wurden für die Auswahl zusätzlich bautechnische Aspekte berücksichtigt. Um die besonderen akustischen Eigenschaften von Infraschall bestmöglich zu kontrollieren und eine gewöhnliche Wohnumgebung abzubilden, wurden bei der Auswahl der Gebäude folgende Eigenschaften vorausgesetzt:

- ▶ Massivbauweise
- ▶ Konventionelle Raumhöhe ($h \approx 2,5 \text{ m}$)
- ▶ Konventionelle Raumgeometrie (rechteckig, Grundfläche zirka 15 bis 40 m²)
- ▶ Mindestanforderung an die Schalldämmung gegen Außenlärm (Isolierverglasung)
- ▶ Wohnliche Atmosphäre, Einrichtung
- ▶ Zimmer mit zwei oder mehreren Zugängen für die vom Ein-/Ausgang des Raumes für die Probanden unabhängige Installation des Lautsprecherkonzepts und des Kontrollraumes

Im Rahmen einer umfangreichen Recherche nach möglichen ruhigen Regionen, die für die Studiendurchführung infrage kommen, wurden zunächst Ferienhäuser hinsichtlich ihrer Tauglichkeit als Örtlichkeit für die Studie untersucht. Überwachungsmessungen¹ der Schall- und Erschütterungsimmissionen im Innen- und Außenbereich der Gebäude ergaben zwar insgesamt sehr geringe Grundgeräuschpegel. Allerdings wurden in allen untersuchten Ferienhäusern einzelne impulsartige Geräusche mit Schalldruckpegeln bis zu 45 dB(A) gemessen. Trotz sehr ruhiger Umgebung traten diese Einzelereignisse (Geräusche aus der Natur, Vogelgezwitscher, Windgeräusche) innen deutlich hervor. Als Ursache stellte sich eine bei Ferienhäusern tendenziell geringe Schalldämmung der Außenbauteile heraus ($R_{w',res} < 35$ dB). Für die weitere Gebietssuche mussten Ferienhäuser daher verworfen werden.

Der Auswahlprozess konzentrierte sich in der Folge auf die Suche nach einem Ort, der sich einerseits in einer ruhigen Gegend befindet und andererseits eine hohe Schalldämmung aufweist. Eine Örtlichkeit mit verschiedenen räumlichen Optionen, die den akustischen Anforderungen genügte, wurde in Eggebek in Schleswig-Holstein gefunden.

Besonders ruhige akustische Bedingungen wurden dabei in einem Bunker gemessen. Der gemessene Pegelzeitverlauf $L_{AF}(t)$ im Bunker zeigte kaum eine Beeinflussung durch Außenlärm, selbst durch Lkw-Vorbeifahrten wurde der Innenpegel auch kurzzeitig nicht über 22 dB(A) angehoben. Aufgrund der unnatürlichen Belichtung, Belüftung und der eingeschränkten Möglichkeit ein natürliches Wohnqualitätserleben zu erschaffen, wurde der Bunker wegen möglicher psychischer und physischer Wirkung auf die Versuchspersonen ausgeschlossen. Stattdessen wurde eine freistehende ehemalige Mannschaftsbaracke (Gebäude 92, siehe Abbildung 11) als Versuchsort festgelegt, da hier einerseits eine Wohnsituation geschaffen und andererseits auch hier die Geräuschsituation kontrolliert werden konnte.

Abbildung 11: Labor für die Hauptstudie in Eggebek



Quelle: eigene Darstellung

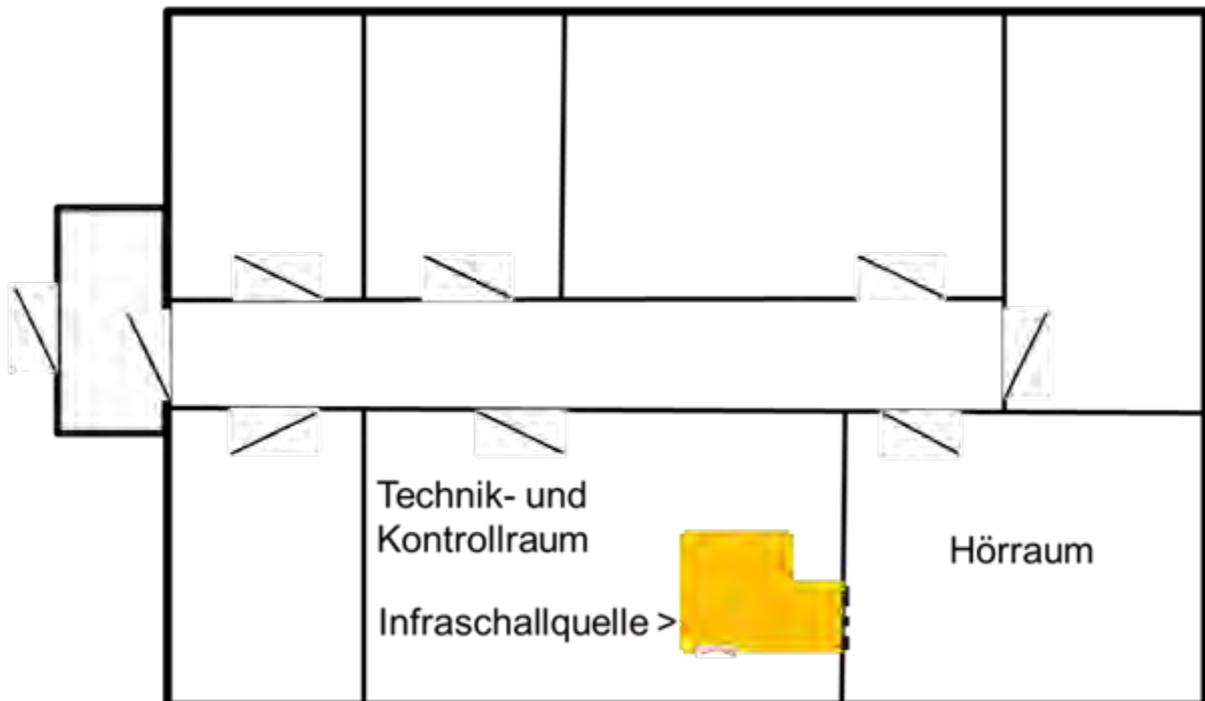
¹ Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/EC 17025:2005 von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure AG. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt. Die Messmikrofone wurden für den ausgeprägt tieffrequenten Messbereich (< 100 Hz) druckkammerkalibriert.

3.1.2 Versuchsraum

Das in Abbildung 11 dargestellte Gebäude Nummer 92 auf dem ehemaligen Marineflugplatz in Eggebek (Schleswig-Holstein) erfüllte die Anforderungen an die Örtlichkeit der Versuchsdurchführung. Es bestand die Möglichkeit, im Haus liegende Störquellen, bspw. die Heizung, abzuschalten und somit den Einfluss durch Störschall möglichst zu reduzieren.

Abbildung 12 zeigt den Grundriss des Gebäudes Nummer 92 mit den beiden wesentlichen Räumen, dem Hörraum, in dem die Versuchspersonen beschallt wurden, und dem Technik- und Kontrollraum, in dem der Versuchsablauf gesteuert und die Daten erfasst wurden. Im Letzteren befand sich auch die Infraschallquelle, die von dort aus in den Hörraum abstrahlte.

Abbildung 12: Grundriss des Gebäudes 92, Eggebek



Quelle: eigene Darstellung

Die anderen Räume (Sozialräume und Lagerraum) wurden für Voruntersuchungen und Vorbereitung der Teilnehmenden genutzt. Die Größe des Hörraumes betrug etwa 4,20 m x 5,20 m, die Deckenhöhe zirka 2,50 m. Damit hatte der Hörraum die Maße eines typischen Wohnraumes.

Im Versuchsraum wurde ein natürliches Wohnumfeld, im Kontrollraum die Lautsprecheranlagen und deren Steuerung eingerichtet. Sowohl optisch als auch akustisch sollte der Versuchsraum ein Wohnraumgefühl vermitteln. Abbildung 13 zeigt die Einrichtung des Versuchsraums für die Studiendurchführung. Um eine wohntypische Schallabsorption im Raum zu schaffen, wurde die Rückwand mit porösen Absorbern beklebt und mit einem Vorhang kaschiert. Teppiche und Mobiliar wurden eingebracht, um eine Wohn- und Aufenthaltsqualität zu erreichen.

Abbildung 13: Versuchsbereich mit Wohnraumatmosphäre im Versuchsraum

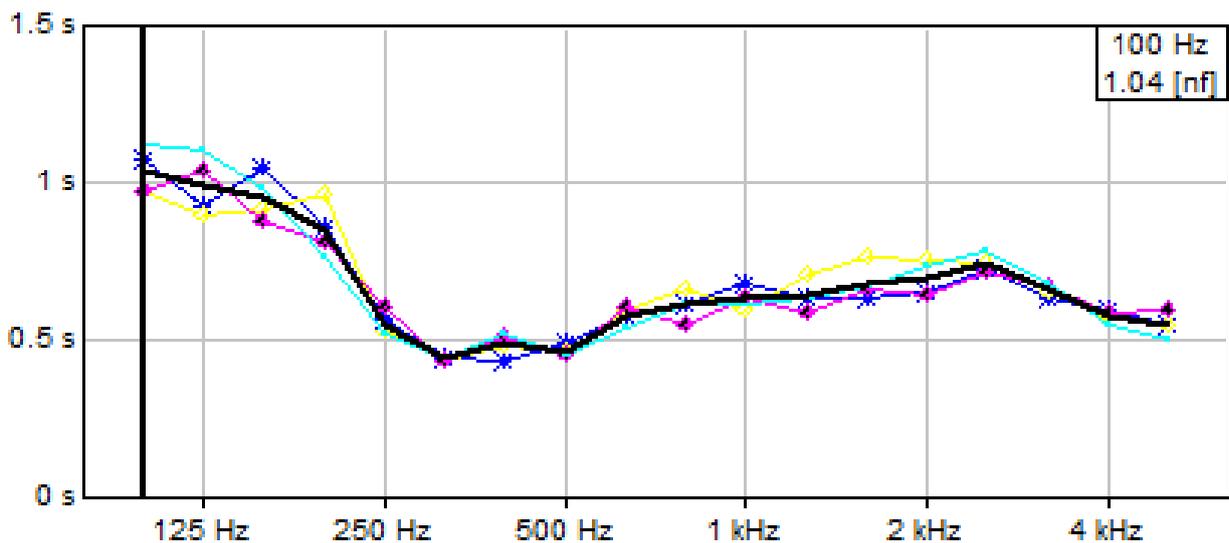


Quelle: eigene Darstellung

Nach Einrichtung des Versuchsbereichs wurde eine mittlere Nachhallzeit mit $RT_{60} = 0,66$ s im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz gemessen (siehe Abbildung 14). Für den Versuchsraum mit einer Grundfläche von $20,6 \text{ m}^2$ und einem Raumvolumen von $55,9 \text{ m}^3$ entspricht diese Nachhallzeit der Raumakustik eines gewöhnlichen Aufenthaltsraums einer Wohnung. Dies entsprach auch dem subjektiven Geräuscheindruck im Versuchsraum.

Die Öffnung für den Infraschallgenerator befand sich hinter dem Regal, unterhalb des Bildes. Die Versuchspersonen konnten die Position der Quelle weder akustisch noch optisch feststellen. Auch wurden alle Einrichtungsgegenstände so präpariert und im Einzelfall auch fixiert, dass sie weder akustisch noch optisch zu Schwingungen angeregt wurden.

Abbildung 14: Mittlere Nachhallzeit RT_{60} im Versuchsraum



Quelle: eigene Darstellung

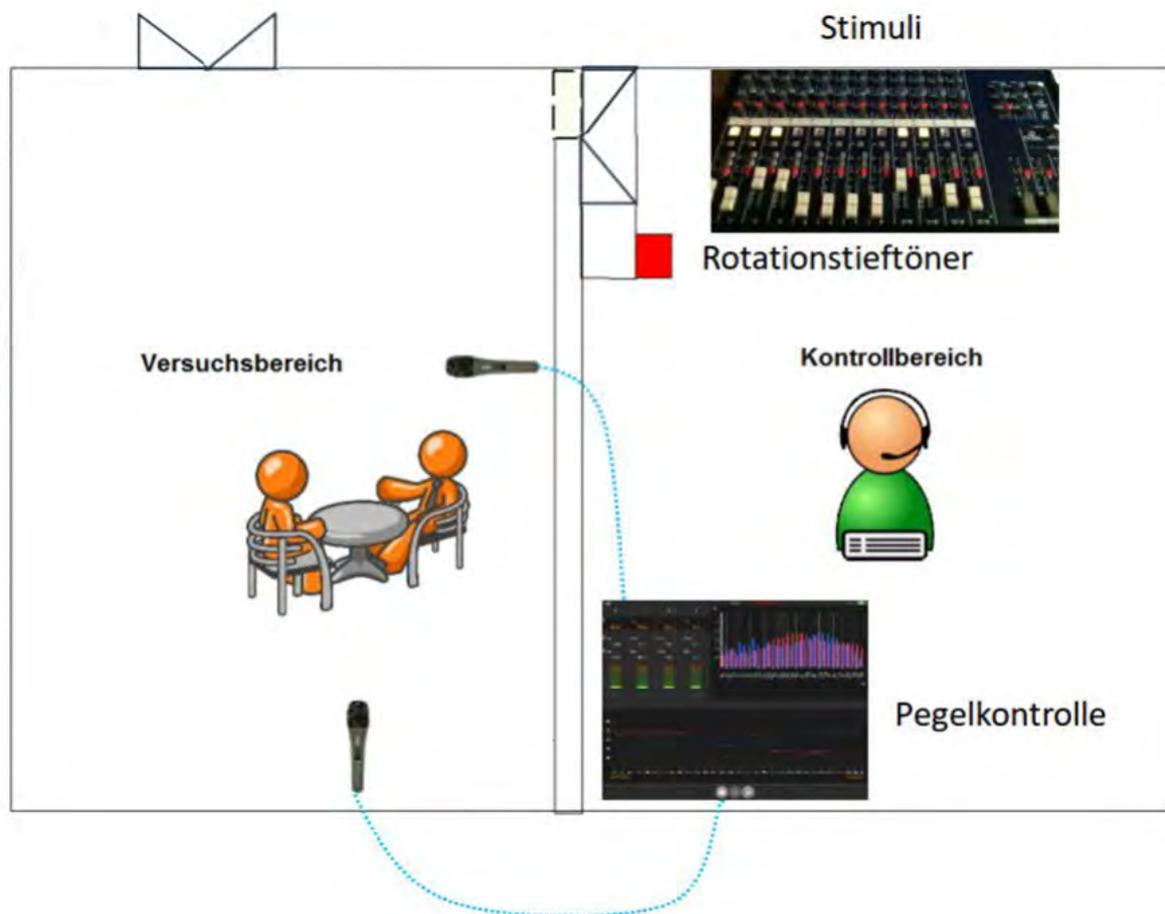
3.2 Akustische Darbietungen des Infraschalls

Die Darbietung der angesprochenen Geräuschkennlinien geschah mittels eines Beschallungssystems und nicht über einen Kopfhörer. So erfolgte die Wahrnehmung unter alltagsnahen Bedingungen ganzheitlich über das Gehör und den Körper.

Die Beschallung des Versuchsraumes erfolgte über den angeschlossenen Kontrollbereich im Nebenraum des Versuchsbereichs. Dabei wurde ein Infraschall-Luftschallfeld erzeugt, das ortsunabhängig gleichmäßig im Versuchsraum vorherrschte, d.h. die Probandinnen und Probanden konnten sich während der Beschallung an verschiedenen Positionen im Raum aufhalten, ohne dass sich die Schallexposition verändert hat. Das Konzept ist aus Abbildung 15 ersichtlich.

Im Folgenden werden das Beschallungssystem und die Messtechnik, die bei der Durchführung der Laborstudie zum Einsatz kamen, sowie das im Versuchsraum vorherrschende Ruhegeräusch erläutert

Abbildung 15: Konzept der Beschallungsanlage, Versuchs- und Kontrollbereich über kommunizierende Räume



Quelle: eigene Darstellung

3.2.1 Beschallungssystem zur Generierung des Infraschalls

Für die künstliche Erzeugung von Infraschall sind konventionelle Tieftonlautsprecher (engl. „Subwoofer“) aufgrund ihrer zu hohen unteren Grenzfrequenz von ungefähr 20 bis 30 Hz ungeeignet. Deshalb wurde ein innovatives Lautsprecherkonzept, der sogenannte Rotationstieftöner (Rotary Subwoofer) TRW-17 der Firma Eminent Technologies verwendet, um Signale in einem Frequenzbereich von 1 Hz bis 30 Hz mit einem Schalldruckpegel von bis zu 120 dB im Raum wiederzugeben.

Werden Lautsprecher bei derart hohen Pegeln betrieben, kommt es aus verschiedenen technisch-physikalischen Gründen zu mehr oder minder starken nichtlinearen Verzerrungen. Eine Folge davon ist, dass bei Einspeisung eines monofrequenten Signals (Grundfrequenz \rightarrow 1. Harmonische) auch Schallanteile bei Vielfachen dieser Frequenz (höhere Harmonische) entstehen und abgestrahlt werden (Anmerkung: n-te Harmonische hat n-fache Grundfrequenz).

Bei Untersuchungen zur Wahrnehmung und Wirkung von Geräuscheszenarien einer bestimmten Frequenz sind höhere Harmonische zu vermeiden beziehungsweise zu unterdrücken, weil sie unter Umständen Teil des Wahrgenommenen werden und damit das Ergebnis beeinflussen können.

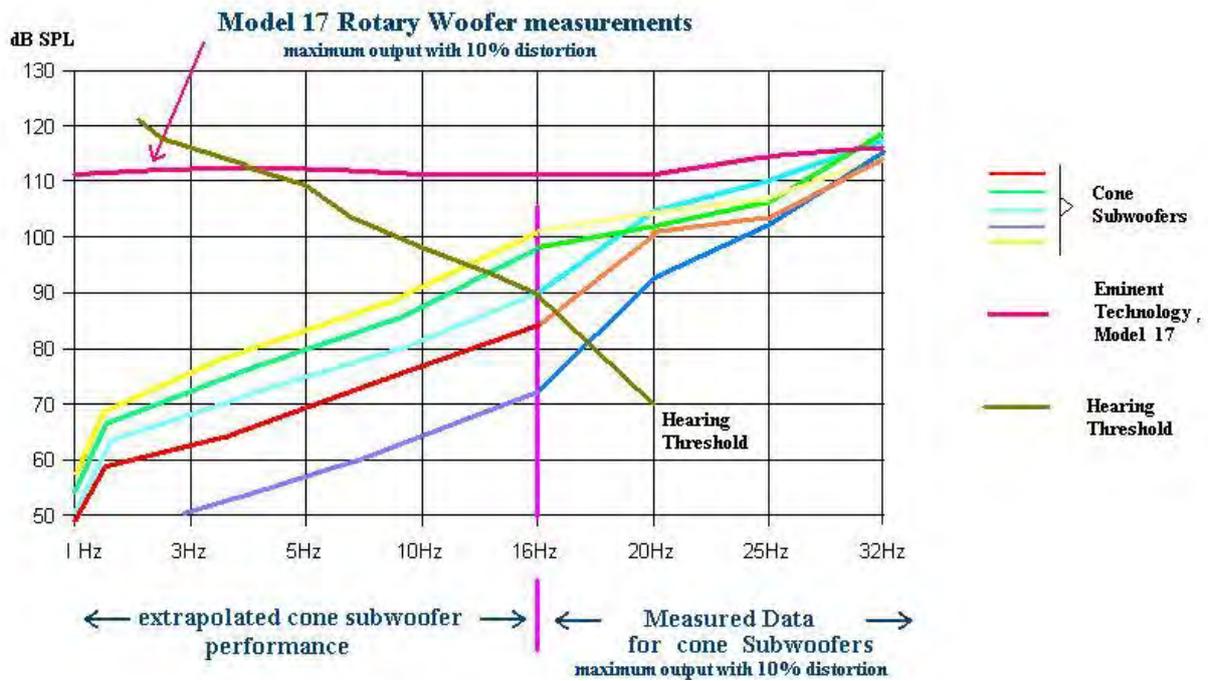
Akustische Voruntersuchungen in den USA und später an der Bergischen Universität Wuppertal ergaben, dass dieses Ziel nicht schon durch die Wahl des Wandlerprinzips des eingesetzten Lautsprechers erreichbar ist. Im Gegenteil: Bei höheren Pegeln, die durch eine höhere Drehzahl des Rotors und/oder durch einen größeren Ausschlag der Rotorblätter erreicht werden, treten nichtlineare Verzerrungen auf. Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine aktive Schallfeldkompensation durchgeführt.

Rotationstieftöner TRW-17

Bei einem Rotationstieftöner wird der Schalldruck über rotierende Flügelklappen von einem Elektromotor erzeugt. Der eingesetzte Rotationstieftöner TRW-17 der Firma Eminent Technologies hat fünf Flügelklappen, die sich während der Rotationsbewegung synchron um ihre Flügelachsen vorwärts und rückwärts bewegen, um damit die Schallfrequenz wiederzugeben. Die Schrägstellung der Flügelklappen verändert Amplitude und Frequenz der Luftschallabstrahlung, wobei mit zunehmender Drehzahl des Rotors auch der Schalldruck zunimmt. Abbildung 16 zeigt das Emissionsspektrum des Rotationstieftöners im Vergleich zu den Emissionsspektren gängiger Subwoofer und zur mittleren Ruhehörschwelle.

Für den vorgesehenen Einsatz in der Laborstudie mussten die Eigengeräusche des Rotationstieftöners (Drehstrommotor, Steuergerät, windinduziertes Rauschen und so weiter) sowie das Leerlaufgeräusch und dessen Verzerrungsprodukte gedämpft werden. Dies wurde durch eine absorbierend ausgekleidete Holzkastenkonstruktion erreicht (vgl. Abbildung 17).

Abbildung 16: Vergleich der Emissionsspektren verschiedener Subwoofer



Quelle: Eminent Technologies (1982 – 2020)

Abbildung 17: Gehäuse des Infraschallgenerators an der Wand zum Hörraum und mit dem seitlich positionierten TRW-17, der die Luft im Gehäuse zu einer oszillierenden Bewegung anregt



Quelle: eigene Darstellung

Während der Versuchsdurchführung befand sich der Rotationstieftöner mitsamt der Holzkastenkonstruktion in einem Kontrollraum neben dem Versuchsraum. Der Schall wurde über die Holzkastenkonstruktion im Kontrollraum, die sich an einer Türöffnung zum Versuchsraum befand, in den Versuchsraum übertragen. Die Türöffnung wurde so abgedichtet, dass der A-bewertete Hörschallpegel im Kontrollraum (zirka 65 dB(A)) keine wahrnehmbare Hörschallimmission im Versuchsraum (< 20 dB(A)) erzeugt. Aus Abbildung 18 ist der Übergang vom Rotationstieftöner TRW-17 (Vorderansicht, links) durch die Holzkonstruktion (Mitte) zum Versuchsraum (rechts) ersichtlich.

Abbildung 18: Infraschalllautsprecher – Übergang vom Kontrollraum in den Versuchsraum

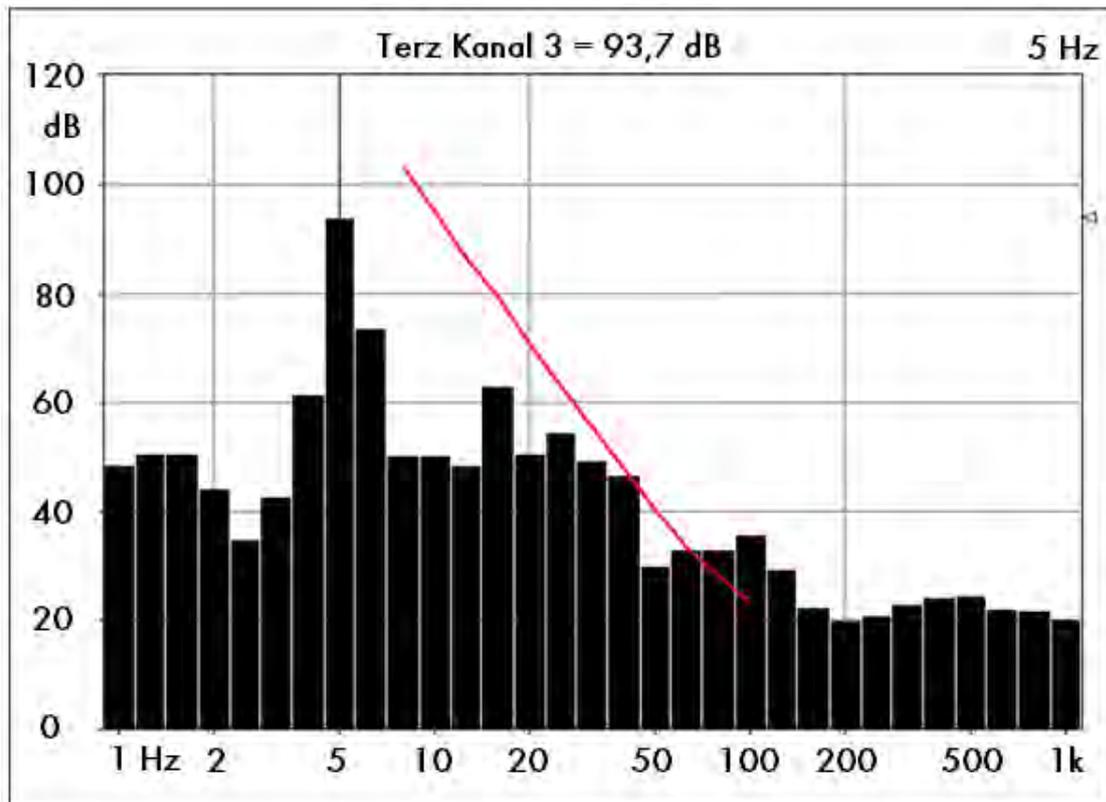


Quelle: eigene Darstellung

Beim Versuchsaufbau wurden insbesondere bei Signallagen im Frequenzbereich 1 bis 4 Hz und bei hohen Schalldrücken von 115 dB erhebliche Sekundäreffekte festgestellt (Vibrationen von Heizkörpern, Schränken und Türen). Abbildung 19 zeigt exemplarisch ein vom Rotationstieftöner erzeugtes Luftschallspektrum im Versuchsraum sowie die Hör-/Wahrnehmungsschwelle der DIN 45680 (1997).

Es wurden daher weitere Maßnahmen zur passiven Minderung von Störgeräuschen und Verzerrungsprodukten des Rotationstieftöners vorgenommen. Hierzu zählten der Einbau poröser Absorber im Resonanzraum, die Aussteifung der Übertragungskonstruktion und die Entkopplung des TRW-17 vom Gehäuse, sodass ein Hörschallpegel von weniger als 20 dB(A) vor, während und nach der Infraschallexposition sichergestellt war. Darüber hinaus erfolgte im Bereich unter 200 Hz Maßnahmen zur aktiven Schallfeldkompensation (Gegenschall mit ANC-Systemen).

Abbildung 19: Infraschalllautsprecher – exemplarische Beschallung mit dem Rotationstieftöner



Quelle: eigene Darstellung

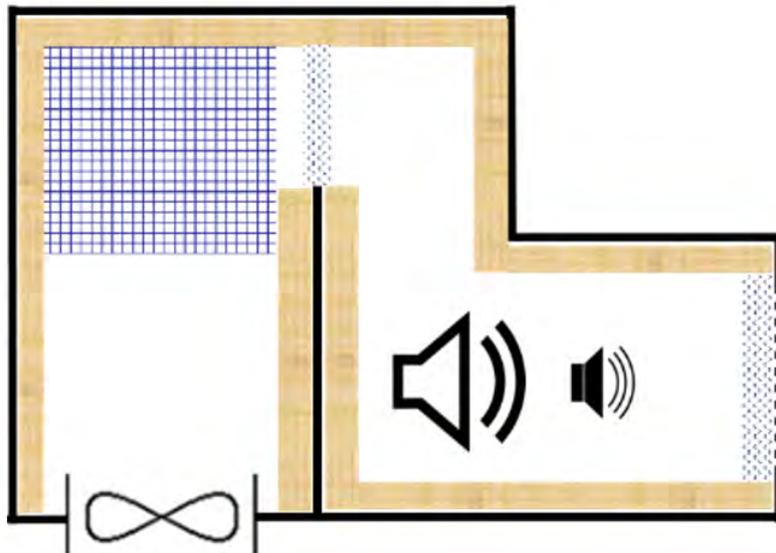
Aktive Schallfeldkontrolle im Versuchsraum

Durch die Reaktion des Lautsprechergehäuses als Helmholtz-Resonator wurden Resonanzüberhöhungen verursacht. Mit passiven Maßnahmen sind solche Resonanzen kaum zu mindern. Aus diesem Grund wurde eine aktive Schallfeldkompensation durchgeführt.

Hierbei wird das gegebene Schallfeld durch ein zusätzlich erzeugtes Schallfeld so überlagert, dass dessen Komponenten die unerwünschten Komponenten gezielt kompensieren. Dazu müssen diese Schalldruckkomponenten genau invers zu den entsprechenden Komponenten des vorgegebenen Schallfeldes sein. Im Prinzip bietet sich dieses Verfahren insbesondere für tiefe Frequenzen an, die Gegenquelle muss jedoch die Komponenten in Betrag und Phase hinreichend genau erzeugen können, ohne dabei wiederum selbst nichtlineare Verzerrungen zu produzieren. Bei der Generierung des Gegenschalls ist also darauf zu achten, dass der Gegenschall den Schall des TRW-17 wirksam überlagern kann.

Abbildung 20 stellt die zur aktiven Schallfeldkontrolle verwendete Konstruktion schematisch dar. Der Schall wird dabei durch eine Art Kanal durch das Gehäuse geführt. Zweck dieser Konstruktion war, die Infraschallwelle ungehindert durchzulassen, während höherfrequente Anteile (Motorlaufgeräusche, Töne des Wechselrichters, rauschende Bläsergeräusche et cetera) durch das Absorptionsmaterial an den Wänden gedämmt werden. Dieses konnte insbesondere am Durchgang und Ausgang, wo die Schallwellen das Material durchdringen mussten, die höherfrequenten Störanteile effektiv reduzieren. Der größere, kariert gekennzeichnete Bereich in Abbildung 20 steht für ein kissenförmig eingebrachtes Absorptionsmaterial, das Resonanzeffekte reduzierte, entgegenwirkte. Die wesentlichen Elemente bilden die beiden Lautsprecher, die sich ebenfalls im Gehäuse befanden und den Gegenschall erzeugten. Insgesamt enthielt das Gehäuse die in Abbildung 21 aufgeführten Schallgeber.

Abbildung 20: Aufbau des Gehäuses mit zusätzlichem Absorptionsmaterial und Gegenlautsprechern.



Quelle: eigene Darstellung

Als Gegenquellen zum TWR-17 wurde in den Szenarien 1 bis 3 der Subwoofer KH 870 eingesetzt, im Szenario 4 (18 Hz) aber als Primärquelle. In diesem Szenario diente der Monitorlautsprecher KH 120 als Gegenquelle. Da die Kompensation nur geringere Pegel verlangte, konnte der KH 840 ab 15 Hz, der KH 120 ab 30 Hz eingesetzt werden. Für den Bereich von 20 Hz bis 80 Hz wurde zudem eine Lautsprecherbox der Firma Neumann (KH 870) verwendet. Für den Bereich von 80 Hz bis 1 kHz wurden zwei aktive Studiemonitorboxen verwendet. Die Konfiguration wurde eigens auf den Versuchsraum angepasst. Ziel des Lautsprecherkonzeptes war ein möglichst ortsunabhängiges kontrolliertes Schallfeld, zumindest für den Bereich des Raumes, in dem sich die Versuchspersonen aufhalten sollten.

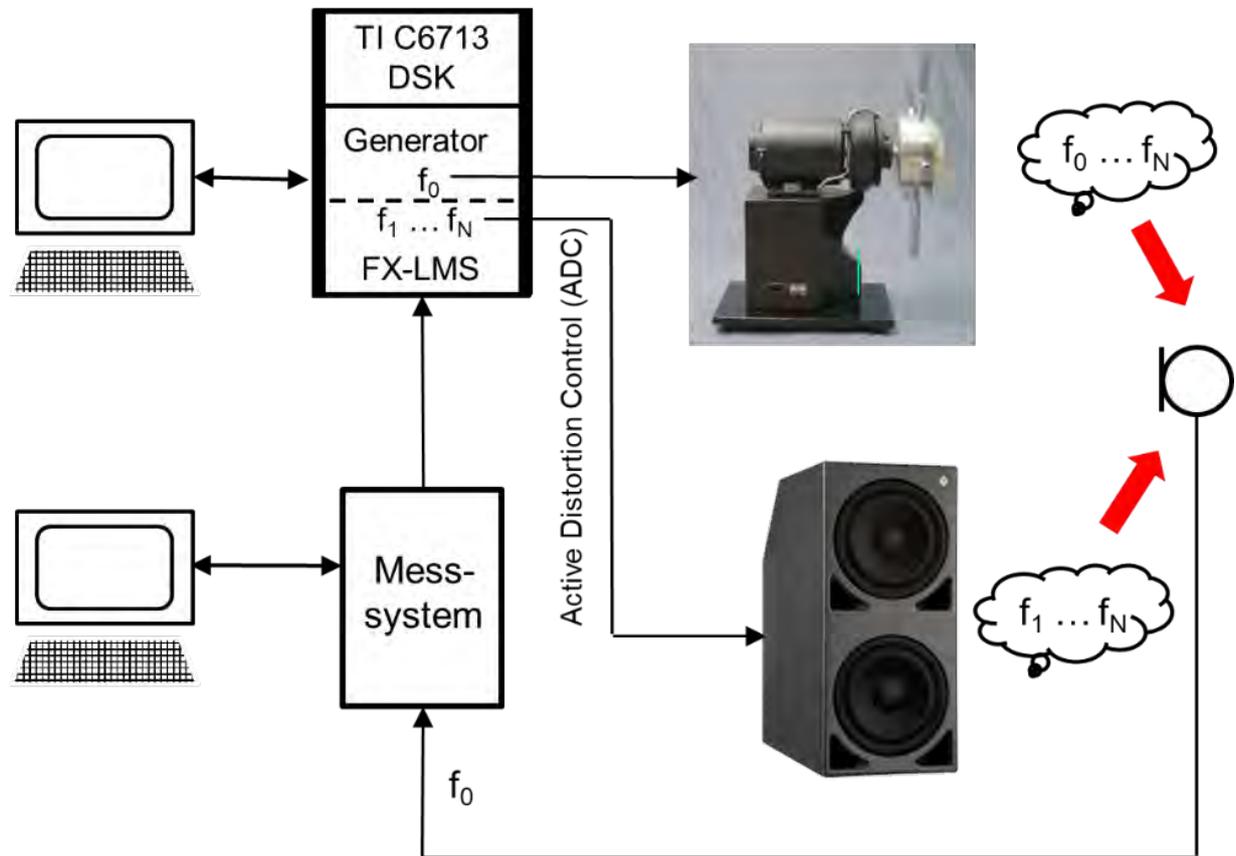
Abbildung 21: Verwendete Schallgeber

		
<p>Rotary Subwoofer Eminent Technology TRW - 17 1 Hz - 30 Hz</p>	<p>Aktiver Subwoofer Neumann KH 870 18 Hz – 250 Hz</p>	<p>Aktiver Monitor Neumann KH 120 50 Hz – 25 kHz</p>

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 22 veranschaulicht den Betrieb des Digitalen Signalprozessors (DSP) und die Funktionsweise des Gegenschallsystems. Der DSP vom Typ C6713 von Texas Instruments ist Bestandteil eines Entwicklungsboards (DSP Starter Kit) u. a. mit einem zweikanaligen Digital-Analog-Umsetzer. Mit einem Kanal wurde das gewünschte Infraschallsignal mit der Frequenz f_0 auf den TRW-17 gegeben.

Abbildung 22: Aufbau und Betriebsweise des Gegenschallsystems²



Quelle: eigene Darstellung

Der Infraschall wurde über das bereits angesprochene, speziell für den Infraschallbereich ausgelegte Mikrofon (Microtech Gefell Typ MK 222) oberhalb des Tisches aufgenommen und dessen Signal über ein Messsystem durchgeschleift, wo es kontrolliert und aufgezeichnet wurde. Der TRW-17 strahlte aber nicht nur die Komponente mit der Frequenz f_0 ab, sondern auch relevante Harmonische mit den Frequenzen f_1 bis f_N . Bevor die Kompensation wirkte, enthielt das Mikrofonsignal also die Komponenten f_0 bis f_N . Im DSP wurde dieses Signal auf Korrelation mit den dort abgespeicherten Signalkomponenten f_1 bis f_N analysiert. Mittels des FX-LMS-Algorithmus wurden diese Komponenten in Betrag und Phase nachgeregelt und über den zweiten Kanal auf den Subwoofer ausgegeben, bis die ungewünschten Komponenten im Signal ein Minimum erreichten oder gar verschwanden.

² Anmerkung: Bei der Wiedergabe des Stimulus mit 18 Hz erfolgte die Wiedergabe des Infraschallsignals über den Subwoofer KH870, für die ADC kam in diesem Fall der Lautsprecher KH120 zum Einsatz.

Das hatte zur Konsequenz, dass das Mikrofonsignal maßgeblich die gewünschte Komponente f_0 enthielt, der Teilnehmende also während der Versuchsdurchführung nur den gewünschten Infraschall hörte. Der dem DSP zugeordnete Rechner diente nur der Bedienung des DSP-Boards.

Zu Anfang eines jeden Durchlaufs wurde zudem ein stimuluspezifischer Datensatz in das Board geladen, der die Signale mit den Frequenzen f_0 bis f_N sowie aus der Erfahrung optimierte Startbedingungen für den Betrag und die Phase der einzelnen Harmonischen enthielt.

Für den Anwendungsfall mit einem Stimulus bei 18 Hz musste der Rotary Subwoofer nicht notwendigerweise betrieben werden, da auch der Subwoofer KH870 einen sinusförmigen Stimulus in diesem Frequenzbereich mit ausreichendem Schalldruckpegel erzeugen kann. Das Infraschallsignal des Teststimulus 18 Hz wurde also über den Subwoofer KH870 erzeugt. Da der Subwoofer seinerseits ebenfalls über eigene harmonische Verzerrungen verfügt, wurde hierfür nach demselben oben beschriebenen Prinzip der Monitor KH120 als Gegenschallquelle zu dem Subwoofer KH870 betrieben.

Abbildung 23 (links) zeigt vorne den Rechner mit dem Messsystem und dahinter die Einheiten zur Erzeugung und Kontrolle des Infraschalls, die rechts nochmals im Detail zu sehen sind. Unter dem Rechner befindet sich dort der Verstärker für den TRW-17, daneben das DSP-Board in einem ansonsten gedeckelten Gehäuse und vorne rechts ein programmierbares Routing System, das sonst in der Studio- und Bühnentechnik eingesetzt wird. Mit ihm konnten durch einen einzigen Tastendruck der anstehende Stimulus aktiviert und alle damit verbundenen Aktionen ausgelöst werden. Somit war sichergestellt, dass es zu keinen Fehlbedienungen kam und auch eine Hilfskraft die Bedienung übernehmen konnte.

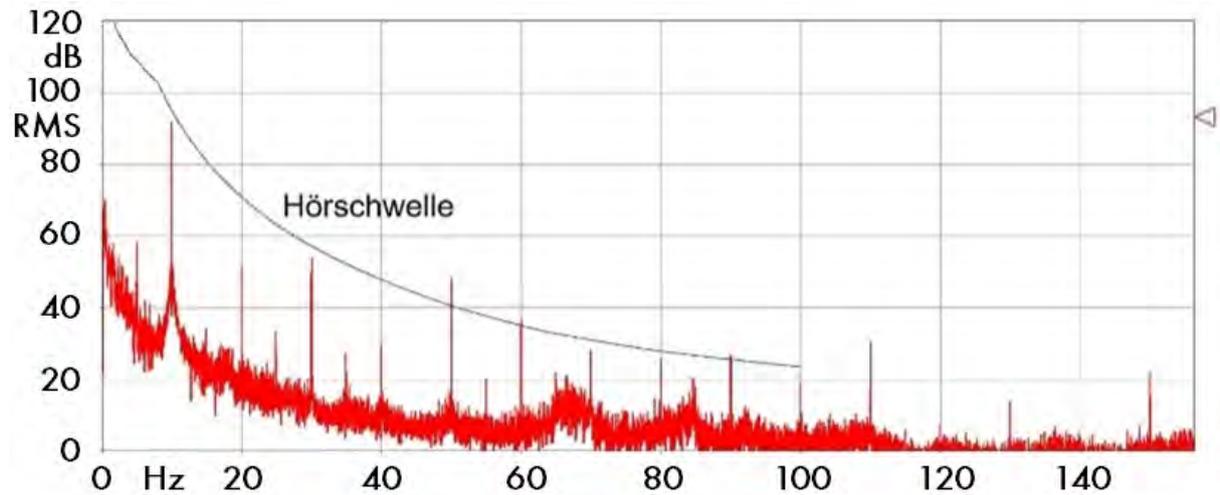
Abbildung 23: Systeme und Arbeitsplätze im Kontrollraum



Quelle: eigene Darstellung

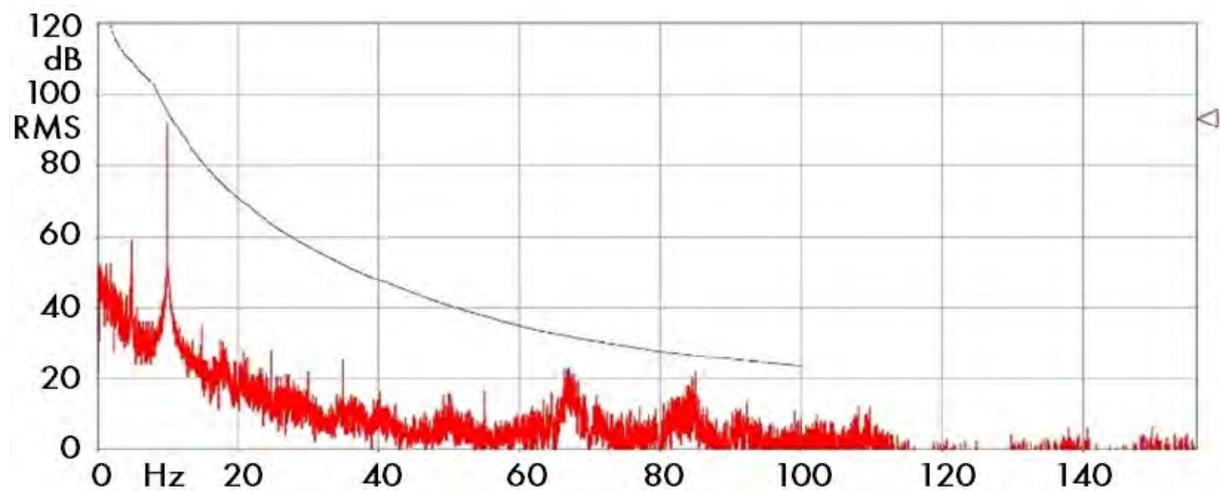
In Abbildung 24 ist das im Versuchsraum gemessene Frequenzspektrum ohne Gegenschallkompensation mit der 1. Harmonischen bei 10 Hz und den höheren Harmonischen im Vergleich zur Hörschwelle dargestellt. Es zeigen sich deutlich die aus dem Signal hervortretenden Harmonischen, die zum Teil oberhalb der Hörschwelle liegen. Im Vergleich dazu ist in Abbildung 25 das Frequenzspektrum nach Kompensation mit Gegenschall dargestellt. Durch Überlagerung mit dem Gegenschall wurden die Harmonischen deutlich gedämpft.

Abbildung 24: Frequenzspektrum mit der 1. Harmonischen bei 10 Hz und den höheren Harmonischen; ohne Gegenschall



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 25: Frequenzspektrum mit der 1. Harmonischen bei 10 Hz und den höheren Harmonischen; mit Gegenschall



Quelle: eigene Darstellung

3.2.2 Messtechnik zur Pegelkontrolle des Infraschalls

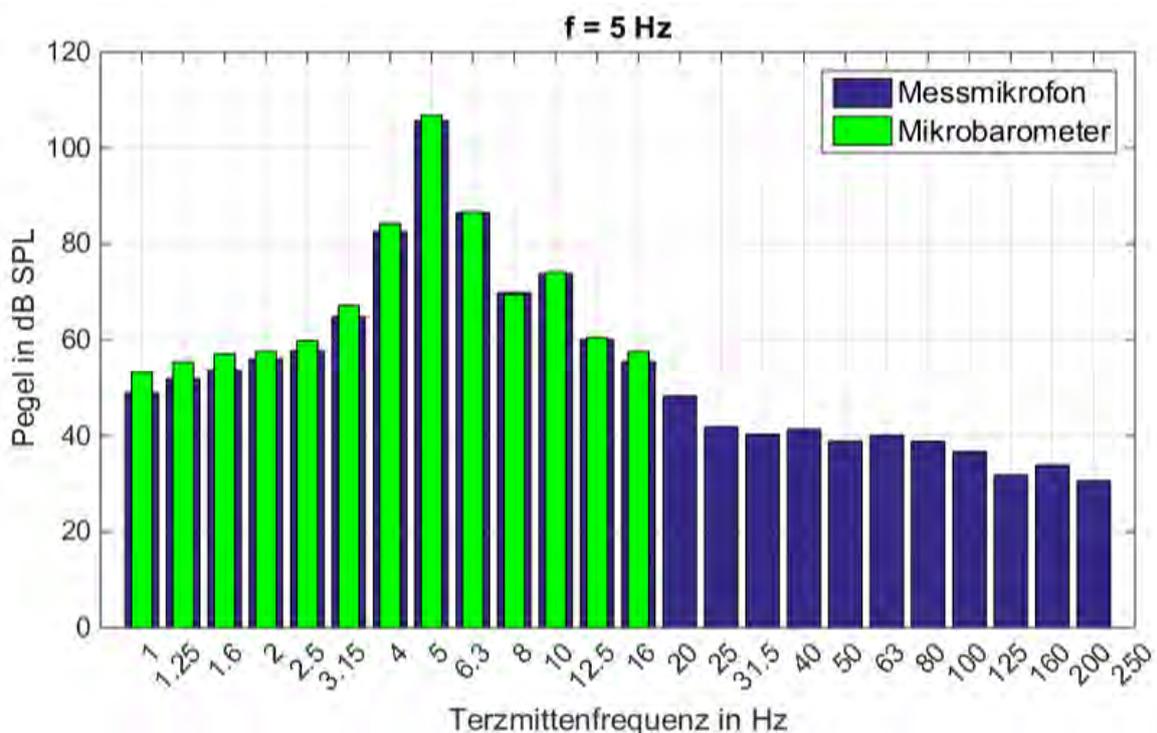
In der vorliegenden Studie wurden zur Pegelkontrolle und Dokumentation der Stimulwiedergabe zwei Messmikrofone des Typs MK 222 der Firma Microtech Gefell verwendet. Ein Mikrofon wurde dafür über dem Tisch etwas oberhalb des Kopfes der Versuchsperson hängend montiert. Ein zweites Mikrofon befand sich seitlich des Tisches. Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure AG. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt. Die Messmikrofone wurden für den ausgeprägt tieffrequenten Messbereich (< 100 Hz) druckkammerkalibriert.

Infraschall kann prinzipiell mit Messmikrofonen genauso erfasst werden wie mittel- und hochfrequente Geräusche. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Frequenzbereich von gängigen ¾“ Kondensatormikrofonkapseln der eichfähigen Klasse 1 -Schallpegelmessers in der Regel erst ab 3,5 Hz beginnt.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass mit diesen Mikrofonkapseln kein Infraschall unter 3,5 Hz gemessen werden kann, sondern dass die Messwerte in diesem Bereich einer erhöhten Unsicherheit unterliegen. Zudem sind spezielle Kapseln für Messmikrofone mit einem Frequenzbereich ab 0,5 Hz erhältlich.

Eine alternative Messtechnik speziell für den Infraschallbereich stellt das Mikrobarometer dar. Im Gegensatz zum Messmikrofon können damit sehr langsame Druckveränderungen gemessen werden. Mit einem Mikrobarometer können jedoch in der Regel nur Schallereignisse mit einer Frequenz bis maximal 30 Hz gemessen werden. Die Messwerte sind in erhöhtem Maße temperaturabhängig. Genormte Rückführungsverfahren existieren nicht. Dies macht einen Einsatz von mikrobarometrischer Messtechnik für immissionsschutzfachliche Fragestellungen kritisch. Im Infraschall-Arbeitsbereich des verwendeten Messmikrofons (0,5 Hz bis 20 Hz) wurden bei einer Parallelbestimmung unter Laborbedingungen gleiche Infraschallimmissionen festgestellt wie mit dem Mikrobarometer (vgl. Abbildung 26). Folglich liefert der Einsatz von Mikrobarometern nur im Frequenzbereich unter 0,5 Hz oder bei windinduzierten Fremdeinflüssen (Freifeldmessungen) zusätzliche Informationen gegenüber dem ¾“-Mikrofon.

Abbildung 26: Vergleich Schalldruckpegel gemessen mit einem gängigen Messmikrofon und einem Mikrobarometer (in dB)



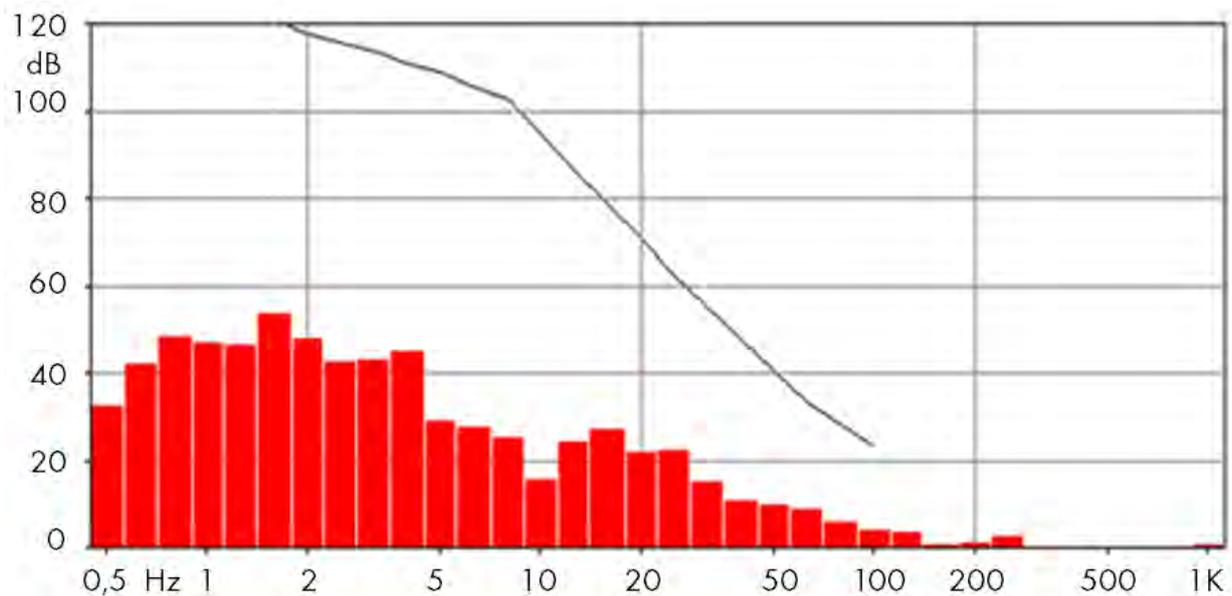
Quelle: eigene Darstellung

3.2.3 Ruhegeräusch

Der ausgewählte Messort liegt in einer sehr ruhigen Gegend auf einem ehemaligen Militärgelände. Aktivitäten in der Nähe des Gebäudes waren sehr selten. Störgeräusche, die vereinzelt draußen gelegentlich noch hörbar waren, wurden durch das massive Mauerwerk und die schweren Fenster gedämmt. Im Ruhezustand (keine Geräuschquellen im Haus aktiv, keine Person im Versuchsraum) konnte ein Pegel von 15,4 dB(A) gemessen werden, was nahe am Eigenrauschen des Mikrofonvorverstärkers liegt. Abbildung 27 zeigt ein Terzspektrum aus dieser Messung.

Abbildung 27: Terzspektrum des Ruhegeräuschs im Versuchsraum

Linie = Hörschwelle nach Watanabe und Møller (1990)



Quelle: eigene Darstellung

3.3 Geräuschszenarien

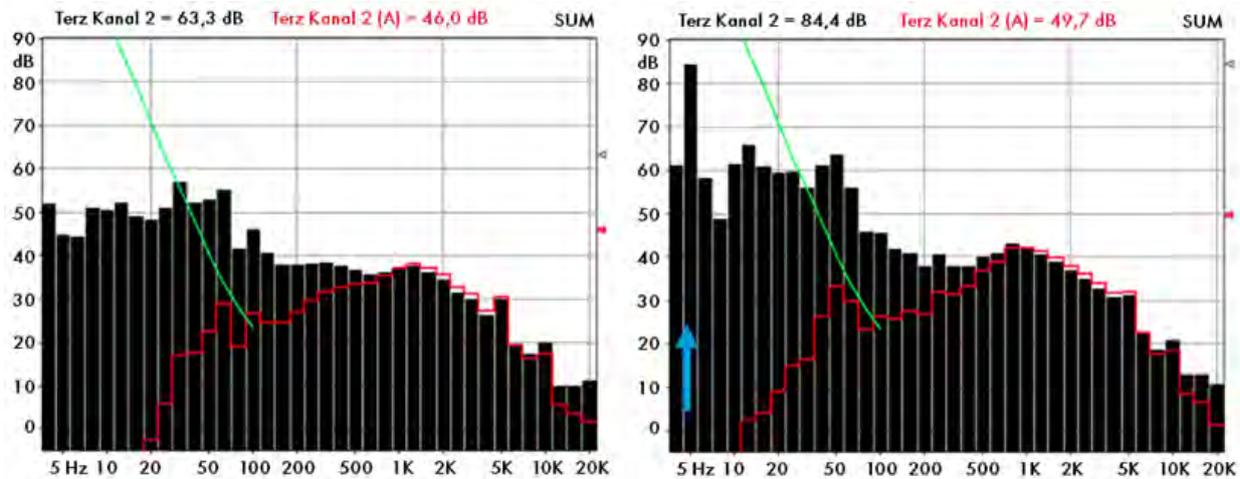
Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Zusammenhang zwischen einer kurzzeitigen Infraschallexposition und akuten körperlichen sowie Belästigungsreaktionen zu untersuchen. Wie bei der Wahl des Versuchsraums sollten dafür auch die dargebotenen Geräuschszenarien eine möglichst realitätsnahe Situation abbilden. Aus diesem Grund wurden Geräuschszenarien gewählt, die auf Schallen von technischen Geräten und Anlagen beruhen, die tatsächlich Infraschall emittieren.

3.3.1 Infraschall von technischen Geräuschquellen

In Abbildung 28 ist als Beispiel für eine solche Infraschallquelle die Luftschallimmission eines Heizkraftwerks (HKW, Baujahr 1974, 147 MW Fernwärmeleistung) in einem Abstand von 70 m dargestellt. Das Spektrum auf der linken Bildhälfte zeigt einen üblichen Teillastbetrieb. Nach dem Abschalten des Kraftwerkes entsteht beim Anfahren der Brenner (Mittelungszeitraum 10 min) das in der rechten Bildhälfte dargestellte Frequenzspektrum.

In der 5 Hz-Terz erzeugt das HKW in einem Abstand von 70 m einen Infraschallpegel von etwa 85 dB, der nahezu unvermindert in den Aufenthaltsräumen in der Nachbarschaft auftritt und bei kürzeren – technisch relevanten – Abständen von 20 m (unmittelbar an der Grenze des Betriebsgrundstücks) bis zu 96 dB bei 5 Hz (Terzmittenfrequenz) erreichen kann.

Abbildung 28: Infraschallimmissionen technischer Geräuschquellen – Beispiel Heizkraftwerk



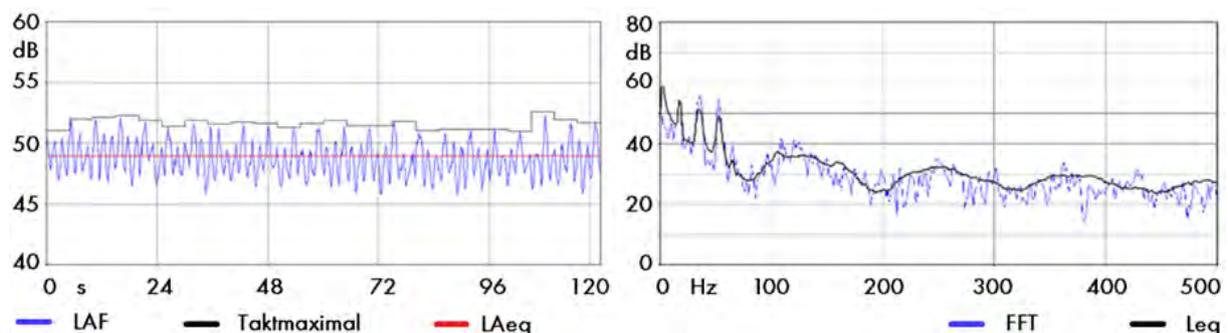
Quelle: eigene Darstellung

Es gibt zahlreiche Beispiele für technische Infraschallquellen mit höherer Hauptenergiefrequenz im Bereich 5 bis 20 Hz. Technische Quellen mit Frequenzen von weniger als 5 Hz stellen dagegen eher die Ausnahme dar. Ein Beispiel hierfür sind Windenergieanlagen (WEA).

Aufgrund der Hauptdrehfrequenz von Windenergieanlagen entstehen Schallereignisse mit Frequenzen im Bereich von 0,5 bis 2 Hz. Der Schalldruckpegel des Infraschalls liegt in der Regel jedoch auf einem sehr geringen Niveau. Abbildung 29 zeigt das Ergebnis der Schallpegelmessung einer 3-MW-WEA (Zeitverlauf $L_{AF}(t)$ links und Frequenzspektrum rechts) in einem Abstand von etwa 50 m. Das charakteristische Flügelgeräusch der WEA zeigt einen Infraschallpegel von etwa 60 dB bei 1,7 Hz (Vgl. Abbildung 29, rechts). Die Oberwellen sind bei 17 Hz (54 dB), 36 Hz (51 dB) und 53 Hz (49 dB), jeweils als energieäquivalenter Mittelungspegel (Mittelungszeitraum 10 min) ablesbar.

Abbildung 29: Schallimmissionen einer Windenergieanlage

links: Zeitverlauf der A-bewerteten Summenpegel, rechts: Frequenzspektrum



Quelle: eigene Darstellung

3.3.2 Auswahl der Geräuscszenarien für die Studiendurchführung

Die Auswahl der Geräuscszenarien für die Studiendurchführung war einerseits von dem Ziel bestimmt, den Infraschall zu variieren und andererseits die Entwicklung der Reaktion über einen kontinuierlichen, längeren Expositionszeitraum erfassen zu können.

Im Hinblick auf den zeitlichen Aufwand für die Vor- und Nachbereitung sowie die Beanspruchbarkeit der Probanden und Probandinnen, wurde von der Überlegung, auch Geräuscszenarien in die Untersuchung aufzunehmen, die Hörschall und Infraschall kombinieren, Abstand genommen, da dies mit Blick auf die Versuchsdauer nicht mit dem beabsichtigten Fokus auf einer längeren Expositionszeit vereinbar war. Stattdessen wurden die Geräuscszenarien für die Laborstudie auf die Schallarten „Infraschall“ und „tieffrequente Geräusche“ beschränkt. „Hörbarer Schall“ wurde hingegen nicht untersucht.

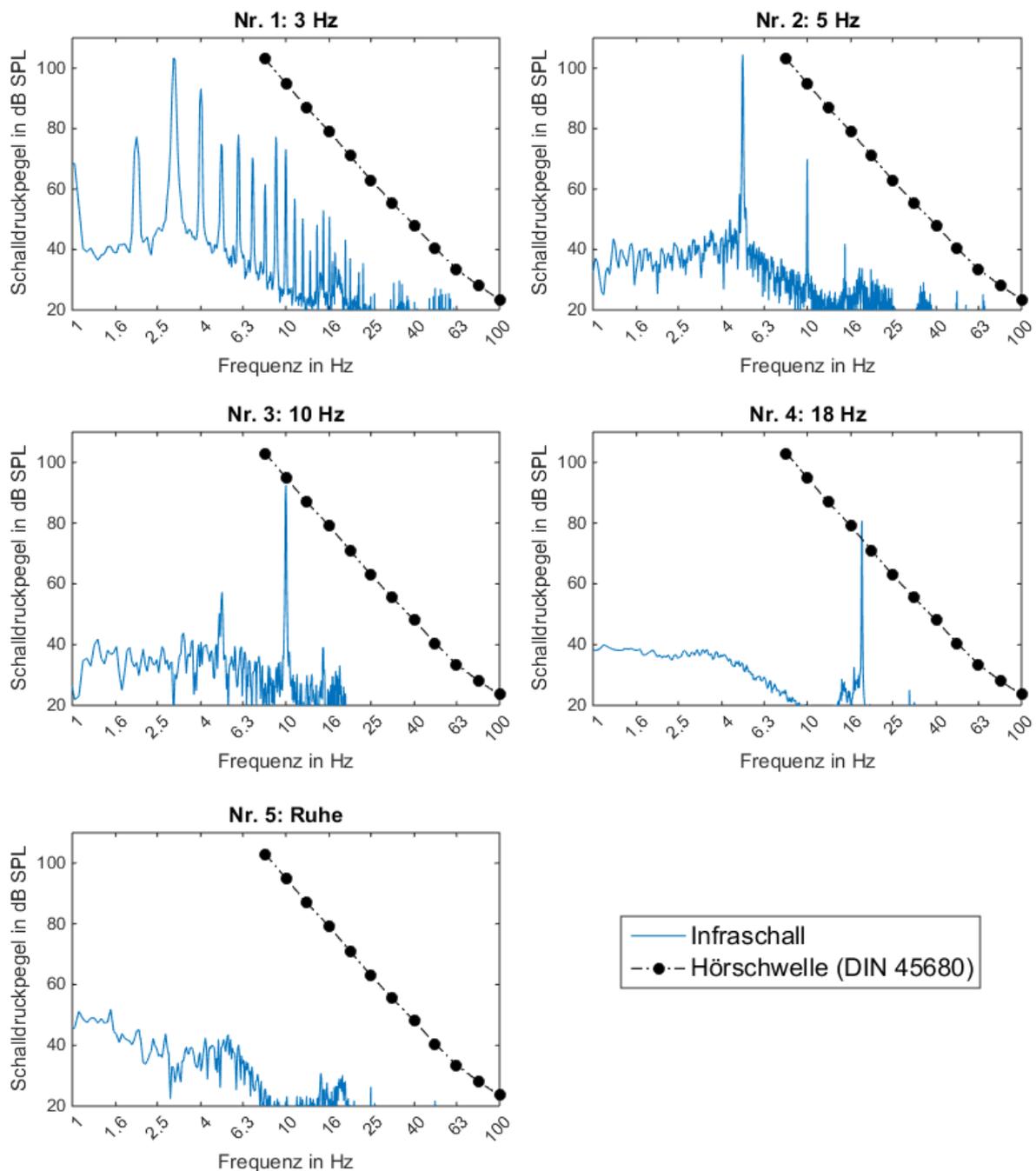
Auf Grundlage der beschriebenen Vorüberlegungen wurde eine Auswahl aus fünf Geräuscszenarien mit einer Länge von jeweils 30 Minuten getroffen. Als Szenarien wurden festgelegt:

1. Sinus 3 Hz 100 % amplitudenmoduliert mit 1 Hz, 105 dB (aufgrund der Modulation im Schalldruckpegel schwankend und mit Nebenmaxima bei 1 Hz bis 16 Hz), Pegel 105 dB (Z-bewertet / unbewertet)
2. Sinus 5 Hz, Pegel 105 dB (Z-bewertet / unbewertet)
3. Sinus 10 Hz, Pegel 95 dB (Z-bewertet / unbewertet)
4. Sinus 18 Hz, Pegel 85 dB (Z-bewertet / unbewertet)
5. Ruhe

Mit der Wahl der Frequenzen wurde der Infraschallbereich über eine weite Spanne abgedeckt. Die Pegel waren so gewählt, dass ein Stimulus (Nummer. 4, 18 Hz mit 85 dB) zirka 10 dB oberhalb der Hörschwelle nach DIN 45680 (1997) lag. Dieser sollte entsprechend gut hörbar sein. Gemäß den Anhaltswerten des Beiblatts 1 zu DIN 45680 (1997) können durch Geräusche in diesem Frequenzbereich bei Pegeln oberhalb der Hörschwelle im Nachtzeitraum Belästigungen auftreten. Für den Tagzeitraum liegt der Anhaltswert 5 dB über der Hörschwelle. Durch den hier gewählten Stimulus ist somit ein Belästigungsempfinden zu erwarten.

Ein Stimulus (Nummer 3) lag im Pegel auf dieser Wahrnehmungsschwelle und sollte damit zumindest von einigen der Probandinnen und Probanden zu hören sein. Die Szenarien Nummer 1 und Nummer 2 lagen außerhalb des Geltungsbereiches der DIN 45680. Für diese Szenarien können zur Abschätzung der Hörbarkeit die häufig herangezogene Wahrnehmungsschwelle nach Møller und Pedersen (2004) herangezogen werden, die etwas oberhalb der Schalldruckpegel für den 3 Hz- und 5-Hz-Sinus liegen. Abbildung 30 zeigt die FFT-Spektren der Szenarien Nummer 1 bis Nummer 5, die während einer Testmessung ohne Studienteilnehmende im Versuchsraum gemessen wurden.

Abbildung 30: Frequenzspektren der Geräuschszenarien Nummer 1 bis Nummer 5



Quelle: eigene Darstellung

Stimulus Nummer 4 diente somit als Ankerpunkt für die Reaktionen in den anderen Versuchsbedingungen, da durch die Wahl eines Pegels oberhalb der Hörschwelle eine höhere Wahrscheinlichkeit zu erwarten war, akute physiologische oder Belästigungsreaktion der Versuchspersonen auf die Exposition zu erreichen. Mit den übrigen Szenarien, deren Pegel zu tieferen Frequenzen hin relativ zur Hörschwelle verringert waren, sollten Erkenntnisse gewonnen werden, ob akute physiologische Reaktionen und eine Belästigung durch Infraschall auch unterhalb der in der DIN 45680 (1997) definierten Hörschwelle bestehen kann.

Auf ein Szenario mit noch geringeren Pegeln wurde verzichtet, da ein vermehrtes Ausbleiben von Reaktionen zu erwarten war. Für eine abschließende Feststellung der Wahrnehmungsgrenze bedarf es allerdings weiterer Untersuchungen mit unterschiedlichen Signalparametern. Zusätzlich zu den vier Geräuschszenarien wurde ein 5. Stimulus, das Szenario der Ruhe eingeführt. Dieses diente als Kontrollszenario.

Aus Abbildung 30 zeigt sich, dass neben den gewünschten Infraschallfrequenzen in allen Geräuschszenarien auch Komponenten bei anderen Frequenzen auftreten. Selbst im Ruheszenario zeigt die Frequenzanalyse ein geringes tieffrequentes Rauschen. Der im Untersuchungsraum gemessene Schallpegel ohne Einspielung von Infraschall betrug 15,6 dB(A) und lag damit nah am Eigenrauschen des verwendeten Mikrofons. Dieses Ruhegeräusch im Versuchsraum unterliegt statistischen Schwankungen und hat aufgrund der sehr geringeren Schalldruckpegel im Vergleich zum eingespielten Infraschall keinen nennenswerten Einfluss auf die Hörwahrnehmung.

Für die Lautheitsbewertung von Infraschallsignalen existiert bislang kein genormtes Berechnungsverfahren. Stattdessen ist der G-bewertete Schalldruckpegel nach ISO 7196 (1995) ein häufig verwendetes Maß. Tabelle 1 fasst die Schalldruckpegel der Infraschallszenarien mit verschiedenen Pegelbewertungen zusammen. Die dargestellten Werte sind Ergebnisse von Messungen ohne Personen im Raum. Es wurde zudem darauf geachtet, dass keine Störungen die Messungen verfälschten.

Tabelle 1: Schalldruckpegel der Geräuschszenarien mit unterschiedlicher Pegelbewertung

	L_{Ze}q in dB	L_{Ce}q in dB	L_{Ae}q in dB	L_{Ge}q in dB
Szenario 1 (3 Hz)	107,1	74,6	28,4	88,2
Szenario 2 (5 Hz)	105,9	80,9	27,5	94,0
Szenario 3 (10 Hz)	93,9	79,5	25,4	93,9
Szenario 4 (18 Hz)	84,9	75,9	31,2	92,0
Szenario 5 (Ruhe)	52,7	31,4	15,6	47,3

Für alle Infraschallszenarien liegt der G-bewertete Pegel (teilweise deutlich) über dem Schwellenwert von 85 dB(G). Dieser Wert liegt zirka 10 dB unterhalb der Hörschwelle wird von Jakobsen (2001) als Grenzwert für einen umweltverträglichen Infraschallpegel empfohlen.

Insbesondere für die Szenarien 2 bis 4 ist eine Wahrnehmung deshalb nicht unwahrscheinlich. Der erhöhte A-bewertete Pegel des 3 Hz-Sinus ist auf die deutlichen Harmonischen aufgrund der Modulation zurückzuführen. Der A-bewerteten Pegel des Szenarios 4 ist insgesamt etwas höher als der A-bewertete Pegel der anderen Szenarios. Dies liegt daran, dass die A-Bewertung bei 18 Hz deutlich geringer ist als bei den anderen Szenarios und noch 53,4 dB beträgt.

In realen Situationen enthalten Geräusche von technischen Anlagen neben Infraschallanteilen zumindest auch tieffrequente Schallanteile, die nicht selten wesentlich näher an der Hörschwelle liegen als die Infraschallkomponenten. In der aktuellen Studie wurde mit Hilfe der in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Schallfeldkompensation eine Geräuschumgebung geschaffen, in der die Probandinnen und Probanden ausschließlich Infraschall exponiert waren. Hierdurch lassen sich die akuten Reaktionen der Teilnehmenden der Infraschallexposition eindeutig zuordnen.

Mit Stimulus Nummer 1 sollte zusätzlich die Wirkung einer Modulation untersucht werden, da zu erwarten war, dass durch diese die Beurteilung der Lästigkeit gesteigert wird. Durch die Modulation und aufgrund der dadurch entstehenden nichtlinearen Verzerrungen des Rotations-tieftöners verfügt Stimulus Nummer 1 neben der Trägerfrequenz von 3 Hz über zahlreiche Ober- und Untertöne. Diese sogenannten oberen und unteren Seitenbänder liegen symmetrisch um die Trägerfrequenz herum in einem Abstand von 1 Hz (entsprechend der Modulationsfrequenz) so wie aufgrund von Nichtlinearitäten auch im Abstand der Vielfachen der Modulationsfrequenz. Das Frequenzspektrum des Stimulus Nummer 1 zeigt somit Nebenmaxima bei 1 Hz, 2 Hz, 4 Hz, 5 Hz und weiteren ganzzahligen Vielfachen der Modulationsfrequenz, wobei deren Energie mit steigendem Abstand zur Trägerfrequenz abnimmt (siehe Abbildung 30). Durch diese Ober- und Untertöne weist der Stimulus ein ähnliches Frequenzspektrum auf wie Windenergieanlagen, deren unterstes Frequenzband in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl ebenfalls im Bereich um 1 Hz liegt (bei $n = 20 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$). Da Windenergieanlagen zu den Emissionsquellen gehören, die besonders häufig hinsichtlich ihrer Infraschallemission Aufmerksamkeit erhalten (siehe Kapitel 3.3.1), wurde deshalb auf die Kompensation dieser Verzerrungsprodukte verzichtet und stattdessen das modulierte Signal samt den entstandenen Ober- und Untertönen als Geräuschszenario verwendet. So konzentrierte sich der Gegenschall nur darauf, die Pegel der Komponenten um 100 Hz zu verringern. Somit gibt Stimulus Nummer 1 ein Geräusch wieder, dem vielfach eine erhöhte Lästigkeit nachgesagt wird.

3.4 Lärmbelastigungsuntersuchung

Die Lärmbelastigung wurde mit Hilfe eines Fragebogeninventars untersucht. Ziel des Fragebogeninventars war eine differenzierte und hinreichend präzise Quantifizierung der Belästigungswirkung von tieffrequentem Schall respektive Infraschall und Hörschall. Zusätzlich zur Unterscheidbarkeit der genannten akustischen Belastungen sollten auch die Erfassung von gesundheitsbezogenen Beeinträchtigungen, die mit Lärm im Zusammenhang stehen, und die Erfassung des Störungs- und Belästigungserlebens beziehungsweise der Befindlichkeit nach der Schallart unterscheidbar sein. Darüber hinaus wurden auch individuelle und situationsbezogene Einflussgrößen berücksichtigt.

3.4.1 Literaturanalyse zur Ableitung von Befragungsinhalten

Zur Entwicklung des Fragebogeninventars wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Neben der UBA-Machbarkeitsstudie zu den Wirkungen von Infraschall (Krahé et al., 2014) diente hierfür die zur Machbarkeitsstudie aufgebaute Literaturdatenbank (<http://www.infraschallstudie.de/>) als wesentliche Quelle. Für die Literaturrecherche, insbesondere neuerer in der Infraschall-Literaturdatenbank nicht enthaltener Fachliteratur, wurden weiterhin einschlägige Datenbanken wie BASE (Bielefeld Academic Search Engine), DIMDI, EMBASE, Google Scholar, Medline, Psynindex Plus und JASA verwendet, sowie in Tagungsbänden nationaler und internationaler Tagungen (u.a. DAGA, Euronoise, Internoise, ICBEN-Tagung, International Congress on Acoustics, Low-Frequency Noise, Wind Turbine Noise, Noise and Vibration Conference) recherchiert. Dabei standen neuere Untersuchungen zu physiologischen Reaktionen auf tieffrequenten Schall und Infraschall im Fokus.

Die genutzte Literaturdatenbank umfasste zum Zeitpunkt der Recherche (05.07.2013) insgesamt 1.260 Einträge. Dabei konnten zahlreiche Artikel in deutscher oder englischer Sprache gefunden werden, die die Wortgruppen „effects of audible sound“ (n = 133), „low frequency sound effects“ (n = 71) oder „infrasound effects“ (n = 28) im Titel enthielten. Diese Artikel bezogen sich sowohl auf Feld- als auch auf Laborstudien, waren Reviews, Zeitschriftenartikel, Kongresspaper oder Fallbeschreibungen und somit in der Darstellungsqualität und -quantität höchst unterschiedlich.

Die Literaturrecherche ergab ein breites Spektrum möglicher Auswirkungen, die in einzelnen wissenschaftlichen Untersuchungen bereits beobachtet wurden. Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst. Tabelle 2 stellt die gesundheitlichen Auswirkungen dar, die bei der Exposition mit einer einzelnen Schallart gemessen wurden, und unterscheidet deshalb zwischen Infraschall, tieffrequentem Schall und Hörschall. In Tabelle 3 sind die gesundheitlichen Auswirkungen aufgeführt, die in Studien berichtet wurden, in denen verschiedene Schallarten kombiniert untersucht wurden. Die berichteten Effekte reichen dabei von allgemeinen Auswirkungen auf das Wohlbefinden bis hin zu spezifischen körperlichen Auswirkungen, die lediglich durch medizinische Messungen festgestellt werden können.

Da die Überprüfung eines derart breiten Spektrums möglicher Auswirkungen im Rahmen einer einzelnen Studie praktisch nicht umsetzbar ist, wurden auf Grundlage der Ergebnisse der Literaturrecherche zunächst die drei Hauptaspekte „Unwohlsein“ sowie die „Wahrnehmung von Vibration“ und die „Wahrnehmung von Druck“ für die Bewertung der Lärmbelästigung ausgewählt. Um dennoch ein möglichst breites Bild von den auftretenden Auswirkungen durch die Exposition mit Infraschall zu erhalten, wurde in der Belästigungsuntersuchung neben der Frage nach konkreten Körperregionen, in denen das Unwohlsein, die Vibration oder der Druck wahrgenommen wurden, auch ein offenes Fragenformat gewählt, bei dem die Probandinnen und Probanden die entsprechenden Körperstellen frei eintragen konnten.

Um die körperlichen Auswirkungen durch die Infraschallexposition genauer zu untersuchen, wurde zudem eine Reihe physiologischer Messungen durchgeführt. Die Auswahl der physiologischen Untersuchungen wird in Kapitel 3.5 näher beschrieben.

Tabelle 2: Ergebnisse der Literaturrecherche – Auswirkungen und Effekte der einzelnen Schallarten in Labor- und Feldstudien

Infraschall
mentale Zerstreuung
Schwingungsgefühl
Auswirkungen auf alle Organe
ausgleichende Augenbewegungen, Augenzittern
Euphorie
beeinträchtigte Hand-Arm-Kontrolle
Störungen der Körperwahrnehmung

Lethargie

temporärer endolymphatischer Hydrops (=Stauung der Lymphflüssigkeit in den Gehör- und Gleichgewichtsschläuchelchen)

subjektive Reaktionen

interferiert mit nebensächlichen motorischen und Sinnesfunktionen

vermindertes Gewicht bei Neugeborenen

Tieffrequenter Schall

Druck; Druck auf den Körper; Gefühl des static pressure; permanentes Druckgefühl

Frustration

geringere Lebenszufriedenheit; vermindertes Wohlbefinden

Gleichgewichtsstörungen

Husten

innere Unruhe

Kurzatmigkeit

neurovaskuläre Erkrankungen

Ohrschmerzen

Parästhesie (hier: krabbelndes Gefühl auf der Haut)

periodic masking effect

Effekte auf die psychosoziale und mentale Gesundheit

Rückenschmerzen

negativer Effekt auf die Stimmung

Sehstörungen

statische und dynamische Muskelkontraktionen

Tinnitus

pulsierendes Empfinden

Vibration; Vibration der Körperoberfläche

verminderte Wachheit

vestibuläre Effekte (Gleichgewicht)

Hörschall

erhöhtes widersetzendes Verhalten (opposing behaviour)

Erwachen; Schlaf; verminderte Schlafqualität; mehr Bewegungen während des Schlafs

Kommunikationsstörung

Kraftlosigkeit

Müdigkeit

Nervosität

physische und psychische Gesundheit

psychologische Effekte

Störung; Störung der Erholung

Unterbrechung von Aktivitäten / Störung von Aktivitäten / Störung der Arbeit

Trübsinnigkeit

Unzufriedenheit

verminderte soziale Anpassungsfähigkeit

Tabelle 3: Ergebnisse der Literaturrecherche – Wirkungen und Effekte kombinierter Schallarten in Labor- und Feldstudien

Infraschall, tieffrequenter Schall und Hörschall

Belästigung

bedrückende oder vibrierende Empfindung / Körpervibrationen

Benommenheit

erhöhte Morgenmüdigkeit

Ermüdung/ Erschöpfung

kardiovaskuläres Risiko / Erkrankungen / Herzerkrankungen

Kopfschmerzen / Kopfdruck

Leistungsabfall, -minderung, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit

Schlafstörungen; Insomnie / Schlaflosigkeit

Stimmungsschwankungen

Stress

Unannehmlichkeit, Unwohlsein, Unpässlichkeit, Unbehagen

verminderte / erhöhte / veränderte Herzfrequenz

vermindertes Sprachverständnis

Infraschall und tieffrequenter Schall

Epilepsie

Änderungen im Atemrhythmus / Abnahme der Atemfrequenz

Brustschmerzen

Druck auf das Trommelfell / Ohrdruck

erhöhte Reaktionszeit

Gehörschäden, Hörminderung, Gehörverlust, Schwerhörigkeit; Hörbeeinträchtigung; temporäre Hörschwellenverschiebung

Herzklopfen

höhere Cortisol-Werte

Schlafrhythmus

Sodbrennen

Übelkeit

vibroacoustic disease (VAD)

Verärgerung

verminderte Gedächtnisleistung

Wahrnehmungseffekte

Würgegefühl

tieffrequenter Schall und Hörschall

Aggression

Aufmerksamkeitsdefizite / Konzentrationsverlust

Beeinträchtigung Lernen bei Kindern

Depression

Leseschwierigkeiten

(innere) Unruhe

Infraschall und Hörschall

Blutdruck / erhöhter Blutdruck / Effekt auf Blutdruck

Effekte auf das Nervensystem

Reizbarkeit

3.4.2 Fragebogeninventar zur Lärmbelastigungsbeurteilung

Das Fragebogeninventar in der Laborstudie war in drei Teile gegliedert. Teil A wurde zu Beginn des Versuchs erhoben und erfasste die Wohnsituation beziehungsweise Wohnbedingungen sowie Erfahrungen mit verschiedenen Geräuschquellen. Im Einzelnen enthielt Teil A Fragen zur:

- ▶ Person,
- ▶ Wohndauer und Wohnzufriedenheit,
- ▶ Belästigung durch verschiedene Geräuschquellen in den letzten zwölf Monaten,
- ▶ Hörfähigkeit,
- ▶ allgemeinen Umweltbesorgnis und
- ▶ zum momentanen Wohlbefinden.

In Teil B des Fragebogeninventars wurde die jeweils vorangegangene Versuchsbedingung (siehe auch Versuchsablauf) erhoben. Dieser Teil des Fragebogens beinhaltete Fragen zur:

- ▶ Geräuschwahrnehmung und -bewertung,
- ▶ Belästigung in der Laborsituation sowie antizipiert zuhause differenziert nach Tageszeit
- ▶ Wahrnehmung von Druck und Vibrationen,
- ▶ zum momentanen Wohlbefinden und
- ▶ eine Einschätzung des gesamten vorangegangenen Geräuschszenarios.

Im Anschluss an die letzte Versuchsbedingung wurden mit Teil C folgende Themen erfasst:

- ▶ eine abschließende Bewertung des Versuchs und der Umgebung insgesamt,
- ▶ ein subjektives Konzept von Infraschall und tieffrequentem Schall und dessen Wirkungen,
- ▶ allgemeiner Gesundheitszustand und Risikofaktoren.

Der gesamte in der Laborstudie verwendete Fragebogen ist in Anhang C angefügt. Der in der Hauptlaborstudie verwendete Fragebogen wurde nach der Auswertung des Pretests angepasst. Neben der Einarbeitung inhaltlicher Erkenntnisse, die aus dem Pretest gezogen wurden, wurden kleinere redaktionelle Änderungen vorgenommen. Hierzu zählt die Formulierung von Fragen im Präsens und Bezug der zu beurteilenden Zeitperiode auf die Gegenwart und die aktuell stattfindende Laborsituation (im Pretest wurde teilweise die Vergangenheitsform verwendet).

Fragen zum Unwohlsein, Druck und Vibration, bei denen die Versuchspersonen des Pretests betroffene Körperstellen auf einer Zeichnung markierten, wurden als geschlossene Fragen formuliert, sowie eine Auswahl möglicher betroffener Körperstellen vorgegeben. Eine genaue Beschreibung der Durchführung des Pretests sowie der im Pretest eingesetzten Themen- und Fragenblöcke finden sich in Anhang A.

3.5 Physiologische Messungen

Neben den psychologischen Fragebögen mit dem Ziel, die subjektive Beurteilung der Geräuschenzenarien in Bezug auf die Art ihrer Wahrnehmung, der Lästigkeit der Geräusche und der Beurteilung ihrer Merkmale zu erfassen, wurden in der Laborstudie auch physiologische Messungen durchgeführt.

Aus der Literaturrecherche konnten keine belastbaren Veröffentlichungen zu Laborstudien mit physiologischen Messungen zu Infraschallimmissionen im Bereich des Immissionsschutzes gefunden werden. Experimente mit höheren Pegeln und physiologischen Messungen sind jedoch im Bereich der Luft- und Raumfahrt durchgeführt worden (z. B. Nussbaum, 1979). Daher wurden für die vorliegende Laborstudie die allgemein anerkannten physiologischen Reaktionen aus dem Bereich der Lärmwirkungsforschung ausgewählt. Anstelle der in audiologischen Untersuchungen üblichen Kurzzeitexpositionen (mit Expositionsdauern zwischen zwei bis fünf Minuten) sollten in dieser Studie jedoch die Auswirkungen stationärer Zustände mit längerer Expositionsdauer untersucht werden. Bei der Durchführung der Untersuchungen sollte zudem insbesondere geprüft werden, ob mögliche Änderungen in den physiologischen Messgrößen direkt nach Einsetzen der Lärmexposition dauerhaft anhalten oder einer zeitlichen Variabilität bei kontinuierlicher Exposition unterliegen. Eine Dauer von jeweils 30 Minuten pro Geräuschenzenario zeigten sich im Pretest, sowohl im Hinblick auf die Zielsetzung als auch die Durchführbarkeit, als ein passendes Maß.

Insgesamt wurden sieben etablierte Messverfahren aus der Physiologie angewandt, um die beschriebenen möglichen physiologischen Akutwirkungen identifizieren zu können:

- ▶ Blutdruckmessung (jeweils 2x pro Szenario)
- ▶ Elektrokardiogramm (EKG)
- ▶ Elektroenzephalogramm (EEG)
- ▶ Nystagmusmessung mittels Frenzel-Brille
- ▶ Bárány-Zeigerversuch
- ▶ Kopfimpulstest
- ▶ Finger-Nase-Versuch

Als Marker der Herz-Kreislauf-Regulation boten sich die einachsige, kontinuierliche Messung des EKG sowie die Erfassung des Blutdrucks an. Das EKG ermöglicht Aussagen über die Frequenz des Herzschlags sowie über Beschleunigungen der Herzfrequenz im Vergleich verschiedener Untersuchungsbedingungen. Eine direkte Möglichkeit, die Aktivität des zentralen Nervensystems zu erfassen, stellt das EEG im Wachzustand dar. Je nach Frequenz und Amplitude der kortikalen neuronalen Aktivität werden im Wachen insbesondere Alpha- und Betawellen sowie beim Übergang zum Schlaf Thetawellen unterschieden. Alphaaktivität entspricht dem entspannten Wachsein, Betaaktivität einem höheren Erregungsgrad des Gehirns. Auswirkungen von Infraschall auf das zentrale Nervensystem können so durch die Aktivitätsveränderungen der kortikalen Neurone verfolgt werden. Zur Aufzeichnung des Wach-EEGs werden auf der Kopfhaut und an den Augen Elektroden aufgeklebt, über die die Aktivität der kortikalen Neurone als Hirnströme aufgezeichnet werden. Die an dem oberen und unteren Epikanthus der Augen angebrachten Elektroden dienen dem Ausschluss von Blinzelartefakten.

Liegen Störungen im Bereich des Gleichgewichtsorgans vor, können spezifische, sakkadenartige Augenbewegungen (Nystagmus) hierauf einen Hinweis geben. Wird die Fixation der Augen auf die Umgebung unterbunden, tritt bei Störung des Gleichgewichtsorgans ein spontaner Nystagmus auf. Mit der Frenzelbrille, die durch den Einsatz starker Plusgläser sowie einer blendenden Lichtquelle die Fixation unterbindet, können diese Spontannystagmen sichtbar gemacht und nach Videoaufzeichnung in ihrer Menge quantifiziert werden.

Zusätzlich können sie auch durch Kopfbewegung provoziert werden. Die Prüfung der Funktion des Gleichgewichtsorgans kann durch einfache Untersuchungen und Koordinationstests aus dem Bereich der Neurologie ergänzt werden, wie den Romberg-Test, den Bárány-Zeigerversuch und den Finger-Nase-Versuch.

Die einzelnen Messverfahren werden im Folgenden noch einmal detailliert beschrieben.

3.5.1 Blutdruck

Der Blutdruck ist ein komplex neural reguliertes System. Engmaschige Blutdruckmessungen sind geeignet, um etwaige Beeinflussung der Blutdruckregulation durch Infraschall-Exposition zu erfassen. Der Blutdruck wurde mithilfe des Gerätes bosso-TM-2430 PC2 erhoben. Die Messungen erfolgten nach manuellem Start des Gerätes automatisch. Jede Blutdruckmessung (Systole, Diastole, Puls) wurde jeweils dreimal durchgeführt (siehe auch Kapitel 4.2: Versuchsablauf). In der Auswertung wurden jeweils die Mittelwerte dieser drei Messungen betrachtet.

3.5.2 Herzfrequenzvariabilität

Die kontinuierliche Messung des EKG ermöglicht die Bewertung der Herzfrequenzvariabilität (HRV). Es wurden zwei Zeiträume in jedem Szenario betrachtet, die wenig durch Veränderungen der HRV aufgrund von Bewegung beeinflusst waren. Der frühe HRV-Zeitraum betrug während des Wach-EEGs immer sechs Minuten, der späte HRV-Zeitraum umfasste im Median sieben Minuten (mindestens 3,5 min (Minuten) – maximal 20 min) während der Bearbeitung der Fragebögen. Zur Analyse wurde die Kubios-HRV Premium Software (Version 3.1.0) verwendet.

Es wurden insbesondere solche Parameter der HRV zur Analyse ausgewählt, die verlässliche Aussagen trotz kurzer Aufzeichnungsdauer geben können. Folgende Parameter wurden betrachtet:

Time-Domain Measurements:

- ▶ Interbeat-Intervall (IBI) – Zeitintervall zwischen zwei Herzaktionen (zwischen zwei R-Zacken im EKG) in ms
- ▶ SDNN – Standardabweichung der NN-Intervalle (N bezeichnet normale Schläge im Sinusrhythmus) in ms
- ▶ RMSSD – Quadratisches Mittel aufeinander folgender RR-Intervall-Differenzen in ms

Frequency-Domain Measurements:

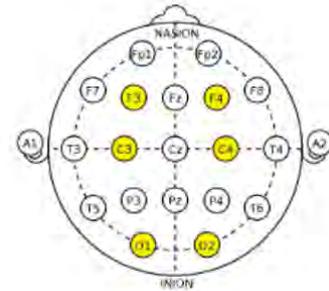
- ▶ VLF = Absolute Power im sehr niedrigen Frequenzband (0 bis 0,04 Hz) in ms^2 , sympathische Aktivität
- ▶ LF = Absolute Power im niedrigen Frequenzband (0,04 bis 0,15 Hz) in ms^2 , Barorezeptoraktivität unter Ruhebedingungen, parasympathisch und sympathisch, Sympathikus überwiegt
- ▶ HF = Absolute Power im hohen Frequenzband (0,15 bis 0,4 Hz) in ms^2 , parasympathische Aktivität, beeinflusst durch Respiration
- ▶ LF/HF-Ratio = niedriger Wert entspricht Entspannung, hoher Wert entspricht Stress
- ▶ PNS-Index = parasympathische Aktivität, berechnet aus dem mittleren RR-Intervall, RMSSD und HF Power (normalised units, n.u.), ein Wert von Null bezeichnet eine Übereinstimmung mit einem normalen Wert im Ruhezustand, +/-1 bedeutet eine Differenz zur Norm von 1 Standardabweichung
- ▶ SNS-Index = sympathische Aktivität, berechnet aus der mittleren Herzfrequenz, dem Stress Index (Quadratwurzel aus Baevsky's Stress Index) und LF Power n.u., ein Wert von Null bezeichnet eine Übereinstimmung mit einem normalen Wert im Ruhezustand, +/-1 bedeutet eine Differenz zur Norm von 1 Standardabweichung

3.5.3 Wach-EEG

Die Messung des Wach-EEGs wurde nach dem 10-20-System durch sechs Elektroden durchgeführt. Abbildung 31 zeigt die Lage der Elektroden.

Abbildung 31: Lage der bei der Messung des Wach-EEGs verwendeten Elektroden

- ▶ Zwei frontale Elektroden: F4 und F3
- ▶ Zwei zentrale Elektroden: C4 und C3
- ▶ Zwei okzipitale Elektroden: O2 und O1



Quelle: eigene Darstellung

Für die Analyse wurden die Aufzeichnungen der Signale der Elektroden F4, C4 und O2 betrachtet. Von der EEG-Messung wurden für die Auswertung jeweils sechs Minuten der Einwirkzeit für jedes Szenario ausgewertet. In diesem sechs Minuten-Zeitraum hatte die Versuchsperson drei Minuten die Augen auf einen Punkt fixiert und drei Minuten die Augen geschlossen, da sich die Hirnaktivität mit dem Schließen der Augen verändert. Aus den Messdaten wurden manuell Bewegungsartefakte eliminiert und danach eine Spektralanalyse (Fourier-Transformation) durchgeführt, um die spektrale Leistungsdichte zu erhalten. Von diesen Leistungsdichtewerten wurden die Frequenzbereiche 8 bis 13 Hz (Alpha Welle) und 4 bis 8 Hz (Theta Welle) betrachtet. Bei jeder Versuchsperson wurden die Frequenzmittelwerte für jede Elektrode in den zwei Zuständen (Augen zu/Augen auf) und bei jedem Szenario berechnet.

3.5.4 Neurologische Testung

Zur Testung des Gleichgewichtsorgans wurden einmal vor Darbietung der Szenarien in Ruhe und dann jeweils zweimal während jedes der fünf Szenarien zu einem frühen und zu einem späten Zeitpunkt der Exposition folgende Tests durchgeführt:

Romberg – Der oder die Teilnehmende steht mit leicht geöffneten Beinen ohne Schuhe und streckt beide Arme mit nach oben gedrehten Handflächen nach vorn aus. So werden die Arme zunächst für 30 s mit geöffneten Augen, danach für 30 s mit geschlossenen Augen gehalten. Eine gesunde Person schwankt leicht zu allen Richtungen mit gleichbleibender Frequenz und Amplitude. Eine Fallneigung zur Seite kann eine Störung des peripheren Gleichgewichtsorgans anzeigen.

Bárány-Zeigerversuch – Der oder die Teilnehmende macht von oben kommend eine Bewegung mit ausgestrecktem Arm und Finger auf den ausgestreckten Finger der/des Untersuchenden zu. Dies wird zunächst mit offenen Augen, danach mit geschlossenen Augen durchgeführt. Zeigt der oder die Teilnehmende bei diesem Zeigerversuch daneben, kann dies auf eine Störung des peripheren Gleichgewichtsorgans hinweisen.

Finger-Nase-Versuch – Der oder die Teilnehmende soll in langsam ausholender, bogenförmiger Bewegung zuerst mit geöffneten Augen, dann mit geschlossenen Augen seine Nase treffen.

Untersuchung auf vestibulären Nystagmus mit Hilfe der Frenzelbrille (Typ 503, Fa. De-Hag) – Die beleuchtete Brille nach Frenzel hat Gläser mit +20 Dioptrien, sodass eine Fixation verhindert wird. Auf diese Weise wird ein Spontannystagmus schon beim geradeaus gerichteten Blick sichtbar. Zusätzlich soll der oder die Teilnehmende den Blick nach oben und unten sowie nach rechts und links richten, wodurch ebenfalls Nystagmen ausgelöst werden können.

Kopf-Impuls-Test – Der oder die Teilnehmende fixiert bei gerader Blickrichtung einen Punkt. Der oder die Untersuchende fasst mit beiden Händen den Kopf der/des Teilnehmenden, bewegt ihn nach rechts/links und bringt ihn ruckartig zurück in die Mittelposition. Bei funktionierendem vestibulookulärem Reflex bleibt der Blick der Versuchsperson auf den zuvor fixierten Punkt gerichtet.

Alle Testungen wurden zur späteren Beurteilung per Video aufgezeichnet.

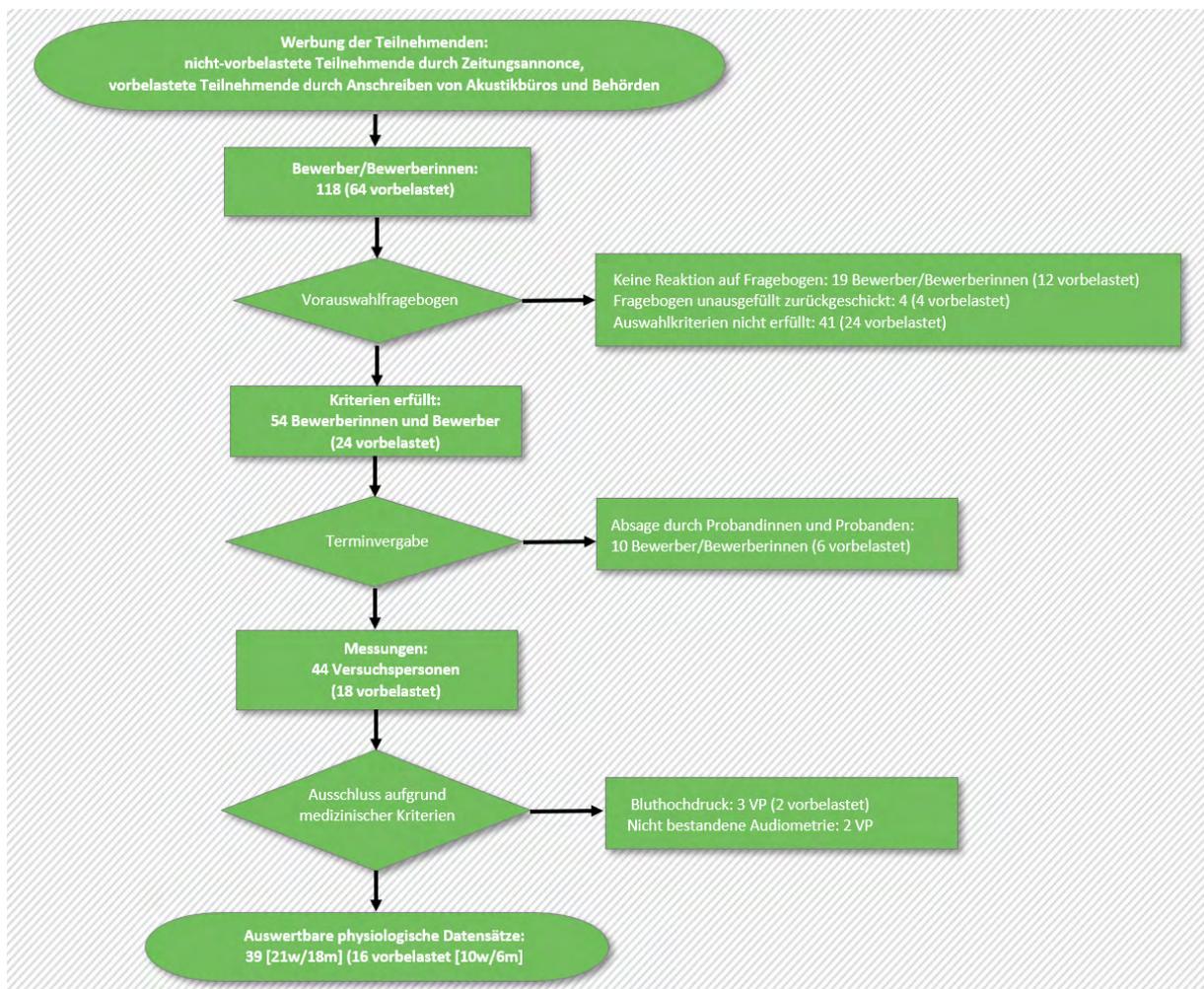
3.6 Auswahl der Testpersonen

Für die Studiendurchführung wurden deutschlandweit gesunde, altersentsprechend normalhörende Versuchspersonen männlichen und weiblichen Geschlechts im Alter von mindestens 18 Jahren gesucht. Die Stichprobengröße für die Hauptuntersuchung wurde auf 30 Probandinnen und Probanden festgelegt, um die statistische Belastbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

Es wurde angestrebt, zu gleichen Teilen durch Infraschall vorbelastete und nicht vorbelastete Versuchspersonen zu untersuchen. „Vorbelastet“ wurde dabei so definiert, dass diese Versuchspersonen sich schon einmal mit der Bitte um Messung oder der Aufklärung eines Infraschallproblems in der häuslichen Umgebung an eine staatliche Stelle oder ein Ingenieurbüro gewandt haben. Als Versuchspersonen wurden aus dieser Gruppe nur diejenigen Personen berücksichtigt, bei denen die Messungen tatsächlich eine Infraschallbelastung in der häuslichen Umgebung nachweisen konnten.

Die nicht vorbelasteten Teilnehmenden wurden in der Umgebung des Labors in Eggebek durch Zeitungsannoncen rekrutiert. Es gingen insgesamt 118 Bewerbungen für die Studienteilnahme beim DLR ein, davon 64 von vorbelasteten Personen (siehe Abbildung 32). Für die Auswahl der Testpersonen mit einer Infraschall-Vorbelastung wurde die Suche auf das gesamte Bundesgebiet ausgeweitet.

Abbildung 32: Gewinnung der Versuchspersonen



Quelle: eigene Darstellung

An die Bewerberinnen und Bewerber wurden ein Informationsbrief mit detaillierten Informationen zur Studie sowie ein Vorauswahlfragebogen (sogenannter Screening-Fragebogen) verschickt. Von den Vorauswahlfragebögen wurden 99 an das DLR zurückgesendet, vier davon nicht ausgefüllt. Daraus resultierten 48 vorbelastete und 47 nicht vorbelastete Personen in der Vorauswahl.

Die Ausschlusskriterien für die Teilnahme, die im Screening-Fragebogen erfasst wurden, waren:

- ▶ Alter < 18 Jahre
- ▶ Body-Mass-Index > 35
- ▶ nicht der deutschen Sprache mächtig
- ▶ jegliche Medikation mit Einfluss auf die Untersuchungsparameter
- ▶ chronische Erkrankungen mit Einfluss auf die Untersuchungsparameter
- ▶ Drogenabhängigkeit
- ▶ elektrische Implantate zur Stimulation oder Therapie
- ▶ Schwangerschaft, stillende Frauen
- ▶ nicht geschäftsfähige Personen und Personen in behördlicher oder gerichtlicher Verwahrung
- ▶ jede weitere Bedingung, die nach Ansicht der durchführenden Ärzte die Versuchsperson ungeeignet erscheinen lassen (z. B. Klaustrophobie, Non-Compliance).

Diese Kriterien wurden von 30 nicht vorbelasteten und 24 vorbelasteten Personen erfüllt, jedoch sagten zehn Bewerberinnen und Bewerber (davon sechs vorbelastet) ihre Teilnahme im Rahmen der Messterminvergabe oder in der Wartezeit auf die Messung ab.

Neben den medizinischen Anforderungen wurden im Screening-Fragebogen ebenso die Lärmempfindlichkeit und die Empfindlichkeit gegenüber Belastungen aus der Umwelt erfasst. Die Lärmempfindlichkeit wurde im Screeningbogen erhoben, um die Möglichkeit einer verzerrten Rekrutierung („nur“ Lärmempfindliche) prüfen und ausschließen zu können. Vorgesehen war, nicht mehr als maximal 50 % lärmempfindliche Personen zu rekrutieren. Als „lärmempfindlich“ wurden dabei die Personen eingestuft, die auf der 5-stufigen Skala die obersten beiden Stufen angeben) zu rekrutieren.

Die individuelle Lärmempfindlichkeit stellt nach Job (1999) eine stabile Eigenschaft eines Menschen dar und erhöht die sowohl physische als auch psychische Reaktionsbereitschaft auf Lärm. Sie wird als Moderator von Lärmwirkungen wie Schlafstörungen (Öhrström & Bjorkman, 1988; Marks & Griefahn, 2007) und der Lärmbelästigung (Miedema & Vos, 2003; van Kamp et al., 2004) gesehen. Weiterhin zeigten Studien, dass ein Zusammenhang zwischen Lärmempfindlichkeit und Gesundheitsbeschwerden vorliegt (Iwato, 1984; Heinonen-Guzejev et al., 2007).

In Laborstudien aus Schweden und Polen zur Wirkung von Infraschall und/oder tieffrequentem Schall auf Personen (Persson et al., 1985, 1990; Persson Waye et al., 2002, 2003; Pawłaczyk-Łuszczynska, 2009) wurde übereinstimmend die Lärmempfindlichkeitsskala nach Weinstein (1978) mit 21 Items verwendet. Zwar liegt hiervon eine deutsche Fassung vor, jedoch weisen Zimmer und Ellermeier (1997) darauf hin, dass „nicht alle Aussagen der hier vorgestellten Lärmempfindlichkeits-Skala aus dem Erfahrungsrepertoire der gesamten Bevölkerung stammen (beispielsweise Arbeiten in der Bibliothek, Kinobesuch) [...]“. Sie schlagen stattdessen vor, einen Fragebogen zur Erfassung der Lärmempfindlichkeit zu entwickeln, der auch die in der Weinstein-Skala fehlenden oder nicht ausreichend erfassten Facetten des alltäglichen Lebens wie Kommunikation, Gesundheit und Schlaf berücksichtigt.

Dem entspricht der Noise Sensitivity Questionnaire (NoiSeQ; Schütte et al., 2007), welcher die Bereiche Freizeit, Wohnen, Arbeit, Kommunikation und Schlaf anhand von sieben Items je Subskala erfasst. Allerdings ist der NoiSeQ mit 35 Items als Teil eines empirischen Fragebogens zu lang, weshalb eine Kurzform mit den drei Subskalen Schlaf, Wohnen und Arbeit mit je vier Items entwickelt und testtheoretisch geprüft wurde (NoiSeQ-R, NoiSeQ-Reduced; Griefahn, 2008). Die interne Konsistenz des NoiSeQ-R beträgt $\alpha = .87$, die Test-Retest-Reliabilität variiert in Abhängigkeit der Zeiträume zwischen den Befragungen mit $r_{tt} = .67$ und $r_{tt} = .74$. Für den hier vorliegenden Screening-Fragebogen wurde das üblicherweise verwendete Einzel-Item zur Selbsteinschätzung der Lärmempfindlichkeit „Ich bin geräuschempfindlich“ zusätzlich aufgenommen und dient als Kontroll-Item. Die Einschätzung der Lärmempfindlichkeit erfolgt bei allen 13 Items über einen Grad der Zustimmung von ‚3 = stimmt genau‘ bis ‚0 = stimmt gar nicht‘.

Die Versuchsteilnehmenden wurden im Vorfeld über ihre Teilnahme an einer Lärmwirkungsuntersuchung im Bereich Infraschall, nicht jedoch über die Forschungsaufgabe oder das Forschungsziel informiert. Sie wurden darüber aufgeklärt, dass die Lärmwirkung einen Tag durch Beschallungsversuche erfolgen wird, dass für Verpflegung, Übernachtung und Anreise gesorgt und die Teilnahme mit einer Aufwandsentschädigung vergütet wird. Die Erläuterungen waren für alle Probandinnen und Probanden gleich.

Persson Waye (1995, zitiert nach Pawłaczyk-Łuszczynska, 2009) verwies darauf, dass Personen, die gegenüber tieffrequentem Lärm empfindlich sind, nicht unbedingt auch eine Empfindlichkeit gegenüber Lärm im Allgemeinen aufweisen, wie sie mit generellen Lärmempfindlichkeitsskalen erhoben wird. Dementsprechend wurden die allgemeine Lärmempfindlichkeit und die Empfindlichkeit gegenüber tieffrequentem Lärm separat erfasst.

Letztere wurde hierbei in die Kategorie Empfindlichkeit gegenüber Belastungen aus der Umwelt eingeordnet. Die Erfassung der Empfindlichkeit gegenüber Belastungen aus der Umwelt (außer Lärm) erfolgte anhand von sechs Fragen, von denen sich zwei auf die Empfindlichkeit gegenüber schlechter Luft und Gerüchen sowie alltäglichen Belastungssituationen (Stress, Hetze und so weiter) beziehen (in Anlehnung an Rohrman & Scharnberg, 1981). Diese wurden anhand einer fünfstufigen Skala (‚1 = nicht empfindlich‘ bis ‚5 = sehr empfindlich‘) von den Versuchspersonen eingeschätzt.

Mit weiteren vier Fragen, die an die Fragenformulierung der bestehenden Items (schlechte Luft, Hetze) angepasst wurden, wurde in dieser Studie die Empfindlichkeit gegenüber tieffrequenten Geräuschen erhoben. Die in Tabelle 4 aufgeführten Items 1, 3 und 4 wurden einer Laborstudie von Pawłaczyk-Łuszczynska (2009) entnommen, das Item 2 fand in verschiedenen schwedischen Laborstudien Anwendung. Im Original weisen diese Items eine fünf- oder sechsstufige Zustimmungsskala auf. Die Einordnung der Versuchspersonen nach ihrer Empfindlichkeit gegenüber tieffrequentem Schall erfolgte nach Höhe der Ausprägung des Empfindlichkeits-Scores. In Anlehnung an die zwei vorhandenen Items zur Erfassung der Empfindlichkeit gegenüber Belastungen aus der Umwelt wurde in diesem Fragebogen eine fünfstufige Skala mit den Endpolen ‚1 = nicht empfindlich‘ bis ‚5 = sehr empfindlich‘ angewandt.

Tabelle 4: Überblick der Items zur Empfindlichkeit gegenüber tieffrequentem Schall

Nummer	Im Auswahlfragebogen <i>Ich halte mich für ... empfindlich gegenüber...</i>	Originaltext	Skala	Quelle
1	...Bassgeräuschen, tiefen Tönen.	I am not sensitive to noise with bass.*	5-stufig, Zustimmung	Pawłaczyk-Łuszczynska, 2009.
2	...polternden Geräuschen.	I am sensitive to rumbling noise from ventilation systems.	6-stufig, Zustimmung	Bengtsson, 2004; Persson Waye, 2001; Persson Waye, 2003.
3	...Musik mit Bass.	I like listening to music with bass turned on.*	5-stufig, Zustimmung	Pawłaczyk-Łuszczynska, 2009.
4	...monotones Summen (zum Beispiel von Computern, Transformatoren).	I think that monotonous humming is unpleasant even if it is low level.	5-stufig, Zustimmung	Pawłaczyk-Łuszczynska, 2009.

*im Original: Umkodierung der Items vor Scorebildung, somit entsprechen hohe Werte einer hohen Empfindlichkeit gegenüber tieffrequentem Schall.

Insgesamt ergab sich durch dieses Auswahlverfahren eine Stichprobe von 44 Versuchspersonen, wobei 18 Personen als durch Infraschall vorbelastet eingestuft wurden. Bei ursprünglich 118 Bewerbern (davon 64 aus der Gruppe der vorbelasteten Personen) ergibt sich somit eine Rücklaufquote 37 %. Für die Gruppe der vorbelasteten liegt die Rücklaufquote bei 28 %.

Vor der Datenauswertung wurde die Hörfähigkeit überprüft, um sicherzustellen, dass eine bisher nicht diagnostizierte und daher nicht über den Fragebogen erfasste Schwerhörigkeit vorlag. Über die altersentsprechende Hörfähigkeit wurde in der vorliegenden Studie nach individuellem ärztlichem Urteil entschieden. Als Grundlage für die Beurteilung der Hörfähigkeit wurde eine Reintonaudiometrie durchgeführt. Dabei wurde über einen Kopfhörer des Typs TDH39 jeweils ein stationärer Sinuston mit den Frequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz und 8 kHz wiedergegeben. Die Blutdruckmessungen, die vor den dargebotenen Szenarien stattfanden, sowie die Blutdruckmessungen, die im Ruheszenario durchgeführt wurden, wurden auf das Vorliegen eines Bluthochdrucks überprüft. Aufgrund dieser Messungen (Hörfähigkeit und Blutdruck) mussten die Daten von insgesamt fünf Versuchspersonen im Nachhinein teilweise oder vollständig von der Auswertung ausgeschlossen werden.

4 Studiendurchführung

4.1 Versuchspersonen

In der Laborstudie wurden insgesamt 44 Personen im Zeitraum von Oktober 2017 bis Februar 2018 untersucht. Alle Versuchspersonen nahmen freiwillig an der Studie teil und konnten ihre Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden. Sie wurden vor Studienbeginn nach den Richtlinien der Deklaration von Helsinki aufgeklärt. Das Studienprotokoll wurde durch die Ethikkommission der Ärztekammer Nordrhein genehmigt.

Alle Personen aus Schleswig-Holstein erhielten im Anschluss an die Messungen eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 120 Euro, für Personen aus anderen Bundesländern betrug die Aufwandsentschädigung aufgrund des höheren Reiseaufwandes 200 Euro. Die Reisekosten wurden vollständig erstattet.

Die im Anschluss an den Versuch ausgewertete Audiometrie ergab, dass zwei Personen wegen mangelnder Hörfähigkeit aus der Auswertung ausgeschlossen werden mussten. Bei drei weiteren Personen ergaben die Blutdruckmessungen unter ruhigen Bedingungen vor Beginn der Szenarien oder während des Ruheszenarios einen erhöhten Blutdruck. Daraus folgt, dass von den ursprünglich 44 erhobenen Datensätzen 39 Datensätze in die Analyse der physiologischen Untersuchungen einfließen (21 weibliche / 18 männliche Probandinnen und Probanden). 16 Datensätze (10 weiblich / 6 männlich) stammten dabei von vorbelasteten Teilnehmenden. In die Auswertung der Befragungen zur Lärmbelastigung gingen die Daten von 42 Testpersonen ein, d.h. die Befragungsdaten der drei Personen mit Abweichungen in der Blutdruckmessungen wurden hier mitberücksichtigt, da diese aus psychologischer Sicht keine Einschränkung der Urteilsfähigkeit der Versuchspersonen darstellen.

4.2 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf im Labor in Eggebek begann mit einer kurzen Führung durch die Räumlichkeiten. Anschließend wurden die Probandinnen und Probanden über das weitere Vorgehen sowie die physiologischen Messungen und die Fragebögen informiert, die im Rahmen der Untersuchung durchgeführt beziehungsweise erhoben werden würden. Es folgten eine Reintonaudiometrie zur Überprüfung des Hörvermögens sowie weitere physiologische Messungen (Blutdruckmessung und Gleichgewichtskontrolle). Nachdem daraufhin die Elektroden für die EEG-Messung angebracht wurden, begann die eigentliche Untersuchung. Die Versuchspersonen saßen dabei an dem Tisch mit Blick auf das Regal. Ihnen gegenüber saß eine Betreuungsperson, die in regelmäßigen Abständen die Blutdruckmessung und die Gleichgewichtsuntersuchung vornahm, sich ansonsten jedoch völlig still verhielt. Die Geräuschszenarien (siehe Kapitel 3.3) wurden den Testpersonen in permutierender Reihenfolge präsentiert, die nach der Regel des „Lateinischen Quadrats“ (Döring & Bortz, 2016) erstellt wurde.

In jedem Geräuschszenario wurden unter Lärmexposition mehrere Messungen durchgeführt. Zu Beginn musste die Versuchsperson für die Wach-EEG-Messung nach drei Minuten freiem Blick für drei Minuten einen Punkt an der Wand fixieren. Darauf folgten drei Minuten mit geschlossenen Augen und eine weitere Minute mit freiem Blick. Im Anschluss wurden die Blutdruckmessungen und neurologischen Tests durchgeführt.

Es folgten der Fragebogen und die abschließenden Blutdruckmessungen mit neurologischen Tests. Danach wurde das Szenario und somit die Lärmexposition beendet. Zwischen den Szenarien wurden 10-minütige Pausen, zwischen der 2. und 3. Expositionsphase eine zirka 30-minütige Mittagspause gemacht. Nach dem fünften Geräuscheszenario folgte der Abschlussfragebogen.

Für die Bearbeitung wurde mithilfe der Software LimeSurvey eine digitale Version des Fragebogeninventars erstellt, die auf einem 12-Zoll-Tablet des Typs Terra Mobile Pad 1161 der Firma Wortmann dargestellt wurde. Bei der Auswahl des Tablets wurde darauf geachtet, dass es keine Lüftungs- oder andere Geräusche erzeugt, die den Versuchsablauf und die Wahrnehmung der Infraschallgeräusche stören können. Die Bedienung und Eingabe erfolgte über die Tablet-Tastatur und eine über USB-Schnittstelle angeschlossene Computermaus.

An einem Untersuchungstag wurde grundsätzlich nur eine Versuchsperson untersucht, um mögliche gegenseitige Beeinflussungen auszuschließen. Die Uhrzeit des Eintreffens der Versuchsperson im Labor wurde individuell vereinbart. Insgesamt belief sich die Dauer der Untersuchungen mit allen Formalia auf etwa 7,5 h (Stunden) je Versuchsperson. Die Dauer der einzelnen Untersuchungsabschnitte gestaltete sich wie folgt:

1. Kommen der Versuchsperson (Begrüßung und kurze Führung durchs Labor):	zirka 15 min
2. Einführung in die physiologischen Messungen + Fragebögen, Audiometrie, Anlegen der EEG-Elektroden, Messung Blutdruck (Ruhemessung, dreimal) + Gleichgewicht (Ruhemessung):	zirka 120 min
3. Lärmexposition (insges. 4 Lärmexpositionen + Ruhe)	zirka 250 min
Einwirkzeit	
3 Minuten "freier Blick" --> 3 Minuten "Punkt fixieren" -->	
3 Minuten "Augen geschlossen" --> 1 Minute "freier Blick"	10 min
Messung Blutdruck + Gleichgewicht	zirka 10 min
Fragebögen	zirka 10 min
Messung Blutdruck + Gleichgewicht	zirka 10 min
Pause (lärmfrei)	zirka 10 min
4. Mittagspause	zirka 30 min
5. Abschlussfragebogen, Verabschiedung + Formalia	zirka 30 min
	=====
	zirka 445 min (zirka 7.5 h)

Folgende physiologische Messungen wurden vorgenommen:

- ▶ EKG (Elektrokardiogramm zur Erfassung der Herzaktivität)
- ▶ EEG (Elektroenzephalogramm zur Erfassung der Hirnaktivität)
- ▶ EOG (Elektrookulogramm zur Erfassung der Augenbewegungen)
- ▶ EMG (Elektromyogramm zur Erfassung der Muskelaktivität)

- ▶ Blutdruckmessungen (jeweils 3 x)
- ▶ Prüfung der Funktion des Gleichgewichtsorgans mittels Frenzelbrille, Rombergtest, Bárány-
Zeigeversuch, Finger-Nase-Versuch und der Kopfpulstest

4.3 Störgeräusche während der Versuche

Trotz der sehr ruhigen Umgebung, in der sich der gewählte Messort befand (siehe Abbildung 33), ließen sich Störeinflüsse durch Fremdgeräusche (beispielsweise durch Wind oder technische Anlagen) nicht völlig ausschließen.

Abbildung 33: Umfeld des Gebäudes Nummer 92



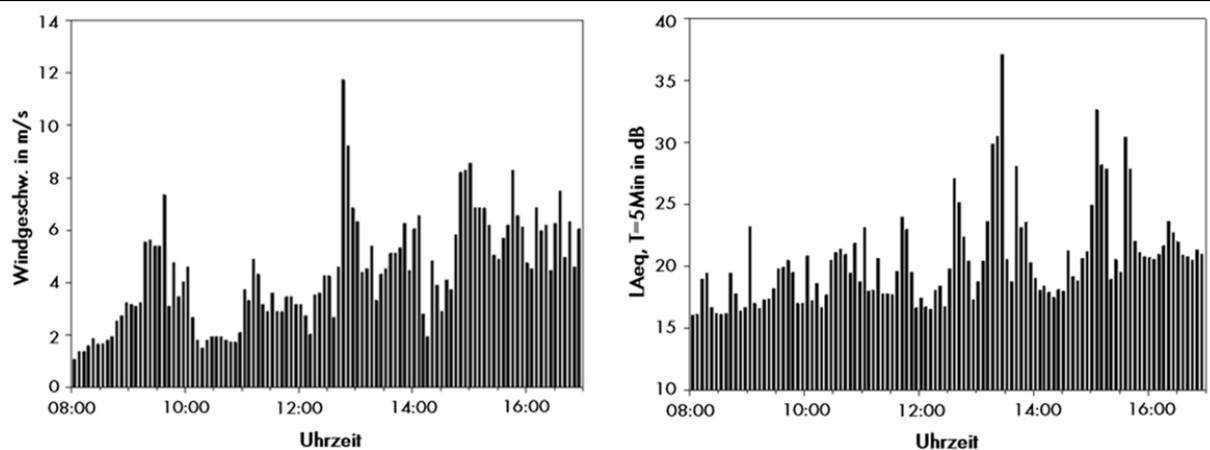
Quelle: eigene Darstellung

Um zu vermeiden, dass die Untersuchungen durch Windgeräusche gestört werden, wurden die Windvorhersagen mittels der App „Windfinder“ beobachtet. Diese App bietet bis zu drei Tage im Voraus eine vergleichsweise genaue Vorhersage der Windverhältnisse (Großwetterlage) bei ausreichend genauer örtlicher und zeitlicher Auflösung. Zudem wurde zur Dokumentation die Windgeschwindigkeit am Gebäude während der Untersuchungen aufgezeichnet. Es wurde angenommen, dass die Untersuchungen bei einem Ruhegeräuschpegel über 20 dB SPL nicht mehr ungestört durchgeführt werden können. Testmessungen ergaben, dass dieser Wert ab einer Windgeschwindigkeit von 6 m/s überschritten wird.

Abbildung 34 zeigt das Ergebnis der Testmessungen am 10. November 2017. Darin ist deutlich der Zusammenhang zwischen gemessener Windgeschwindigkeit vor dem Gebäude und Ruhegeräuschpegel ($L_{Aeq,T=5min}$) im Versuchsraum zu erkennen. Aufgrund dieser möglichen Störeinflüsse wurden einzelne Untersuchungstermine, für die ungünstige Windverhältnisse (mit Windgeschwindigkeiten $> 6m/s$) prognostiziert wurden, im Voraus abgesagt und neu terminiert.

In zwei Fällen musste eine laufende Untersuchung unterbrochen und zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden

Abbildung 34: Gemessene Windgeschwindigkeiten und Geräuschpegel im Versuchsraum am 10. November 2017



Quelle: eigene Darstellung

Neben Störungen durch Windgeräusche traten während der Testmessungen auch einzelne kurzzeitige Pegelspitzen auf. Diese sind hier möglicherweise auf Einzelereignisse durch menschliche Aktivitäten im Gebäude zurückzuführen (Nutzendengeräusche). Solche Aktivitäten wurden bei der Höruntersuchung mit den Versuchspersonen unterbunden. Zudem wurden alle potenziellen Geräuschquellen während der Untersuchung ausgeschaltet, deren Betrieb (zumindest eine Zeit lang) nicht notwendig war, wie der Eisschrank, eine Pumpe und auch die Heizung. Während der Untersuchung wurde die Temperatur im Hörraum durch einen elektrischen Radiator gehalten.

Ganz auszuschließen waren kurzfristige Geräusche von außen – z. B. durch ein vorbeifahrendes Auto oder vereinzelt Windböen – nicht. Da in diesem Fall jedoch die Ursache der Pegelspitze klar zuzuordnen war, sind Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse durch solche Einzelereignisse nicht zu erwarten. Um mögliche Irritationen der Versuchspersonen durch Einzelereignisse zu vermeiden, wurden während der Versuchsvorbereitung explizit darauf hingewiesen, dass die dargebotenen Szenarien stationäre Geräusche enthielten, die sich innerhalb eines 30-minütigen Durchgangs nicht verändern.

4.4 Statistik

Die statistischen Analysen wurden mit der Software SAS (Version 9.4) durchgeführt. Normalverteilung beziehungsweise Normalverteilung der Residuen wurde anhand von Q-Q-Plots und Shapiro-Wilk / Kolmogorov-Smirnov Tests beurteilt. Entsprechend wurden die Frequenzen des Wach-EEGs mit dem 10er Logarithmus sowie die Variablen des Blutdrucks (systolischer und diastolischer Druck, arterieller Mitteldruck und Herzfrequenz) und der HRV (IBI, SDNN, RMSSD, VLF, LF, HF, LF/HF Ratio) mit dem Logarithmus naturalis transformiert.

Es wurden gemischte ANOVAs (proc mixed) berechnet mit den Faktoren ‚Szenario‘, ‚Gruppe‘, ‚Alter‘, ‚Geschlecht‘, ‚Reihenfolge‘ und der Interaktion ‚Szenario x Gruppe‘. ‚Szenario‘ war fünfstufig und beinhaltete die permutierten vier Schallexpositionen sowie die Ruheexposition. ‚Gruppe‘ bezeichnete die Zugehörigkeit zur vorbelasteten beziehungsweise unbelasteten Gruppe. Mit dem Faktor ‚Reihenfolge‘ wurde geprüft, ob es trotz Permutation der Szenarien Hinweise auf Reihenfolgeeffekte gab.

Um bei den HRV-Messungen zusätzlich zwischen der Messung früh beziehungsweise spät innerhalb eines Szenarios zu unterscheiden, wurden hier die Faktoren ‚Zeitpunkt‘ und ‚Szenario x Zeitpunkt‘ in die ANOVAs aufgenommen. Versuchspersonen wurden als zufälliger Faktor berücksichtigt. Im Falle eines signifikanten Ergebnisses für ‚Szenario‘ oder für die Interaktionen ‚Szenario x Gruppe‘ oder ‚Szenario x Zeitpunkt‘ wurden die Expositionsszenarien zum Ruhe-Szenario verglichen und die p-Werte nach Dunnett für multiples Testen adjustiert.

Blutdruckmessungen wurden zusätzlich vor Beginn der Expositionen durchgeführt. Mittels ungepaartem t-test wurde geprüft, ob Unterschiede zwischen dieser Basismessung und dem Ruheszenario bestanden. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha = 0,05$ festgesetzt.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Befragungen

5.1.1 Ergebnisse Fragebogenteil A: Angaben zur Person, Umweltbelastung und Wohlbefinden vor dem Versuch

Ursprünglich konnten 44 Versuchspersonen zur Teilnahme an der Studie gewonnen werden. Zwei Versuchspersonen wiesen beidohrig in mehreren Audiometriefrequenzen einen Hörverlust > 50 dBHL auf. Nach ärztlichem Urteil wurden die Untersuchungsergebnisse dieser Personen nachträglich von der Auswertung der Lärmbelastigungsuntersuchung sowie der physiologischen Untersuchungen ausgeschlossen. Drei Versuchspersonen wiesen bei der Blutdruckmessung deutliche Abweichungen vom Normbereich auf und wurden deshalb bei der Auswertung der physiologischen Untersuchungen nicht betrachtet. In der Auswertung des Fragebogens wurden diese Datensätze jedoch miteinbezogen, da aus psychologischer Sicht keine Einschränkung der Urteilsfähigkeit der Versuchspersonen zu erwarten war. Daraus folgt, dass in die Auswertung der Lärmbelastigungsuntersuchung (Kapitel 5.1.2) insgesamt 42 Datensätze berücksichtigt wurden. Davon wurden 16 Versuchspersonen als vorbelastet eingestuft (40,9%), die verbleibenden 28 (59,1%) als nicht vorbelastet. Insgesamt waren 19 der Personen weiblich und 25 männlich. Mit einem Mindestalter von 21 und einem Maximalalter von 68 Jahren zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung lag das gemittelte Alter bei 48,25 Jahren mit einer Standardabweichung von 11,88 Jahren. Für die Analyse der physiologischen Untersuchungen (Kapitel 5.2) wurden 39 Datensätze ausgewertet.

Zur Einstufung der sozialen Schicht der Versuchspersonen wurde der Scheuch-Winkler-Index (SWI, Winkler & Stolzenberg, 1999, 2009) berechnet. Dies ist ein valides und gebräuchliches Maß für den sozio-ökonomischen Status, das in drei Subkategorien berechnet und anschließend zu einem Gesamtscore addiert wird. Die Subindizes wurden aus Punktwerten für Schul- und Berufsausbildung, Einkommen und beruflicher Position in Kombination mit der Arbeitsaufgabe ermittelt. Die in den Kategorien jeweils zu erreichenden Punkte betragen mindestens einen und maximal sieben, entsprechend konnten die Teilnehmenden mindestens drei und maximal 21 Punkte erreichen. Der minimal erreichte Wert in der Stichprobe lag bei fünf Punkten (niedrig), der Maximalwert beträgt 19 (hoch). Im Durchschnitt erreichten die Studienteilnehmenden einen Wert von 13,05 mit einer Standardabweichung von 3,84. Damit liegt die Stichprobe am oberen Ende des mittleren Bereiches. Sieben Versuchspersonen erreichten einen niedrigen Wert, 21 einen mittleren und 16 einen hohen.

Im Schnitt wohnen die Versuchspersonen seit 13,8 Jahren in ihrer Wohneinheit, vorbelastete Personen im Schnitt etwas kürzer ($M = 12,67$; $SD = 9,78$) als nicht vorbelastete ($M = 15,0$; $SD = 10,72$). Nicht vorbelastete Personen zeigen sich sowohl mit ihrer Wohngegend als auch mit ihrer Wohnunterkunft zufriedener ($M = 4,23$; $SD = 0,77$; beziehungsweise $M = 4,35$; $SD = 0,98$) als vorbelastete ($M = 3,78$; $SD = 0,81$, respektive $M = 4,06$; $SD = 0,80$).

Zur näheren Einschätzung der Wohnzufriedenheit wurden die Teilnehmenden im Folgenden gefragt, wie zufrieden sie mit ihrer Wohngegend beziehungsweise Wohnung insgesamt waren. Die Wertungen wurden auf einer fünfstufigen Ratingskala abgetragen, mit den Kategorien „nicht“, „wenig“, „mittelmäßig“, „ziemlich“ und „sehr“. Die Ergebnisse zu diesen Fragen sind in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5: Zufriedenheit mit Wohnung und Wohngegend

	Zufriedenheit mit Wohnung/ Haus		Zufriedenheit mit Wohngegend insgesamt	
	N	%	N	%
nicht	1	2,3	0	0
wenig	0	0,0	0	0,0
mittelmäßig	8	18,2	13	29,5
ziemlich	14	31,8	16	36,4
sehr	21	47,7	15	34,1
Σ	44	100	44	100

In Block 2 des A-Teils des Fragebogens schließt sich der Bewertung der Wohn- und Wohngendzufriedenheit eine Abfrage der allgemeinen Belästigung durch Umgebungslärm in den letzten zwölf Monaten an. Die Versuchspersonen wurden gebeten, zunächst die Belästigung durch Straßenverkehrslärm innerhalb ihres Wohngebietes und Lärm durch Nachbarn auf der fünfstufigen ICBEN-Verbalskala zu bewerten. Anschließend wurden die Versuchspersonen aufgefordert, bis zu drei weitere Geräuschquellen zu nennen (Mehrfachnennung war möglich), die sie ansonsten belästigen. Auch hier wurde die Belästigung mit der o. g. Skala erfasst.

Insgesamt fühlte sich die Stichprobe von Straßenlärm im Durchschnitt wenig belästigt ($M = 1,9$; $SD = 1,01$), wobei sich die vorbelasteten Personen geringfügig stärker belästigt fühlten ($M = 2,06$; $SD = 1,26$) als die nicht vorbelasteten ($M = 1,79$; $SD = 0,78$). Der zur Signifikanzprüfung durchgeführte Welch-Test ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen ($t(26,55) = -0,78$, $p = 0,44$). Die zwei höchsten Stufen der Skala („stark“ und „ziemlich“) wurden von jeweils einem Mitglied der Gruppe der vorbelasteten Personen angegeben.

Die Belästigung durch Nachbarschaftslärm ergab einen ähnlich hohen Wert ($M = 1,93$; $SD = 0,92$). Dabei fühlen sich die Vorbelasteten deutlich mehr vom Lärm der Nachbarn gestört ($M = 2,39$; $SD = 1,15$) als die nicht Vorbelasteten ($M = 1,58$; $SD = 0,50$). Die Varianzprüfung mittels Welch-Test ergab für diese Größe einen signifikanten Unterschied ($t(21,952) = -2,79$, $p = 0,01$).

Darüber hinaus gaben 20 Versuchspersonen an, sich von mindestens einer weiteren Geräuschquelle gestört zu fühlen. Zur Analyse der von den Versuchspersonen frei genannten Geräuschquellen, wurden die Antworten zunächst in ein allgemein anerkanntes Kategoriensystem eingeteilt (vgl. u.a. Studie zum Umweltbewusstsein in Deutschland, UBA, 2017):

1. Straßenverkehrslärm
2. Lärm von Nachbarn
3. Industrie- und Gewerbelärm
4. Flugverkehrslärm
5. Schienenverkehrslärm

Neben den oben genannten Kategorien finden sich in Tabelle 6 außerdem Windenergieanlagen gesondert ausgewiesen. Ferner wurde eine Sammelkategorie „Sonstiges“ angelegt, die in drei weitere Unterkategorien unterteilt wurde. Zunächst fiel bei der Auswertung der frei zu nennenden Geräuschquellen auf, dass hier viermal „tieffrequente“ Geräusche als lästig bezeichnet wurden. Unter „Sonstiges“ finden sich außerdem Wärme- beziehungsweise Kälteanlagen, Ventilatoren und allgemeiner Verkehrslärm. Diese Subkategorien wurden vor allem aufgenommen, weil sie sich keiner der anderen Kategorien zweifelsfrei zuteilen ließen.

Tabelle 6: Kategorien frei genannter Lärmbelastigungsquellen

	Anzahl				Lärmbelastigung (Gesamtmittel)
	Nennungen	Personen gesamt	vorbelastet	nicht vor- belastet	
Straßenverkehrslärm	5	5	4	1	2,4
Lärm von Nachbarn	11	8	4	4	3,4
Industrie- und Gewerbelärm	5	5	2	3	2,8
Flugverkehrslärm	6	6	1	5	2,3
Schienenverkehrslärm	1	1	1	0	2,0
Windkraftanlagen	4	4	3	1	4,3
Sonstiges	12	10	9	1	
Heizung /Heizungspumpen Kälteanlage /Kühlung	6	4	4	0	4,7
unbekannte tieffrequente Quelle	4	4	4	0	4,8
Ventilatoren	1	1	1	0	4,0
allgemein Verkehrslärm	1	1	0	1	2,0

Im dritten Frageblock des A-Abschnitts ging es um die Hörfähigkeit der Teilnehmenden. In der Gesamtstichprobe gab keine der 44 Versuchspersonen an, ein Hörgerät zu nutzen.

Zudem gab keine der Versuchspersonen an, dass ihm/ihr das Verstehen von Gesprächen, wenn mehrere Personen gleichzeitig reden, große Schwierigkeiten bereitet oder es gar nicht verstanden wird. Insgesamt 25 geben an dies ohne, die restlichen 19 lediglich mit leichten Schwierigkeiten zu können.

Die restlichen sechs Fragen in diesem Block waren Ja-/Nein-Fragen, die Antworthäufigkeiten sowie Einzelitems und eine getrennte Betrachtung von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen sind in Tabelle 7 zu finden.

Tabelle 7: Antworthäufigkeiten zum Frageblock Hörfähigkeit. N = absolut, % = relativ

Item	Vobelastet				Nicht vobelastet			
	Ja		Nein		Ja		Nein	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Haben Sie oft den Eindruck, dass die meisten Menschen Ihrer Umgebung nicht sehr deutlich sprechen?	0	0	18	100,0	3	11,5	23	88,5
Haben Sie Schwierigkeiten, Flüstern oder leises Sprechen zu verstehen, wenn der Sprecher Sie nicht ansieht?	2	11,1	16	88,9	5	19,2	21	80,8
Werden Sie von Ihrer Familie oder Ihren Freunden manchmal darauf hingewiesen, dass Sie ohne Grund ziemlich laut sprechen?	1	5,6	17	94,4	4	15,4	22	84,6
Beklagt sich Ihre Familie oft über die von Ihnen eingestellte Lautstärke des Fernsehgerätes?	0	0	18	100	2	7,7	24	92,3
Verzichten Sie manchmal darauf, das Telefon zu benutzen, weil Sie nicht immer genau verstehen können, was der andere Teilnehmer sagt?	0	0	18	100	0	0	26	100
Fühlen Sie sich als Fußgänger unsicher auf Straßen, wo starker Verkehr herrscht, weil Sie herankommende Fahrzeuge manchmal erst im letzten Augenblick hören?	0	0	18	100	0	0	26	100

Im letzten Block des Fragebogen Teil A wurden die Teilnehmenden außerdem aufgefordert, vier allgemeine Aussagen zur Umweltbesorgnis zu beantworten. Die Aussagen waren auf einer vierstufigen Ratingskala mit den Punkten „1 = trifft nicht zu“, „2 = trifft kaum zu“, „3 = trifft eher zu“, „4 = trifft ganz zu“ zu beurteilen. Die Punktwerte wurden addiert und zu einem Gesamtscore zusammengerechnet, der pro Item 176 (44 · 4Punkte), beziehungsweise für die ganze Skala 704 (4 · 176) betrug. Für alle vier Items wurden 625 Punkte erreicht, dies entspricht einer relativen Zustimmung von 63,78 %. Dies ergibt eine mittlere Zustimmung pro Item von 2,55 Punkten mit einer Standardabweichung von 0,90 Punkten.

Alle Fragen in diesem Block wurden von allen Versuchspersonen beantwortet. Mit einem Mittelwert von 1,86 (SD = 0,8) gaben die Teilnehmenden an: „Je mehr Informationen ich über die Umwelt bekomme, desto unsicherer fühle ich mich“. Für 16 Personen traf dies gar nicht zu, für 19 kaum, acht fanden es eher zutreffend und nur eine Person fand dies ganz zutreffend. Der Gesamtscore für dieses Item beläuft sich in der Stichprobe auf 82 absolute Punkte, was einer relativen Zustimmung von 46,59 % entspricht.

Die zweite zu bewertende Aussage lautete: „Unsere Nachkommen werden für die Folgen der Umweltbelastung büßen müssen.“ Hier erreicht der Gesamtscore der Stichprobe 134 Punkte, also 76,14 %. Hier lag der Mittelwert bei 3,05 (SD = 0,69) und erzielte dabei insgesamt die höchste Zustimmung von allen Aussagen. Nur drei Versuchspersonen gaben an, dies sei nichtzutreffend. Fünf fanden es kaum zutreffend, während die große Mehrheit mit 23 gezählten Stimmen dies als eher zutreffend einstufte. Die übrigen 13 beschrieben die Aussage als ganz zutreffend.

„Ich habe Angst vor der Zukunft, wenn ich an unsere Umwelt denke“, wurde mit einem Mittelwert von 2,59 (SD = 0,69) beantwortet. Dreimal wurde die Aussage als nichtzutreffend bewertet, 14 weitere Male als kaum zutreffend. Die Mehrheit der Teilnehmenden (25) stufte die Aussage als eher zutreffend ein. Die verbliebenen zwei als ganz zutreffend. In der Gesamtbetrachtung fielen 119 der maximal zu erreichenden Zustimmungspunkte auf dieses Item, eine Quote von 64,77 %.

Die letzte, zu bewertende Aussage in diesem Block lautete: „Die Menschen haben die Kontrolle über die Auswirkung der Technik auf die Umwelt verloren.“ Hier liegen die absoluten Punkte bei 119 beziehungsweise 67,61 %. Der Mittelwert der Zustimmung lag hier bei 2,7 (SD = 0,88). Sechs Versuchspersonen fanden dieses Item nichtzutreffend, sieben weitere kaum zutreffend. Wie bei der vorhergehenden Aussage waren 25 Versuchspersonen bereit die Aussage als eher zutreffend zu bezeichnen, die verbleibenden sechs als ganz zutreffend.

5.1.2 Ergebnisse Fragebogenteil B: Belästigung, Wohlbefinden und Geräuschbewertung

Mithilfe von Teil B des Fragebogens wurden die Belästigung, das Wohlbefinden und die Geräuschbewertung der einzelnen Geräuschszenarien untersucht. Alle Frageblöcke des B-Teils wurden in jedem Szenario wiederholt, sodass zu jedem Szenario der gleiche Datensatz von allen Versuchspersonen vorliegt.

Die Geräuschszenarien sind wie folgt beschrieben (siehe auch Kapitel 3.3):

- ▶ Szenario 1: 3 Hz, amplitudenmoduliert mit 1 Hz, 105 dB
- ▶ Szenario 2: 5 Hz, 105 dB
- ▶ Szenario 3: 10 Hz, 95 dB
- ▶ Szenario 4: 18 Hz, 85 dB
- ▶ Szenario 5: Ruhe

Mögliche Unterschiede zwischen vorbelasteten und nicht vorbelasteten Probandinnen und Probanden wurden in verschiedenen Analysen untersucht. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsgruppen gefunden werden. (s. Anhang D). Infolgedessen wird von nun an die Gesamtgruppe der Teilnehmenden (N = 42) untersucht.

Beurteilung der (antizipierten) Lärmbelästigung durch die Geräuschszenarien

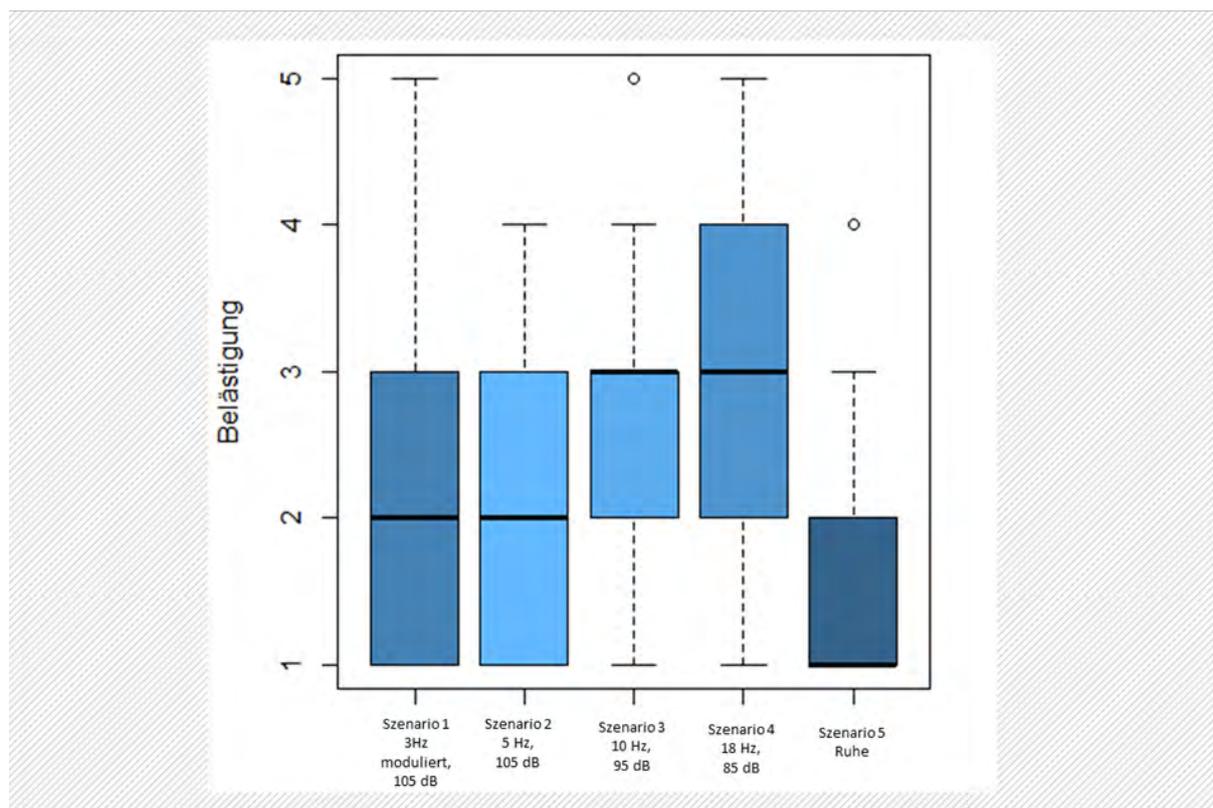
Zu Beginn des B-Teils sollten die Versuchspersonen die Lästigkeit des präsentierten Stimulus beurteilen. Zunächst wurde die Lärmbelästigung in jedem Szenario sowohl auf der fünfstufigen Verbalskala nach ICBEN als auch auf der zehnstufigen numerischen ICBEN-Skala bewertet. In Abbildung 35 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Szenarien 1 und 2 sowie 3 und 4 hinsichtlich ihrer deskriptiven Lagemaße nur wenig unterscheiden.

Die Mittelwerte der Szenarien 1 (M = 2,26; SD = 1,21) und 2 (M = 2,21; SD = 1) liegen nahezu gleichauf. Gleiches gilt für Szenario 3 (M = 2,6; SD = 1,11) und 4 (M = 2,83; SD = 1,27).

Die Lästigkeit in der Ruhebedingung fällt sichtbar geringer aus und liegt mit einem Mittelwert von 1,5 (SD = 0,77) nur sehr knapp über dem Minimalwert der Skala. Die Innersubjekteffekte sind hier signifikant ($F = 13,711$; $p < 0,001$) und relativ stark ($\eta^2 = 0,407$), allerdings nur für die einzelnen Szenarien, nicht für die weiteren geprüften Interaktionen (siehe Anhang D). Es folgt die gleiche Frage, diesmal allerdings bewertet auf der elfstufigen numerischen Skala nach ICBEN-Empfehlung (Abbildung 36). Erwartungsgemäß gibt es hier keine bedeutenden Unterschiede im Vergleich zur vorausgehenden Frage. Die im Vergleich zur Verbalskala etwas stärker ausgeprägten Varianzunterschiede zwischen den Szenarien lassen sich auf die feinstufigere Skala zurückführen.

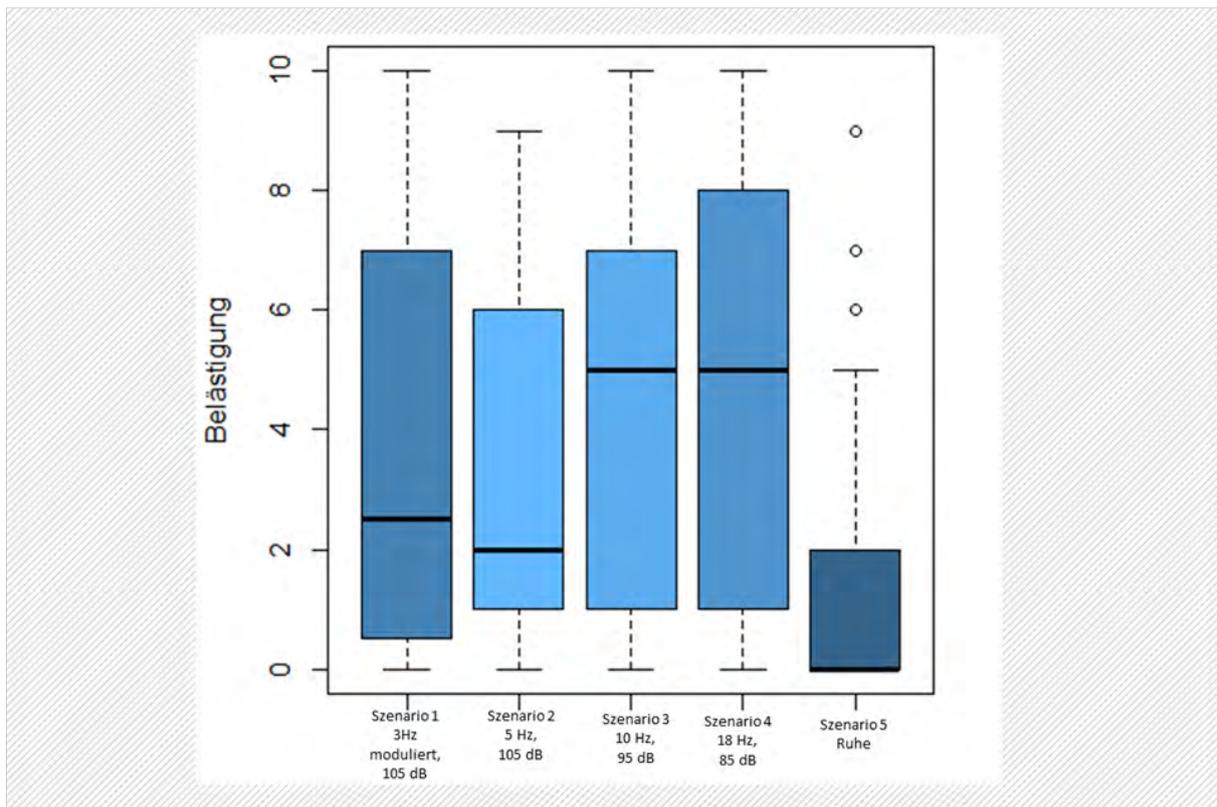
Szenario 1 und 2 liegen nach wie vor bei der fünfstufigen Belästigungsskala sehr nah beieinander (Szenario 1: M = 3,62; SD= 3,44, Szenario 2: M = 3,24; SD = 2,93), gleiches gilt für die Szenarien 3 und 4 (Szenario 3: M = 4,40; SD= 3,1, Szenario 4: M = 4,71; SD = 3,62). Wie schon in der Bewertung mit der Verbalskala liegt der Mittelwert nur knapp über dem Nullpunkt der Skala (M = 1,38, SD = 2,24). Die Signifikanztests zeichnen ebenfalls ein Bild, das stark an die Ergebnisse des vorhergehenden Items erinnert: Wieder sind die Innersubjektunterschiede zwischen den Szenarien hoch signifikant ($F = 12,638$; $p < 0,001$), die anderen Interaktionen bleiben unauffällig. Obwohl der gemessene Effekt weniger deutlich ausfällt als zuvor, lässt sich insgesamt von einem wiederum mittleren, fast starken Effekt sprechen ($\eta^2 = 0,387$).

Abbildung 35: Lärmbelastigung der fünf Szenarien in der Laborsituation, abgetragen auf der fünfstufigen Verbalskala nach ICBEN



Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 36: Lärmbelastigung der fünf Szenarien in der Laborsituation, abgetragen auf der elfstufigen Verbalskala nach IC BEN



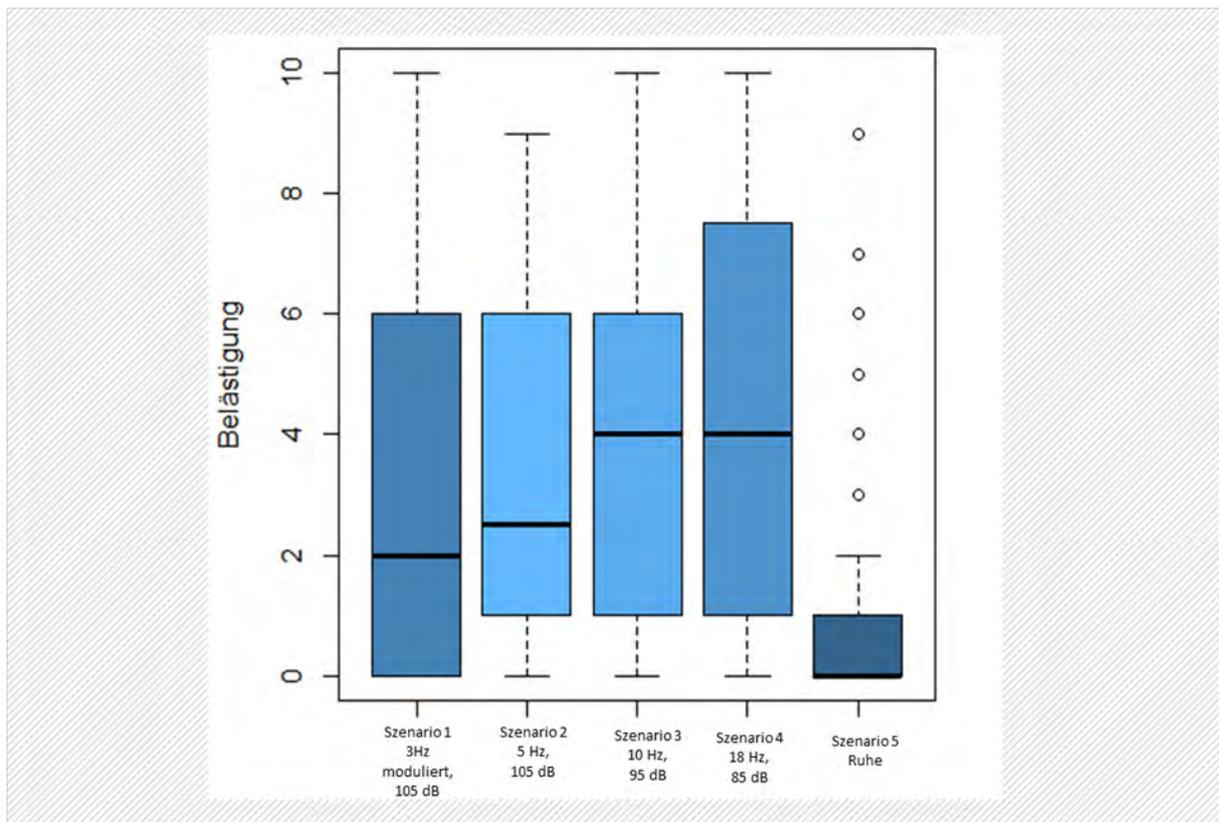
Quelle: eigene Berechnung

Im Folgenden wurden drei weitere Male die elfstufigen numerischen IC BEN-Skalen abgefragt. Die Teilnehmenden wurden für die Bewertung dieser Items gebeten einzuschätzen, wie lästig das präsentierte Szenario je nach Tageszeit ist. Drei hypothetische Zeiträume wurden hierfür gewählt: 06:00 bis 18:00 Uhr, 18:00 bis 22:00 Uhr und 22:00 bis 06:00 Uhr.

In Abbildung 37 ist zu beobachten, dass die Szenarien als unterschiedlich lästig eingestuft werden. Die Mittelwerte offenbaren einen sukzessiven Anstieg der wahrgenommenen antizipierten Lärmbelastigung für die Tageszeit 6-18 Uhr über die Szenarien hinweg. Dies entspricht den Ergebnissen, dass tendenziell mit Zunahme der Frequenz die antizipierte empfundene Lärmbelastigung steigt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte zu den Bedingungen in Tabelle 8 aufgeführt.

Abbildung 37: Antizipierte Lärmbelästigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches zwischen 06:00 und 18:00 Uhr

Bedingung: Das Geräusch tritt zwischen 6-18 Uhr auf



Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 8: Antizipierte Lärmbelästigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum 06:00 bis 18:00 Uhr

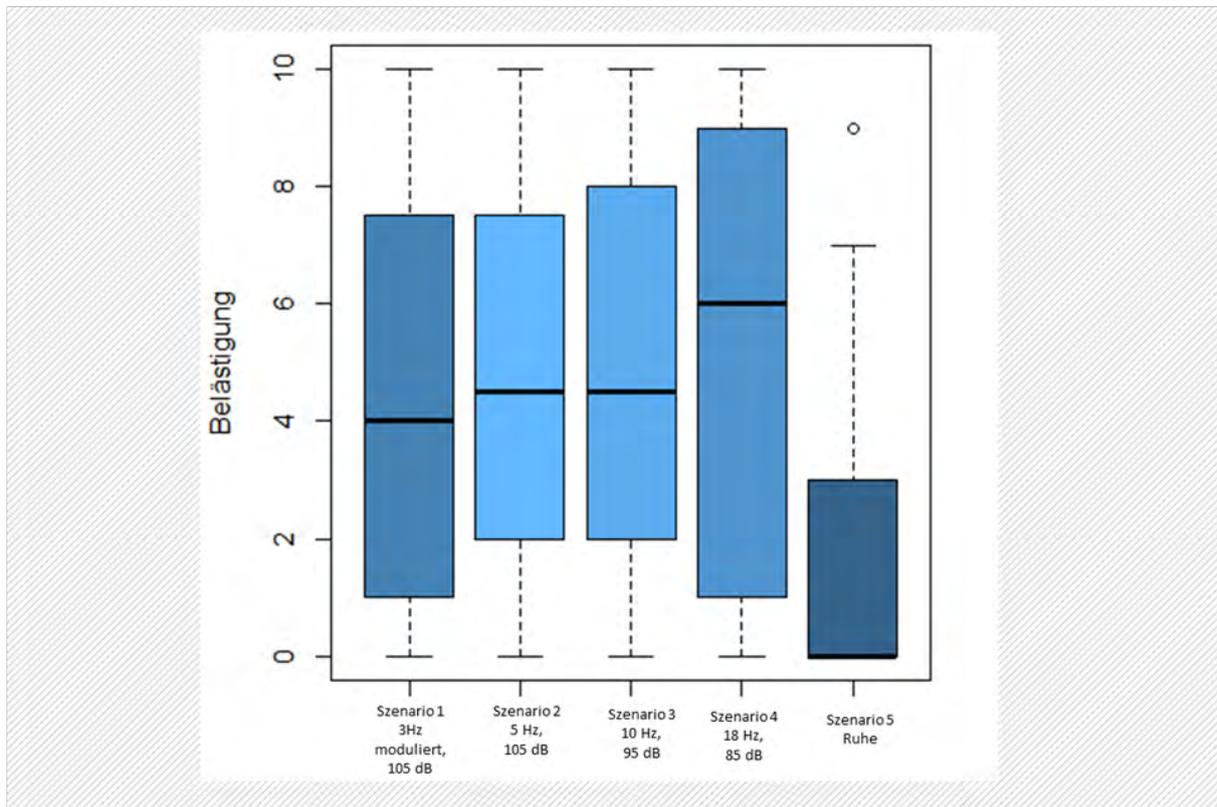
	Szenario 1 3 Hz, moduliert 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Lärmbelästigung 06:00 – 18:00 Uhr M ± SD)	3,40 (±3,3)	3,33 (±2,91)	4,12 (±3,25)	4,50 (±3,59)	1,21 (±2,24)

Mittelwerte der elfstufigen ICBEN-Skala (M) und Standardabweichungen (SD)

Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind je Testperson erneut hoch signifikant ($F = 19,740$; $p < 0,001$). Die Effektstärken sind stark ($\eta^2 = 0,497$) und die stärksten über alle Skalen zur Lärmbelästigung (Fragenblock 7) gemessenen Effekte. Als nächstes folgte die elfstufige Bewertung der Lästigkeit unter der hypothetischen Annahme, die Geräusche würden zwischen 18:00 und 22:00 Uhr auftreten (Abbildung 38).

Abbildung 38: Antizipierte Lärmbelastigung der fünf Szenarien bei Auftreten des Geräusches zwischen 18:00 und 22:00 Uhr

Bedingung: Das Geräusch tritt zwischen 18-22 Uhr auf



Quelle: eigene Berechnung

Die Mittelwerte zeigen hier eine stetig ansteigende Tendenz im Lästigkeitsempfinden (vgl. Tabelle 9). Wie bereits zuvor festgestellt, sind die Unterschiede zwischen den Szenarien signifikant ($F = 15,518$; $p < 0,001$) und der Effekt stark ($\eta^2 = 0,437$). Alle anderen Interaktionen zeigen auch hier keine Signifikanz.

Tabelle 9: Antizipierte Lärmbelastigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum 18:00 – 22:00 Uhr

	Szenario 1 3 Hz, moduliert 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Lärmbelastigung 18:00 – 22:00 Uhr M ± SD)	4,29 (±3,5)	4,60 (±3,4)	5,10 (±3,33)	5,36 (±3,84)	1,48 (±2,36)

Mittelwerte der elfstufigen ICBEN-Skala (M) und Standardabweichungen (SD)

Die letzte Skala zur Belästigung der verschiedenen Szenarien sollte unter der Prämisse bewertet werden, dass das Geräuschszenario in der Zeit zwischen 22:00 und 06:00 Uhr, also nachts, auftritt. In Tabelle 10 sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der verschiedenen Lästigkeitsurteile für die fünf Szenarien abgetragen (vgl. Abbildung 39). Auch hier sind die Unterschiede zwischen den Szenarien signifikant ($F = 16,645$; $p < 0,001$) und die Effekte sind stark ($\eta^2 = 0,454$).

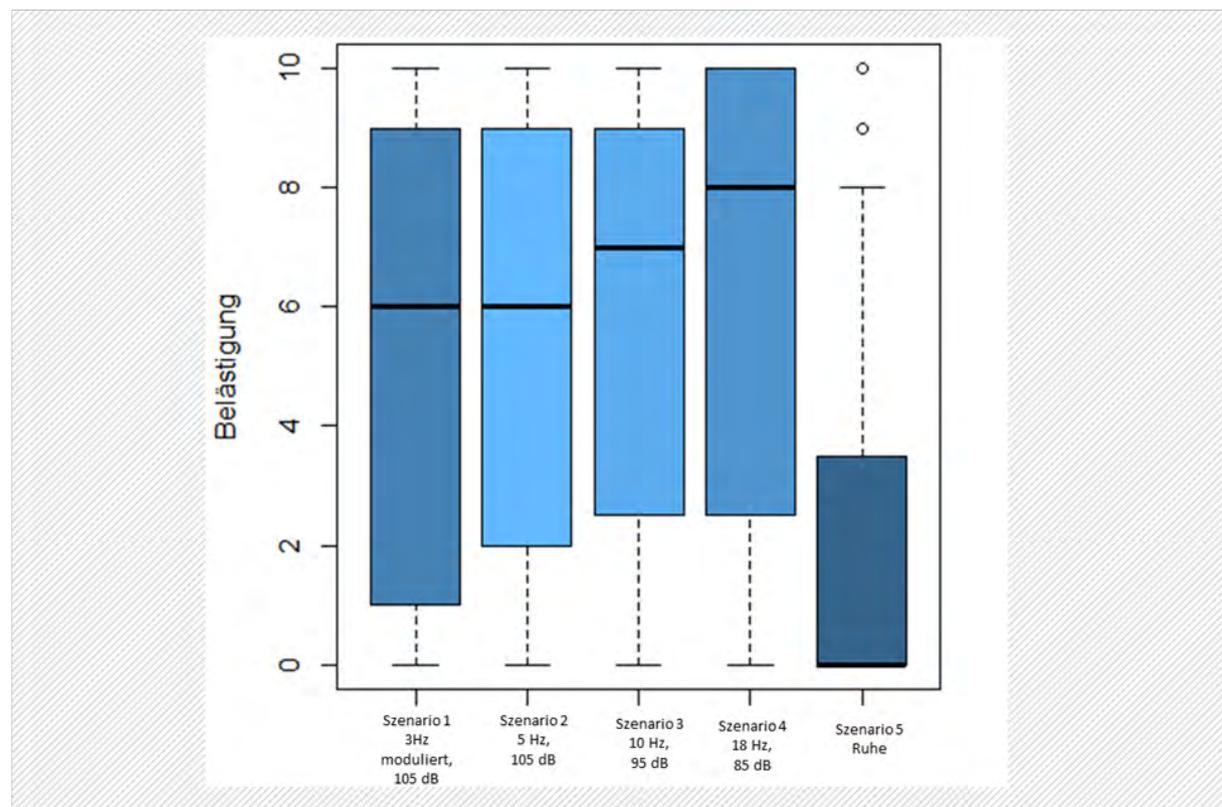
Tabelle 10: Antizipierte Lärmbelastigung durch die verschiedenen Szenarien bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum 22:00 – 06:00 Uhr

	Szenario 1 3 Hz, modu- liert 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Lärmbelastigung 22:00 – 06:00 Uhr M ± SD)	5,14 (±3,89)	5,52 (±3,72)	6,07 (±3,61)	6,45 (±3,96)	1,98 (±3,05)

Mittelwerte der elfstufigen ICBEN-Skala (M) und Standardabweichungen (SD)

Abbildung 39: Antizipierte Lärmbelastigung durch die verschiedenen Szenarien, abgetragen auf der elfstufigen Verbalskala nach ICBEN, bei Auftreten des Geräusches im Zeitraum von 22:00 bis 06:00 Uhr

Bedingung: Das Geräusch tritt zwischen 22-6 Uhr auf



Quelle: eigene Berechnung

Wahrnehmung der Geräuschszenarien

Im achten Block des Fragebogens schloss sich eine Auswahlfrage zur Geräuschwahrnehmung an. Die Teilnehmenden gaben hier anhand von Ja-/Nein-Fragen an, ob (sie)

1. etwas mit den Ohren hören können,
2. es mit den Ohren wahrnehmen können, aber nicht als Geräusch,
3. Vibrationen im Gebäude und anderen Objekten spüren können,
4. Vibrationen an verschiedenen Stellen ihres Körpers spüren können,
5. nichts davon zutrifft, aber das Geräusch sie auf eine andere Art beeinflusst und Unwohlsein auslöst,
6. nichts wahrnehmen.

Mehrfachnennungen waren möglich, das heißt, die Teilnehmenden mussten sich nicht für eine der Optionen entscheiden, sondern konnten in jedem Szenario mehrere Optionen auswählen.

Insgesamt konnte der Großteil der Testpersonen die vier Infraschallsszenarien eindeutig von der Ruhe unterscheiden. Vereinzelt wurde jedoch auch während des Ruheszenarios von einer Wahrnehmung berichtet.

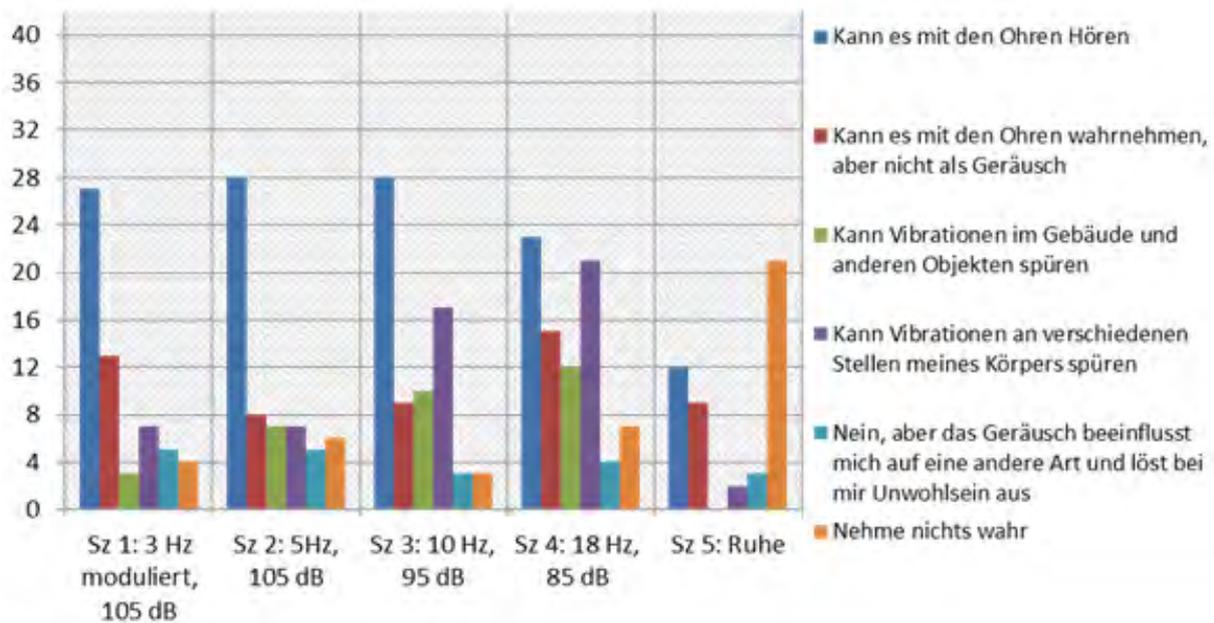
Obwohl in allen Szenarien (mit Ausnahme der Ruhebedingung) Infraschall synthetisiert wurde, der per Definition unterhalb des hörbaren Bereichs liegt, gibt die Mehrzahl der Teilnehmenden an, etwas mit den Ohren hören zu können. Vor allem in den Szenarien drei und vier gaben die Teilnehmenden außerdem vermehrt an, Vibrationen wahrgenommen zu haben. Dieses Item erzielt in den beiden Szenarien die zweithöchste absolute Anzahl von Nennungen.

Beide Beobachtungen erscheinen im Hinblick auf die theoretischen Vorüberlegungen nicht überraschend und bestätigen die Vermutung, dass die Präsentation der Szenarien trotz Infraschall im Wesentlichen über die Ohren der Teilnehmenden wahrgenommen wird, obwohl bei den Pegeln etwas über der Hörschwelle auch Vibrationen wahrgenommen werden könnten. So beschreibt schon Landström (1987) in einer Zusammenfassung verschiedener Infraschallexperimente, dass die Versuchspersonen „sanfte Pulse“ und „flattern“ (S.30), manchmal auch „Druck“ (zum Beispiel B. Møller, 1984, S. 9) über die Ohren wahrnehmen³. Es ist aber anzunehmen, dass diese „Geräusche“ eher auf Oberschwingungen innerhalb des Ohres als eine Wahrnehmung des Schalls zurückzuführen sind. Große individuelle Unterschiede in den Hörschwellen lassen an dieser Stelle jedoch keine genaue Abgrenzung zu.

Im neunten Block des Fragebogens wurden die dargebotenen Geräusche von den Teilnehmenden hinsichtlich ihrer Wahrnehmung charakterisiert. Zunächst gaben die Probandinnen und Probanden anhand der elfstufigen numerischen ICBEN-Skala an, wie laut sie das dargebotene Geräusch auf einer Skala von „überhaupt nicht hörbar“ bis „äußerst laut“ wahrnahmen.

³ Moeller H., Pedersen C.S.; *Hearing at Low and Infrasonic Frequencies*, Noise and Health 2004, 6; 23 37-57

Abbildung 40: Absolute Nennungen zur Wahrnehmung der Geräuschszenarien



Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 11: Bewertung der Lautheit der Szenarien

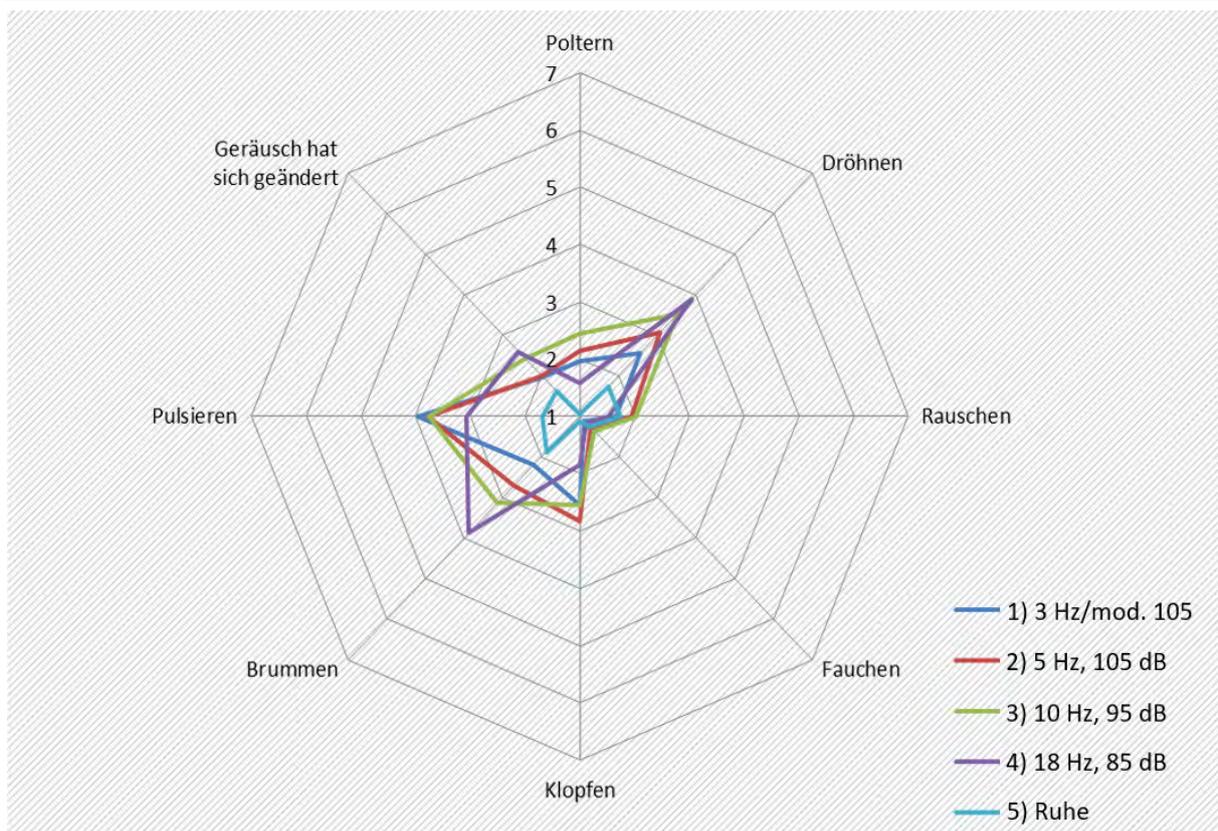
	Szenario 1 3 Hz, modu- liert 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Bewertung der Lautheit (M ± SD)	3,07 (±2,83)	3 (±2,42)	3,89 (±2,63)	3,80 (±2,95)	1,32 (±1,91)

Mittelwerte der elfstufigen ICBEN-Skala (M) und Standardabweichungen (SD)

Mit einer mittleren Bewertung von 3,9 (±2,6) Skalenpunkten wurde das Szenario 3 als am lautesten bewertet. Szenario 4 wurde mit im Mittel 3,8 (±3,0) Skalenpunkten als nur geringfügig leiser wahrgenommen. Die Unterschiede der Lautheitsempfindung innerhalb der Versuchspersonen sind, wie schon in Block 7 beschrieben, lediglich von Szenario zu Szenario signifikant unterschiedlich ($F = 10,550$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,345$), weitere signifikante Interaktionen, etwa mit der Reihenfolge oder der Vorbelastung, liegen nicht vor (siehe auch Anhang D).

Im nächsten Teil des neunten Blocks wurden sieben Klangcharakteristika auf einer siebenstufigen Skala von ,1 = stimme nicht zu' bis ,7 = stimme voll zu' bewertet. Die abgefragten Charakteristika waren: Poltern, Dröhnen, Rauschen, Fauchen, Klopfen, Brummen, Pulsieren und „Geräusch hat sich geändert“. Alle Mittelwerte der jeweiligen Kategorien sind im Netzdiagramm in Abbildung 41 aufgeführt.

Abbildung 41: Geräuschbewertungen aus Frageblock 9 (Mittelwerte)



Quelle: eigene Berechnung

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse stechen besonders die Begriffe „Dröhnen“, „Brummen“ und „Pulsieren“ als auffällige Charakteristika hervor. Das Merkmal „Dröhnen“ ist bei allen Infraschall-Szenarien (Szenarien 1-4) deutlich ausgeprägt. Während die Szenarien 1 bis 3 zudem einen deutlichen Ausschlag des Merkmals „Pulsieren“ zeigen, wird dem Szenario 4 stattdessen deutlicher das Merkmal „Brummen“ zugeschrieben. Insgesamt weisen diese drei Merkmale bei allen Szenarien die stärkste Ausprägung auf, die Mittelwerte erreichen hier $\geq 3,5$ Skalenpunkte. Für die Ruhebedingung tritt hingegen keines der Merkmale wesentlich hervor, die höchste Ausprägung wird hierbei mit 1,9 Skalenpunkten für das Merkmal „Brummen“ erreicht.

Die statistische Analyse zeigt für mehrere Innersubjekteffekte einen signifikanten Unterschied („Poltern“ ($F = 6,079$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,242$), „Dröhnen“ ($F = 9,938$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,332$), „Klopfen“ ($F = 13,279$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,411$), „Brummen“ ($F = 8,336$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,294$) und „Pulsieren“ ($F = 9,396$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,320$)). Jedoch zeigte nur das „Klopfen“ einen starken Effekt.

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Blöcken sind in den Geräuschbewertungen auch einige signifikante Interaktionseffekte zu beobachten. So ist für „Fauchen“ neben oder oben genannten aufgefunden Interaktion von Versuchspersonen und Szenarien zusätzlich die Interaktion von Szenario und Vorbelastung signifikant ($F = 1,914$; $p = 0,052$; $\eta^2 = 0,171$). Die Interaktion von Szenario und der Szenarienreihenfolge weist in der Bedingung „Klopfen“ zwar anfänglich auf eine Signifikanz hin, nach der Bonferroni-Korrektur (aufgrund multiplen Testens) ließ sich diese jedoch nicht bestätigen.

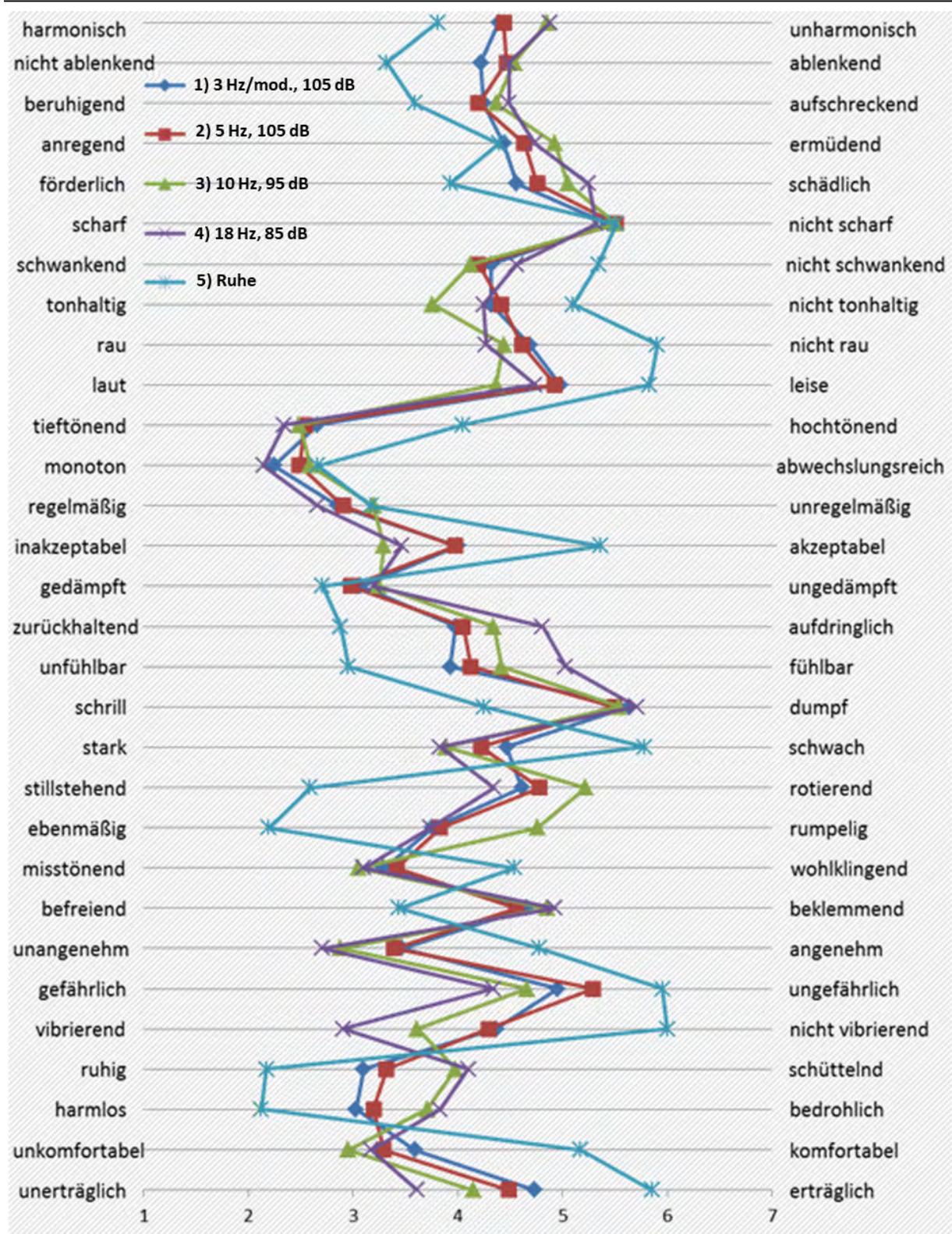
Neben den genannten Geräuscheigenschaften wurden die Teilnehmenden außerdem gebeten zu bewerten, ob über den Expositionszeitraum hinweg eine Veränderung des Geräuschs wahrgenommen wurde. Im Anschluss an die Befragung sollte diese Veränderung genauer beschrieben werden. Hierbei bestand neben den im Fragebogen genannten Merkmalen auch die Möglichkeit, weitere Begriffe vorzuschlagen.

Der letzte Teil des neunten Blocks bestand aus einem semantischen Differenzial (Polaritätsprofil)⁴ mit 30 einzelnen Merkmalen des Geräuschempfindens, die ebenfalls für jedes Szenario bearbeitet wurden. Abbildung 42 zeigt das Polaritätsprofil. Die Auswertung erfolgte auf Itemebene (Ebene der einzelnen Merkmale).

Die Auswertung des semantischen Differenzials ergab signifikante innersubjektive Unterschiede zwischen den Szenarien. Die Ruhebedingung (Szenario 5, blau) unterscheidet sich dabei deutlich von den übrigen Szenarien. Die vier Infraschall-Szenarien (Szenarien 1-4) zeigen hingegen ähnliche Bewertungen der verschiedenen Merkmale (zu den inferenzstatistischen Parametern der Signifikanzprüfung siehe Anhang D).

⁴ Semantisches Differenzial (oder Polaritätsprofil): Ein Skalierungsverfahren, bei dem Begriffe auf einer Reihe von siebenstufigen Rating-Skalen bewertet werden, die jeweils mit bipolaren Begriffspaaren (zum Beispiel „warm – kalt“, „rund – eckig“) gekennzeichnet sind.

Abbildung 42: Polaritätsprofil der semantischen Differenziale zum Geräuschempfinden (Fragenblock 9, Mittelwerte)

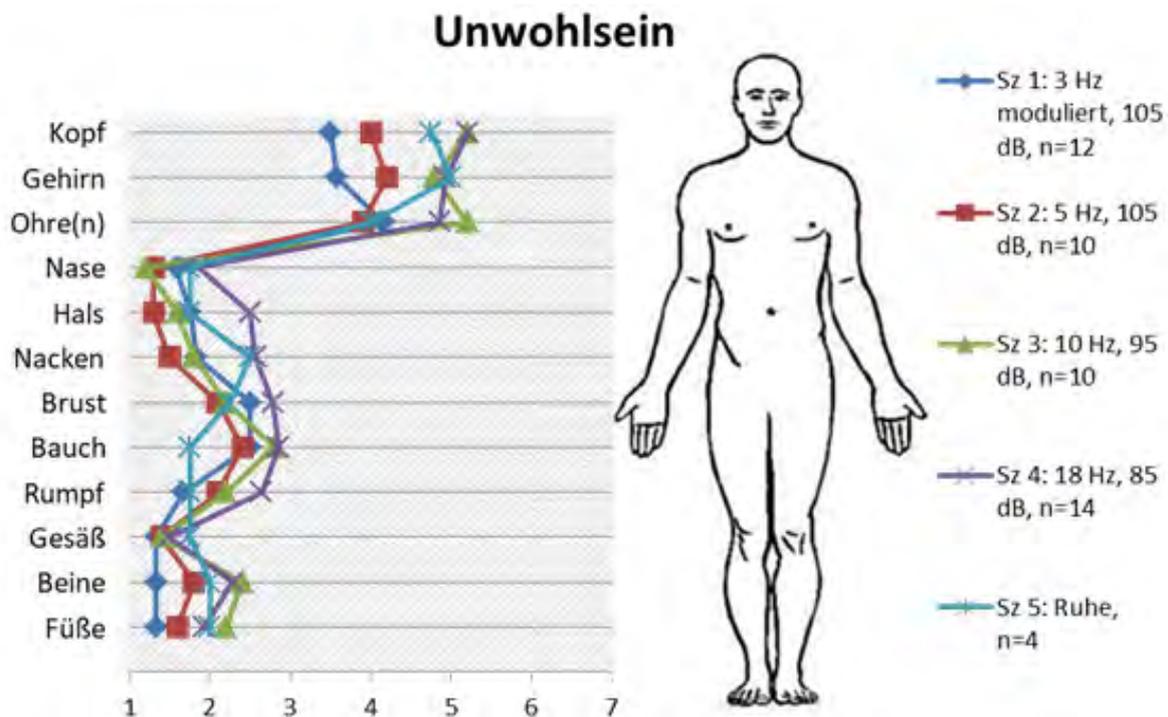


Quelle: eigene Berechnung

In drei Frageblöcken wurde abgefragt, ob während der Geräuschpräsentation Unwohlsein, Vibration oder Druck wahrgenommen wird. Nur wenn eine dieser Fragen mit „ja“ beantwortet wurde, sollten die Versuchspersonen für vorgegebene Körperstellen angeben, an welchen sie dies wahrnehmen, und zudem die Intensität der Wahrnehmung bewerten (von ,1 = kein Druck/Unwohlsein/Vibration‘ bis ,7 = starker Druck/Unwohlsein/Vibration‘, vgl. Abbildung 43, Abbildung 44, Abbildung 45). Die Filterung wurde eingesetzt um eine angemessene Zeitdauer der Beantwortung der Fragen zu wahren und eine Überforderung der Befragungspersonen zu verhindern. Jedoch hatte die Filterung zur Folge, dass die Anzahl der Antworten für diese Items geringer war, da nur ein Teil der Gesamtstichprobe (N = 44) die Fragen zum Unwohlsein und zur Wahrnehmung von Vibration und Druck beantworteten (N_{min} = 4; N_{max} = 30). Auf diese Weise wurde zwar herausgefunden, dass Vorbelastete und nicht Vorbelastete sich in ihren Angaben nicht unterscheiden (vgl. Anhang D). Eine Signifikanzprüfung des Effekts der verschiedenen Szenarien auf die Beurteilung war allerdings nicht möglich, da die Anzahl der Antworten für diese drei Fragenblöcke nicht ausreichte, um die Ergebnisse der inferenzstatistischen Analysen zu interpretieren. Deshalb werden bei diesen drei Fragenblöcken zu den Unterschieden zwischen den Szenarien nur die deskriptiven Ergebnisse dargestellt. Es zeigt sich, dass Unwohlsein, Vibration und Druck im Wesentlichen in den Körperpartien Kopf, Gehirn und Ohren wahrgenommen werden (zwischen 3,5 und 5,5 Skalenpunkte). Zwar wird auch die Wahrnehmung im Brust- und Bauchbereich genannt, jedoch ist diese mit 2-3 Skalenpunkten deutlich schwächer ausgeprägt. Es fällt auf, dass in allen Geräuschszenarien das Vibrations- und Druckgefühl mit dem empfundenen Unwohlsein korreliert. Ein stärkeres Vibrations- oder Druckempfinden in der Kopfregion steht somit in direktem Zusammenhang mit einem stärkeren Unwohlsein und damit der Lästigkeit des Geräuschs.

Abbildung 43: Wahrnehmung von Unwohlsein in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien

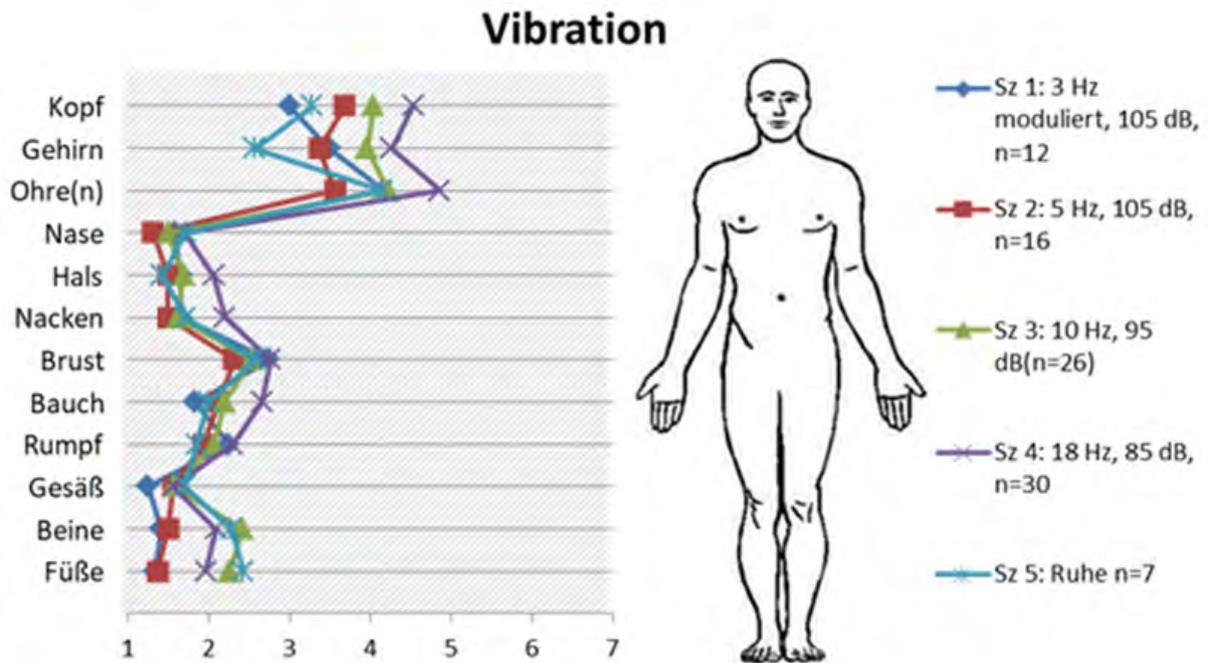
1 = kein – 7 = starkes Unwohlsein



Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 44: Wahrnehmung von Vibration in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien

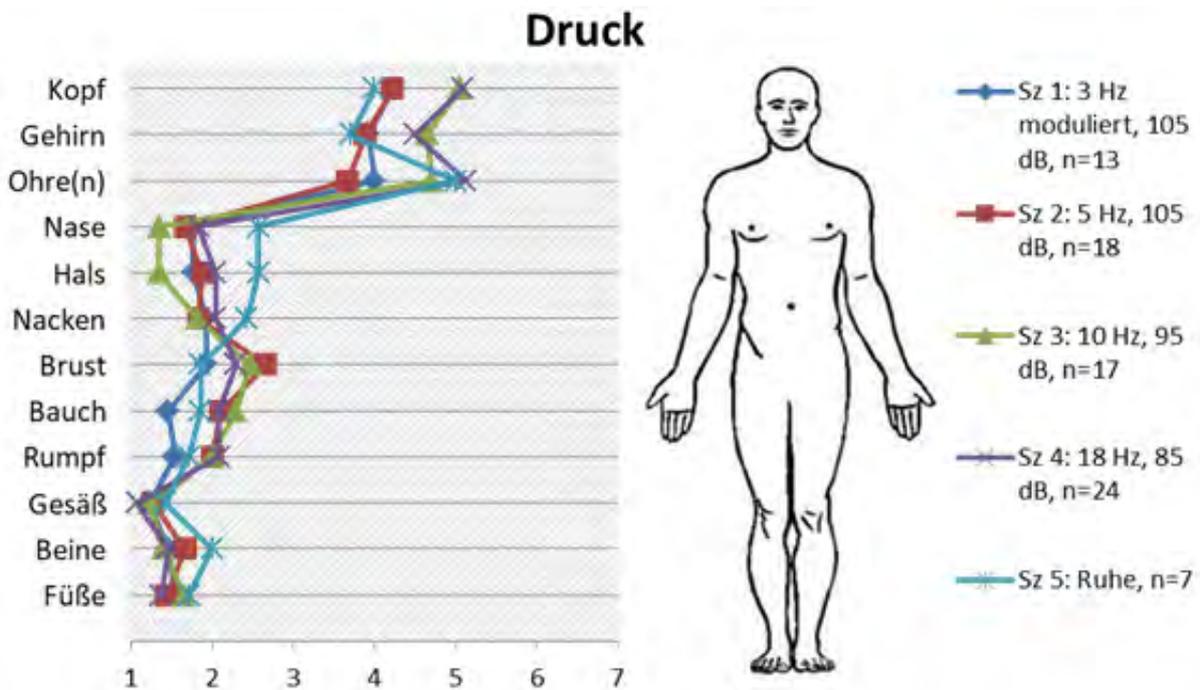
1 = keine – 7 = starke Vibration



Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 45: Wahrnehmung von Druck in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien

1 = kein – 7 = starker Druck



Quelle: eigene Berechnung

5.1.3 Ergebnisse Fragebogenteil C: ... Zu guter Letzt

Offene Vorstellungen, Meinungen zu Infra- und tieffrequentem Schall

Block 16 beinhaltet insgesamt acht Fragen zum allgemeinen Verständnis der Versuchspersonen zu Infra- und tieffrequentem Schall. Sechs der Fragen wurden offen gestellt, sodass die Teilnehmenden nicht durch eine Auswahlliste in ihren Antworten beeinflusst wurden oder die Fülle der Antworten verknappt wurde. Mit den verbleibenden zwei Fragen wurde abgefragt, welche Informationsquellen die Teilnehmenden nutzen, um sich über Infraschall beziehungsweise tieffrequenten Schall zu informieren, und beinhalteten sowohl eine Auswahl an Informationsalternativen als auch Platz für offene Nennungen von weiteren Alternativen.

Zunächst wurden die Teilnehmenden gefragt, was sie unter Infraschall verstehen und was ihnen spontan dazu einfällt. Die Antworten wurden auf Schlagwörter hin untersucht. Schlagwörter, die häufig genannt wurden, und solche, die in Anlehnung an die Studie von Bedeutung sind, wurden extrahiert und gezählt. Die Schlagwörter und die Anzahl der Nennungen sind in Tabelle 12 zu finden. Antworten, die zwei und mehr Stichworte enthalten, wurden in beiden Kategorien erfasst. Von 44 Personen wurden 53 Nennungen extrahiert.

Tabelle 12: Verständnis des Begriffs „Infraschall“

Frage „Was verstehen Sie unter dem Begriff ‚Infraschall‘?“

Eigenschaft	niedrige Frequenz	tieftönend	spürbar	körperliche Wahrnehmung	hörbar	nicht hörbar	Druck und/ oder Vibrationen und/ oder Unwohlsein	(negative) gesundheitliche Auswirkungen
Anzahl der Nennungen	10	8	2	8	6	9	8	2

Neben den zwei vor allem auf negative gesundheitliche Konsequenzen bezogenen Aussagen und einer weiteren Nennung in Bezug auf Unwohlsein beinhalten die übrigen Nennungen der Untersuchungsteilnehmenden zu ihrem grundsätzlichen Verständnis weitgehend Beschreibungen des Infraschalls und seiner Wahrnehmbarkeit.

Aus den Aussagen zum Begriff „Infraschall“ ergibt sich, dass die Untersuchungspersonen teilweise Infraschall, tieffrequenten Schall und hochfrequente Geräusche miteinander verwechseln, zum Beispiel:

- ▶ „hochton- oder dumpfttonfrequenzartige Geräusche“;
- ▶ „Unter Infraschall verstehe ich leise Geräusche beziehungsweise Töne mit Wirkung auf den Organismus beziehungsweise, Psyche. In hohen oder tiefen K(l)anlagen“;
- ▶ „Schallwellen, tief/dunkel & hoch/hell“

Viele weitere Aussagen und Anmerkungen beziehen sich zudem auf potenziell körperlich wahrnehmbare Auswirkungen von Infraschall, entsprechend häufig finden sich auch Schlüsselworte wie „körperlich“, „Wahrnehmung“, „Vibration/Druck/Unwohlsein“ und „spürbar“. Diese bleiben aber größtenteils wertfrei in Bezug auf persönliche Wahrnehmung oder subjektiv empfundene Schädlichkeit.

Die nächste Frage zur freien Nennung war, welche Geräuscheigenschaften die Versuchspersonen Infraschall zuschreiben würden. Wieder wurden die Inhalte auf Schlagworte hin untersucht, die oft genannt wurden, und solche, die bereits in Block 9 „Geräuschbewertung“ abgefragt wurden. Von den Angaben der 44 Teilnehmenden wurden mehr als 60 Einzelaussagen extrahiert, oft genannte oder anderweitig relevante Aussagen werden nachfolgend kurz beschrieben und aufgezählt.

Tabelle 13: Geräuscheigenschaften von Infraschall

Frage „Welche Geräuscheigenschaften würden Sie Infraschall zuschreiben?“

Eigen-schaft	dröh-nen	rau-schen	brum-men	pfeifen	wum-mern	dumpf	mono-ton	leise	sons-tige
Anzahl der Nennungen	4	2	6	1	4	7	4	6	26

Aus den bereits in Block 9 des Fragebogens (Geräuschbewertung) aufgeführten Merkmalen wurden von den Versuchspersonen nur vier frei genannt: „Dröhnen“, „Rauschen“, „Brummen“ und „Pfeifen“. Die meisten der Nennungen aus den vorherig genannten erzielt „Brummen“ mit insgesamt sechs Aufzählungen, „Pfeifen“ wird nur einmal genannt.

Die frei genannten Eigenschaften werden insgesamt häufiger genannt. Die insgesamt am meisten genannte Geräuscheigenschaft ist „dumpf“ mit sieben Nennungen, gefolgt von „leise“ mit insgesamt sechs. Vereinzelt genannte weitere Eigenschaften unter „sonstige“ sind „surren“, „drücken“ und „grummeln“.

In den Nennungen zu den Geräuscheigenschaften von Infraschall ist die negative Assoziation mit Infraschall insgesamt präsenter. Drei Versuchspersonen schildern Gefahr- oder Fluchtreflexe, insgesamt sind acht der Aussagen hier negativ konnotiert, neben Gefahr und Flucht finden sich darunter dreimal diffuse Unwohlseinszuschreibungen, einmal Irritation und einmal ein „attackierender“ Eindruck. Drei Aussagen beschreiben Infraschall als nicht wahrnehmbar oder neutral.

Die letzte offene Frage, die sich in diesem Block konkret auf Infraschall bezieht, lautet: „Was glauben Sie: Welche Wirkung hat Infraschall Ihrer Meinung nach auf den Menschen?“ Eine Untersuchungsperson nahm keine Eintragung vor, die Aussagen von zwei weiteren Personen waren inhaltlich nicht zu verstehen, sodass hier eine Zusammenfassung beziehungsweise Kategorisierung nicht möglich war. Somit verbleiben Aussagen von 41 Personen zur Analyse.

Tabelle 14: Vermutete Wirkungen von Infraschall auf den Menschen

Frage: „Was glauben Sie: Welche Wirkungen hat Infraschall Ihrer Meinung nach auf die Menschen?“

Vermutete Wirkung	keine Auswirkung	unspezifischer negativer Einfluss	neutraler Einfluss (in Abhängigkeit vom Individuum/Dauer/ Intensität)	physische Beschwerden	psychische und kognitive Beschwerden	Störung allgemein	weitere Beschwerden (Schlafstörung, Unwohlsein)
Anzahl der Nennungen	2	4	3	6	12	6	10

Dieses Item bringt die mit Abstand höchste Zahl an negativ konnotierten Aussagen hervor. Die weit überwiegende Mehrheit der Versuchspersonen erwartet negative gesundheitlich Auswirkungen und/oder kognitive Defizite sowie psychische Störungen (z. B. Depression und Angststörung). Dies bezieht sich sowohl auf die kurzfristige als auch die langfristige Infraschallexposition. Viele Nennungen sprechen von Störung im Allgemeinen. Insgesamt ist die Fülle an vermuteten Symptomen sehr hoch.

Vor allem psychische Erkrankungen werden auf Infraschall zurückgeführt. Insgesamt finden sich in Aussagen sehr viele Nennungen von Einzelsymptomen, ebenso auch unspezifisch gehaltene Aussagen oder solche, die sich in keine der genannten Kategorien einordnen lassen, wie „Aggressivität“, „Bedrohung“ und „Ablenkung“. Mehrmals kam es zu allgemein gehaltenen Aussagen wie „macht krank“. Lediglich eine Aussage kann als insgesamt positiv in Bezug auf die Fragestellung interpretiert werden, wobei Infraschall hierbei als „beruhigend und positiv“ dargestellt wurde.

Die abschließende Frage zum Infraschall galt der Informationsbeschaffung und lautete: „Wie informieren Sie sich über Infraschall?“. Zur Auswahl standen die Antworten „Fernsehen“, „Zeitung“, „Internet“, „Radio“, „Familie/Freunde/Bekannte“ und „sonstige, und zwar“. Mehrfachnennungen waren möglich.

13 Personen gaben an, sie beschafften sich Informationen aus Fernsehen und Zeitung, 33 aus dem Internet, zwei aus dem Radio und zwölf über Familie, Freunde und Bekannte. Unter „sonstige“ wurden außerdem Bücher und Bibliotheken, Behörden, Gutachter, Universitäten und Selbstversuche genannt.

Die Untersuchungsteilnehmenden wurden außerdem gebeten, die Fragen, die sie bereits zuvor in Block 16 zum Infraschall beantwortet hatten, noch einmal in Bezug auf tieffrequenten Schall zu beantworten. 41 gültige Aussagen zum Verständnis von tieffrequentem Schall wurden extrahiert, wobei von den 44 Personen zwei keine Angabe machten und eine weitere angab, dass Infraschall und tieffrequenter Schall das Gleiche seien.

Bei der Analyse der Antworten wird deutlich, dass den Untersuchungspersonen eine Unterscheidung von Infraschall und tieffrequentem Schall kaum möglich erscheint. Hier kommt es zu vielen Verwechslungen. Über Begriffe wie „Amplitude“, „Frequenz“, „Schwingung“ und „Hertz“ besteht ein sehr unterschiedliches Verständnis.

Tabelle 15: Verständnis des Begriffs „tieffrequenter Schall“

Frage: "Was verstehen Sie unter tieffrequentem Schall?"

Eigenschaft	hörbar	nicht hörbar	Bass	Druck und/oder Vibrationen und/oder Unwohlsein	niedrige Frequenz, tiefer Ton, dunkler Ton	keine Angabe/ weiß nicht
Anzahl der Nennungen	6	1	2	2	13	2

Am häufigsten genannt werden eine niedrig frequente, tiefe oder auch „dunkle“ Klangcharakteristik. Drei weitere Personen äußern Assoziationen mit Schiffen, dem Meer oder Erdbeben, was sich nicht eindeutig einer Kategorie zuordnen lässt.

Entsprechend dem vorhergehenden Teil zu Geräuscheigenschaften von Infraschall wurde auch zu tieffrequentem Schall gefragt, welche Geräuscheigenschaften ihm die Teilnehmenden zuschreiben. 44 Personen gaben hierzu Antwort, drei Versuchspersonen teilten dabei mit, nichts darüber zu wissen, drei weitere verwiesen lediglich auf die gleiche Frage zu Infraschall. Damit verbleiben 38 Aussagen zur Analyse. Zur Vergleichbarkeit wurden hier die gleichen Kategorien gebildet wie in der korrespondierenden Frage zum Infraschall. Es wird deutlich, dass die Teilnehmenden bei Infra- und tieffrequentem Schall sehr ähnliche Eigenschaften nennen. Dies deutet erneut daraufhin, dass es den Probandinnen und Probanden schwerfällt, eindeutig zwischen Infraschall und tieffrequentem Schall zu unterscheiden.

Tabelle 16: Geräuscheigenschaften von tieffrequentem Schall

Frage „Welche Geräuscheigenschaften würden Sie tieffrequentem Schall zuschreiben?“

Eigenschaft	dröhnen	rauschen	brummen	pfeifen	wummern	dumpf	monoton	leise
Anzahl der Nennungen	6	0	12	0	2	4	2	2

In der offenen Befragung werden außerdem Assoziationen mit Windkraftanlagen, Autos, LKW, Waschmaschinen und Musikanlagen – meist in Kombination mit Bass – genannt. Zwei Versuchspersonen gaben außerdem an, es handle sich um besonders hohe Töne. Zweimal wurden Herzrhythmusstörungen genannt, zwei weitere Male allgemeine Krankheitszuschreibungen.

In der dritten und letzten offenen Frage zu tieffrequentem Schall wurden die Auswirkungen auf Menschen erfragt. 43-mal wurde die Frage beantwortet, davon verwiesen sechs Antworten lediglich auf die bereits zu Infraschall getätigten Aussagen, eine weitere Antwort lautete: „keine Ahnung“. Es verbleiben somit 36 Aussagen zur Analyse. Zur Vergleichbarkeit und auf Basis der Erkenntnisse aus den beiden vorhergehenden Fragen wurden die gleichen Kategorien verwendet, wie bereits in der dritten offenen Frage zum Infraschall.

Tabelle 17: Vermutete Wirkungen von tieffrequentem Schall auf den Menschen

Frage: „Was glauben Sie: Welche Wirkungen hat tieffrequenter Schall Ihrer Meinung nach auf die Menschen?“

Vermutete Wirkung	keine Auswirkung	unspezifischer negativer Einfluss	neutraler Einfluss (in Abhängigkeit vom Individuum/ Dauer/ Intensität)	physische Beschwerden	psychische und kognitive Beschwerden	Störung allgemein	weitere Beschwerden (Schlafstörung, Unwohlsein)
Anzahl der Nennungen	1	4	1	4	6	2	5

Wie schon bei der entsprechenden Frage zum Infraschall wird auch der tieffrequente Schall von einigen Versuchspersonen mit verschiedenen Krankheitsbildern und Symptomen in Verbindung gebracht. Gegenüber den Angaben zum Infraschall fallen die Antworten sehr ähnlich aus. Dies bestätigt sich auch in Form von sechs direkten Verweisen auf die Beantwortung der Frage zum Infraschall. Physiologische Auswirkungen wie „Anregung des vegetativen Nervensystems“ werden tieffrequenten Geräuschen ebenso zugeordnet wie Befürchtungen zur psychischen Gesundheit wie z. B.: „Man stirbt früher oder muss in die Nervenanstalt.“

Informationen zu tieffrequentem Schall beziehen 14 Teilnehmende aus dem Fernsehen, 13 aus der Zeitung, 38 aus dem Internet, drei aus dem Radio und zehn weitere von Freunden und Freundinnen, Familie und Bekannten, auch hier waren Mehrfachnennungen möglich. Zusätzliche Informationsquellen waren außerdem Fachliteratur und -bücher (3), Gutachter (1) und Eigenbeobachtungen (1). Zweimal wurde außerdem konkret auf Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes verwiesen.

Gesundheitszustand und Risikofaktoren

Der vorletzte Block fragte Gesundheits- und Risikofaktoren der Versuchspersonen in Bezug auf ihre Lebensgewohnheiten ab. Zusätzlich wurde eingangs eine Selbsteinschätzung zum allgemeinen Gesundheitszustand erfragt sowie zwei weitere Fragen zur Krankengeschichte gestellt. Grundsätzlich schätzten die Versuchspersonen ihre Gesundheit als „gut“ ein ($M = 1,69$; $SD = 0,52$), die Werte verteilten sich insgesamt zwischen ‚1 = sehr gut‘ und ‚3 = mittelmäßig‘. 14 Versuchspersonen kamen zum Gesamturteil ‚sehr gut‘, 27 weitere ‚gut‘ und nur einer schätzte seinen gesundheitlichen Gesamtzustand als ‚mittelmäßig‘ ein. Die nicht Vorbelasteten erreichten einen Minimalwert von 1 (sehr gut) und einen Maximalwert von 3 (mittelmäßig). Das Mittel lag hier bei 1,83 ($SD = 0,51$), also zwischen sehr gut und gut. Die vorbelasteten Personen bewerteten ihre Gesundheit insgesamt als ein wenig besser. Der Beste gemessene Wert lag auch hier bei 1 (sehr gut), der schlechteste allerdings bei 2 (gut). Damit liegt der Maximalwert unter der Teilstichprobe der nicht Vorbelasteten. Dies äußert sich zudem in einem Mittelwert, der mit 1,58 ($SD = 0,50$) knapp unter dem der nicht Vorbelasteten liegt.

Insgesamt litten fünf Testpersonen unter chronischen Erkrankungen oder Gesundheitsstörungen (ohne Einfluss auf die Untersuchungsparameter). Davon gehörten vier Personen zur Gruppe der Vorbelasteten. Zwei Personen waren von jeweils zwei Erkrankungen betroffen, zwei Personen von jeweils einer, die alle ärztlich diagnostiziert wurden. Die letzte Person machte keine Angabe zu Art und Anzahl der Erkrankungen. Aus gesundheitlichen Gründen eingeschränkt bei Dingen des alltäglichen Lebens fühlten sich vier Testpersonen, eine Person machte keine Angaben. Vier der vorbelasteten Personen fühlte sich eingeschränkt, eine davon sehr stark.

Die Teilnehmenden wurden außerdem zu den drei Risikofaktoren Sportgewohnheiten, Nikotin- sowie Alkoholabusus befragt. Demnach gab der Großteil der Befragten an, wöchentlich Sport zu treiben (35 von 42 ausgewerteten Datensätzen). Der gemittelte Body-Mass-Index der Stichprobe beträgt 25,01 ($\pm 3,39$), wobei der niedrigste bei 19,35 liegt und der höchste bei 39,42. Der gemittelte BMI der vorbelasteten lag im Schnitt etwas höher ($M = 26,06$; $SD = \pm 4,53$) als der ohne Vorbelastung ($M = 24,31$; $SD = \pm 2,15$). Nur zwei der Versuchspersonen gaben an, aktuell regelmäßig Nikotin zu konsumieren, beide gehören der vorbelasteten Gruppe an. Elf Versuchspersonen gaben an, nie Alkohol zu trinken. Acht tranken hingegen regelmäßig ein bis zwei alkoholische Getränke pro Tag, wovon drei Personen zu den vorbelasteten zählten. Die Einheiten zur Erfassung des Alkoholkonsums waren ein Glas Bier, ein Glas Wein oder ein Glas Schnaps.

Bewertung der Versuchsumgebung und der Studiendurchführung

Block 15 des Fragebogens diente der Gesamtbewertung der Versuchsumgebung. Dabei wurden vier Items eingesetzt, um die grundsätzliche Zumutbarkeit des Versuches einzuschätzen. Jeweils auf einer siebenstufigen Skala mit verbalem Anfangs- und Endpunkt wurden folgende Aussagen präsentiert:

1. Insgesamt waren alle Geräuschszenarien zusammengenommen (gar nicht störend (1) - unerträglich (7))
2. Insgesamt war die Beleuchtung während des Versuchs (zu dunkel (1) - zu hell (7))
3. Insgesamt war die Temperatur in den Räumlichkeiten während des Versuchs (zu niedrig (1) - zu hoch (7))
4. Insgesamt war die Luftqualität in den Räumlichkeiten während des Versuchs (sehr schlecht (1) - sehr gut (7))

Der Mittelwert liegt für die Erträglichkeit bei 3,55 ($\pm 1,7$), nur eine Versuchsperson gab ein Rating auf dem Maximalwert der Skala ab (7), sieben Personen fanden die Szenarien gar nicht störend (1), die meisten Nennungen ($N = 10$) entfielen auf Stufe 5 der Skala.

Die Beleuchtung wurde mit einem Mittelwert von 3,81 sehr nah am absoluten Mittel der Skala bewertet ($SD = 0,55$). Die Lichtverhältnisse können entsprechend als ausreichend für die Versuchsdurchführung eingestuft werden. 37 Versuchspersonen wählten Bewertungsstufe 4. Zwei wählten Stufe 3, die übrigen Stufe 2. Zur Nennung der Minimal- beziehungsweise Maximalstufe kam es nicht.

Die Temperatur wurde ebenfalls ungefähr mit dem Mittelwert der Skala bewertet. Das Ergebnis von 3,24 ($\pm 1,16$) lässt vermuten, dass die Raumtemperatur angemessen gewählt war. Nur eine Person fand die Temperatur deutlich zu hoch (7). Vier gaben an, es sei zu kalt gewesen (1). Am häufigsten wurde mit insgesamt 20 Nennungen Stufe vier genannt.

Die Luftqualität wurde mit einem Mittelwert von 4,88 ($\pm 1,42$) als eher gut eingeschätzt. Sechs Versuchspersonen nannten die Luftqualität sehr gut (7), eine einzige Nennung entfällt auf Stufe 2 der Skala, die überwiegende Mehrheit nannte die Kategorie 5 als zutreffend (zwölf Nennungen).

Im letzten Frageblock (Block 19) beantworteten die Versuchspersonen zudem fünf Items, die sich auf den Versuch als Ganzes bezogen. Insgesamt lässt sich aus den Bewertungen der Versuchspersonen ein positives Fazit für das Experiment ziehen. 40 Versuchspersonen fanden, dass die Antwortskalen sinnvoll zu beantworten waren, vier stimmten dem nicht zu. Des Weiteren fanden 36 den Wechsel zwischen den verschiedenen Skalenformaten nicht verwirrend. 38-mal stimmten die Teilnehmenden außerdem zu, dass die Fragen verständlich waren.

Fünf Personen bewerteten einzelne Fragen als kritisch, während die verbliebenen 39 keinen Grund sahen eine Anmerkung zu machen. Die Anmerkungen zu dieser Frage waren durchmischt. Eine Untersuchungsperson schien verwirrt von den verschiedenen Geräuscharbietungen zu sein und hatte Schwierigkeiten diese zu unterscheiden, eine weitere fühlte sich gegen Ende des Versuches müde und hatte Konzentrationsschwierigkeiten. Lediglich zwei Personen gaben an von einzelnen Fragen beziehungsweise Frageblöcken grundsätzlich anfänglich überrascht oder irritiert gewesen zu sein, nannten diese Fragen aber nicht konkret. Lediglich die Fragen zur Gesundheit wurden explizit kritisiert, dabei wurde aber nicht deutlich, auf welche einzelne Frage sich die Kritik genau bezieht.

Nur zwei Versuchspersonen hatten weitere Anmerkungen, eine davon ist wohl als Ergänzung zu den semantischen Differenzialen und Geräuschbeschreibungen zu verstehen, eine andere Person gab an, dass der (Infra-)Schall besonders in der Nacht nur schwer zu ertragen sei.

5.2 Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen

Insgesamt wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung die physiologischen Daten von 44 Testpersonen erhoben. Aufgrund von Normabweichungen während der Blutdruckmessungen wurden die Daten von drei Versuchspersonen vollständig von der Auswertung der physiologischen Untersuchungen ausgeschlossen und nur bei der Auswertung der Lärmbelastungsuntersuchung berücksichtigt. Die Datenqualität erlaubte im Nachhinein für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und des Blutdrucks die Auswertung von insgesamt 34 Versuchspersonen, wovon 15 Personen zur Gruppe der vorbelasteten und 19 Personen zur Gruppe der nicht vorbelasteten Probandinnen und Probanden gehören.

Für die Auswertung des Wach-EEGs erlaubte die Datenqualität die Auswertung von insgesamt 38 Datensätzen, davon 16 aus der Gruppe der vorbelasteten Personen.

5.2.1 Blutdruck

Die Blutdruckwerte der untersuchten Stichprobe lagen während des gesamten Untersuchungszeitraums im optimalen bis hochnormalen Bereich. Die aktuellen europäischen Leitlinien (Williams et al. 2018) definieren systolische Werte im Bereich von 120 bis 129 mmHg als normal und von 130 bis 139 mmHg als hochnormal. Diastolische Werte < 80 mmHg gelten als optimal, zwischen 80 bis 84 mmHg werden als normal angesehen. Eine Übersicht zu Mittelwerten und Standardfehlern der Blutdruckmessungen sind in Tabelle 18 für alle Szenarien sowie die Basismessung getrennt nach Vorbelastung der Gruppe dargestellt.

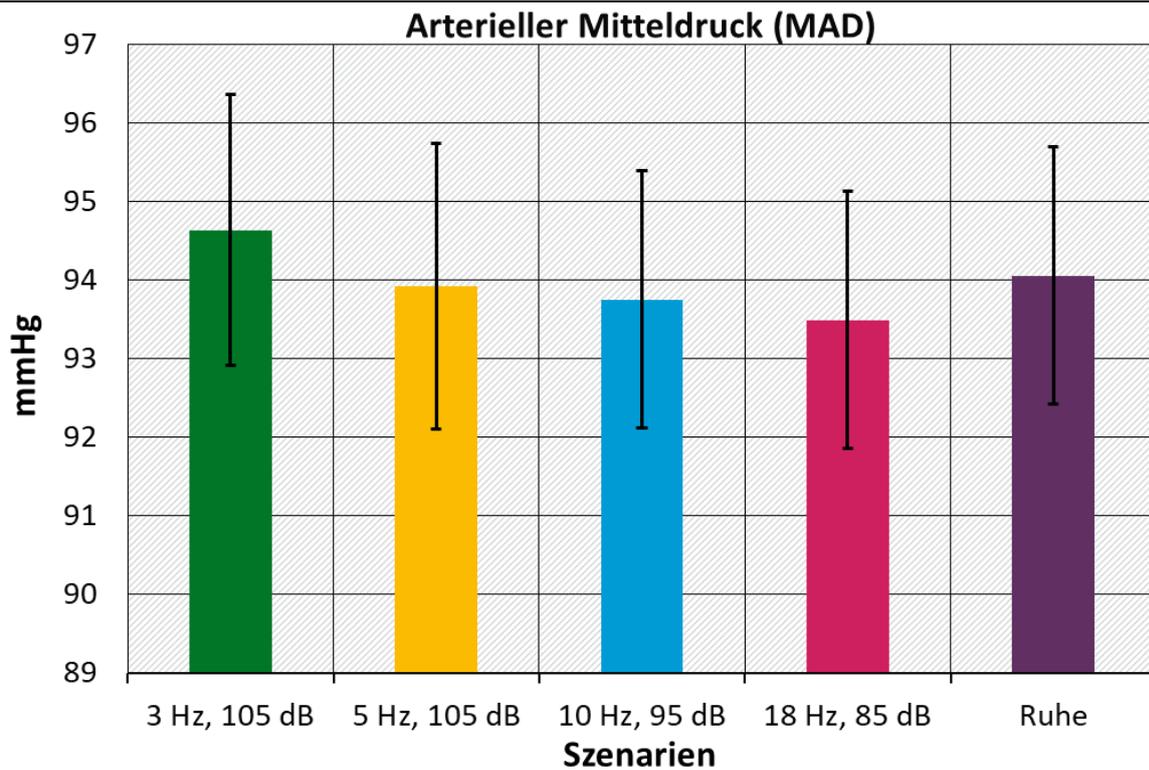
Die Ruhemessungen vor Beginn der Expositionen unterschieden sich nicht von den Basismessungen. Die gemischten ANOVAs gaben keinen Hinweis auf Veränderungen der untersuchten Parameter durch die Expositionen (Szenario: alle Parameter $p > 0,4$). Ein Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich nur für die Herzfrequenz ($p = 0,0383$). Die nicht vorbelastete Gruppe wies generell eine höhere Herzfrequenz auf als die vorbelastete Gruppe. Dieser Gruppenunterschied wurde nicht durch die unterschiedlichen Szenarien bedingt (Szenario x Gruppe: $p = 0,4558$). Trotz der permutierten Darbietung der Expositionen zeigte sich ein Effekt der Reihenfolge im diastolischen Blutdruck, im arteriellen Mitteldruck und in der Herzfrequenz. Einen detaillierten Überblick zu den Ergebnissen der ANOVAs bietet Tabelle 19.

Tabelle 18: Deskriptive Statistik der Parameter aus den Blutdruckmessungen in den einzelnen Szenarien

Parameter der Blutdruckmessungen	Gruppe	Basismessung	Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
		Mittelwerte (Standardfehler)					
Systole (mmHg)	vorbelastet	127 (3)	125 (3)	124 (4)	125 (4)	124 (4)	123 (3)
	nicht vorbelastet	137 (4)	130 (3)	130 (3)	129 (3)	130 (3)	131 (4)
Diastole (mmHg)	vorbelastet	79 (2)	77 (1)	76 (2)	77 (2)	76 (2)	76 (1)
	nicht vorbelastet	83 (3)	79 (3)	78 (3)	77 (2)	77 (2)	78 (2)
Arterieller Mitteldruck (mmHg)	vorbelastet	95 (2)	93 (2)	92 (2)	93 (2)	92 (2)	92 (2)
	nicht vorbelastet	101 (3)	96 (3)	95 (3)	94 (2)	95 (2)	96 (3)
Herzfrequenz (1/min)	vorbelastet	64 (3)	62 (2)	63 (3)	62 (2)	65 (2)	64 (2)
	nicht vorbelastet	64 (2)	66 (2)	68 (2)	69 (2)	69 (2)	67 (2)

N = 15 in der vorbelasteten Gruppe, N = 19 in der nicht vorbelasteten Gruppe (Herzfrequenz N = 18)

Abbildung 46: Mittelwerte und Standardfehler des arteriellen Mitteldrucks für die dargebotenen Szenarien



Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 19: Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der Blutdruckmessung.

Parameter der Blutdruckmessung	Szenario	Gruppe	Szenario x Gruppe	Alter	Geschlecht	Reihenfolge
	p-Werte					
Systole (mmHg)	0,8473	0,1349	0,6195	0,7788	0,1083	0,0862
Diastole (mmHg)	0,8285	0,3831	0,6970	0,1426	0,3708	<0,0001
Arterieller Mitteldruck (mmHg)	0,8074	0,2507	0,6265	0,2622	0,2274	<0,0001
Herzfrequenz (1/min)	0,4250	0,0383	0,4558	0,1140	0,3190	<0,0001

N = 15 in der vorbelasteten Gruppe, N = 19 in der nicht vorbelasteten Gruppe (Herzfrequenz N = 18); signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$) sind fett gedruckt

5.2.2 Herzfrequenzvariabilität

Herzschläge folgen nicht immer im gleichen Abstand aufeinander. Sie stehen im Wesentlichen unter der Kontrolle des autonomen Nervensystems, wobei das sympathische und das parasympathische Nervensystem als Gegenspieler agieren. Überwiegt der sympathische Einfluss, so beschleunigt sich die Herzfrequenz, überwiegt der parasympathische Einfluss, so verlangsamt sich die Herzfrequenz. Dies ermöglicht dem Körper die schnelle Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen. Eine gute Anpassungsfähigkeit wird demnach durch eine hohe HRV repräsentiert, wohingegen Verringerungen der HRV aber auch abnormale Erhöhungen mit einigen kardiovaskulären Erkrankungen assoziiert sind. Zusätzlich wird die HRV durch die Atmung, den Barorezeptorreflex (Aktivität in Reaktion auf Blutdruckschwankungen), Veränderungen im Gefäßtonus und durch das endokrine System beeinflusst. Einen Überblick bieten Shaffer und Ginsberg (2017).

Auch bei gesunden Menschen zeigt die HRV große interindividuelle sowie geschlechtsspezifische Unterschiede und verändert sich außerdem mit dem Alter (Nunan et al., 2010, Bonnemeier et al., 2003). Dementsprechend umfassen die normalen Werte bei gesunden Menschen eine große Spanne. Nunan et al. (2010) stellen auf Basis eines systematischen Reviews Normwerte einiger HRV-Parameter aus Kurzzeitmessungen (Messungen über etwa 5 min) zur Verfügung (Mittelwerte, Spanne min - max: IBI (ms) 926, 785 – 1160; SDNN (ms) 50, 32 – 93; RMSSD (ms), 42, 19 – 75; LF (ms²) 519, 193 – 1009; HF (ms²) 657, 83 – 3630; LF/HF-ratio 2,8, 1,1 – 11,6). Mit Ausnahme von drei der in der vorliegenden Untersuchung beobachteten LF-Werte, die die angegebene Spanne nach oben überschritten, lagen alle HRV-Werte im normalen Bereich. Die Werte des PNS- und des SNS-Index blieben im Bereich einer Standardabweichung von der Norm. Ein Überblick zur deskriptiven Statistik der einzelnen HRV-Parameter und Szenarien findet sich in Tabelle 20.

Tabelle 20: Deskriptive Statistik der Herzfrequenzvariabilität (HRV) in den einzelnen Szenarien

Parameter der HRV	Gruppe		Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Mittelwerte (Standardfehler)							
IBI (ms)	vorbelastet	früh	983,5 (37,6)	964,5 (36,2)	972,1 (31,3)	944,7 (29,3)	940,0 (30,4)
		spät	954,1 (37,1)	934,1 (32,7)	931,2 (28,0)	918,3 (29,4)	919,9 (27,8)
	nicht vorbelastet	früh	911,5 (25,5)	912,2 (26,1)	900,4 (23,9)	895,8 (29,7),8	926,2 (29,2)
		spät	884,7 (28,4)	888,3 (26,8)	875,4 (24,7)	868,5 (27,6)	907,0 (29,5)
SDNN (ms)	vorbelastet	früh	42,7 (8,1)	43,3 (6,6)	42,4 (5,3)	41,4 (6,9)	40,9 (5,6)
		spät	43,0 (8,2)	42,0 (7,9)	36,7 (4,5)	38,3 (6,2)	35,8 (4,6)
	nicht vorbelastet	früh	36,8 (2,7)	38,9 (4,1)	36,7 (4,4)	39,3 (5,6)	39,0 (5,0)
		spät	36,3 (3,5)	37,0 (3,5)	37,0 (3,7)	36,2 (4,3)	37,0 (3,9)
RMSSD (ms)	vorbelastet	früh	44,1 (10,9)	44,3 (9,1)	42,3 (6,5)	42,7 (9,2)	38,1 (6,3)
		spät	45,8 (11,7)	42,0 (10,8)	35,8 (5,4)	39,3 (8,6)	35,9 (6,4)
	nicht vorbelastet	früh	39,3 (3,3)	37,8 (3,6)	34,7 (3,9)	36,7 (4,1)	38,8 (4,7)
		spät	36,8 (4,0)	36,1 (4,0)	34,7 (3,4)	32,8 (3,4)	36,1 (4,1)
PNS-Index	vorbelastet	früh	0,46 (0,45)	0,29 (0,45)	0,34 (0,35)	0,20 (0,41)	0,04 (0,32)
		spät	0,27 (0,49)	0,03 (0,49)	-0,13 (0,30)	-0,07 (0,44)	-0,10 (0,33)
	nicht vorbelastet	früh	-0,06 (0,20)	-0,12 (0,19)	-0,27 (0,18)	-0,21 (0,23)	-0,08 (0,3)

Parameter der HRV	Gruppe		Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
	nicht vorbe- lastet	spät	-0,38 (0,23)	-0,35 (0,22)	-0,49 (0,19)	-0,56 (0,21)	-0,24 (0,26)
SNS-Index	vorbe- lastet	früh	0,001 (0,29)	0,14 (0,36)	0,08 (0,39)	0,23 (0,34)	0,39 (0,36)
	vorbe- lastet	spät	0,17 (0,30)	0,46 (0,38)	0,51 (0,34)	0,55 (0,38)	0,47 (0,30)
	nicht vorbe- lastet	früh	0,22 (0,20)	0,44 (0,22)	0,62 (0,27)	0,77 (0,32)	0,55 (0,34)
	nicht vorbe- lastet	spät	0,68 (0,29)	0,63 (0,24)	0,72 (0,22)	0,98 (0,32)	0,65 (0,35)
VLF (ms ²)	vorbe- lastet	früh	126,0 (26,7)	100,1 (19,3)	127,5 (34,0)	117,0 (44,0)	142,8 (39,5)
	vorbe- lastet	spät	116,5 (33,3)	102,2 (45,1)	95,3 (19,8)	123,2 (64,9)	84,1 (22,2)
	nicht vorbe- lastet	früh	122,3 (34,9)	101,8 (22,1)	120,5 (32,7)	89,5 (17,2)	83,2 (22,6)
	nicht vorbe- lastet	spät	79,4 (18,3)	116,6 (47,1)	85,0 (19,4)	81,1 (18,5)	105,2 (23,6)
LF (ms ²)	vorbe- lastet	früh	1289,7 (716,3)	1013,5 (304,1)	867,5 (219,2)	707,7 (228,1)	924,8 (216,7)
	vorbe- lastet	spät	1112,7 (459,1)	923,4 (317,8)	711,9 (169,3)	721,1 (190,1)	521,6 (96,1)
	nicht vorbe- lastet	früh	764,1 (223,5)	891,3 (258,0)	992,9 (416,2)	1262,3 (640,0)	1056,3 (316,0)
	nicht vorbe- lastet	spät	801,1 (162,1)	790,8 (166,9)	980,9 (349,7)	967,0 (320,2)	797,3 (188,0)
HF (ms ²)	vorbe- lastet	früh	1109,9 (656,3)	948,1 (466,7)	930,5 (350,9)	982,5 (582,6)	956,3 (469,9)
	vorbe- lastet	spät	1218,5 (728,6)	1244,7 (785,1)	677,8 (241,0)	1129,0 (710,7)	743,5 (351,5)
	nicht vorbe- lastet	früh	518,6 (106,3)	539,5 (101,5)	454,8 (87,1)	545,4 (111,5)	587,9 (138,8)

Parameter der HRV	Gruppe		Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
	nicht vorbelastet	spät	454,9 (93,6)	457,1 (109,8)	467,4 (116,5)	428,2 (81,6)	532,2 (109,3)
LF/HF ratio	vorbelastet	früh	1,9 (0,6)	3,7 (1,3)	2,4 (0,8)	2,3 (0,8)	3,1 (1,3)
	vorbelastet	spät	1,9 (0,4)	3,1 (1,0)	2,4 (0,6)	3,2 (1,0)	2,2 (0,6)
	nicht vorbelastet	früh	1,5 (0,2)	1,8 (0,3)	2,0 (0,4)	1,8 (0,3)	1,9 (0,3)
	nicht vorbelastet	spät	2,1 (0,3)	1,9 (0,3)	2,2 (0,3)	2,2 (0,4)	1,8 (0,3)

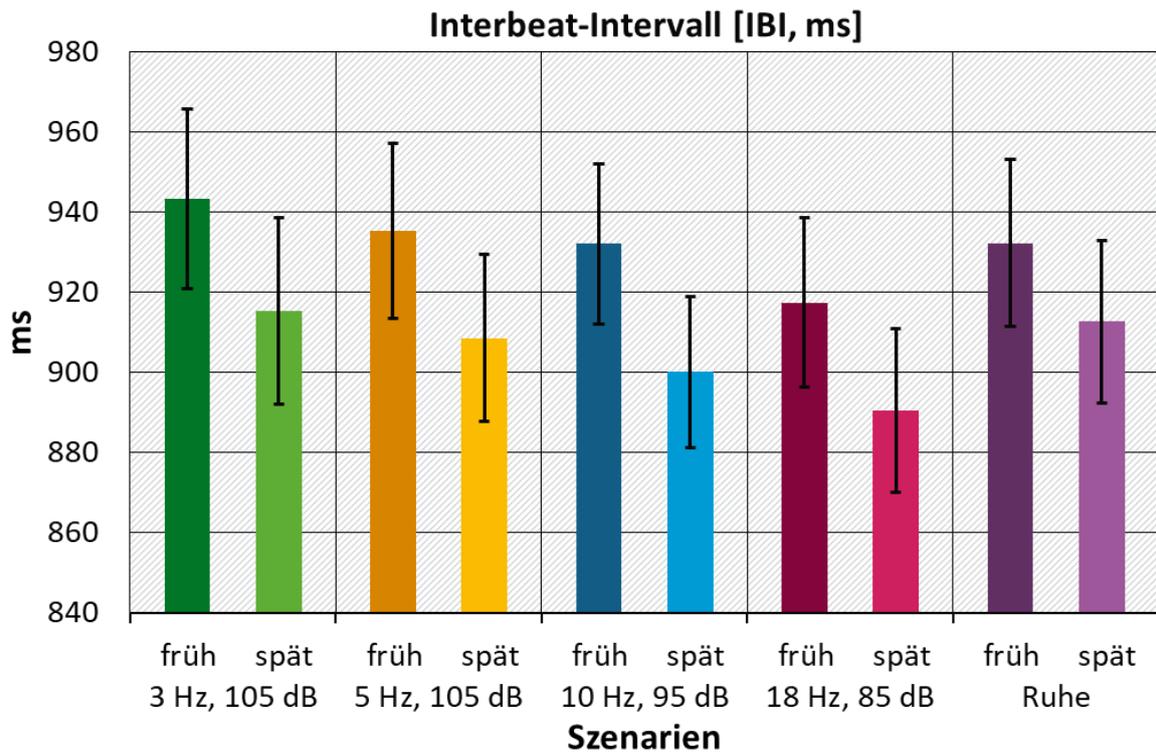
N = 15 in der vorbelasteten Gruppe, N = 19 in der nicht vorbelasteten Gruppe

Die statistischen Analysen (Tabelle 21) zeigen, dass die Szenarien keinen Einfluss auf die HRV-Parameter hatten (Szenario, alle HRV-Parameter $p > 0,07$). Ein Unterschied zwischen vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen war nur für den PNS-Index nachweisbar ($p = 0,0349$). Die vorbelasteten Versuchspersonen wiesen generell einen höheren PNS-Index auf. Die Gruppen zeigten jedoch keine unterschiedlichen Reaktionen auf die Szenarien (Szenario x Gruppe: alle HRV-Parameter $p > 0,09$). Bis auf die LF ($p = 0,6488$) unterschieden sich alle untersuchten HRV-Parameter signifikant zwischen dem frühen und späten Messzeitpunkt ($p < 0,04$).

Im Vergleich zum frühen Messzeitpunkt war das IBI zum späten Messzeitpunkt kürzer ($\Delta 26,7$), die SDNN ($\Delta 2,1$), die RMSSD ($\Delta 2,3$), der PNS-Index ($\Delta 2,6$), die VLF ($\Delta 13,7$) und HF ($\Delta 26,7$) kleiner, während sich der SNS-Index ($\Delta 0,2$) und die LF/HF-Ratio ($\Delta 0,1$) vergrößerten. Insgesamt sprechen diese Veränderungen für eine stärkere Aktivierung des Sympathikus während des späteren Messzeitraums.

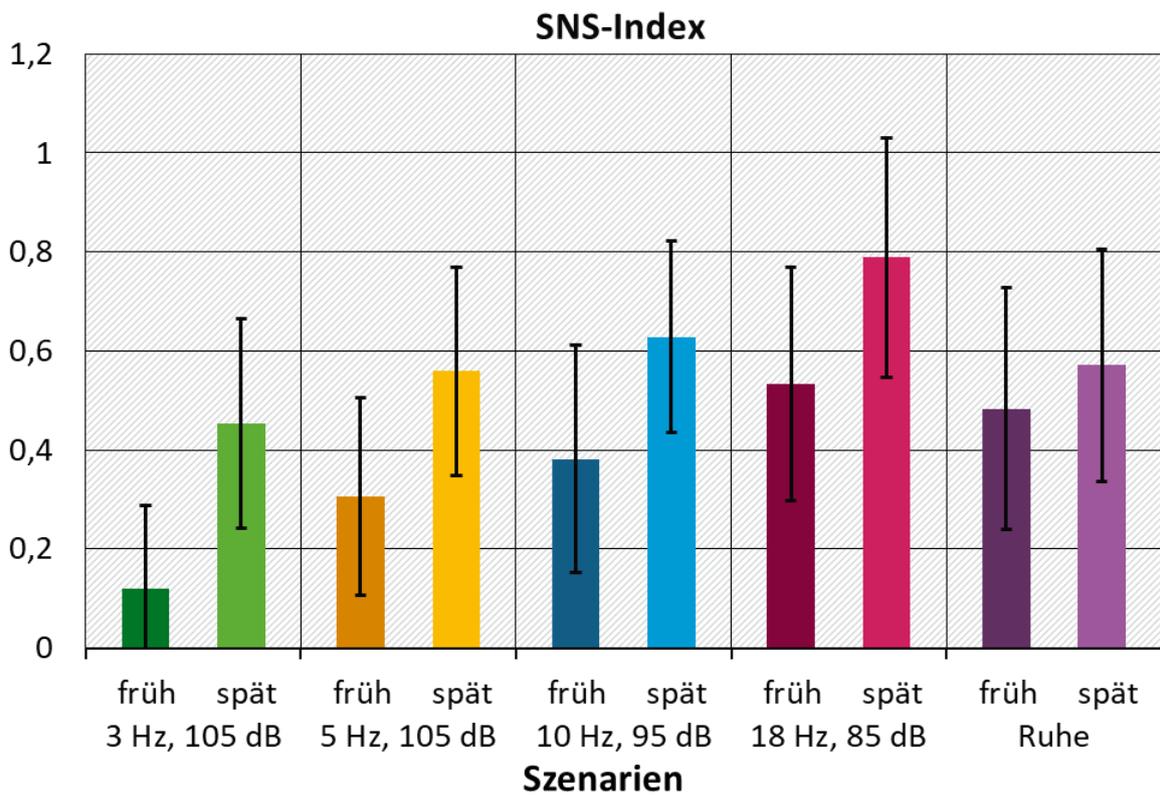
Dieser Effekt war wiederum unabhängig vom dargebotenen Szenario (Szenario x Zeitpunkt: alle HRV-Parameter $p > 0,3$), sodass sich hier vermutlich die höhere mentale Anstrengung bei Bearbeitung der Fragebögen im Vergleich zum ruhigen Nichtstun während des Wach-EEGs widerspiegelt. Das Alter hatte auf alle HRV-Parameter mit Ausnahme des IBI einen signifikanten Einfluss. SDNN, RMSSD, PNS-Index, VLF, LF und HF wurden mit zunehmendem Alter geringer, während der SNS-Index und die LF/HF-Ratio zunahm. Das Geschlecht hatte in dieser Stichprobe keinen Einfluss auf die HRV. Ein signifikanter Effekt der Reihenfolge der Szenarien war in allen HRV-Parametern sichtbar, nicht jedoch in der LF/HF-Ratio.

Abbildung 47: Mittelwerte und Standardfehler des Interbeat-Intervalls für den frühen und späten Messzeitpunkt im jeweiligen Szenario



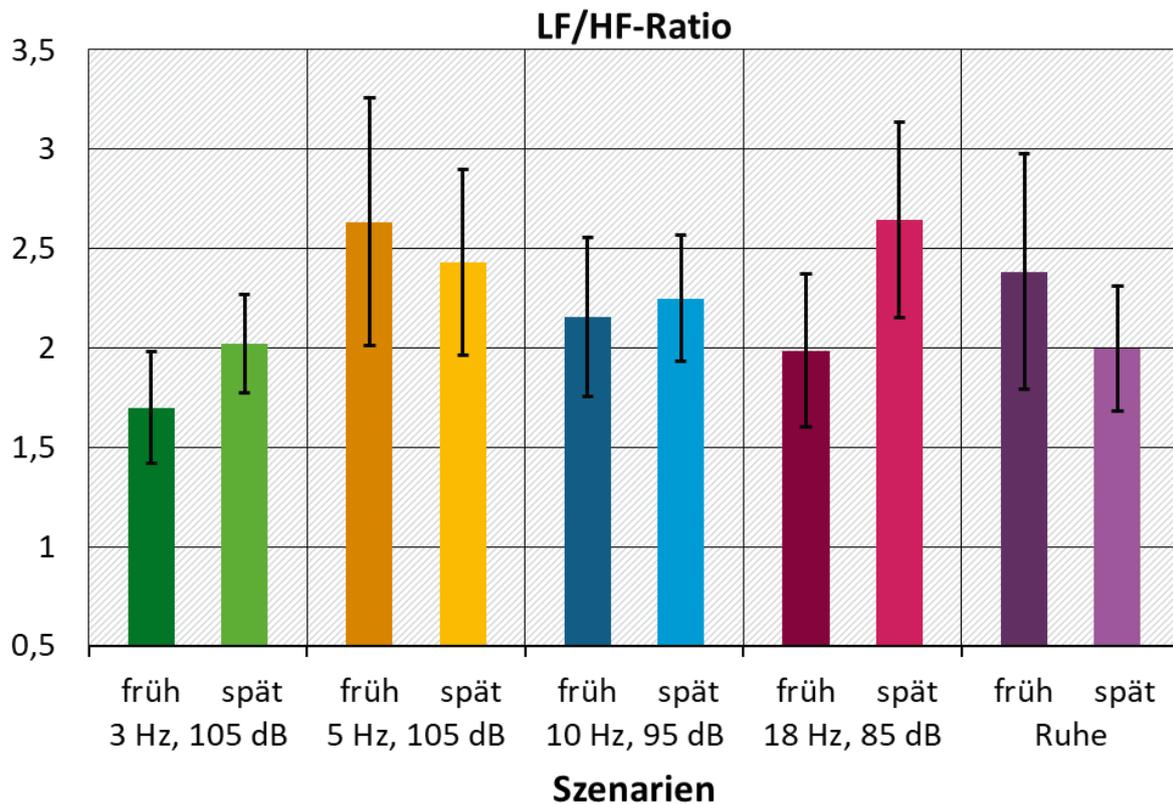
Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 48: Mittelwerte und Standardfehler des SNS-Index für den frühen und späten Messzeitpunkt im jeweiligen Szenario



Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 49: Mittelwerte und Standardfehler der LF/HF-Ratio für den frühen und späten Messzeitpunkt im jeweiligen Szenario



Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 21: Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität

Parameter der HRV	Szenario	Gruppe	Szenario x Gruppe	Zeitpunkt	Zeitpunkt x Szenario	Alter	Geschlecht	Reihenfolge
	p-Werte							
IBI (ms)	0,3834	0,0847	0,0971	<0,0001	0,9604	0,1277	0,5049	<0,0001
SDNN (ms)	0,8733	0,1318	0,9491	0,0134	0,9892	<0,0001	0,8004	0,0003
RMSSD (ms)	0,3971	0,1932	0,7521	0,0067	0,9605	<0,0001	0,7359	<0,0001
PNS-Index	0,6565	0,0349	0,3554	<0,0001	0,8869	0,0010	0,5315	<0,0001
SNS-Index	0,0770	0,0580	0,4238	0,0002	0,8043	0,0018	0,2228	<0,0001
VLF (ms ²)	0,9930	0,2563	0,6045	0,0418	0,6746	0,0361	0,8668	0,0428
LF (ms ²)	0,9235	0,4881	0,6645	0,6488	0,3762	0,0019	0,3935	0,0039
HF (ms ²)	0,6951	0,0741	0,3230	0,0002	0,9910	<0,0001	0,3958	<0,0001
LF/HF-Ratio	0,9926	0,2381	0,7670	0,0045	0,4465	0,0240	0,0630	0,4696

N = 34; signifikante Ergebnisse (p < 0,05) sind fett gedruckt.

5.2.3 Wach-EEG

Eine Übersicht zu Mittelwerten und Standardfehlern der Parameter der EEG-Power Density sind in Tabelle 22 und Tabelle 24 (geöffnete Augen) sowie Tabelle 23 und Tabelle 25 (geschlossene Augen) für alle Szenarien und für jede Elektrode getrennt nach vorbelasteter/nicht vorbelasteter Gruppe und Theta- und Alphawellen dargestellt.

Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Parameter aus den EEG-Messungen in den einzelnen Szenarien (geöffnete Augen).

Elektrode	Gruppe		Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Augen auf			Mittelwerte (Standardfehler)				
C4-A1	vorbelastet	Theta	2,92 (1,54)	2,57 (1,19)	2,90 (1,31)	2,93 (0,89)	3,06 (1,98)
		Alpha	3,27 (2,12)	2,74 (1,41)	2,62 (1,10)	3,15 (1,21)	2,98 (1,20)
	Nicht vorbelastet	Theta	3,44 (3,14)	3,06 (2,82)	3,00 (2,62)	3,37 (2,78)	3,39 (3,14)
		Alpha	4,46 (5,47)	4,00 (5,04)	3,87(5,06)	4,44 (5,95)	4,45 (5,59)
F4-A1	vorbelastet	Theta	3,04 (1,58)	2,85 (1,44)	3,11 (1,57)	3,21 (1,18)	3,17 (2,10)
		Alpha	2,92 (1,70)	2,72 (1,67)	2,64 (1,25)	2,96 (1,34)	2,85 (1,32)
	Nicht vorbelastet	Theta	3,53 (3,32)	3,01 (2,82)	3,03 (2,88)	3,27 (2,96)	3,37 (3,27)
		Alpha	3,89 (4,40)	3,30 (3,88)	3,35 (3,98)	3,49 (4,44)	3,82 (4,56)
O2-A1	vorbelastet	Theta	1,75 (0,65)	1,57 (0,63)	1,54 (0,55)	1,67 (0,48)	1,78 (0,73)
		Alpha	2,76 (1,68)	2,21 (1,17)	2,10 (0,83)	2,55 (1,19)	2,47 (1,10)
	Nicht vorbelastet	Theta	2,02(1,69)	1,78 (1,46)	1,87 (1,32)	1,91 (1,36)	1,99 (1,62)
		Alpha	2,99 (2,90)	2,97 (2,70)	3,38 (3,67)	2,91 (2,86)	3,08 (3,18)

Signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Tabelle 23: Deskriptive Statistik der Parameter aus den EEG-Messungen in den einzelnen Szenarien (geschlossene Augen).

Elektrode	Gruppe		Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
Augen zu			Mittelwerte (Standardfehler)				
C4-A1	vorbelastet	Theta	5,15 (3,20)	4,92 (3,01)	4,91 (3,32)	5,50 (3,71)	5,23 (3,59)
		Alpha	6,72 (3,40)	6,77 (3,82)	6,63 (3,14)	6,91 (2,93)	6,67 (3,60)
	Nicht vorbelastet	Theta	4,16 (3,52)	4,12 (3,54)	4,17 (3,54)	4,42 (3,70)	4,34 (3,98)
		Alpha	6,50 (6,55)	6,65 (6,86)	6,91 (7,81)	7,71 (8,85)	6,70 (7,06)
F4-A1	vorbelastet	Theta	5,33 (2,98)	5,35 (3,71)	5,33 (3,67)	6,08 (4,06)	5,73 (4,02)
		Alpha	6,47 (3,15)	6,54 (3,06)	6,47 (2,89)	6,81 (2,91)	6,55 (3,43)

Elektrode	Gruppe		Szenario 1 3 Hz, 105 dB	Szenario 2 5 Hz, 105 dB	Szenario 3 10 Hz, 95 dB	Szenario 4 18 Hz, 85 dB	Szenario 5 Ruhe
O2-A1	Nicht vorbelastet	Theta	4,06 (3,52)	3,84 (3,31)	3,92 (3,48)	4,16 (3,64)	4,23 (3,96)
		Alpha	5,33 (5,21)	5,19 (5,05)	5,45 (6,10)	6,20 (6,82)	5,59 (5,69)
	vorbelastet	Theta	3,25 (1,86)	2,95 (1,53)	3,08 (1,89)	3,46 (1,83)	3,38 (1,87)
		Alpha	9,99 (6,70)	9,90 (6,92)	10,41 (6,64)	9,70 (5,83)	9,79 (6,59)
	Nicht vorbelastet	Theta	2,40 (1,89)	2,49 (2,07)	2,39 (1,83)	2,55 (1,90)	2,51 (2,01)
		Alpha	6,61 (5,53)	7,84 (7,13)	7,67 (6,77)	8,87 (9,65)	7,71 (6,87)

Signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Tabelle 24: Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der EEG-Power Density (geöffnete Augen).

Elektrode	Szenario	Gruppe	Szenario x Gruppe	Alter	Geschlecht	Reihenfolge	
Augen auf		P-Werte					
C4-A1	Theta	0,1240	0,8335	0,0537	0,7579	0,4767	0,2110
	Alpha	0,8352	0,3924	0,2821	0,0264	0,6590	0,6279
F4-A1	Theta	0,4203	0,5985	0,3172	0,8079	0,9212	0,7367
	Alpha	0,9403	0,5504	0,6937	0,0083	0,3654	0,6374
O2-A1	Theta	0,1103	0,8585	0,9118	0,6994	0,6508	0,3111
	Alpha	0,7035	0,4293	0,4887	0,0726	0,4764	0,6979

Signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Tabelle 25: Ergebnisse der gemischten ANOVAs für die Parameter der EEG-Power Density (geschlossene Augen).

Elektrode	Szenario	Gruppe	Szenario x Gruppe	Alter	Geschlecht	Reihenfolge	
Augen zu		P-Werte					
C4-A1	Theta	0,5383	0,5200	0,5203	0,6869	0,3597	0,0128
	Alpha	0,4643	0,8783	0,7285	0,1547	0,5502	0,7528
F4-A1	Theta	0,3898	0,1372	0,1244	0,6690	0,7282	0,0017
	Alpha	0,3454	0,6076	0,8054	0,0692	0,6096	0,3468
O2-A1	Theta	0,2920	0,1858	0,4528	0,7975	0,3111	0,2894
	Alpha	0,4352	0,3934	0,7437	0,9733	0,2908	0,5801

Signifikante Ergebnisse ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Die statistischen Analysen zeigen, dass die Szenarien keinen Einfluss auf die EEG-Power-Density hatten (Szenario, bei allen Elektroden Alpha und Theta Wellen $p > 0,11$). Die Gruppen zeigten keine unterschiedlichen Reaktionen auf die Szenarien (Szenario x Gruppe: bei allen Elektroden, Alpha und Theta Wellen $p > 0,05$). Das Alter hatte auf die Alpha Aktivität mit geöffneten Augen in C4-A1 und F4-A1 einen signifikanten Einfluss. Das Geschlecht hatte in dieser Stichprobe keinen Einfluss auf die EEG-Parameter. Ein signifikanter Effekt der Reihenfolge der Szenarien war mit geschlossenen Augen in C4-A1 und F4-A1 auf die Theta-Aktivität sichtbar.

5.2.4 Neurologische Testung

Romberg

Einen Überblick zu den Untersuchungsergebnissen bietet Tabelle 26. Eine Versuchsperson zeigte eine Armhalteschwäche, die sich ab der zweiten Untersuchung (also nach dem Training) abzeichnete, dann konstant bestehen blieb und somit auch während des Ruheszenarios auftrat. Dieselbe Versuchsperson zeigt in Szenario 4 während der späten Messphase ein kurzes, heftiges Schwanken nach lateral hinten beim Übergang zu geschlossenen Augen. Eine weitere Person schien beim Training des Romberg-Versuchs mit geschlossenen Augen kurzzeitig Angst vor dem Hinfallen zu haben. Insgesamt bewertet zeigten sich somit nur einzelne kurzandauernde Reaktionen, die Hinweise auf eine Störung des Gleichgewichtsorgans im Romberg-Versuch geben könnten.

Tabelle 26: Übersicht zu den Ergebnissen des Romberg-Tests

Romberg				
	positive Reaktion	keine Reaktion	nicht auswertbar	Fehlt
Training (nicht vorbelastet)	1	22	0	1
Training (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 1/1 (nicht vorbelastet)	0	21	0	2
Szenario 1/1 (vorbelastet)	1	15	0	0
Szenario 1/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 1/2 (vorbelastet)	1	15	0	0
Szenario 2/1 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 2/1 (vorbelastet)	1	15	0	0
Szenario 2/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 2/2 (vorbelastet)	1	15	0	0

Romberg				
Szenario 3/1 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 3/1 (vorbelastet)	1	14	0	1
Szenario 3/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 3/2 (vorbelastet)	1	14	0	1
Szenario 4/1 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 4/1 (vorbelastet)	1	15	0	0
Szenario 4/2 (nicht vorbelastet)	0	22	1	0
Szenario 4/2 (vorbelastet)	2	13	0	1
Szenario 5/1 (nicht vorbelastet)	0	21	1	1
Szenario 5/1 (vorbelastet)	1	15	0	0
Szenario 5/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 5/2 (vorbelastet)	1	15	0	0

Szenarien: 1. 3 Hz moduliert 105 dB; 2. 5 Hz 105 dB; 3. 10 Hz 95 dB; 4. 18 Hz 85 dB; 5. Ruhe

Bárány-Zeigerversuch

In insgesamt drei Fällen zeigte sich, dass der Finger des Untersuchenden deutlich nicht getroffen wurde. Betroffen hiervon waren zwei Versuchspersonen: Eine Versuchsperson zeigte diese Abweichung in Szenario 2 während der frühen, nicht aber während der späten Untersuchung. Beide Versuchspersonen hatten eine Abweichung in Szenario 4, eine Person in der frühen, die andere in der späten Untersuchung.

Tabelle 27: Übersicht zu den Ergebnissen des Bárány-Zeigerversuchs

Zeigerversuch				
	positive Reaktion	keine Reaktion	nicht auswertbar	Fehlt
Training (nicht vorbelastet)	0	22	0	1
Training (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 1/1 (nicht vorbelastet)	0	21	0	2
Szenario 1/1 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 1/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 1/2 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 2/1 (nicht vorbelastet)	1	22	0	0

Zeigerversuch				
Szenario 2/1 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 2/2 (nicht vorbelastet)	0	22	1	0
Szenario 2/2 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 3/1 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 3/1 (vorbelastet)	0	15	0	1
Szenario 3/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 3/2 (vorbelastet)	0	15	0	1
Szenario 4/1 (nicht vorbelastet)	0	21	2	0
Szenario 4/1 (vorbelastet)	1	15	0	0
Szenario 4/2 (nicht vorbelastet)	1	22	0	0
Szenario 4/2 (vorbelastet)	0	14	1	1
Szenario 5/1 (nicht vorbelastet)	0	22	0	1
Szenario 5/1 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 5/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 5/2 (vorbelastet)	0	16	0	0

Finger-Nase-Versuch

Keine Versuchsperson hatte Koordinationsschwierigkeiten im Finger-Nase-Versuch (Tabelle 28).

Tabelle 28: Übersicht zu den Ergebnissen des Finger-Nase-Versuchs

Finger-Nase-Versuch				
	positive Reaktion	keine Reaktion	nicht auswertbar	Fehlt
Training (nicht vorbelastet)	0	22	0	1
Training (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 1/1 (nicht vorbelastet)	0	21	0	2
Szenario 1/1 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 1/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 1/2 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 2/1 (nicht vorbelastet)	0	22	1	0

Finger-Nase-Versuch				
Szenario 2/1 (vorbelastet)	0	15	1	0
Szenario 2/2 (nicht vorbelastet)	0	22	1	0
Szenario 2/2 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 3/1 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 3/1 (vorbelastet)	0	15	0	1
Szenario 3/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 3/2 (vorbelastet)	0	15	0	1
Szenario 4/1 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 4/1 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 4/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 4/2 (vorbelastet)	0	14	1	1
Szenario 5/1 (nicht vorbelastet)	0	22	0	1
Szenario 5/1 (vorbelastet)	0	16	0	0
Szenario 5/2 (nicht vorbelastet)	0	23	0	0
Szenario 5/2 (vorbelastet)	0	16	0	0

Untersuchung auf vestibulären Nystagmus mit Hilfe der Frenzelbrille (Typ 503, Fa. DeHag)

Eine der Versuchspersonen zeigte einen Spontannystagmus bei Anwendung der Frenzelbrille bereits unter Trainingsbedingungen. Diese Versuchsperson wurde in die Auswertung nicht mit einbezogen. Keine der Versuchspersonen zeigte einen Spontannystagmus während der Szenarien. Eine Person wies in den Szenarien 3 und 5 einen Blickrichtungsnystagmus auf, der aller Wahrscheinlichkeit nach durch den extrem ausgeführten Blick nach oben auftrat. Insgesamt ergeben sich somit keine Anhaltspunkte für vestibuläre Störungen durch die dargebotenen Szenarien (Tabelle 29).

Tabelle 29: Übersicht zu den Ergebnissen der vestibulären Prüfung mit Frenzelbrille

Brille (15 Nicht vorbelastete)				
	positive Reaktion	keine Reaktion	nicht auswertbar	Fehlt
Training (nicht vorbelastet)	0	17	6	0
Training (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 1/1 (nicht vorbelastet)	0	18	3	2
Szenario 1/1 (vorbelastet)	0	14	1	0
Szenario 1/2 (nicht vorbelastet)	0	21	2	0

Brille (15 Nicht vorbelastete)				
Szenario 1/2 (vorbelastet)	0	14	1	0
Szenario 2/1 (nicht vorbelastet)	0	20	3	0
Szenario 2/1 (vorbelastet)	0	14	1	0
Szenario 2/2 (nicht vorbelastet)	0	21	2	0
Szenario 2/2 (vorbelastet)	0	13	2	0
Szenario 3/1 (nicht vorbelastet)	0	20	3	0
Szenario 3/1 (vorbelastet)	0	15	0	0
Szenario 3/2 (nicht vorbelastet)	0	20	3	0
Szenario 3/2 (vorbelastet)	1	13	1	0
Szenario 4/1 (nicht vorbelastet)	0	21	2	0
Szenario 4/1 (vorbelastet)	0	14	1	0
Szenario 4/2 (nicht vorbelastet)	0	19	4	0
Szenario 4/2 (vorbelastet)	0	15	0	0
Szenario 5/1 (nicht vorbelastet)	0	19	4	0
Szenario 5/1 (vorbelastet)	1	14	0	0
Szenario 5/2 (nicht vorbelastet)	0	21	2	0
Szenario 5/2 (vorbelastet)	0	14	1	0

Kopf-Impulstest

Eine der untersuchten Personen folgte in keiner der Untersuchungen den gegebenen Anweisungen zur Fixation eines vordefinierten Punkts und war somit nicht auswertbar. Andere Versuchspersonen vergaßen sporadisch, aber nicht durchgehend diese Anweisung, sodass es zu einer erhöhten Quote nicht auswertbarer Untersuchungen kam. Die auswertbaren Untersuchungen zeigten keine Veränderungen im Kopf-Impuls-Test (Tabelle 30).

Tabelle 30: Übersicht zu den Ergebnissen des Kopf-Impuls-Tests (KIT)

KIT (15 Nicht vorbelastete)				
	positive Reaktion	keine Reaktion	nicht auswertbar	Fehlt
Training (nicht vorbelastet)	0	11	12	0
Training (vorbelastet)	0	10	5	0
Szenario 1/1 (nicht vorbelastet)	0	19	2	2

KIT (15 Nicht vorbelastete)				
Szenario 1/1 (vorbelastet)	0	11	4	0
Szenario 1/2 (nicht vorbelastet)	0	20	3	0
Szenario 1/2 (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 2/1 (nicht vorbelastet)	0	19	4	0
Szenario 2/1 (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 2/2 (nicht vorbelastet)	0	20	3	0
Szenario 2/2 (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 3/1 (nicht vorbelastet)	0	19	4	0
Szenario 3/1 (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 3/2 (nicht vorbelastet)	0	18	5	0
Szenario 3/2 (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 4/1 (nicht vorbelastet)	0	19	4	0
Szenario 4/1 (vorbelastet)	0	12	3	0
Szenario 4/2 (nicht vorbelastet)	0	18	4	1
Szenario 4/2 (vorbelastet)	0	13	2	0
Szenario 5/1 (nicht vorbelastet)	0	18	5	0
Szenario 5/1 (vorbelastet)	0	11	4	0
Szenario 5/2 (nicht vorbelastet)	0	19	4	0
Szenario 5/2 (vorbelastet)	0	12	3	0

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der vorliegenden Studie wurden die akuten physiologischen Reaktionen sowie das akute Belästigungsempfinden verschiedener Infraschall-Geräuschszenarien untersucht. Die Stichprobe umfasste zwei Versuchsgruppen: Personen, die als vorbelastet im Hinblick auf Infraschall eingestuft wurden, und Personen, die als nicht vorbelastet eingestuft wurden.

6.1 Akute Lärmbelästigung und Wahrnehmung des Infraschalls

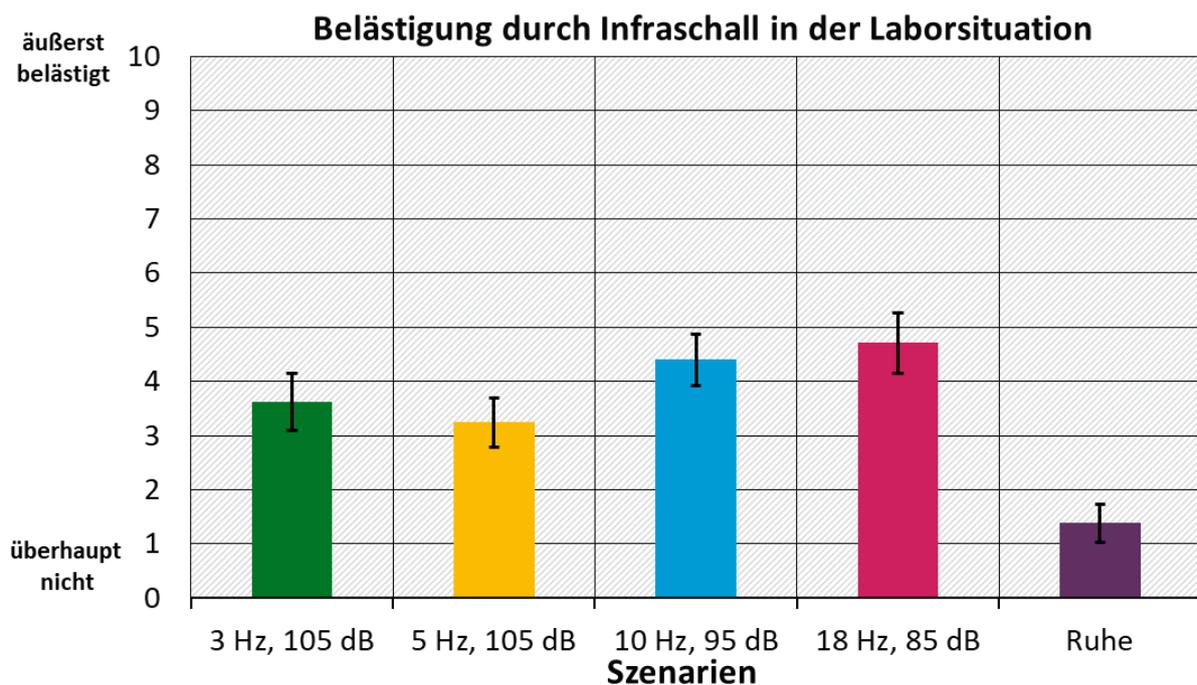
Insgesamt konnten die Datensätze von 42 der ursprünglich 44 Testpersonen ausgewertet werden. Es wurden die Befragungsergebnisse zur Lärmbelästigung durch Geräusche, dem persönlichen Wohlbefinden, Vibrations-, Druck- und Lautheitswahrnehmung während der fünf präsentierten Geräuschszenarien analysiert sowie wahrgenommene Geräuschmerkmale und -empfindungen erfasst.

Insgesamt zeigten sich bei den Beurteilungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den als vorbelastet und den als nicht vorbelastet eingestuften Personen. Hingegen stellte sich heraus, dass die einzelnen Geräuschszenarien unterschiedlich wahrgenommen und als unterschiedlich beeinträchtigend beurteilt wurden. Dabei konnte der Großteil der Testpersonen die vier Infraschallszenarien eindeutig von der Ruhe unterscheiden. In Abbildung 50 ist exemplarisch das Ergebnis der Frage nach dem Belästigungsempfinden dargestellt. Darin zeigt sich, wie auch in den übrigen Ergebnissen der Untersuchung, dass die Szenarien 3 (10 Hz, 95 dB) und 4 (18 Hz, 85 dB), deren Schallpegel auf oder knapp oberhalb der Hörschwelle nach DIN 45680 (1997) liegen, insgesamt am negativsten bewertet wurden.

Sie lösten die höchsten Belästigungs- und Lautheitsurteile aus und wurden stärker als die anderen Geräuschszenarien in Form von Vibrationen am Körper sowie an anderen Objekten im Gebäude (beispielsweise Blumenvasen im Regal) wahrgenommen. Zudem lösten beide Szenarien ein höheres Unwohlsein und die Wahrnehmung von Vibration und Druck im Kopfbereich aus. Szenario 4 wurde häufiger als andere Geräuschszenarien als brummend, dröhnend sowie als vibrierend, aufdringlich und dumpf wahrgenommen. Szenario 4 wies die höchste Grundfrequenz der untersuchten Szenarien auf. Zudem lag der Schallpegel in diesem Szenario oberhalb der Hörschwelle nach DIN 45680 (1997). Damit lag das Szenario 4 sowohl spektral als auch im Hinblick auf den Schallpegel am nächsten am hörbaren Bereich. Entsprechend gaben insbesondere bei diesem Szenario die meisten befragten Personen an, es über das Ohr wahrzunehmen.

In der Befragung, über welche Körperpartien die berichteten Empfindungen wahrgenommen wurden, stellte sich außerdem heraus, dass in allen Geräuschszenarien das Vibrations- und Druckgefühl mit dem empfundenen Unwohlsein korreliert. Ein stärkeres Vibrations- oder Druckempfinden in der Kopfregion steht somit in direktem Zusammenhang mit einem stärkeren Unwohlsein und damit der Lästigkeit des Geräuschs.

Abbildung 50: Ergebnisse zur Belästigung während der dargebotenen Infraschallgeräusche



Quelle: eigene Berechnung

Alle präsentierten Infraschall-Geräuschszenarien unterhalb oder auf der Hörschwelle (Szenarien 1 – 3) wurden als dröhnend und pulsierend wahrgenommen, das Szenario mit der höchsten Frequenz, dessen Schallpegel oberhalb der Hörschwelle lag, wurde als dröhnend und brummend beschrieben.

Zusammenfassend erscheint es, dass ein Geräusch als unangenehmer erlebt und beurteilt wird, je näher dessen Grundfrequenz an die Grenze zum tieffrequenten (Hör-)Schall (ab 20 Hz) und je näher dessen Schallpegel an die Hörschwelle heranrückt. Unabhängig von der Frequenz des dargebotenen Infraschallszenarios findet die Wahrnehmung im Wesentlichen über die Ohren statt, auch wenn dabei nicht immer von einem tatsächlichen Hörempfinden berichtet wird. Allerdings lagen die Schallpegel der präsentierten Geräuschszenarien mit zunehmender Frequenz zugleich näher an der Hörschwelle, sodass sich das steigende Belästigungsempfinden nicht eindeutig dem steigenden Schallpegel oder der Frequenz zuordnen lässt. Auf Grundlage der erhobenen Untersuchungsergebnisse lässt sich demnach nicht ausschließen, dass auch tieferfrequente Infraschallszenarien ein ähnliches Belästigungsempfinden hervorrufen können, wenn sich ihr Schallpegel der Hörschwelle nähert.

6.2 Akute physiologische Reaktionen

Für die Analyse der physiologischen Akutreaktionen wurden die erhobenen Datensätze von 39 Versuchspersonen ausgewertet. Die Probandinnen und Probanden zeigten in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Veränderungen des Blutdrucks oder der Herzfrequenz während der Infraschallexposition im Vergleich zum Ruheszenario. Auch das EEG und die durchgeführten neurologischen Tests lieferten keinen Hinweis auf akute physiologische Reaktionen auf den Infraschall. Auch zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchspersonen, die als vorbelastet eingestuft wurden und denen, bei denen keine Infraschallvorbelastung vorlag.

Es konnten jedoch vereinzelt signifikante Effekte der Reihenfolge der Geräuschszenarien auf den Blutdruck sowie auf das Wach-EEG festgestellt werden.

Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten physiologischen Messungen zeigen somit zwar keine messbaren Akutreaktionen auf eine 30-minütige Exposition durch Infraschall. Auf Grundlage der erhobenen Daten kann jedoch nicht geschlossen werden, dass es bei langfristiger Exposition nicht zu physiologischen Veränderungen kommen kann.

6.3 Allgemeine Einordnung und Interpretation

Bisherige Studien zu Infraschall-Exposition und physiologischen Reaktionen des Menschen zeigen ein uneinheitliches Bild; eine Übersicht bieten McCunney et al. (2014) und Harris et al. (1976). Blutdruckreaktionen sowie Störungen des Gleichgewichtsorgans in Form von Nystagmen (unkontrolliertes Augenzittern) wurden von einigen Autoren beschrieben (Danielsson und Landström, 1985, Evans et al., 1971, 1972), von anderen wiederum angezweifelt (Harris et al., 1976). Die im Rahmen dieser Studie eingesetzten Messverfahren geben übereinstimmend keinen Hinweis auf akute Auswirkungen der dargebotenen Infraschallszenarien.

Eine kürzlich durchgeführte Studie von Weichenberger et al. (2017), die sich die Wirkung von Infraschall nahe der individuell bestimmten Hörschwelle auf die Hirnaktivität mittels resting-state functional magnetic resonance imaging (rsfMRI) ansah, wies unter anderem Veränderungen im anterioren cingulären Cortex sowie in der Amygdala nach. Verglichen wurden dabei eine ruhige und eine hörbare Studienbedingung (12 Hz, 122,3 dB (Median)). Somit gibt diese Untersuchung Hinweise darauf, dass unterhalb der Hörschwelle eine corticale Verarbeitung von Infraschall stattfindet und dass sich diese von der Verarbeitung hörbarer Reize unterscheidet. Zudem weist diese Untersuchung darauf hin, dass autonome Reaktionen aufgrund der aktivierten Hirnareale möglich sind. Diese Hinweise ließen sich durch die in der vorliegenden Studie durchgeführten Untersuchungen nicht nachweisen.

Die Ergebnisse weiterer Veröffentlichungen zu Schallimmissionen im Infraschallbereich, die bereits bei Pegeln weit unterhalb der Hörschwelle entsprechende Reaktionen ausgelöst haben sollen, so zum Beispiel Wsocki (1980), Kaczmarek und Łuczak (2007), Cooper (2014) oder Punch und James (2016), konnten nicht bestätigt werden. Im Hinblick auf die besondere technische Herausforderung bei der Generierung reinen Infraschalls ohne Verzerrungen im hörbaren Bereich lässt sich zudem nicht eindeutig belegen, dass in diesen Untersuchungen tatsächlich der Infraschall und nicht höherfrequente Geräuschanteile die festgestellten Reaktionen ausgelöst haben.

Eine Studie zur objektiven Schlafqualität unter Infraschallexposition konnte darüber hinaus keine Auswirkungen auf den Schlaf nachweisen, wohingegen sich die subjektive Einschätzung der Schlafqualität verschlechterte (Jalali et al. 2016). Dies deckt sich mit dem in der vorliegenden Studie beobachteten Effekt, dass zwar objektiv keine Reaktionen nachweisbar sind, allerdings subjektiv dennoch ein erhöhtes Belästigungempfinden berichtet wird.

Eine Subgruppenanalyse von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen weist keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen auf. Die Hypothese, dass Menschen, die über längere Zeit tieffrequentem Schall ausgesetzt sind, empfindlicher reagieren als Personen, bei denen keine Vorbelastung durch Infraschall vorliegt, konnte somit nicht bestätigt werden.

Bei der Bewertung der vorliegenden Studienergebnisse sollte Bedacht werden, dass eine 30-minütige Exposition im Hinblick auf die gemessenen Parameter einen vergleichsweise kurzen Zeitraum darstellt. Zwar kann die Aussage getroffen werden, dass keine Hinweise auf physiologische Akutreaktion auf die dargebotenen kurzzeitigen Lärmexpositionen gefunden wurden. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass es bei langfristiger Exposition nicht zu physiologischen Veränderungen kommen kann. Eine Sensitivierung der Versuchspersonen könnte ebenso erst nach längerer Lärmexposition erfolgen.

Eine Möglichkeit, die Auswirkungen länger andauernder Infraschallexposition auf den menschlichen Organismus zu untersuchen, stellen grundsätzlich epidemiologische Studien dar. Hierfür müsste jedoch über einen längeren Zeitraum der Vergangenheit die vom Betroffenen wahrgenommene Infraschallbelastung sicher bestimmt werden können. Gleichzeitig müssten Alternativursachen für mögliche resultierende Krankheiten ausgeschlossen werden. Hierzu zählen zum Beispiel Veränderungen im Herz-/Kreislaufsystem durch Übergewicht, Rauchen oder Bewegungsmangel. Insofern erscheint eine isolierte Betrachtung von Infraschallimmissionen im Rahmen einer epidemiologischen Studie praktisch nicht möglich. Eine weitere Herausforderung bei einer epidemiologischen Betrachtung von langfristigen Infraschallimmissionen stellt die Ermittlung der tatsächlichen Exposition dar. Zum jetzigen Zeitpunkt liegt noch kein erprobtes Verfahren für die Modellierung von Infraschall vor.

Zwar zeigen die physiologischen Untersuchungen keine Akutreaktionen auf den Infraschall, dennoch unterscheiden sich die Geräuschszenarien im psychologischen Untersuchungsteil hinsichtlich der hervorgerufenen Kurzzeitbelästigung und der Wahrnehmung. Vor allem Infraschallgeräusche, die an oder oberhalb der Hörschwelle liegen, werden unangenehmer erlebt und beurteilt. Der Großteil der Testpersonen war in der Lage, die vier Infraschallsszenarien eindeutig von der Ruhe zu unterscheiden. Somit stellten sich die in der Literatur aufgeführten Hörschwellen im Wesentlichen als tragfähig heraus. Jedoch berichten die Versuchspersonen auch bei Schallpegeln unterhalb der Hörschwelle vielfach über eine Wahrnehmung über die Ohren, auch wenn diese nicht immer als tatsächliche Hörempfindung bezeichnet wird. Stattdessen rufen die Infraschallgeräusche Vibrations- oder Druckempfindungen hervor, die von einem Unwohlsein begleitet werden. Vereinzelt wurde auch während der Ruhebedingung eine Wahrnehmung berichtet. Es ist zu vermuten, dass die ungewohnte, sehr ruhige Versuchsumgebung während der Studie ein gewisses Unbehagen hervorgerufen haben könnte. Ein solcher Effekt wird häufig in reflexionsarmen Räumen berichtet.

Für die Erzeugung eines reinen Infraschallfeldes im Versuchsraum der Studie waren eine aufwändige Signalverarbeitung und spezielle Wiedergabe- und Messtechnik nötig. Daher lassen die Ergebnisse der Laboruntersuchung die Vermutung zu, dass sich die von Anwohnerinnen und Anwohnern geäußerten Beschwerden zu Infraschall nicht tatsächlich auf artreinen Infraschall, sondern auf Kombinationen von Infraschall und tieffrequentem respektive Hörschall beziehen, da verzerrungsfreier Infraschall ohne Frequenzanteile innerhalb des hörbaren Bereichs im Alltag selten vorkommen.

Sowohl die Hörschwelle als auch die Grenzfrequenzen des hörbaren Bereichs unterliegen deutlichen interindividuellen Schwankungen. So kann die Hörschwelle einzelner Frequenzen bei etwa 1 % der Bevölkerung um bis zu 15 dB höher oder niedriger ausfallen als die gemittelte Normalhörschwelle (ISO 28961:2012). Es ist also denkbar, dass die Schallpegel der untersuchten Geräuschkonstellationen für einen Teil der Versuchspersonen auf oder über der individuellen Hörschwelle lagen und dadurch (Hör-)Empfindungen hervorgerufen wurden. Ein entsprechend unterschiedliches Bild ist daher auch für das Belästigungsempfinden zu erwarten.

Diese Erkenntnis hat nicht nur Auswirkungen auf die weitere Forschung im Bereich der Lärmwirkung durch Infraschall. Auch für die Festsetzungen von beispielsweise Zumutbarkeits-schwellen, wie sie im Immissionsschutz oder bei der Beurteilung von Verkehrsgeräuschen zum Einsatz kommen, spielt die empfundene Lärmbelastigung eine wichtige Rolle. Das aktuell gültige Regelwerk (TA Lärm (1998) in Verbindung mit DIN 45680 (1997)) regelt bisher nur den Frequenzbereich ≥ 8 Hz. Um mögliche Auswirkungen durch den Infraschall in Zukunft besser berücksichtigen zu können, wäre es ratsam, diesen jedoch auf den Bereich bis 1 Hz zu erweitern. Anhaltspunkte für die noch zulässigen Schalldruckpegel könnten hierfür vom Verlauf der G-Bewertung nach der internationalen Norm ISO 7196 (1995) abgeleitet werden. Der gewichtete Pegel entspricht für den Frequenzbereich unter 20 Hz in etwa der Wahrnehmungsschwelle für 85 bis 90 dB(G).

6.4 Mögliche weitere Forschungsfragen

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gewonnenen Daten bieten vielfältige Erkenntnisse über die Wahrnehmung und die Reaktionen auf Infraschallexpositionen. Zwar lieferten die eingesetzten Methoden keine messbaren physiologischen Akutreaktionen, in der psychologischen Befragung zeigten sich dennoch signifikante Effekte. Für die Durchführung weiterer Studien gilt es daher, diese Wahrnehmungseffekte genauer zu untersuchen.

Im vorliegenden Studiendesign wurden die Geräuschkonstellationen allen Probandinnen und Probanden bei denselben Schallpegeln präsentiert. Der Einfluss der individuellen Hörschwelle auf die Infraschallwahrnehmung konnte dadurch nicht berücksichtigt werden. Zudem lässt sich aufgrund des Studiendesigns nicht eindeutig zuordnen, inwieweit das erhöhte Lästigkeitsempfinden einerseits auf Änderungen des Schalldruckpegels im Vergleich zur individuellen Hörschwelle zurückzuführen ist und welche Rolle andererseits die Frequenz des dargebotenen Infraschallszenarios spielt. Um diesen Fragen nachzugehen, wären daher weitere Untersuchungen nötig, bei denen Geräuschkonstellationen mit gleicher Frequenz bei verschiedenen Schallpegeln über oder unterhalb der individuellen Hörschwelle dargeboten werden.

Die Bewertung des modulierten Geräuschkonstellations (Szenario 1) weist darauf hin, dass auch die Modulation einen Einfluss auf das Lästigkeitsempfinden hat. Um diesen Effekt genauer zu analysieren, wären weitere Untersuchungen ratsam, bei denen beispielsweise verschiedene Modulationsgrade verglichen werden.

Die Probandinnen und Probanden berichteten vielfach von einem Vibrationsempfinden, während der Präsentation der Infraschallszenarios, sowohl am eigenen Körper als auch an Gegenständen im Raum. Für die weitere Forschung wäre interessant, inwieweit diese Vibrationen tatsächlich durch den Infraschall hervorgerufen werden und ob gegebenenfalls Sekundärluftschall, also Luftschall, der durch die Vibrationen erzeugt wird, der eigentliche Grund für die Wahrnehmung ist.

Die Geräuscszenarien wurden in der vorliegenden Untersuchung jeweils für 30 Minuten präsentiert. Fragestellungen, die den Einfluss längerandauernder Infrascallexpositionen betreffen, lassen sich auf Grundlage der erhobenen Daten somit nicht beantworten und wären daher ebenfalls ein spannender Aspekt für weitere Forschungsvorhaben.

Nicht zuletzt bleibt auch die Frage offen, ob und mit welchen physiologischen Messungen sich die subjektive Wahrnehmung auch objektiv begründen lässt. Hierfür wäre die Durchführung weiterer physiologischer Messungen bei verschiedenen Infrascallexpositionen zielführend, bei denen auch andere in dieser Studie nicht erhobene Parameter, wie beispielsweise funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), untersucht werden. Die in dieser Studie genutzten Gerätschaften, insbesondere das weiterentwickelte Beschallungssystem mit dem Rotationstieftöner und aktiver Schallfeldkompensation können für diesen Zweck sehr hilfreich sein, da sie eine Möglichkeit bieten, Versuchspersonen ohne Kopfhörer mit Infraschall zu beschallen und somit die Auswirkungen des Infraschalls auf den gesamten Körper zu untersuchen.

7 Quellenverzeichnis

- Bengtsson, J.; Persson Waye, K.; Kjellberg, A. (2004): Evaluations of effects due to low-frequency noise in a low demanding work situation. *Journal of Sound and Vibration*, 278, 83-99.
- Bonnemeier, H.; Richardt, G.; Potratz, J.; Wiegand, U. K.; Brandes, A.; Kluge, N.; Katus, H.A. (2003): Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects: differing effects of aging and gender on heart rate variability. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2003 Aug;14(8):791-9.
- Bundesumweltministerium / Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017): Umweltbewusstsein in Deutschland 2016 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Broschüren, April 2017
- Danielsson, A.; Landström, U. (1985): Blood pressure changes in man during infrasonic exposure. An experimental study. *Acta Med Scand*. 1985; 217(5):531-5.
- Cooper, S. (2014): The Results of an Acoustic Testing Program, Cape Bridgewater Wind Farm, The Acoustic Group, 2014
- DIN 45680:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft
- DIN 45680 Beiblatt 1:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft - Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen
- DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2005
- DIN ISO 226:2006-04 Akustik - Normalkurven gleicher Lautstärkepegel (ISO 226:2003)
- Döring, N.; Bortz, J. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. (5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Eminent Technologies (1982-2020): TRW-17 "THE WORLDS FIRST TRUE SUBWOOFER" - Output Comparison. Online abrufbar unter <http://www.rotarywoofer.com/woofercomparison.html>, zuletzt abgerufen am 26.03.2020)
- Evans, M.J.; Bryan, M.E.; Tempest, W. (1971): Clinical applications of low frequency sound. *Sound* 1971;5:47-51.
- Evans, M.J.; Tempest, W. (1972): Some effects of infrasonic noise in transportation. *J Sound Vib*. 1972;22:19-24.
- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist
- Griefahn, B. (2008): Determination of noise sensitivity within an internet survey using a reduced version of the Noise Sensitivity Questionnaire. *Acoustics*, 123 (5), 3449, doi: <http://dx.doi.org/10.1121/1.2934269>.
- Harris, C.S.; Sommer, H.C.; Johnson, D.L. (1976): Review of the effects of infrasound on man. *Aviat Space Environ Med*. 1976 Apr;47(4):430-4.
- Heinonen-Guzejev, M.; Vuorinen, H.S.; Mussalo-Rauhamaa, H.; Heikkilä, K.; Koskenvuo, M.; Kaprio, J. (2007): The association of noise sensitivity with coronary heart and cardiovascular mortality among Finnish adults. *Science of the Total Environment*, 372, 406-412.
- International Organization for Standardization ISO 7196 (1995): Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements
- International Organization for Standardization ISO 28961 (2012): Akustik: Statistische Verteilung von Freifeld-Normalhörschwellen
- Iwato, O. (1984): The relationship of noise sensitivity to health and personality. *Japanese Psychological Research*, 26, 75-81.
- Jakobsen, Jorgen (2001): "Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration", *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Vol. 20 No. 3, 141-148
- Jalali, L., Bigelow, P., Nezhad-Ahmadi, M.R., Gohari, M., Williams, D., McColl, S. (2016): Before-after field study of effects of wind turbine noise on polysomnographic sleep parameters. *Noise Health* 18(83), 194

- Job, R.F.S. (1999): Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise. *Noise & Health*, 3, 57-68.
- Kaczmarska, A.; Łuczak A. (2007): A study of annoyance caused by low-frequency noise during mental work. *Int J Occup Saf Ergon.* 2007;13(2):117-25.
- Kalivoda, M. T.; Steiner, J. W. (Hrsg.) (1998): Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik, Springer Verlag Wien, 1998
- Krahé, D.; Schreckenber, D.; Ebner, F.; Eulitz, C.; Möhler, U. (2014): Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall: Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/machbarkeitsstudie-zu-wirkungen-von-infraschall> [05.01.2015].
- Landström, U. (1987). Laboratory and Field Studies on Infrasound and its Effects on Humans. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 6(1), 29–33. doi:10.1177/026309238700600103
- Landström, U. (2000): Human effects of infrasound. 29. inter.noise, Nizza 2000
- Marks, A.; Griefahn, B. (2007): Associations between noise sensitivity and sleep, subjectively evaluated sleep quality, annoyance, and performance after exposure to nocturnal traffic noise. *Noise & Health*, 9, 1-7.
- McCunney, R. J.; Mundt, K. A.; Colby, W. D.; Dobie, R.; Kaliski, K.; Blais, M. (2014): Wind Turbines and Health: A Critical Review of the Scientific Literature. *Journal of Occupational and Environmental Medicine: November 2014 - Volume 56 - Issue 11 - p e108-e130*
- Miedema, H.M.E.; Vos H. (2003): Noise sensitivity and reactions to noise and other environmental conditions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 113, 1492-1504.
- Møller, H. (1984). Physiological and Psychological Effects of Infrasound on Humans. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 3(1), 1–17. doi:10.1177/026309238400300101
- Møller, H.; Lydolf, M. (2002): A questionnaire survey of complaints of infrasound and low-frequency noise. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 21 (2), 53-64.
- Møller, H.; Pedersen, C. S. (2004): Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise and Health* 2004;6: 37-57
- Nunan, D.; Sandercock, G. R.; Brodie, D. A. (2010): A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2010 Nov;33(11):1407-17
- Nussbaum, D. (1979): Some differential effects of infrasound on man. *The Journal of the Acoustical Society of America* 66(S1)
- Öhrström, E.; Björkman, M. (1988): Effects of noise-disturbed sleep: A laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration*, 122, 277-290.
- Pawłaczyk-Łuszczczyńska, M.; Dudarewicz, A.; Waszkowska, M.; Sliwiska-Kowalska, M. (2009): Annoyance related to low frequency noise in subjective assessment of workers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 28 (1), 1-17.
- Persson, K.; Björkman, M.; Rylander, R. (1985): An experimental evaluation of annoyance due to Low Frequency Noise. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, 4 (4), 145-153.
- Persson, K.; Björkman, M.; Rylander, R. (1990): Loudness, annoyance and dBA in evaluating low frequency sounds. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, 9 (1), 32-45.
- Persson Waye, K. (1995): On the effects of environmental low frequency noise. Dissertation, Universität Göteborg, 1995
- Persson Waye, K.; Rylander, R. (1997): Effects on performance and work quality due to low frequency ventilation noises. *Journal of Sound and Vibration*, 205 (4), 467-474.
- Persson Waye, K.; Bengtsson, J; Kjellberg, A.; Benton, S. (2001): Low frequency noise “pollution” interferes with performance. *Noise & Health*, 4 (13), 33-49.
- Persson Waye, K.; Bengtsson, J.; Rylander, R.; Hucklebridge, F.; Evans, P.; Clow, A. (2002): Low frequency noise enhances cortisol among noise sensitive subjects during work performance. *Life Sciences*, 70, 745-758.

- Persson Waye, K.; Clow, A.; Edwards, S.; Hucklebridge, F.; Rylander, R. (2003): Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality. *Life Sciences*, 72, 863-875.
- Punch, J.L.; James, R.R. (2016): Wind Turbine Noise and Human Health: A Four-Decade History of Evidence That Wind Turbines Pose Risks. *Open Journal of Social Sciences*, Vol.5 No.5
- Rohrmann, B.; Scharnberg, T. (1981): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung. Band 2, Datendokumentation und Zusatzstudien. Braunschweig.
- Schütte, M.; Marks, A.; Wenning, E.; Griefahn, B. (2007): The development of the noise sensitivity questionnaire. *Noise Health*, 9, 15-24.
- Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung des BMUB vom 1. Juni 2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5), in Kraft getreten am 09. Juni 2017
- Shaffer, F.; Ginsberg, J. P. (2017): An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health*. 2017 Sep 28;5: 258
- Sung Yul Park, J.; Garcés, M.; Thigpen, B. (2009): The rotary subwoofer: a controllable infrasound source. *Journal of the Acoustical Society of America* 125 (4), 2009
- van Kamp, I.; Job, R.F.S.; Hatfield J.; Haines, M.; Stellato, R.K.; Stansfeld, S.A. (2004): The role of noise sensitivity on the noise-response relation: A comparison of three international airport studies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 3471-3479.
- Watanabe, T.; Møller, H. (1990): Low Frequency Hearing Thresholds in Pressure Fields and in Free Field. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* Vol 9, Issue 3
- Watanabe, T.; Yamada, S. (2002): Study on Perception of Complex Low Frequency Tones. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Volume: 21 issue: 3, page(s): 123-130
- Weichenberger, M.; Bauer, M.; Kühler, R.; Hensel, J.; Forlim, C. G.; Ihlenfeld, A.; Ittermann, B.; Gallinat, J.; Koch, C.; Kühn, S. (2017): Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold—Evidence from fMRI. *PLoS One* 12(4)
- Weinstein, N.D. (1978): Individual differences in reactions to noise: A longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology*, 63 (4), 458-466.
- Williams, B.; Mancía, G.; Spiering, W.; Rosei, E.A.; Azizi, M.; Burnier, M.; Clement, D. L.; Coca, A.; de Simone, G.; Dominiczak, A.; Kahan, T.; Mahfoud, F.; Redon, J.; Ruilope, L.; Zanchetti, A.; Kerins, M.; Kjeldsen, A. E.; Kreutz, R.; Laurent, S.; Lip, R. Y. H.; McManus, R.; Narkiewicz, K.; Ruschitzka, F.; Schmieder, R. E.; Shlyakhto, E.; Tsioufis, C.; Aboyans, V.; Desormais, I.; ESC Scientific Document Group (2018): 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). *European Heart Journal*, Volume 39, Issue 33, 01 September 2018, Pages 3021–3104
- Winkler, J.; Stolzenberg, H. (1999): Der Sozialschichtindex im Bundesgesundheitsurvey. *Gesundheitswesen* 61, Sonderheft 2, 178–183.
- Winkler, J.; Stolzenberg, H. (2009): Adjustierung des Sozialen-Schicht-Index für die Anwendung im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGs) 2003/2006. Wismar: Wismarer Diskussionspapiere, Heft 07/2009.
- Wysocki, K.; Schultz, K.; Wieg, P. (1980): Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß von Infraschalldruck auf den Menschen. *Z. gesamte Hyg.* 26 (1980), 436-440
- Verzini, A.M.; Ortiz Skarp, A.H.; Nitardi, H.; Fuchs, G.L. (1999): A laboratory experiment on very low frequency sounds effects. *Applied Acoustics*, 57, 69-77.
- Zimmer, K.; Ellermeier, W. (1997): Eine deutsche Version der Lärmempfindlichkeitsskala von Weinstein. *Zeitschrift für Lärm-bekämpfung*, 44, 107-110.

A Der Pretest

A.1 Ablauf

In der Zeit vom 02. bis 10.05.2017 erfolgte ein Pretest. Die vorab avisierte geplante Teilnehmerszahl von fünf vorbelasteten Versuchspersonen wurde erreicht. Ein wesentliches Ziel des Pretests war es, die Geräuschszenarien zu erproben und die physische und psychische Reaktion der Versuchspersonen auf die akustischen Reize in Abhängigkeit von der Art der Geräuschszenarien und der Expositionszeit zu ermitteln. Darüber hinaus sollten die zeitlichen Abläufe für den Haupttest abgeschätzt werden.

Im Rahmen des Pretests wurden das Elektrokardiogramm (EKG), der Blutdruck, Spontannystagmen mittels Frenzelbrille und Videoaufzeichnungen, Koordinationstests und das Wach-EEG aufgezeichnet. Es wurden insgesamt acht Versuchspersonen mittels der physiologischen Messungen und psychologischer Fragebögen untersucht. Der Ablauf der Pretests gestaltete sich folgendermaßen:

1. Kommen der Versuchsperson (Begrüßung und kurze Führung durchs Labor):	15 min
2. Einführung in die physiologischen Messungen + Fragebögen, Audiometrie, Anlegen der EEG-Elektroden, Messung Blutdruck (dreimal) + Gleichgewicht (Ruhemessung):	90 min
3. Lärmexposition (insges. 4 Lärmexpositionen + lärmfrei + Mittagspause)	360 min
Einwirkzeit	15 min
Messung Blutdruck + Gleichgewicht	10 min
Fragebögen	15 min
Messung Blutdruck + Gleichgewicht	10 min
Pause (lärmfrei)	10 min
4. Abschlussfragebogen, Verabschiedung + Formalia	15 min
	=====
	480 min (8 h)

Folgende physiologische Messungen wurden in dem Pretest im Einzelnen vorgenommen:

- ▶ EKG (Elektrokardiogramm zur Erfassung der Herzaktivität)
- ▶ EEG (Elektroenzephalogramm zur Erfassung der Hirnaktivität)
- ▶ EOG (Elektrookulogramm zur Erfassung der Augenbewegungen)
- ▶ EMG (Elektromyogramm zur Erfassung der Muskelaktivität)
- ▶ Blutdruckmessungen
- ▶ Prüfung der Funktion des Gleichgewichtsorgans mittels Frenzelbrille, Bárány-Zeigerversuch und Finger-Nase-Versuch

Die Gesamtdauer variierte interindividuell und betrug mindestens 6,5 Stunden. Es wurde testweise geprüft, ob an einem Testtag auch zwei Personen gleichzeitig untersucht werden können, wovon allerdings dann Abstand genommen wurde.

A.2 Geräuschszenarien

Für den Pretest wurden im ersten Schritt folgende Versuchsszenarien wiedergegeben:

- ▶ 5 Hz Sinuston, Expositionszeit: 60 Minuten,
- ▶ 1 Hz Sinuston, Expositionszeit: 15 Minuten,
- ▶ Variationen des Infraschalls bei verschiedenen Pegelhöhen, Expositionszeit jeweils: 3 bis 5 Minuten (vgl. Tabelle),
- ▶ Variationen verschiedener Frequenzen im Primärbereich des Infraschalls,
- ▶ Variation der Signalform (Sinustöne, Terzbandrauschen, Modulationen),
- ▶ Variation der Frequenzmodulation (gleichmäßig, stochastisch).

Tabelle: Variationen der Geräuschszenarien im Pretest, kurze Expositionszeit

Frequenz	Pegelniveau 1	Pegelniveau 2	Pegelniveau 3	Pegelniveau 4
1 Hz	120 dB	110 dB	100 dB	90 dB
5 Hz	120 dB	100 dB	90 dB	80 dB
10 Hz	110 dB	95 dB	85 dB	75 dB
15 Hz	100 dB	90 dB	80 dB	70 dB

Nach diesen Vorüberlegungen war der experimentelle Teil des Pretests in fünf Abschnitte unterteilt, in denen je eines von fünf Geräuschszenarien (in randomisierter Reihenfolge) für zirka 30 Minuten präsentiert wurde. Die Expositionsdauer hing davon ab, wie zügig die Versuchspersonen währenddessen die Fragebögen ausfüllen konnten. Zwischen den einzelnen Abschnitten gab es eine kleine Pause.

Im Pretest wurden fünf verschiedene Geräuschszenarien untersucht:

1. Ruhe
2. Sinus 20 Hz, Pegel $L_{z,eq} = 85$ dB
3. Sinus 10 Hz, Pegel $L_{z,eq} = 95$ dB
4. Sinus 5 Hz, Pegel $L_{z,eq} = 105$ dB
5. Sinus 20 Hz mit 1 Hz 100 % amplitudenmoduliert, Pegel $L_{z,eq} = 85$ dB

(Anmerkung: Stimulus 1 (Ruhe) wurde nicht definiert erzeugt; stattdessen war das im Versuchsraum herrschende Ruhegeräusch zu hören.)

Während die Geräuschszenarien im Versuchsraum präsentiert wurden, wurde das Schallfeld dort an zwei Stellen erfasst. Ein Mikrofon (später CH2) stand nahe bei der Versuchsperson, unterhalb des Tisches, an dem diese saß. Das zweite Mikrofon (später CH1) war zu Testzwecken einmal in einer Ecke hinter einer Couch platziert, ein anderes Mal von der Decke hängend über dem Versuchsteilnehmenden befestigt. Das Mikrofon wurde in solch einer Höhe positioniert, dass es beim Aufstehen vom Stuhl nicht berührt werden konnte. Die Messergebnisse sind auf den nachfolgenden Seiten dargestellt. Die Mikrofonsignale wurden auf verschiedene Weise analysiert (siehe Abbildungen auf den nachfolgenden Seiten). Die Ergebnisse sind in jeweils sechs Feldern dargestellt:

Tabelle: Aufteilung der in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Messergebnisse zu den fünf Geräuschszenarien des Pretests

Zeile	Spalte 1	Spalte 2
1	A	D
2	B	E
3	C	F

Zu A: In A werden die Pegelverläufe $L_{ZF}(t)$ und $L_{AF}(t)$ über einen Zeitabschnitt von einer Minute für die Kanäle 1 und 2 (CH1, CH2) dargestellt. Die Z-bewerten Größen weisen in der Regel einen sehr gleichförmigen regelmäßigen Verlauf auf, der durch die tieffrequenten Anteile bestimmt ist. Nur beim Geräuschszenario „Ruhe“, wo solche Anteile nicht gezielt erzeugt wurden, sondern Teil des Umgebungsgeräusches waren, ist der Verlauf etwas unregelmäßiger.

Im A-bewerteten Verlauf sind gelegentlich kleine Störungen zu erkennen, die durch Aktivitäten im Raum (Bewegungen der Versuchsperson, Husten, Blättern der Papiere et cetera) entstanden sind. Größere „Störungen“ traten während der Blutdruckmessungen auf.

Zu B: Hier wird ein hochaufgelöstes Spektrum des Signals von Mikrofon CH2 gezeigt, das bei allen Durchgängen in der Nähe der Versuchsteilnehmenden stand. Die hohe Auflösung wird durch eine sogenannte „Zoom Fast Fourier-Transformation“ (Zoom-FFT) erreicht, bei der das Signal vor der eigentlichen FFT gefiltert und seine Abtastfrequenz geändert wird. Es wird dadurch eine Auflösung von etwa 0,01 Hz erreicht. Allerdings muss dazu das Signal jeweils über einen Zeitabschnitt von 10 Sekunden ausgewertet werden.

Zu C: Auch hier handelt es sich um eine hochauflösende Spektralanalyse von CH2 (1/48-Oktave-Analyse). Gegenüber der Terzanalyse (1/3 Oktave) ist die Auflösung um den Faktor 16 gesteigert, wodurch unter Umständen wesentliche Details besser zu erkennen sind.

Der Unterschied zur Zoom-FFT besteht darin, dass bei der 1/48-Oktave-Analyse die relative Bandbreite konstant ist, während bei der Zoom-FFT die absolute Bandbreite (und somit die Frequenzauflösung) konstant ist. Damit wird die Frequenzauflösung bei der 1/48-Oktave-Analyse zu tiefen Frequenzen hin immer feiner und zu höheren Frequenzen immer gröber. Im menschlichen Gehör findet ein ähnliches Verhalten statt, jedoch im höherfrequenten Bereich. Die Zoom-FFT, bei der die Auflösung unabhängig von der Frequenzlage ist, hat demgegenüber den Vorteil, dass regelmäßige Strukturen im Frequenzbereich (zum Beispiel Harmonische) wesentlich klarer zu erkennen sind.

Zu D und E: Die Terzanalyse ist in D (CH1) und E (CH2) gegeben. Als eine Analyse, die in Standards definiert ist und auf der Richtlinien basieren, ist sie sehr relevant. Wie allerdings im Vergleich mit den anderen Spektralanalysen offenkundig wird, bleiben nicht unwesentliche Details verborgen. Auch fällt es auf, dass bei einem monofrequenten Signal, dessen Frequenz genau mit der Mittenfrequenz eines Terzbandes übereinstimmt, nicht nur für diese Terz, sondern auch für die Nachbarterzen ein herausragender Pegelwert angezeigt wird. Zu erklären ist dies mit dem Umstand, dass die Festlegung der Terzfilter in der Flankensteilheit eine gewisse Toleranz zulässt, die ein Übersprechen in die benachbarten Terzfilter bis zu einem gewissen Maß erlaubt.

Zu F: Hier sind die Signale beider Mikrofone mittels der (einfachen) FFT zusammen aufgetragen. Diese Form der Darstellung ermöglicht einen schnellen Überblick darüber, ob sich Differenzen bei den Verläufen zeigen. In den Fällen, in der das Mikrofon CH1 wie beschrieben hinter einer Couch in einer der Zimmerecken stand, ist dies im geringen Maß gegeben. Als sinnvoll hat sich allerdings ergeben, auch dieses Mikrofon in die Nähe des Teilnehmenden, aber doch etwas entfernt vom zweiten Mikrofon zu platzieren. In diesem Fall verschwinden vor allem bei den beabsichtigten Schallkomponenten die Unterschiede. Damit kann davon ausgegangen werden, dass sich der Schalldruck an deren Ohren der Versuchsperson bei leichten Bewegungen nicht ändert. Die anderen Komponenten mögen hier keine Rolle spielen, da sie unterhalb der Hörschwelle liegen sollten.

Zu B bis E: Neben den Spektralverläufen ist in den Diagrammen die Hörschwelle nach DIN 45680 (Fassung 1997) eingezeichnet.

Diskussion der Messergebnisse

Auf den nachfolgenden Seiten sind die Messergebnisse für die oben aufgeführten Geräuschszenarien dargestellt. Als Erstes kann festgestellt werden, dass das Ruhegeräusch einen Schalldruckpegel von nur etwa 15 dB(A) beziehungsweise 50 dB(Z) aufweist. Alle Spektralkomponenten liegen zum Teil sehr deutlich unterhalb der Ruhehörschwelle. Einzig und allein auffällig sind zwei Komponenten im Zoom-FFT-Spektrum bei 25 Hz und 50 Hz. Sie liegen zwar klar unterhalb der Hörschwelle, deuten aber auf ein technisches Geräusch hin, das möglicherweise hätte vermieden werden können; das Vorhandensein ist aber unkritisch.

Die Pegelwerte der 20 Hz-Komponente in den verschiedenen Spektren sind leicht unterschiedlich, was bei dem Vergleich CH1/CH2 nachvollzogen werden kann. In den anderen Fällen kann die Bandbreite einen leichten Einfluss haben. Im Zweifelsfall ist das Terzspektrum maßgeblich. Danach wäre bei CH2 (rotes Terzspektrum) der Pegelwert der 20 Hz-Komponenten ein wenig unterhalb der vorgegebenen 85 dB. Damit wird beispielhaft auf folgenden Umstand aufmerksam gemacht: Die Pegel wurden voreingestellt, als der Raum nicht belegt war, damit es keine Irritationen bei den Teilnehmenden gab. Durch die anschließende Belegung des Raumes konnten sich die Pegel jedoch leicht verschieben. Dies wurde per Hand ausgeglichen. Wie jedoch angemerkt, war dies sehr zurückhaltend und nicht abrupt durchzuführen.

Die Pegelwerte der Harmonischen sind klar im Zoom-FFT-Spektrum zu erkennen, liegen aber deutlich unterhalb der Hörschwelle.

Das 10 Hz-Sinussignal stellte sich als das Kritischste dar. Nach dem Terzspektrum werden die vorgegebenen 95 dB bei der 10 Hz-Komponente erreicht, aber weniger gut sind dort die höheren Harmonischen zu erkennen. Dass die 70 Hz- und die 110 Hz-Komponente die Ruheschwelle überschreiten, kann dem Zoom-FFT-Spektrum entnommen werden. Hier musste noch nachgebessert werden, worauf später noch eingegangen wird. Davon abgesehen wurden die Pegelwerte sehr konstant gehalten. Etwas weniger kritisch, aber dennoch verbesserungswürdig waren die Ergebnisse bei dem 5 Hz-Sinussignal (Bild 4). Es gibt eine Vielzahl von höheren Harmonischen, die zum Teil recht deutlich unterhalb der Hörschwelle liegen, sich mit zunehmender Frequenz aber der Hörschwelle nähern und diese in zwei Fällen auch touchieren. Der geforderte Pegel der 5 Hz-Komponente wird mit 105 dB erreicht.

Ein sehr positives, fast ideales Ergebnis zeigt Bild 5 (moduliertes 20 Hz-Signal). Der vorgegebene Pegelwert von 85 dB wird konstant gehalten, höhere Komponenten sind aber selbst im kritischen Zoom-FFT-Spektrum kaum auszumachen.

Bild 1: Messergebnisse Szenario „Ruhe“

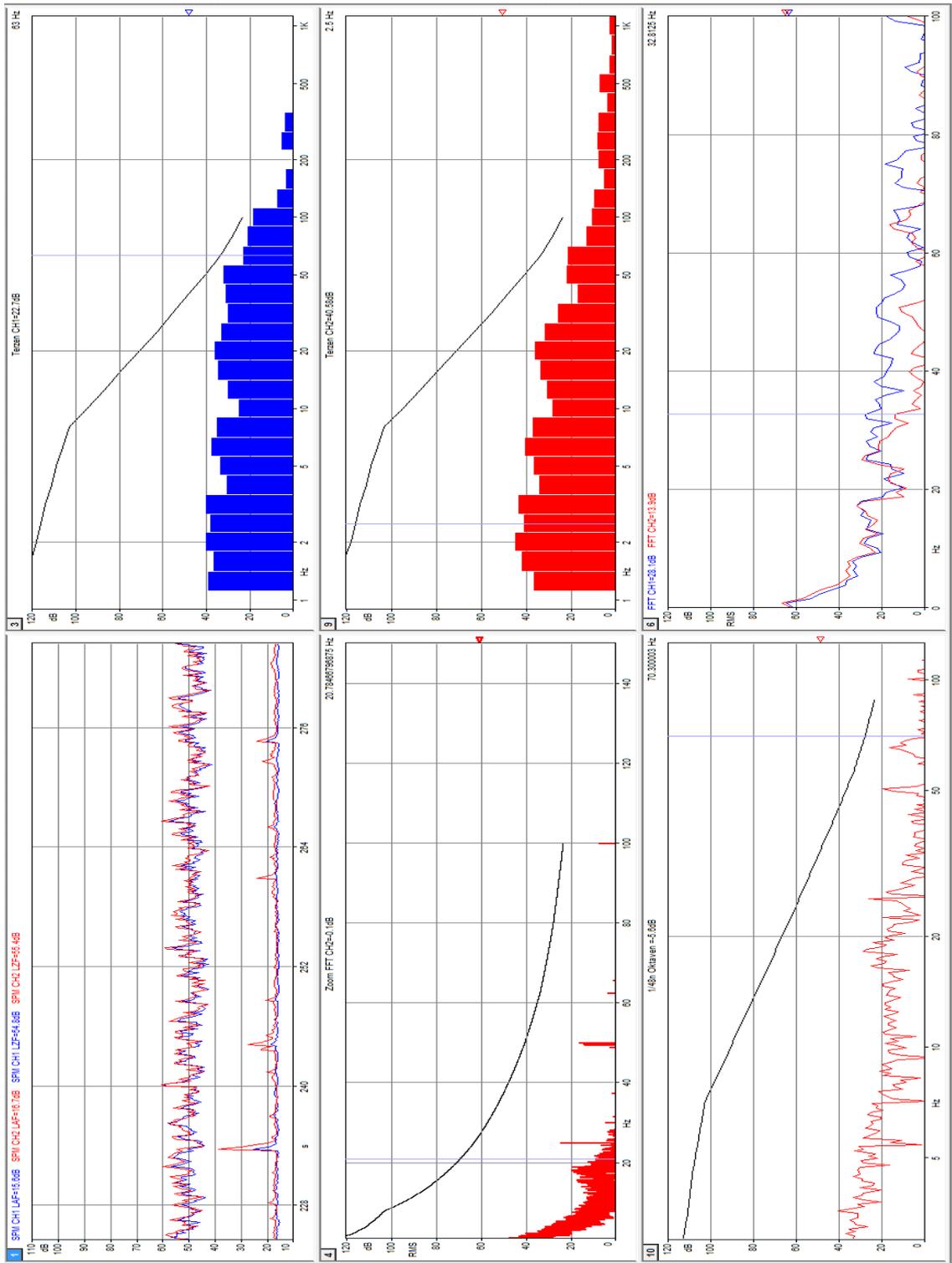


Bild 2: Messergebnisse Stimulus „20 Hz-Sinus“

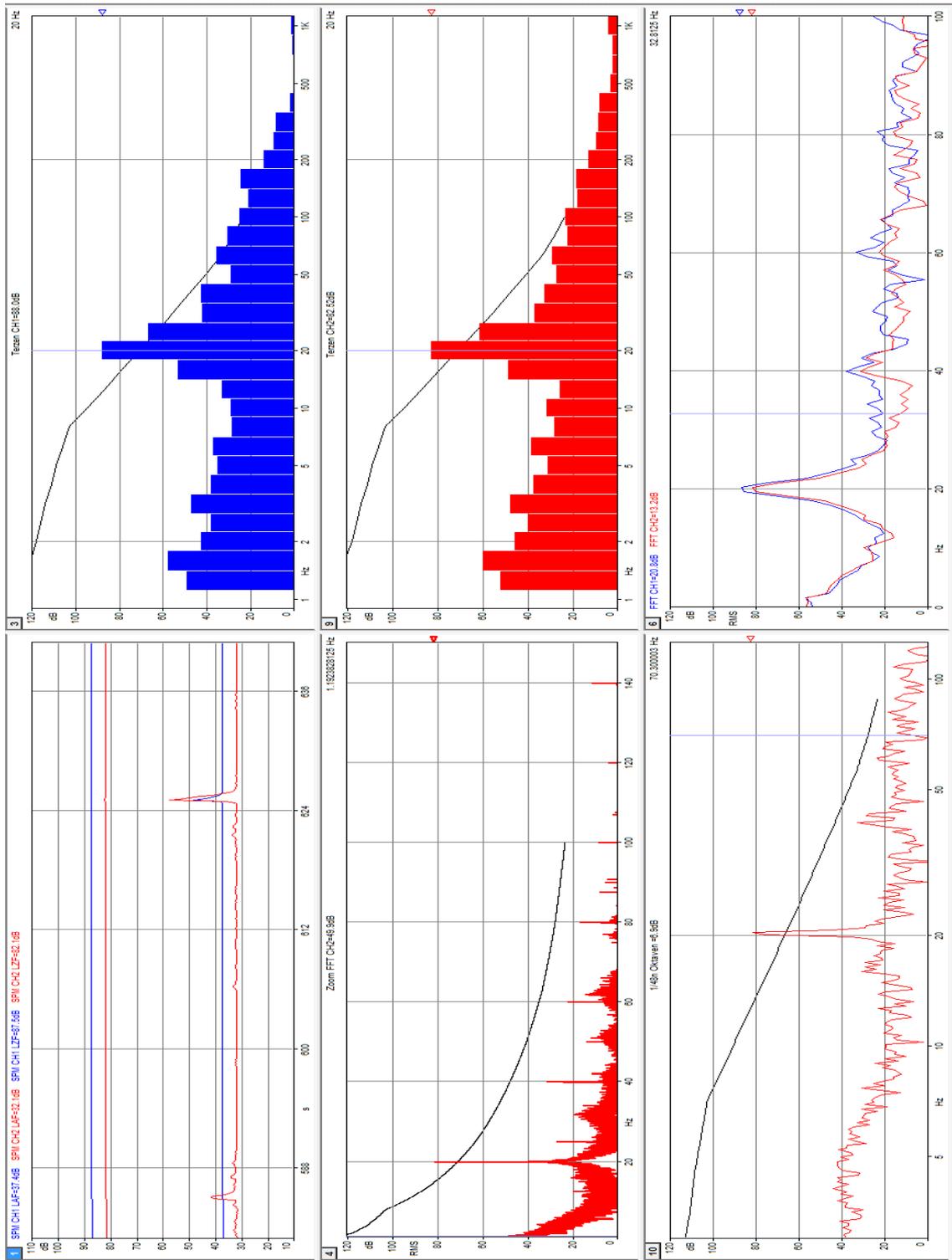


Bild 3: Messergebnisse Stimulus „10 Hz-Sinus“

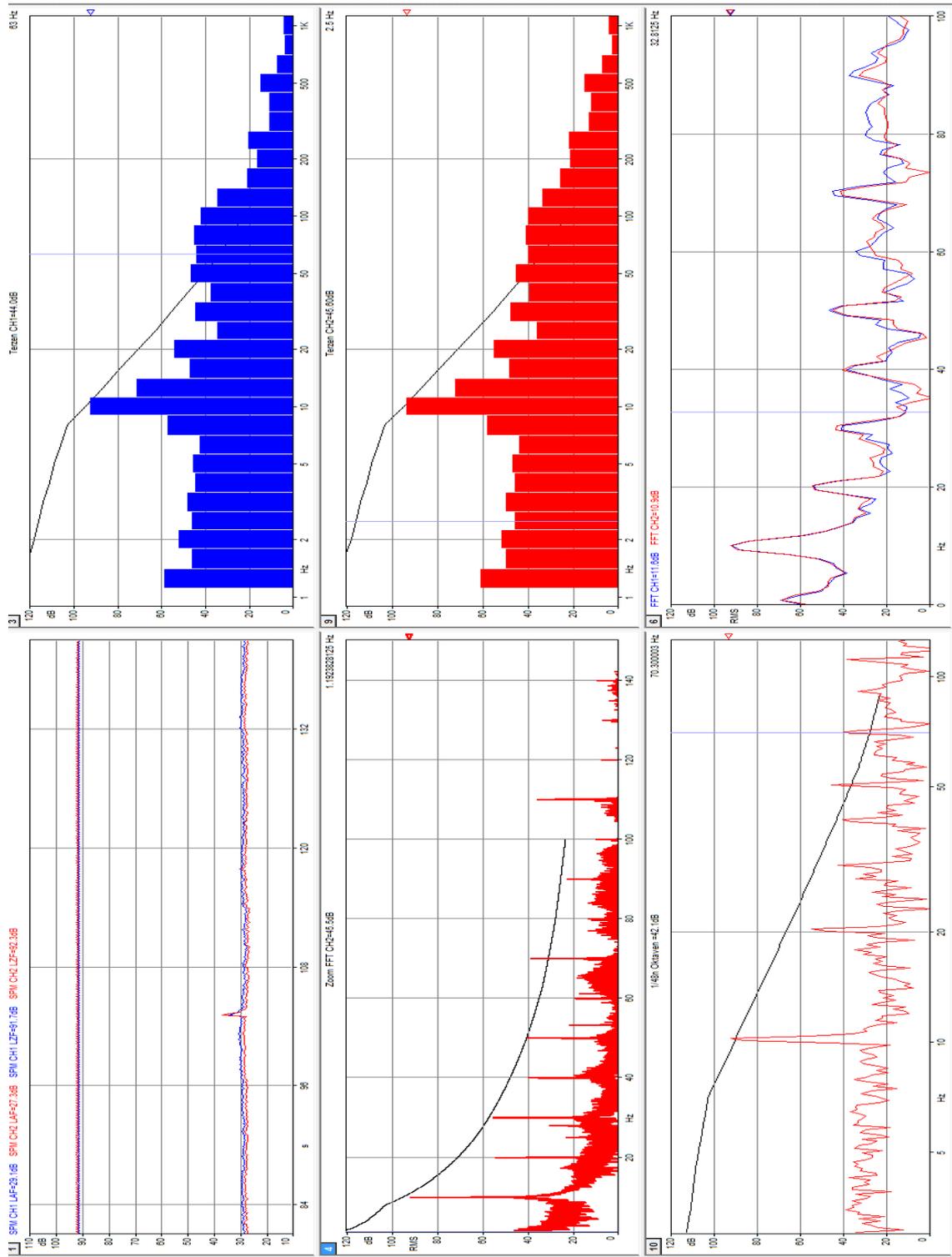


Bild 4: Messergebnisse „5 Hz Sinus“

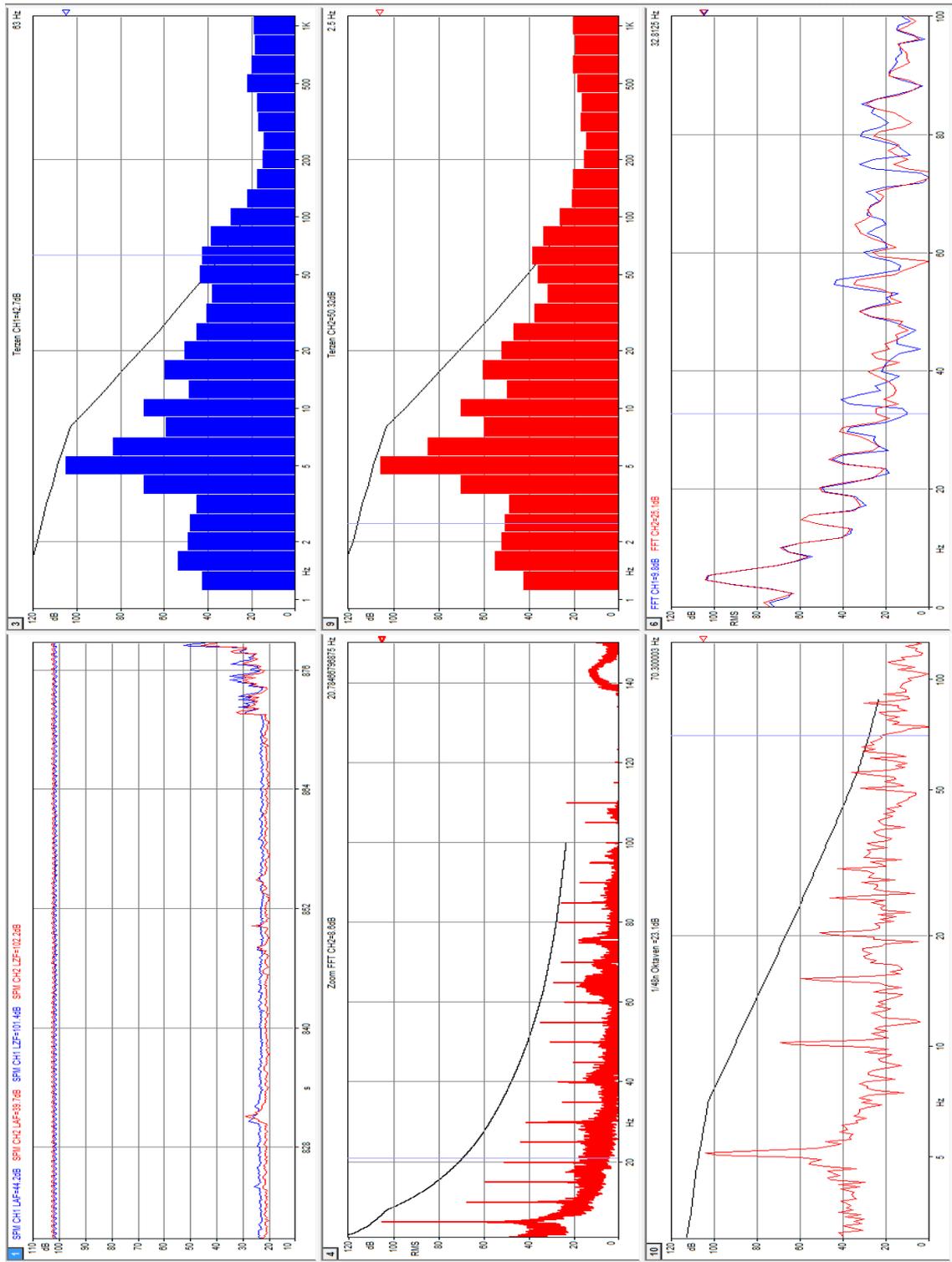
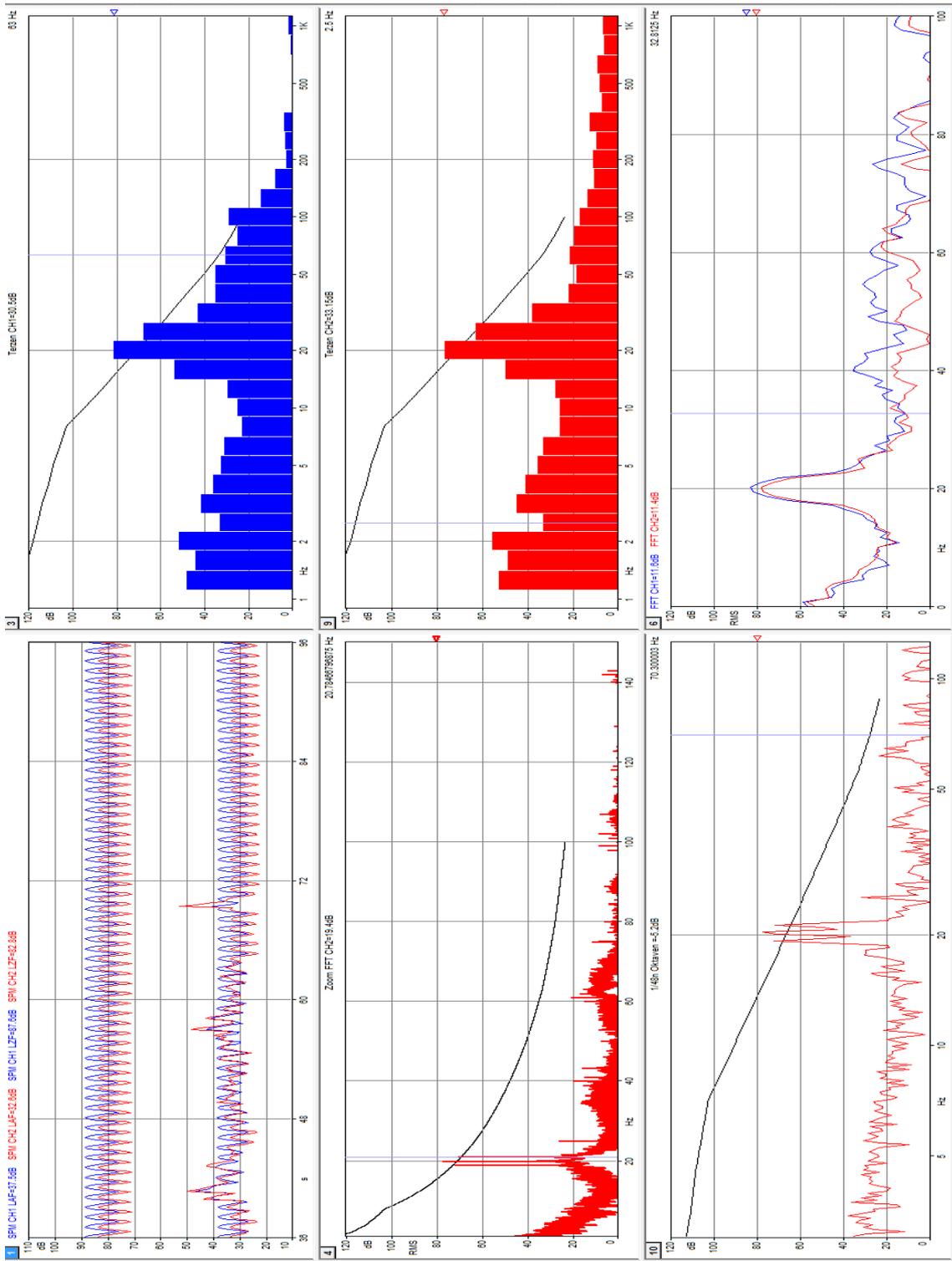


Bild 5: Messergebnisse „20 Hz Sinus amplitudenmoduliert mit 1 Hz 100%“



B Nachweis Rückführung der verwendeten Infraschallmesstechnik

SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden

Kalibriersysteme / Spezialanfertigungen / DAkkB Laboratorium / Umweltsimulation



Kalibrierlaboratorium
Calibration laboratory

Werkskalibrierschein
Factory Calibration Certificate

Kalibrierzeichen
Calibration mark

WK

SPEKTRA

GmbH

17-1116

<p>Gegenstand <i>Object</i></p>	<p>Schallpegelmesser</p>	<p>Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI).</p> <p>Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.</p> <p><i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the international Systems of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i></p>
<p>Hersteller <i>Manufacturer</i></p>	<p>Sinus Messtechnik</p>	
<p>Typ <i>Type</i></p>	<p>SOUNDBOOK_quadro G</p>	
<p>Fabrikat/Serien-Nr. <i>Serial number</i></p>	<p>#06029 K1</p>	
<p>Auftraggeber <i>Customer</i></p>	<p>Möhler + Partner Ingenieure AG DE-81373 München</p>	
<p>Auftragsnummer <i>Order No.</i></p>	<p>170723</p>	
<p>Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines <i>Number of pages of the certificate</i></p>	<p>4</p>	
<p>Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration</i></p>	<p>11.05.2017</p>	

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums.
Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not be reproduced other than completely except with permission of the issuing company. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel <i>Seal</i>	Datum <i>Date</i>	Stellv. Leiter des Kalibrierlaboratoriums <i>Deputy head of the calibration laboratory</i>	Bearbeiter <i>Person in charge</i>
------------------------	----------------------	---	---------------------------------------

SPEKTRA
Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden
Heidelberger Straße 12 • DE - 01189 Dresden
Tel. +49 351 400 24 - 0 • Fax +49 351 400 24 - 99
sales@spektra-dresden.com • www.spektra-dresden.de

12.05.2017

Mario Gutbier

H.-G. Uszakiewicz

WK17-1116/4



SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden
Heidelberger Str. 12, DE-01189 Dresden - Tel. (0351) 4 00 24 31

Seite 2 zum Kalibrierschein vom 12.05.2017
 Page of calibration certificate dated

WK
SPEKTRA
GmbH
17-1116

1. Kalibriergegenstand

Gegenstand:	Hersteller:	Typ:	Serien-Nr:
Schallpegelmesser	SINUS Messtechnik	SOUNDBOOK_quadro G	#06029 K1
mit:			
Messmikrofon	Sinus Messtechnik	MK222E – MV210	8730 ~ 2168
Software	SINUS Messtechnik	SAMURAI	1.7.24

2. Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung erfolgte mit einem akustischen Kuppler und mit einer Tieffrequenz-Messkammer nach dem Komparationsverfahren mit Sinustönen. Die Ausgangsspannungen der Referenz- Mikrofone wurden mit einer Normalmesseinrichtung gemessen.

Die von der Schallpegel-Messkette angezeigten Schallpegel-Werte wurden erfasst und mit den bereitgestellten Schalldruckwerten (Sollwerten) verglichen. Zusätzlich wurde die Druck-Betriebsübertragung des Messmikrofons bei Pegel und Frequenz mit der Referenz 31,5 Hz erfasst. Durch Gegenüberstellung ist es so möglich, die Anzeigeabweichung der eingesetzten Schallpegelmesser-Software vom physikalischen Druck-Frequenzgang des verwendeten Messmikrofons darzustellen.

3. Umgebungsbedingungen

Umgebungstemperatur des Prüflings:	(23,0 ± 1) °C
Relative Luftfeuchte:	(36 ± 5) %
Statischer Luftdruck:	(974,7 ± 1) hPa

4. Messunsicherheit

Die relativen Messunsicherheiten für die ausgewiesenen Werte betragen:

- im Frequenzbereich 1 Hz bis 100 Hz **0,25 dB**

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor k = 2 ergibt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Werteintervall.

5. Bestandteile der Normalmesseinrichtung

	Hersteller	Typ	Serien-Nr.
Messmikrofonkapsel	Brüel & Kjaer	4192	2802765 with GRID
Mikrofonvorverstärker	Microtech Gefell	MV203	0173
Kalibriersystem	SPEKTRA	CS18 AK 1	200220
Kalibriersystem	SPEKTRA	CS18 AK 2	200717
akustischer Kuppler	SPEKTRA	SQ-4.2	1502
Differenzdruck Sensor	Sensortronics	113LU01-PCB	4608001
TF Messkammer	SPEKTRA	VLFC	01

Die aufgeführten Messmittel sind auf nationale Normale rückgeführt.

6. Parametrierung Kalibriereinrichtung

Kalibrierpegel:	siehe 7.1
Filtertyp:	Schmalbandfilter
Bezugsschalldruck:	20 µPa

WK17-1116/4



SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden
 Heidelberger Str. 12, DE-01189 Dresden - Tel. (0351) 4 00 24 31

WK
SPEKTRA
GmbH
17-1116

7. Ergebnisse

7.1 Druck-Betriebsübertragung des Messmikrofons bei Pegel und Frequenz (Referenz 31,5 Hz)

Frequenz in Hz	Schalldruckpegel in dB	Druck-Betriebs- übertragungskoeffizient in mV/Pa	Druck-Betriebs- übertragungsmaß in dB re 1 V/Pa	Abweichung bezogen auf 31,5 Hz in dB
1	124	37,65	-28,48	-2,12
1,25	124	40,68	-27,81	-1,45
1,6	124	43,28	-27,27	-0,91
2	124	44,99	-26,94	-0,57
2,5	124	46,19	-26,71	-0,35
3,15	124	47,01	-26,56	-0,19
4	124	47,53	-26,46	-0,10
5	124	47,81	-26,41	-0,04
6,3	124	47,97	-26,38	-0,02
8	124	48,04	-26,37	0,00
10	124	48,06	-26,36	0,00
12,5	124	48,06	-26,37	0,00
16	124	48,05	-26,37	0,00
20	124	48,03	-26,37	-0,01
25	124	48,02	-26,37	-0,01
31,5	124	48,06	-26,36	0,00

7.2 Anzeigeabweichung (absolut) des Schallpegelmessers bei Pegel und Frequenz

Frequenz in Hz	Schalldruckpegel bereitgestellt in dB	Schalldruckpegel in dB Anzeigeabweichung SLM		Anzeigeabw. vom physika- lischen Sollwert in dB	
		FAST	SLOW	FAST	SLOW
1	124	-0,8	-2,2	1,3	-0,1
1,25	124	-0,3	-1,5	1,2	-0,1
1,6	124	0,1	-1,0	1,0	-0,1
2	124	0,3	-0,6	0,8	-0,1
2,5	124	0,3	-0,4	0,6	-0,1
3,15	124	0,3	-0,3	0,5	-0,1
4	124	0,3	-0,2	0,4	-0,1
5	124	0,2	-0,1	0,3	-0,1
6,3	124	0,1	-0,1	0,1	-0,1
8	124	0,1	-0,1	0,1	-0,1
10	124	0,0	-0,1	0,0	-0,1
12,5	124	0,0	-0,1	0,0	-0,1
16	124	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
20	124	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
25	124	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
31,5	124	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
40	94	0,0	0,0		
50	94	0,0	0,0		
63	94	0,0	0,0		
80	94	0,0	0,0		
100	94	0,0	0,0		

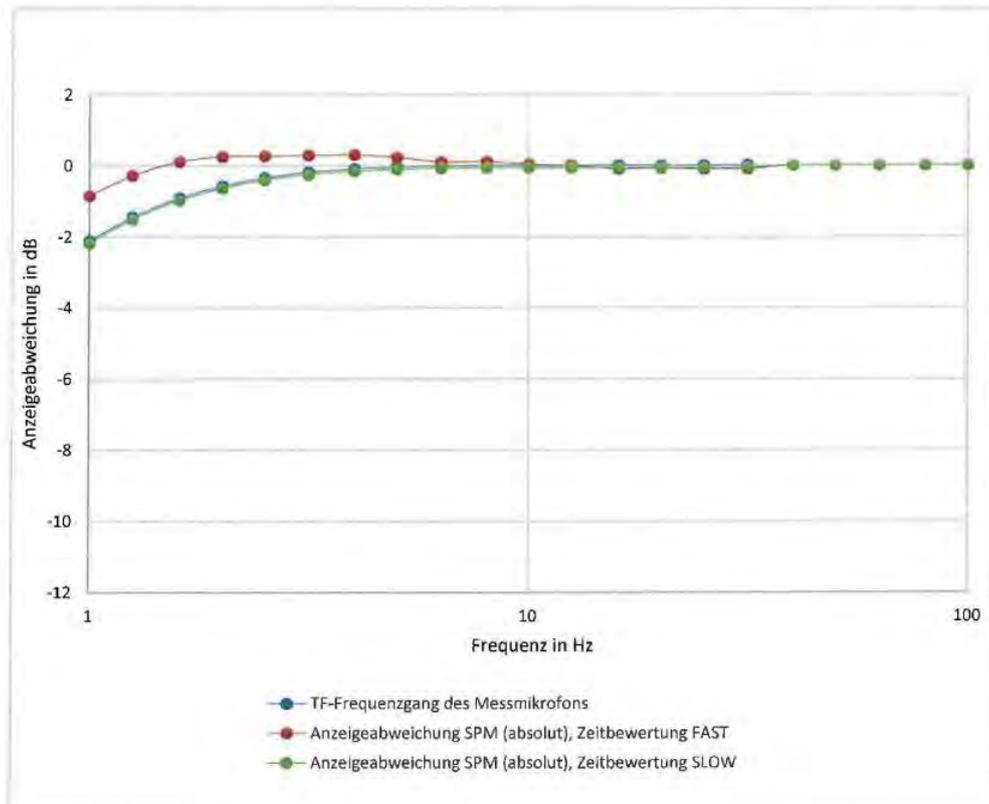
WK17-1116/4



SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden
 Heidelberger Str. 12, DE-01189 Dresden - Tel. (0351) 4 00 24 31

WK
SPEKTRA GmbH
17-1116

7.3 Frequenzgang des Mikrofons und Anzeigeabweichung des Schallpegelmessers (Fast / Slow)



WK17-1116/4



SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden
 Heidelberger Str. 12, DE-01189 Dresden - Tel. (0351) 4 00 24 31

C Fragebogen für die Laborstudie

Hinweise zum Versuch „Wirkungen verschiedener Schallarten“

Liebe Versuchsteilnehmerin, lieber Versuchsteilnehmer,
herzlich willkommen!

In diesem Versuch geht es um die Auswirkung von verschiedenen Schallarten auf Ihr persönliches Wohlbefinden.

Sie durchlaufen gleich mehrere Testphasen mit oder ohne Geräuscharbeitung.

In jeder Testphase füllen Sie bitte einen Fragebogen aus, mit dem Sie das Geräusch und Ihr aktuelles Wohlbefinden bewerten. Bitte lesen Sie sich jede Frage in Ruhe durch und geben Sie die Antwort an, die Ihrer Einschätzung am nächsten kommt. Uns interessiert ausschließlich Ihre persönliche Bewertung. Es gibt bei den Antworten kein „richtig“ oder „falsch“.

Ihnen wird auffallen, dass einige Fragen bzw. Inhalte mehrmals abgefragt werden. Das liegt zum einen daran, dass sich seit der ersten Kontaktaufnahme z.B. etwas an Ihrer Wohnsituation oder Ihrem Gesundheitszustand geändert haben könnte. Zum anderen setzen wir verschiedene Fragenbatterien ein, die sich einzelne Fragen ähneln können. Jedoch erfassen diese Fragebogenbatterien unterschiedliche Konstrukte und wurden im Hinblick auf Ihre Formulierung und Zusammensetzung in weiteren Studien geprüft. Das Weglassen einzelner Fragen zur Vermeidung von Dopplungen würde dazu führen, dass das erfasste Konstrukt nicht mehr korrekt abgebildet wäre. Gleiches gilt für die unterschiedlichen Antwortformate. Wir bitten daher um Ihr Verständnis für entsprechende Dopplungen.

Am Ende möchten wir Sie darum bitten, eine Bewertung des Versuchs und unserer Fragebögen vorzunehmen. Diese Einschätzung gibt uns wertvolle Hinweise zur Verbesserung unseres Versuchsablaufs.

Haben Sie noch Fragen?

Bitte füllen Sie jetzt den Fragebogen zu den Wohn- und Lebensbedingungen in Ihrer häuslichen Wohnumgebung aus. Danach füllen Sie bitte den Fragebogen zu Ihrem aktuellen Wohlbefinden aus.

Alle Angaben zur Ihrer Person sowie alle Befragungs- und Erhebungsdaten werden anonymisiert und streng vertraulich behandelt.

Herzlichen Dank für Ihre Unterstützung!

Angaben zur Person	
Geschlecht	<input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich
Geburtsjahr	_____ (JJJJ)
Welchen Schulabschluss und abgeschlossene Berufsausbildung haben Sie? (Geben Sie bitte nur den <u>höchsten</u> Abschluss an.)	
<u>höchster Schulabschluss</u>	<u>höchste abgeschlossene Berufsausbildung</u>
<input type="checkbox"/> Hauptschul-/Volksschulabschluss	<input type="checkbox"/> noch in beruflicher Ausbildung (Berufsvorbereitungsjahr, Auszubildende(r), Praktikant/-in, Student/-in)
<input type="checkbox"/> Realschulabschluss/Mittlere Reife	<input type="checkbox"/> keinen beruflichen Abschluss und nicht in beruflicher Ausbildung
<input type="checkbox"/> Polytechnische Oberschule der DDR mit Abschluss der 10. Klasse	<input type="checkbox"/> beruflich-betriebliche Berufsausbildung (Lehre) abgeschlossen
<input type="checkbox"/> Fachhochschulreife, Abschluss Fachoberschule	<input type="checkbox"/> beruflich-schulische Ausbildung (Berufsfachschule, Handelsschule, Vorbereitungsdienst für den mittleren Verwaltungsdienst abgeschlossen)
<input type="checkbox"/> Allgemeine oder fachgebundene Hochschulreife/ Abitur (Gymnasium bzw. Erweiterte Oberschule (EOS), auch EOS mit Lehre)	<input type="checkbox"/> Ausbildung an einer Fachschule der DDR abgeschlossen
<input type="checkbox"/> Schule beendet ohne Abschluss	<input type="checkbox"/> Ausbildung an Meister-, Berufs- oder Fachakademie abgeschlossen.
<input type="checkbox"/> noch keinen Schulabschluss	<input type="checkbox"/> Ausbildung an Ingenieur-/Technikerschule abgeschlossen
<input type="checkbox"/> Polytechnische Oberschule der DDR mit Abschluss der 8. oder 9. Klasse	<input type="checkbox"/> Bachelor an Fachhochschule abgeschlossen
<input type="checkbox"/> sonstiger Schulabschluss	<input type="checkbox"/> Bachelor an Hochschule/Universität abgeschlossen
	<input type="checkbox"/> Fachhochschulabschluss (z.B. Diplom, Master)
	<input type="checkbox"/> Universitätsabschluss (z.B. Diplom, Magister, Staatsexamen, Master)
	<input type="checkbox"/> einen anderen beruflichen Abschluss

A Angaben zur Person, Wohnsituation, Umweltbelastung und Wohlbefinden vor dem Versuch

Sind Sie...	<input type="checkbox"/> vollzeiterwerbstätig
	<input type="checkbox"/> teilzeiterwerbstätig
	<input type="checkbox"/> geringfügig erwerbstätig, 400-Euro-Job, Minijob, Gelegentlich oder unregelmäßig beschäftigt
	<input type="checkbox"/> „Ein-Euro-Jobber“ (bei Bezug von Arbeitslosengeld II)
	<input type="checkbox"/> Altersteilzeit (in der Arbeitsphase befindlich)
	<input type="checkbox"/> in einer beruflichen Ausbildung/Lehre oder Umschulung
	<input type="checkbox"/> Schülerinnen oder Studierende, die nicht gegen Geld arbeiten
	<input type="checkbox"/> in Mutterschafts-, Erziehungsurlaub, Elternzeit oder sonstige Beurlaubung
	<input type="checkbox"/> in Pension/Rente, Altersteilzeit (in Freistellungsphase befindlich)
	<input type="checkbox"/> zur Zeit nicht erwerbstätig (arbeitslos, Vorruheständler/-innen)
	<input type="checkbox"/> noch nie erwerbstätig gewesen
	<input type="checkbox"/> im Wehrdienst/Zivildienst, Freiwilliges Soziales Jahr (BuFi)
	<input type="checkbox"/> Hausmann/-frau
	<input type="checkbox"/> Sonstiges
Welche berufliche Position nehmen Sie gegenwärtig ein? <i>Wenn Sie <u>nicht mehr</u> oder gegenwärtig <u>nicht</u> berufstätig sind, geben Sie bitte Ihre letzte Position an.</i>	
Arbeiter(in)	Selbständige(r)
<input type="checkbox"/> ungelernter Arbeiter	<input type="checkbox"/> selbständiger Landwirt/ Genossenschaftsbauer
<input type="checkbox"/> Angelernter oder gelernter Arbeiter	<input type="checkbox"/> Freiberuflich, selbständiger Akademiker
<input type="checkbox"/> Facharbeiter	<input type="checkbox"/> sonstiger Selbständiger mit bis zu 9 Mitarbeitern/Partnern
<input type="checkbox"/> Vorarbeiter	<input type="checkbox"/> sonstiger Selbständiger mit 10 und mehr Mitarbeitern/Partnern
<input type="checkbox"/> Meister	<input type="checkbox"/> mithelfender Familienangehöriger
Angestellte(r)	Beamter(in)
<input type="checkbox"/> mit einfacher Tätigkeit	<input type="checkbox"/> einfacher Dienst
<input type="checkbox"/> mit qualifizierter Tätigkeit	<input type="checkbox"/> mittlerer Dienst
<input type="checkbox"/> Industrie-/Werkmeister	<input type="checkbox"/> gehobener Dienst
<input type="checkbox"/> mit hochqualifizierter Tätigkeit oder Leitungsfunktion	<input type="checkbox"/> höherer Dienst
<input type="checkbox"/> mit umfassender Führungstätigkeit u. Entscheidungsbefugnissen	
Wie viele Personen leben ständig in Ihrem Haushalt , Sie selbst mitgerechnet? Zählen Sie dabei bitte auch Kinder mit.	insgesamt _____ Personen, davon _____ unter 14 Jahre (Kinder) _____ von 14 bis unter 18 Jahre alt (Jugendliche) _____ über 18 Jahre alt (Erwachsene)

Noch eine letzte Frage zu Ihrem Haushalt:
Damit wir in unserer Studie die Angaben aus verschiedenen **Einkommensgruppen** vergleichen können, würde es uns sehr helfen, wenn Sie uns sagen, in welche Gruppe das monatliche Nettoeinkommen Ihres Haushaltes – also aller im Haushalt lebenden Personen -gehört? Ist es ...

Zum Nettoeinkommen zählt das Einkommen aller Haushaltsmitglieder zusammen (einschließlich Erziehungsgeld, Kindergeld, Beihilfen, sonstige Einkünfte), nach Abzug von Steuern und Sozialabgaben

- unter 1250 €
- 1250 bis unter 1750 €
- 1750 bis unter 2250 €
- 2250 bis unter 3000 €
- 3000 bis unter 4000 €
- 4000 bis unter 5000 €
- 5000 € und mehr

1. Häusliche Wohnsituation	
1.1 In welchem Jahr sind Sie in Ihre Wohnung bzw. Ihr Haus eingezogen ?	Im Jahr _____ (JJJJ) <input type="checkbox"/> weiß nicht
	nicht wenig mittelmäßig ziemlich sehr
1.2 Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit Ihrer Wohngegend bzw. Ihrer näheren Wohnumgebung?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
1.3 Und wie zufrieden sind Sie insgesamt mit Ihrer Wohnung bzw. mit Ihrem Haus ?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

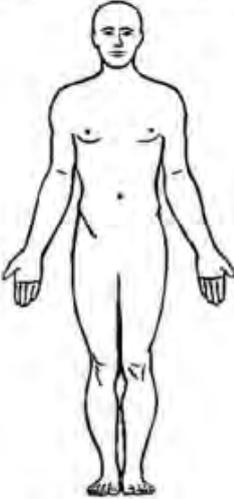
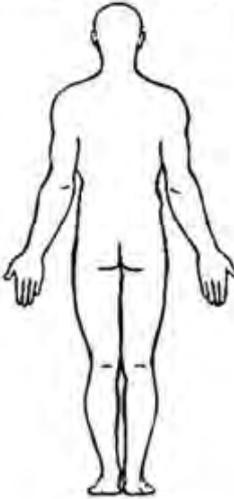
2. Belästigung durch Umgebungslärm in den letzten 12 Monaten	
Im Folgenden geht es darum, wie stark Sie sich bei Ihnen durch bestimmte Lärmquellen gestört oder belästigt fühlen. Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate bei Ihnen denken: Wie stark haben Sie sich durch den Lärm vom/von ... gestört oder belästigt gefühlt?	
Durch den Lärm vom/von ... gestört oder belästigt gefühlt	überhaupt nicht etwas mittelmäßig stark äußerst
2.1 Straßenverkehr innerhalb Ihres Wohngebiets	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.2 Nachbarn	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.3 Gibt es weitere Lärmquellen? Falls ja, nennen Sie bitte die drei Quellen , die Sie am stärksten belästigt haben. sonstige Lärmquelle 1: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.4 sonstige Lärmquelle 2: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.5 sonstige Lärmquelle 3: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.6 Wenn Sie sich durch eine oder mehrere Lärmquellen mittelmäßig, stark oder äußerst gestört oder belästigt gefühlt haben: Können Sie beschreiben, was genau Sie an der Lärmquelle belästigt? (Nutzen Sie gern auch ein extra Blatt für Ihre Beschreibungen.)	
Lärmquelle	Beschreibung
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

3. Hörfähigkeit															
3.1 Haben Sie ein Hörgerät?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein														
3.2 Können Sie hören bzw. verstehen, was in einem Gespräch gesagt wird, wenn mehrere Personen gleichzeitig sprechen, gegebenenfalls mit Hörgerät?	<input type="checkbox"/> ja, ohne Schwierigkeiten <input type="checkbox"/> ja, mit leichten Schwierigkeiten <input type="checkbox"/> ja, mit großen Schwierigkeiten <input type="checkbox"/> nein, gar nicht														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ja</th> <th>nein</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	ja	nein	<input type="checkbox"/>											
ja	nein														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
3.3 Haben Sie oft den Eindruck, dass die meisten Menschen in Ihrer Umgebung nicht sehr deutlich sprechen?															
3.4 Haben Sie Schwierigkeiten, Flüstern oder leises Sprechen zu verstehen, wenn der Sprecher Sie nicht ansieht?															
3.5 Werden Sie von Ihrer Familie oder Ihren Freunden manchmal darauf hingewiesen, dass Sie ohne Grund ziemlich laut sprechen?															
3.6 Beklagt sich Ihre Familie oft über die von Ihnen eingestellte Lautstärke des Fernsehgerätes?															
3.7 Verzichten Sie manchmal darauf, das Telefon zu benutzen, weil Sie nicht immer genau verstehen können, was der andere Teilnehmer sagt?															
3.8 Fühlen Sie sich als Fußgänger unsicher auf Straßen, wo starker Verkehr herrscht, weil Sie herankommende Fahrzeuge manchmal erst im letzten Augenblick hören?															

4. Umweltbesorgnis		trifft nicht zu	trifft kaum zu	trifft eher zu	trifft ganz zu
4.1.	Je mehr Informationen ich über die Umweltbelastungen bekomme, desto unsicherer fühle ich mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2.	Unsere Nachkommen werden für die Folgen der Umweltbelastung büßen müssen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3.	Ich habe Angst vor der Zukunft, wenn ich an unsere Umwelt denke.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4.	Die Menschen haben die Kontrolle über die Auswirkungen der Technik auf die Umwelt verloren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Momentanes Wohlbefinden						
Gehen Sie bitte alle Beschreibungen der folgenden Liste nacheinander durch, und kreuzen Sie bei jeder Beschreibung diejenige Stufe an, die Ihrem momentanen Befinden am nächsten kommt. Bitte setzen Sie jeweils nur <u>ein</u> Kreuz in jede Zeile.						
		überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
5.1.	Ich fühle mich zittrig .	<input type="checkbox"/>				
5.2.	Ich fühle mich aufgeregt .	<input type="checkbox"/>				
5.3.	Ich fühle mich schwindelig .	<input type="checkbox"/>				
5.4.	Ich fühle Brechreiz .	<input type="checkbox"/>				
5.5.	Ich fühle mich verschwitzt .	<input type="checkbox"/>				
5.6.	Mir ist übel .	<input type="checkbox"/>				
5.7.	Ich fühle mich besorgt .	<input type="checkbox"/>				
5.8.	Ich fühle mich hoffnungslos .	<input type="checkbox"/>				
5.9.	Ich fühle mich müde .	<input type="checkbox"/>				
5.10.	Ich fühle mich in Panik .	<input type="checkbox"/>				
5.11.	Ich fühle mich nervös .	<input type="checkbox"/>				
5.12.	Ich fühle mich ängstlich .	<input type="checkbox"/>				
5.13.	Ich fühle mich krank .	<input type="checkbox"/>				
5.14.	Ich habe ein unbehagliches Gefühl im Magen .	<input type="checkbox"/>				
5.15.	Ich fühle mich, als müsste ich mich erbrechen .	<input type="checkbox"/>				
5.16.	Ich fühle mich schwach .	<input type="checkbox"/>				
5.17.	Mir ist heiß .	<input type="checkbox"/>				
5.18.	Ich fühle mich unruhig .	<input type="checkbox"/>				
5.19.	Ich fühle mich erschöpft .	<input type="checkbox"/>				
5.20.	Ich fühle mich entspannt .	<input type="checkbox"/>				
5.21.	Ich fühle mich leer .	<input type="checkbox"/>				
5.22.	Ich fühle mich verärgert .	<input type="checkbox"/>				
5.23.	Ich bin in geselliger Stimmung .	<input type="checkbox"/>				
5.24.	Ich fühle mich unbehaglich .	<input type="checkbox"/>				
5.25.	Ich fühle mich ungeduldig .	<input type="checkbox"/>				
5.26.	Ich fühle mich fröhlich .	<input type="checkbox"/>				
5.27.	Ich fühle mich irritiert .	<input type="checkbox"/>				
5.28.	Ich fühle mich benommen .	<input type="checkbox"/>				
5.29.	Ich fühle mich aggressiv .	<input type="checkbox"/>				

	überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
5.30. Meine Augen fühlen sich gereizt an.	<input type="checkbox"/>				
5.31. Ich habe einen unangenehmen Geschmack im Mund .	<input type="checkbox"/>				
5.32. Mein Rachen fühlt sich gereizt an.	<input type="checkbox"/>				
5.33. Ich fühle ein Kribbeln auf der Haut .	<input type="checkbox"/>				
5.34. Ich habe Kopfschmerzen .	<input type="checkbox"/>				
5.35. Das Atmen fällt mir schwer.	<input type="checkbox"/>				
5.36. Ich habe Herzklopfen .	<input type="checkbox"/>				
5.37. Ich habe ein Piepen im Ohr .	<input type="checkbox"/>				
5.38. Ich fühle mich motiviert .	<input type="checkbox"/>				
5.39. Ich fühle mich konzentriert .	<input type="checkbox"/>				
5.40. Ich habe Schmerzen (außer Kopfschmerzen).	<input type="checkbox"/>				
<i>Wenn Sie Schmerzen haben: Was tut Ihnen weh?</i>					

6. Momentanes körperliches Unwohlsein							
Fühlen Sie sich momentan körperlich unwohl ?				<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
<p><i>Wenn ja:</i> Bitte geben Sie die entsprechende Körperstelle an, an der Sie das Unwohlsein wahrgenommen haben und wie Sie das wahrgenommene Unwohlsein bewerten. Bitte setzen Sie nur <u>ein</u> Kreuz für jede Körperstelle.</p>							
							
	kein						starkes
	Unwohlsein						Unwohlsein
Kopf:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gehirn:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ohr(en):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nase:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hals:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nacken:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brust:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauch:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rumpf:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gesäß:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beine:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Füße:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B Belästigung, Wohlbefinden und Geräuschbewertung	Szenario:
--	-----------

7.	Belästigung
-----------	--------------------

	überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
7.1. Ich fühle mich durch das Geräusch... gestört oder belästigt .	<input type="checkbox"/>				

7.2. Bitte geben Sie auf der folgenden Messlatte an, wie sehr Sie das Geräusch **stört oder belästigt**. Wenn Sie sich **äußerst gestört oder belästigt** fühlen, wählen Sie bitte die Zehn, wenn Sie sich **überhaupt nicht gestört oder belästigt** fühlen, geben Sie die Null an, und wenn Sie irgendwo dazwischen liegen, wählen Sie bitte eine Zahl zwischen Null und Zehn.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
überhaupt nicht					äußerst					

7.3. Stellen Sie sich bitte vor, Sie würden dieses Geräusch **zuhause** hören. Wir möchten gern wissen, wie sehr Sie sich durch das Geräusch **tagsüber, abends und nachts gestört oder belästigt** fühlen würden. Bitte geben Sie auf der folgenden Messlatte an, wie sehr Sie sich durch das Geräusch **tagsüber (06 – 18 Uhr) gestört oder belästigt** fühlen würden.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
überhaupt nicht					äußerst					

7.4. Und wie sehr würden Sie sich durch das Geräusch **abends (18 – 22 Uhr) gestört oder belästigt** fühlen?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
überhaupt nicht					äußerst					

7.5. Und nachts? Wie sehr würden Sie sich durch das Geräusch **nachts (22 – 06 Uhr) gestört oder belästigt** fühlen?

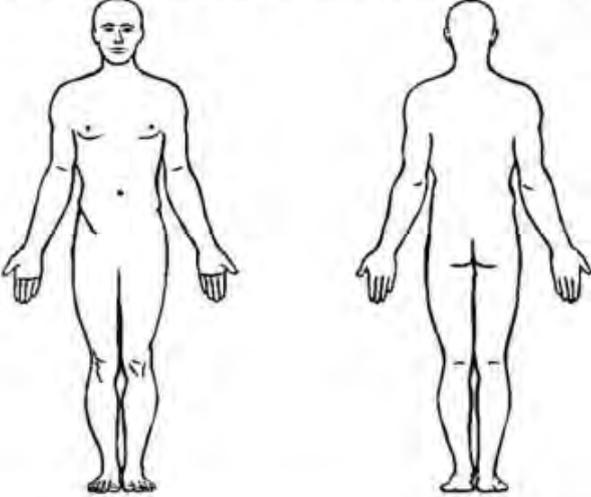
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
überhaupt nicht					äußerst					

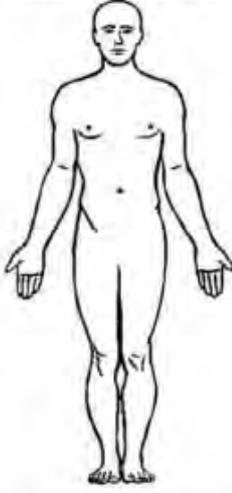
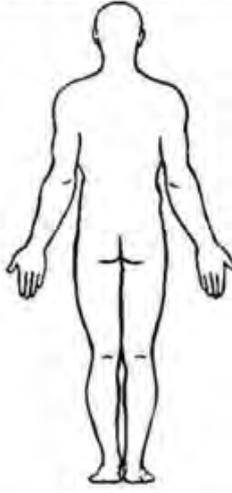
8.	Geräuschwahrnehmung
<p>Nehmen Sie gerade in diesem Raum ein dauerhaftes Geräusch im Hintergrund mit Ihren Sinnen wahr? (Mehrfachnennungen möglich)</p>	<input type="checkbox"/> ja, ich kann es mit meinen Ohren hören.
	<input type="checkbox"/> ja, ich kann es mit meinen Ohren wahrnehmen, aber nicht als Geräusch.
	<input type="checkbox"/> ja, ich kann Vibrationen im Gebäude und anderen Objekten spüren.
	<input type="checkbox"/> ja, ich kann Vibrationen an verschiedenen Stellen meines Körpers spüren.
	<input type="checkbox"/> nein, aber das Geräusch beeinflusst mich auf eine andere Art und löst bei mir Unwohlsein aus.
	<input type="checkbox"/> nein, ich nehme nichts wahr

9. Geräuschbewertung												
9.1.	<p>Bitte geben Sie auf der folgenden Messlatte an, wie laut Sie das Geräusch empfinden. Wenn Sie es äußerst laut finden, wählen Sie bitte die Zehn, wenn Sie es überhaupt nicht hören, geben Sie die Null an, und wenn für Sie die Lautstärke irgendwo dazwischen liegt, wählen Sie bitte eine Zahl zwischen Null und Zehn.</p> <p style="text-align: center;"> <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">6</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">7</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">8</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">9</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">10</td> </tr> </table> </p> <p style="display: flex; justify-content: space-between;">überhaupt nicht äußerst</p>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
9.2.	<p>Bitte beschreiben Sie das Geräusch anhand der folgenden Begriffe genauer. Ich würde das Geräusch beschreiben als ein...</p> <p>Poltern _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Dröhnen _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Rauschen _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Fauchen _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Klopfen _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Brummen _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Pulsieren _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Pfeifen _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p> <p>Das Geräusch hat sich mit der Zeit verändert. _1_ _2_ _3_ _4_ _5_ _6_ _7_ stimme nicht zu stimme voll zu</p>											

Wenn ja, können Sie beschreiben wie sich das Geräusch verändert hat? _____								
Gibt es weitere Begriffe, die das Geräusch beschreiben könnten?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein							
Wenn ja, welche? _____								
Wie empfinden Sie das Geräusch?								
9.3.	unerträglich <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> erträglich	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.4.	unkomfortabel <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> komfortabel	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.5.	harmlos <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> bedrohlich	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.6.	ruhig <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> schüttelnd	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.7.	vibrierend <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> nicht vibrierend	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.8.	gefährlich <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> ungefährlich	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.9.	unangenehm <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> angenehm	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.10.	befreiend <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> beklemmend	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.11.	misstönend <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> wohlklingend	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.12.	ebenmäßig <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> rumpelig	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.13.	stillstehend <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> rotierend	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.14.	stark <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> schwach	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.15.	schrill <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> dumpf	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.16.	unfühlbar <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> fühlbar	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.17.	zurückhaltend <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> aufdringlich	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.18.	gedämpft <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> ungedämpft	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.19.	inakzeptabel <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> akzeptabel	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.20.	regelmäßig <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> unregelmäßig	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		
9.21.	monoton <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 20px; text-align: center;">4</td><td style="width: 20px; text-align: center;">5</td><td style="width: 20px; text-align: center;">6</td><td style="width: 20px; text-align: center;">7</td></tr></table> abwechslungsreich	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7		

9.22.	tieftönend	1	2	3	4	5	6	7	hochtönend
9.23.	laut	1	2	3	4	5	6	7	leise
9.24.	rau	1	2	3	4	5	6	7	nicht rau
9.25.	tonhaltig	1	2	3	4	5	6	7	nicht tonhaltig
9.26.	schwankend	1	2	3	4	5	6	7	nicht schwankend
9.27.	scharf	1	2	3	4	5	6	7	nicht scharf
9.28.	förderlich	1	2	3	4	5	6	7	schädlich
9.29.	anregend	1	2	3	4	5	6	7	ermüdend
9.30.	beruhigend	1	2	3	4	5	6	7	aufschreckend
9.31.	nicht ablenkend	1	2	3	4	5	6	7	ablenkend
9.32.	harmonisch	1	2	3	4	5	6	7	unharmonisch

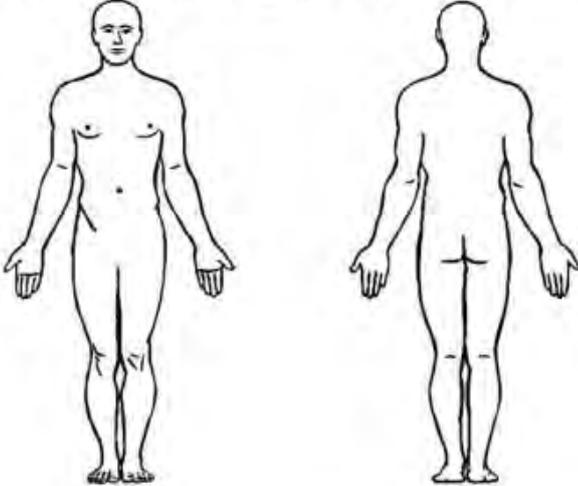
10. Momentanes körperliches Unwohlsein								
Fühlen Sie sich momentan körperlich unwohl?					<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein (Bitte weiter mit Frage 11.)			
Wenn ja: Bitte geben Sie die entsprechende Körperstelle an, an der Sie das Unwohlsein wahrnehmen und wie Sie das wahrgenommene Unwohlsein bewerten. Bitte setzen Sie nur <u>ein</u> Kreuz für jede Körperstelle.								
								
	kein Unwohlsein				starkes Unwohlsein			
Kopf:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Gehirn:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Ohr(en):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Nase:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Hals:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Nacken:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Brust:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Bauch:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Rumpf:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Gesäß:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Beine:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Füße:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Sonstiges, und zwar:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

11. Wahrnehmung von Vibrationen							
Nehmen Sie Vibrationen wahr?				<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein (Bitte weiter mit Frage 12.)			
Wenn ja: Bitte geben Sie die entsprechende Körperstelle an, an der Sie die Vibration wahrnehmen und wie Sie die wahrgenommene Vibration bewerten. Bitte setzen Sie nur <u>ein</u> Kreuz für jede Körperstelle.							
							
	keine Vibration						starke Vibration
Kopf:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gehirn:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ohr(en):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nase:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hals:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nacken:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brust:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauch:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rumpf:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gesäß:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beine:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Füße:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Wahrnehmung von Druck

Löst das Geräusch bei Ihnen ein **Druckempfinden** aus? ja
 nein (Bitte weiter mit Frage 13)

Wenn ja: Bitte geben Sie die entsprechende Körperstelle an, an der Sie den **Druck** wahrnehmen und wie Sie den wahrgenommenen **Druck** bewerten. Bitte setzen Sie nur ein Kreuz für jede Körperstelle.



	keinen Druck						starker Druck
Kopf:	<input type="checkbox"/>						
Gehirn:	<input type="checkbox"/>						
Ohr(en):	<input type="checkbox"/>						
Nase:	<input type="checkbox"/>						
Hals:	<input type="checkbox"/>						
Nacken:	<input type="checkbox"/>						
Brust:	<input type="checkbox"/>						
Bauch:	<input type="checkbox"/>						
Rumpf:	<input type="checkbox"/>						
Gesäß:	<input type="checkbox"/>						
Beine:	<input type="checkbox"/>						
Füße:	<input type="checkbox"/>						
Sonstiges, und zwar:	<input type="checkbox"/>						

13. Momentanes Wohlbefinden						
Gehen Sie bitte alle Beschreibungen der folgenden Liste nacheinander durch, und kreuzen Sie bei jeder Beschreibung diejenige Stufe an, die Ihrem momentanen Befinden am nächsten kommt. Bitte setzen Sie jeweils nur ein Kreuz in jede Zeile.						
		überhaupt nicht	etwas	mittel-mäßig	stark	äußerst
13.1.	Ich fühle mich zittrig .	<input type="checkbox"/>				
13.2.	Ich fühle mich aufgeregt .	<input type="checkbox"/>				
13.3.	Ich fühle mich schwindelig .	<input type="checkbox"/>				
13.4.	Ich fühle mich verschwitzt .	<input type="checkbox"/>				
13.5.	Mir ist übel .	<input type="checkbox"/>				
13.6.	Ich fühle mich besorgt .	<input type="checkbox"/>				
13.7.	Ich fühle mich hoffnungslos .	<input type="checkbox"/>				
13.8.	Ich fühle mich müde .	<input type="checkbox"/>				
13.9.	Ich fühle mich in Panik .	<input type="checkbox"/>				
13.10.	Ich fühle mich nervös .	<input type="checkbox"/>				
13.11.	Ich fühle mich ängstlich .	<input type="checkbox"/>				
13.12.	Ich fühle mich krank .	<input type="checkbox"/>				
13.13.	Ich habe ein unbehagliches Gefühl im Magen .	<input type="checkbox"/>				
13.14.	Ich fühle mich, als müsste ich mich erbrechen .	<input type="checkbox"/>				
13.15.	Ich fühle mich schwach .	<input type="checkbox"/>				
13.16.	Mir ist heiß .	<input type="checkbox"/>				
13.17.	Ich fühle mich unruhig .	<input type="checkbox"/>				
13.18.	Ich fühle mich erschöpft .	<input type="checkbox"/>				
13.19.	Ich fühle mich entspannt .	<input type="checkbox"/>				
13.20.	Ich fühle mich leer .	<input type="checkbox"/>				
13.21.	Ich fühle mich verärgert .	<input type="checkbox"/>				
13.22.	Ich bin in geselliger Stimmung .	<input type="checkbox"/>				
13.23.	Ich fühle mich unbehaglich .	<input type="checkbox"/>				
13.24.	Ich fühle mich ungeduldig .	<input type="checkbox"/>				
13.25.	Ich fühle mich fröhlich .	<input type="checkbox"/>				
13.26.	Ich fühle mich irritiert .	<input type="checkbox"/>				
13.27.	Ich fühle mich benommen .	<input type="checkbox"/>				
13.28.	Ich fühle mich aggressiv .	<input type="checkbox"/>				
13.29.	Meine Augen fühlen sich gereizt an.	<input type="checkbox"/>				

	überhaupt nicht	etwas	mittel-mä- ßig	stark	äußerst
13.30. Ich habe einen unangenehmen Ge- schmack im Mund.	<input type="checkbox"/>				
13.31. Mein Rachen fühlt sich gereizt an.	<input type="checkbox"/>				
13.32. Ich fühle ein Kribbeln auf der Haut.	<input type="checkbox"/>				
13.33. Ich habe Kopfschmerzen.	<input type="checkbox"/>				
13.34. Das Atmen fällt mir schwer.	<input type="checkbox"/>				
13.35. Ich habe Herzklopfen.	<input type="checkbox"/>				
13.36. Ich habe ein Piepen im Ohr.	<input type="checkbox"/>				
13.37. Ich fühle mich motiviert.	<input type="checkbox"/>				
13.38. Ich fühle mich konzentriert.	<input type="checkbox"/>				
13.39. Ich habe Schmerzen (außer Kopfschmer- zen).	<input type="checkbox"/>				
<i>Wenn Sie Schmerzen haben: Was tut Ihnen weh?</i>					

14. Gesamtbewertung des Geräuschszenarios

Insgesamt fühle ich mich durch das momentane Geräuschszenario ... gestört oder belästigt.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
überhaupt nicht											äußerst

C Zu guter Letzt...

15. Abschließende Bewertung der Versuchsumgebung

15.1.	Insgesamt waren alle Geräuschszenarien zusammengenommen... 1 2 3 4 5 6 7 gar nicht störend unerträglich
15.2.	Insgesamt war die Beleuchtung während des Versuchs... 1 2 3 4 5 6 7 zu dunkel zu hell
15.3.	Insgesamt war die Temperatur in den Räumlichkeiten während des Versuchs... 1 2 3 4 5 6 7 zu niedrig zu hoch
15.4.	Insgesamt war die Luftqualität in den Räumlichkeiten während des Versuchs... 1 2 3 4 5 6 7 sehr schlecht sehr gut

16. Beschreibung von Infraschall und tief-frequentem Schall

Während des Versuchs wurden Ihnen verschiedene hoch- und tief-tönende Geräusche dargeboten. Wir möchten nun von Ihnen wissen, wie Sie zwei spezifische Schallarten einordnen. Es gibt verschiedene Beschreibungen und Erklärungen des Begriffs "Infraschall".

Was verstehen Sie unter dem Begriff „Infraschall“, was fällt Ihnen spontan dazu ein?

Welche Geräuscheigenschaften würden Sie **Infraschall** zuschreiben?

Was glauben Sie: welche Wirkungen hat **Infraschall** Ihrer Meinung nach auf den Menschen?

Wie informieren Sie sich über **Infraschall**?

Fernsehen

Zeitung

	<input type="checkbox"/> Internet <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Familie/ Freunde/ Bekannte <input type="checkbox"/> sonstige, und zwar: _____ _____
--	--

Was verstehen Sie unter dem Begriff „**tief-frequenter Schall**“, was fällt Ihnen spontan dazu ein?

Welche Geräuscheigenschaften würden Sie **tief-frequentem Schall** zuschreiben?

Was glauben Sie: welche Wirkungen hat **tief-frequenter Schall** Ihrer Meinung nach auf den Menschen?

<p>Wie informieren Sie sich über tief-frequenten Schall?</p>	<input type="checkbox"/> Fernsehen <input type="checkbox"/> Zeitung <input type="checkbox"/> Internet <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Familie/ Freunde/ Bekannte <input type="checkbox"/> sonstige, und zwar: _____ _____
---	--

17. Allgemeiner Gesundheitszustand						
17.1.	Wie ist Ihr Gesundheitszustand im Allgemeinen?	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht	sehr schlecht
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.2.	Leiden Sie unter einer oder mehreren chronischen Krankheiten oder Gesundheitsstörungen?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
	Wenn ja: Welche chronischen Krankheiten oder Gesundheitsstörungen sind es? (Sollten bei Ihnen mehr als 3 Krankheiten vorliegen, nutzen Sie bitte die letzte Seite dieses Fragebogens. Geben Sie dabei die Fragenummer an.)	Krankheit 1 : _____ Krankheit 2 : _____ Krankheit 3 : _____				
	Wenn ja: Wurde/n diese chronische/n Krankheit/en oder Gesundheitsstörung/en von einem Arzt diagnostiziert?	Krankheit 1: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Krankheit 2: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Krankheit 3: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
	Wenn ja: Nehmen Sie Medikamente gegen die diagnostizierte/n Krankheit/en bzw. Gesundheitsstörung/en?	Krankheit 1: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Krankheit 2: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Krankheit 3: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
17.3.	Waren Sie in den letzten 6 Monaten oder länger bei Dingen, die man üblicherweise tut, aus gesundheitlichen Gründen eingeschränkt?	<input type="checkbox"/> ja, stark eingeschränkt <input type="checkbox"/> ja, eingeschränkt <input type="checkbox"/> nein, nicht eingeschränkt				

<input type="checkbox"/>	Wann haben Sie aufgehört zu rauchen?
nein	im Alter von _____ Jahren bzw. im Jahr _____
	Wie viel haben Sie früher gewöhnlich geraucht?
	<i>Bitte geben Sie die Anzahl pro Tag oder Gramm pro Woche an! Wenn Sie gelegentlich Zigaretten rauchen, geben Sie bitte die Anzahl pro Woche an!</i>
	Filterzigaretten (fabrikfertig) _____ Anzahl pro Tag oder _____ Anzahl pro Woche
	filterlose Zigaretten (fabrikfertig) _____ Anzahl pro Tag oder _____ Anzahl pro Woche
	Zigarren, Zigarillos, Stumpen _____ Anzahl pro Tag oder _____ Anzahl pro Woche
	selbstgedrehte Zigaretten _____ Anzahl pro Tag oder _____ Gramm pro Woche
	Pfeifen _____ Anzahl pro Tag oder _____ Gramm pro Woche
	Wasserpfeifen _____ Anzahl pro Tag oder _____ Anzahl pro Woche
	nikotinhaltige E-Zigaretten _____ Anzahl pro Tag oder _____ Anzahl pro Woche

19. Bewertung des Versuchs

Am Ende des Versuchs möchten wir Sie darum bitten, unsere Fragebögen zu bewerten.

19.1	Waren die Antwortskalen sinnvoll zu beantworten?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein
19.2	War der Wechsel zwischen unterschiedlichen Skalenformaten verwirrend?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein
19.3	Waren alle Fragen verständlich?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein

Wenn nein, welche Fragen?

19.4	Waren irgendwelche Fragen besonders kritisch?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein
<i>Wenn ja, welche Frage?</i>			

19.5	Haben Sie noch weitere Anmerkungen?		

Herzlichen Dank für Ihre Unterstützung!

D Auswertungstabellen zur Befragung in der Laborstudie

D.1 Deskriptive Statistik

Tabelle A 1: Wahrnehmung von Unwohlsein an unterschiedlichen Körperstellen während der Szenarien 1 bis 5 aufgeteilt nach den Gruppen der Vorbelasteten (S) und nicht Vorbelasteten (NS)

	Szenario 1			Szenario 2			Szenario 3			Szenario 4			Szenario 5												
	S(n=7)		NS(n=5)	S(n=7)		NS(n=3)	S(n=6)		NS(n=4)	S(n=8)		NS(n=6)	S(n=2)		NS(n=2)										
	M	SD	p	M	SD	p	M	SD	p	M	SD	p	M	SD	p										
Kopf	4.0	2.2	2.8	1.6	.323	4.0	2.0	4.0	1.0	1.00	5.2	1.6	5.3	0.5	.924	5.5	1.2	4.8	1.5	.367	5.0	0	4.5	0.7	.423
Gehirn	3.6	2.4	3.6	1.7	.982	4.3	2.3	4.0	2.0	.857	5.2	1.3	4.3	1.7	.366	5.3	1.2	4.5	1.4	.291	5.0	a	5.0	a	.
Ohr(en)	4.0	2.2	4.4	2.7	.785	4.4	2.0	2.7	1.5	.212	5.2	1.7	5.3	1.3	.936	5.3	1.2	4.3	2.5	.434	5.0	0	3	2.8	.423
Nase	2.0	1.7	1.0	0	.177	1.4	1.1	1.0	0	.545	1.3	0.8	1.0	0	.447	2.4	2.0	1.2	0.4	.135	2.5	2.1	1.0	0	.423
Hals	2.1	2.0	1.2	0.4	.275	1.4	1.1	1.0	0	.545	1.8	1.0	1.3	0.5	.311	3.0	2.2	1.8	2.0	.332	2.5	2.1	1.0	0	.423
Nacken	2.3	1.7	1.2	0.4	.151	1.4	1.1	1.7	0.6	.745	1.7	1.0	2.0	1.4	.676	2.4	2.2	2.8	2.6	.725	3.5	0.7	1.5	0.7	.106
Brust	2.6	1.3	2.4	2.1	.862	2.1	1.3	2.0	1.0	.874	1.8	1.0	2.8	2.4	.412	2.5	1.9	3.2	2.3	.567	3.5	0.7	1.0	0	.038
Bauch	3.0	1.9	1.8	0.8	.222	2.1	1.5	3.0	2.0	.464	2.8	1.6	2.8	2.1	.944	2.6	1.8	3.2	2.2	.628	2.5	2.1	1.0	0	.423
Rumpf	1.7	1.1	1.6	0.9	.854	1.7	1.1	3.0	2.0	.217	1.7	1.0	3.0	2.4	.365	2.5	1.7	2.8	2.4	.765	2.5	2.1	1.0	0	.423
Gesäß	1.6	1.1	1.0	0	.231	1.6	1.1	1.0	0	.424	1.5	0.8	1.3	0.5	.610	1.9	1.6	1.0	0	.175	2.5	2.1	1.0	0	.423
Beine	1.6	1.1	1.0	0	.231	1.7	1.1	2.0	1.7	.757	3.0	1.7	1.5	1.0	.150	2.1	1.6	2.5	2.3	.724	3.0	1.4	1.0	0	.184
Füße	1.6	1.1	1.0	0	.231	1.7	1.1	1.3	0.6	.598	2.5	1.8	1.8	1.0	.464	2.3	1.6	1.5	0.5	.266	3.0	1.4	1.0	0	.184

Anmerkung: n = Anzahl, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tabelle A 2: Wahrnehmung von Vibration an unterschiedlichen Körperstellen während der Szenarien 1-5 aufgeteilt nach den Gruppen der Vorbelasteten(S) und nicht Vorbelasteten (NS)

	Szenario 1					Szenario 2					Szenario 3					Szenario 4					Szenario 5				
	S(n=7)		NS (n=5)		p	S(n=9)		NS (n=7)		p	S(n=13)		NS(n=13)		p	S(n=11)		NS(n=19)		p	S(n=3)		NS(n=4)		p
	M	SD	M	SD		M	SD	M	SD		M	SD	M	SD		M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
Kopf	3.1	2.7	2.8	2.4	.826	3.0	1.9	4.6	1.3	.085	3.6	1.9	4.5	1.5	.220	4.7	1.8	4.4	2.2	.695	4.3	0.6	2.5	1.0	.038
Gehirn	3.4	2.6	3.6	2.3	.908	2.6	2.0	4.4	1.7	.069	3.6	2.1	4.3	1.8	.365	4.2	1.9	4.3	2.0	.861	3.3	2.1	2.0	1.4	.355
Ohr(en)	3.9	2.2	4.6	2.9	.622	3.3	2.2	3.9	1.7	.608	4.2	1.6	4.2	1.6	1.00	5.1	1.2	4.7	2.1	.561	5.0	1.0	3.5	1.7	.211
Nase	2.0	1.7	1.0	0	.177	1.6	1.2	1.0	0	.214	1.5	1.0	1.5	1.0	.841	2.2	1.7	1.4	0.6	.183	2.3	1.5	1.3	0.5	.231
Hals	2.1	1.7	1.0	0	.121	1.8	1.3	1.1	0.4	.196	1.7	1.0	1.7	1.3	1.00	2.7	2.2	1.7	1.1	.163	2.0	1.7	1.0	0	.423
Nacken	2.0	1.7	1.2	0.4	.280	1.6	1.2	1.4	0.8	.817	1.8	1.1	1.5	0.8	.416	2.5	2.0	2.1	1.9	.589	2.0	1.7	1.5	1.0	.646
Brust	3.0	1.7	2.4	1.7	.562	2.0	1.1	2.7	1.9	.398	2.1	1.3	3.0	1.8	.153	2.9	2.3	2.7	1.9	.770	4.3	0.6	1.3	0.5	.001
Bauch	2.3	1.4	1.2	0.4	.090	2.0	1.4	2.3	1.9	.734	2.1	1.4	2.3	1.7	.712	3.0	2.1	2.5	1.7	.470	3.3	1.2	1.0	0	.073
Rumpf	2.3	1.4	2.2	1.8	.927	1.8	1.3	2.1	2.0	.660	1.8	1.1	2.4	1.7	.275	2.7	2.1	2.1	1.6	.332	3.0	1.0	1.0	0	.009
Gesäß	1.4	1.1	1.0	0	.424	1.6	1.2	1.6	1.5	.982	1.5	0.9	1.7	1.3	.604	2.0	1.5	1.3	0.6	.185	2.7	1.5	1.0	0	.199
Beine	1.4	1.1	1.4	0.9	.964	1.7	1.4	1.3	0.8	.531	2.5	2.0	2.3	1.6	.747	2.2	1.5	2.1	1.8	.840	3.3	1.2	1.5	1.0	.074
Füße	1.6	1.1	1.0	0	.231	1.7	1.2	1.0	0	.141	2.3	2.0	2.2	1.6	.915	2.4	1.7	1.7	1.4	.291	3.0	1.0	2.0	2.0	.469

Anmerkung. n = Anzahl, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tabelle A 3: Wahrnehmung von Druck an unterschiedlichen Körperstellen während der Szenarien 1-5 aufgeteilt nach den Gruppen der Vorbelasteten(S) und nicht Vorbelasteten (NS)

	Szenario 1				Szenario 2				Szenario 3				Szenario 4				Szenario 5				
	S(n=7)		NS(n=6)		S(n=11)		NS(n=7)		S(n=9)		NS(n=8)		S(n=11)		NS(n=13)		S(n=5)		NS(n=2)		
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	p
Kopf	4.0	2.4	4.5	1.4	4.0	1.8	4.6	1.9	4.8	1.6	5.4	1.1	5.2	1.6	5.0	1.5	3.4	1.9	5.5	0.7	.216
Gehirn	3.7	2.6	4.2	1.5	3.5	1.9	4.6	1.9	4.1	2.1	5.3	1.0	4.1	2.1	4.8	1.3	3.2	2.7	5.0	1.4	.426
Ohr(en)	4.3	1.9	3.7	1.2	3.8	1.9	3.4	1.4	4.6	1.9	4.9	1.6	5.2	1.6	5.1	1.7	4.8	2.2	5.5	0.7	.549
Nase	2.3	2.0	1.2	0.4	2.0	1.4	1.1	0.4	1.2	0.4	1.5	0.9	2.0	1.7	1.7	1.2	2.8	2.0	2.0	1.4	.643
Hals	2.1	2.0	1.3	0.8	2.0	1.4	1.7	1.3	1.2	0.4	1.5	0.9	2.0	1.9	2.1	1.5	2.8	2.2	2.0	1.4	.659
Nacken	2.1	2.0	1.7	1.2	1.8	1.4	1.9	1.2	1.6	1.1	2.1	1.2	2.0	2.0	2.1	1.7	2.4	1.7	2.5	2.1	.949
Brust	2.1	1.5	1.7	0.8	2.4	1.6	3.1	1.3	2.0	1.1	3.0	1.8	2.5	2.2	2.2	1.6	2.2	1.6	1.0	0	.374
Bauch	1.6	1.1	1.3	0.5	2.0	1.7	2.3	1.3	2.0	1.7	2.6	1.8	2.3	2.1	1.9	1.4	2.2	2.2	1.0	0	.493
Rumpf	1.6	1.1	1.5	0.8	1.8	1.4	2.3	1.4	1.6	0.9	2.5	1.8	2.2	2.0	2.0	1.4	2.0	1.7	1.0	0	.475
Gesäß	1.4	1.1	1.0	0	1.5	1.0	1.0	0	1.1	0.3	1.4	0.7	1.2	0.6	1.0	0	1.6	1.3	1.0	0	.576
Beine	1.4	1.1	1.5	1.2	1.9	1.4	1.3	0.5	1.1	0.3	1.8	1.0	1.4	1.2	1.5	0.8	1.6	1.3	3.0	0	.222
Füße	1.4	1.1	1.7	1.6	1.5	1.0	1.3	0.8	1.1	0.3	2.3	1.9	1.2	0.6	1.5	1.0	1.4	0.9	2.5	2.1	.338

Anmerkung, n = Anzahl, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

D.2 Inferenzstatistik zur Bewertung von Unwohlsein, Druck- und Vibration

Tabelle A 4: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Druckempfinden in Szenario 1

		Test bei unabhängigen Stichproben									
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere	
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	3,741	0,079	0,452	11	0,660	0,500	1,106	-1,935	2,935	
	Varianzen sind nicht gleich			0,471	9,811	0,648	0,500	1,061	-1,871	2,871	
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	6,239	0,030	0,380	11	0,711	0,452	1,189	-2,165	3,070	
	Varianzen sind nicht gleich			0,397	9,769	0,700	0,452	1,140	-2,096	3,001	
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	5,103	0,045	-0,688	11	0,506	-0,619	0,900	-2,599	1,361	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,713	10,292	0,492	-0,619	0,869	-2,547	1,309	
[Nase:]	Varianzen sind gleich	8,279	0,015	-1,354	11	0,203	-1,119	0,826	-2,938	0,700	
	Varianzen sind nicht gleich			-1,462	6,593	0,190	-1,119	0,765	-2,951	0,713	
[Hals:]	Varianzen sind gleich	5,369	0,041	-0,909	11	0,383	-0,810	0,891	-2,770	1,151	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,966	8,121	0,362	-0,810	0,838	-2,738	1,119	
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	2,236	0,163	-0,500	11	0,627	-0,476	0,952	-2,571	1,619	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,521	9,944	0,614	-0,476	0,914	-2,515	1,563	
[Brust:]	Varianzen sind gleich	9,185	0,011	-0,706	11	0,495	-0,476	0,675	-1,962	1,009	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,737	9,624	0,479	-0,476	0,646	-1,923	0,971	
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	1,537	0,241	-0,472	11	0,646	-0,238	0,505	-1,349	0,872	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,499	8,647	0,631	-0,238	0,478	-1,325	0,849	
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	0,205	0,660	-0,127	11	0,901	-0,071	0,562	-1,308	1,165	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,130	10,810	0,899	-0,071	0,548	-1,280	1,137	
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	4,874	0,049	-0,920	11	0,377	-0,429	0,466	-1,454	0,597	
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	6,000	0,356	-0,429	0,429	-1,477	0,620	
[Beine:]	Varianzen sind gleich	0,048	0,831	0,109	11	0,915	0,071	0,654	-1,369	1,512	
	Varianzen sind nicht gleich			0,108	10,378	0,916	0,071	0,659	-1,389	1,532	
[Füße:]	Varianzen sind gleich	0,511	0,490	0,309	11	0,763	0,238	0,770	-1,456	1,932	
	Varianzen sind nicht gleich			0,300	8,742	0,771	0,238	0,793	-1,563	2,039	

Tabelle A 5: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Druckempfinden in Szenario 2

		Test bei unabhängigen Stichproben									
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere	
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,000	0,991	0,633	16	0,535	0,571	0,902	-1,341	2,484	
	Varianzen sind nicht gleich			0,629	12,614	0,541	0,571	0,909	-1,398	2,541	
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,005	0,944	1,209	16	0,244	1,117	0,924	-0,842	3,076	
	Varianzen sind nicht gleich			1,211	12,999	0,248	1,117	0,922	-0,876	3,110	
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	2,099	0,167	-0,459	16	0,653	-0,390	0,849	-2,190	1,410	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,494	15,634	0,628	-0,390	0,788	-2,063	1,284	
[Nase:]	Varianzen sind gleich	27,607	0,000	-1,553	16	0,140	-0,857	0,552	-2,027	0,313	
	Varianzen sind nicht gleich			-1,906	12,116	0,081	-0,857	0,450	-1,836	0,122	
[Hals:]	Varianzen sind gleich	1,008	0,330	-0,436	16	0,669	-0,286	0,656	-1,676	1,104	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,448	14,104	0,661	-0,286	0,637	-1,652	1,080	
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,489	0,494	0,060	16	0,953	0,039	0,645	-1,329	1,407	
	Varianzen sind nicht gleich			0,062	14,306	0,951	0,039	0,624	-1,297	1,375	
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,899	0,357	1,054	16	0,307	0,779	0,739	-0,788	2,346	
	Varianzen sind nicht gleich			1,102	14,729	0,288	0,779	0,707	-0,730	2,289	
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	0,456	0,509	0,386	16	0,704	0,286	0,739	-1,282	1,853	
	Varianzen sind nicht gleich			0,413	15,423	0,685	0,286	0,692	-1,186	1,757	
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	0,149	0,705	0,694	16	0,498	0,468	0,674	-0,961	1,896	
	Varianzen sind nicht gleich			0,696	13,078	0,498	0,468	0,671	-0,982	1,917	
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	8,158	0,011	-1,148	16	0,268	-0,455	0,396	-1,294	0,385	
	Varianzen sind nicht gleich			-1,456	10,000	0,176	-0,455	0,312	-1,150	0,241	
[Beine:]	Varianzen sind gleich	5,955	0,027	-1,091	16	0,291	-0,623	0,571	-1,834	0,588	
	Varianzen sind nicht gleich			-1,317	13,195	0,210	-0,623	0,473	-1,645	0,398	
[Füße:]	Varianzen sind gleich	1,136	0,302	-0,571	16	0,576	-0,260	0,455	-1,224	0,704	
	Varianzen sind nicht gleich			-0,614	15,568	0,548	-0,260	0,423	-1,159	0,640	

Tabelle A 6: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Druckempfinden in Szenario 3

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	1,046	0,323	0,909	15	0,378	0,597	0,657	-0,803	1,998
	Varianzen sind nicht gleich			0,930	14,107	0,368	0,597	0,642	-0,779	1,973
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	3,777	0,071	1,362	15	0,193	1,139	0,836	-0,643	2,921
	Varianzen sind nicht gleich			1,417	11,807	0,182	1,139	0,804	-0,616	2,894
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	0,876	0,364	0,371	15	0,716	0,319	0,861	-1,516	2,155
	Varianzen sind nicht gleich			0,376	14,858	0,712	0,319	0,849	-1,492	2,131
[Nase:]	Varianzen sind gleich	5,245	0,037	0,805	15	0,433	0,278	0,345	-0,457	1,013
	Varianzen sind nicht gleich			0,774	9,760	0,457	0,278	0,359	-0,524	1,080
[Hals:]	Varianzen sind gleich	5,245	0,037	0,805	15	0,433	0,278	0,345	-0,457	1,013
	Varianzen sind nicht gleich			0,774	9,760	0,457	0,278	0,359	-0,524	1,080
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	1,017	0,329	0,988	15	0,339	0,569	0,576	-0,659	1,798
	Varianzen sind nicht gleich			0,982	14,292	0,342	0,569	0,580	-0,672	1,811
[Brust:]	Varianzen sind gleich	3,444	0,083	1,409	15	0,179	1,000	0,710	-0,513	2,513
	Varianzen sind nicht gleich			1,371	11,560	0,196	1,000	0,729	-0,596	2,596
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	0,701	0,416	0,735	15	0,473	0,625	0,850	-1,186	2,436
	Varianzen sind nicht gleich			0,731	14,233	0,477	0,625	0,856	-1,207	2,457
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	3,132	0,097	1,417	15	0,177	0,944	0,667	-0,476	2,365
	Varianzen sind nicht gleich			1,364	9,995	0,202	0,944	0,692	-0,598	2,487
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	4,498	0,051	0,964	15	0,350	0,264	0,274	-0,320	0,848
	Varianzen sind nicht gleich			0,924	9,457	0,378	0,264	0,286	-0,377	0,905
[Beine:]	Varianzen sind gleich	34,562	0,000	1,758	15	0,099	0,639	0,363	-0,136	1,413
	Varianzen sind nicht gleich			1,670	8,288	0,132	0,639	0,382	-0,238	1,516
[Füße:]	Varianzen sind gleich	18,192	0,001	1,767	15	0,098	1,139	0,645	-0,235	2,513
	Varianzen sind nicht gleich			1,665	7,380	0,138	1,139	0,684	-0,462	2,739

Tabelle A 7: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Druckempfinden in Szenario 4

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,323	0,575	-0,290	22	0,775	-0,182	0,628	-1,483	1,120
	Varianzen sind nicht gleich			-0,288	20,626	0,777	-0,182	0,632	-1,498	1,134
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	5,108	0,034	1,093	22	0,286	0,755	0,691	-0,678	2,188
	Varianzen sind nicht gleich			1,051	16,113	0,309	0,755	0,719	-0,767	2,278
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	0,154	0,698	-0,154	22	0,879	-0,105	0,680	-1,515	1,305
	Varianzen sind nicht gleich			-0,155	21,730	0,878	-0,105	0,676	-1,508	1,298
[Nase:]	Varianzen sind gleich	1,324	0,262	-0,527	22	0,604	-0,308	0,584	-1,520	0,904
	Varianzen sind nicht gleich			-0,511	17,612	0,615	-0,308	0,602	-1,574	0,958
[Hals:]	Varianzen sind gleich	0,226	0,639	0,111	22	0,913	0,077	0,693	-1,360	1,514
	Varianzen sind nicht gleich			0,109	18,939	0,915	0,077	0,707	-1,403	1,557
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,266	0,611	0,102	22	0,920	0,077	0,756	-1,491	1,645
	Varianzen sind nicht gleich			0,100	19,217	0,921	0,077	0,770	-1,533	1,687
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,378	0,545	-0,389	22	0,701	-0,301	0,773	-1,905	1,303
	Varianzen sind nicht gleich			-0,379	18,354	0,709	-0,301	0,792	-1,963	1,362
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	1,896	0,182	-0,489	22	0,630	-0,350	0,715	-1,833	1,134
	Varianzen sind nicht gleich			-0,474	17,532	0,641	-0,350	0,737	-1,901	1,202
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	2,325	0,142	-0,257	22	0,800	-0,182	0,708	-1,649	1,286
	Varianzen sind nicht gleich			-0,249	17,387	0,806	-0,182	0,730	-1,719	1,355
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	5,885	0,024	-1,092	22	0,287	-0,182	0,167	-0,527	0,164
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	10,000	0,341	-0,182	0,182	-0,587	0,223
[Beine:]	Varianzen sind gleich	0,000	0,996	0,429	22	0,672	0,175	0,408	-0,670	1,020
	Varianzen sind nicht gleich			0,414	16,545	0,684	0,175	0,423	-0,719	1,068
[Füße:]	Varianzen sind gleich	3,506	0,075	1,059	22	0,301	0,357	0,337	-0,342	1,055
	Varianzen sind nicht gleich			1,100	20,391	0,284	0,357	0,324	-0,319	1,032

Tabelle A 8: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Druckempfinden in Szenario 5

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konf. Int. der Differenz	
									Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	2,037	0,213	1,416	5	0,216	2,100	1,483	-1,711	5,911
	Varianzen sind nicht gleich			2,090	4,930	0,092	2,100	1,005	-0,494	4,694
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	2,959	0,146	0,867	5	0,426	1,800	2,077	-3,538	7,138
	Varianzen sind nicht gleich			1,152	3,921	0,315	1,800	1,562	-2,572	6,172
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	6,851	0,047	0,426	5	0,688	0,700	1,644	-3,525	4,925
	Varianzen sind nicht gleich			0,642	4,997	0,549	0,700	1,091	-2,105	3,505
[Nase:]	Varianzen sind gleich	3,145	0,136	-0,493	5	0,643	-0,800	1,622	-4,970	3,370
	Varianzen sind nicht gleich			-0,590	2,878	0,598	-0,800	1,356	-5,222	3,622
[Hals:]	Varianzen sind gleich	1,246	0,315	-0,469	5	0,659	-0,800	1,706	-5,187	3,587
	Varianzen sind nicht gleich			-0,574	3,083	0,605	-0,800	1,393	-5,166	3,566
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,115	0,748	0,067	5	0,949	0,100	1,483	-3,711	3,911
	Varianzen sind nicht gleich			0,060	1,536	0,959	0,100	1,676	-9,662	9,862
[Brust:]	Varianzen sind gleich	1,979	0,219	-0,976	5	0,374	-1,200	1,230	-4,361	1,961
	Varianzen sind nicht gleich			-1,633	4,000	0,178	-1,200	0,735	-3,240	0,840
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	2,277	0,192	-0,740	5	0,493	-1,200	1,622	-5,370	2,970
	Varianzen sind nicht gleich			-1,238	4,000	0,284	-1,200	0,970	-3,892	1,492
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	2,143	0,203	-0,772	5	0,475	-1,000	1,296	-4,332	2,332
	Varianzen sind nicht gleich			-1,291	4,000	0,266	-1,000	0,775	-3,151	1,151
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	2,540	0,172	-0,598	5	0,576	-0,600	1,004	-3,181	1,981
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	4,000	0,374	-0,600	0,600	-2,266	1,066
[Beine:]	Varianzen sind gleich	2,540	0,172	1,394	5	0,222	1,400	1,004	-1,181	3,981
	Varianzen sind nicht gleich			2,333	4,000	0,080	1,400	0,600	-0,266	3,066
[Füße:]	Varianzen sind gleich	4,586	0,085	1,059	5	0,338	1,100	1,038	-1,569	3,769
	Varianzen sind nicht gleich			0,709	1,146	0,595	1,100	1,552	-13,579	15,779

Tabelle A 9: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Vibrationsempfinden in Szenario 1

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konf. Int. der Differenz	
									Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	1,492	0,250	-0,225	10	0,826	-0,343	1,523	-3,736	3,051
	Varianzen sind nicht gleich			-0,231	9,467	0,822	-0,343	1,486	-3,679	2,993
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,278	0,610	0,119	10	0,908	0,171	1,445	-3,049	3,391
	Varianzen sind nicht gleich			0,121	9,356	0,906	0,171	1,416	-3,014	3,357
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	1,569	0,239	0,509	10	0,622	0,743	1,459	-2,507	3,993
	Varianzen sind nicht gleich			0,485	7,177	0,642	0,743	1,532	-2,862	4,347
[Nase:]	Varianzen sind gleich	16,026	0,003	-1,273	10	0,232	-1,000	0,786	-2,750	0,750
	Varianzen sind nicht gleich			-1,528	6,000	0,177	-1,000	0,655	-2,602	0,602
[Hals:]	Varianzen sind gleich	12,728	0,005	-1,503	10	0,164	-1,143	0,760	-2,837	0,551
	Varianzen sind nicht gleich			-1,804	6,000	0,121	-1,143	0,634	-2,693	0,407
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	8,956	0,014	-0,996	10	0,343	-0,800	0,803	-2,589	0,989
	Varianzen sind nicht gleich			-1,169	7,080	0,280	-0,800	0,685	-2,415	0,815
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,096	0,763	-0,600	10	0,562	-0,600	1,001	-2,829	1,629
	Varianzen sind nicht gleich			-0,603	8,965	0,561	-0,600	0,994	-2,851	1,651
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	11,397	0,007	-1,677	10	0,125	-1,086	0,648	-2,528	0,357
	Varianzen sind nicht gleich			-1,943	7,646	0,090	-1,086	0,559	-2,384	0,213
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	0,473	0,507	-0,094	10	0,927	-0,086	0,911	-2,116	1,945
	Varianzen sind nicht gleich			-0,090	7,251	0,931	-0,086	0,955	-2,328	2,157
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	4,000	0,073	-0,833	10	0,424	-0,429	0,514	-1,574	0,717
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	6,000	0,356	-0,429	0,429	-1,477	0,620
[Beine:]	Varianzen sind gleich	0,051	0,825	-0,047	10	0,964	-0,029	0,612	-1,392	1,334
	Varianzen sind nicht gleich			-0,049	9,824	0,962	-0,029	0,586	-1,338	1,281
[Füße:]	Varianzen sind gleich	6,373	0,030	-1,111	10	0,293	-0,571	0,514	-1,717	0,574
	Varianzen sind nicht gleich			-1,333	6,000	0,231	-0,571	0,429	-1,620	0,477

Tabelle A 10: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Vibrationsempfinden in Szenario 2

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	1,939	0,185	1,851	14	0,085	1,571	0,849	-0,249	3,392
	Varianzen sind nicht gleich			1,952	13,713	0,072	1,571	0,805	-0,158	3,301
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,582	0,458	1,968	14	0,069	1,873	0,952	-0,168	3,914
	Varianzen sind nicht gleich			2,009	13,819	0,065	1,873	0,932	-0,129	3,875
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	1,362	0,263	0,525	14	0,608	0,524	0,998	-1,616	2,663
	Varianzen sind nicht gleich			0,543	13,999	0,595	0,524	0,964	-1,544	2,591
[Nase:]	Varianzen sind gleich	13,186	0,003	-1,180	14	0,258	-0,556	0,471	-1,565	0,454
	Varianzen sind nicht gleich			-1,348	8,000	0,214	-0,556	0,412	-1,506	0,395
[Hals:]	Varianzen sind gleich	11,583	0,004	-1,242	14	0,235	-0,635	0,511	-1,732	0,462
	Varianzen sind nicht gleich			-1,390	9,677	0,196	-0,635	0,457	-1,657	0,388
[Nackten:]	Varianzen sind gleich	1,365	0,262	-0,236	14	0,817	-0,127	0,538	-1,280	1,026
	Varianzen sind nicht gleich			-0,250	13,589	0,806	-0,127	0,508	-1,220	0,966
[Brust:]	Varianzen sind gleich	7,141	0,018	0,946	14	0,360	0,714	0,755	-0,905	2,334
	Varianzen sind nicht gleich			0,887	9,200	0,398	0,714	0,806	-1,102	2,531
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	1,126	0,307	0,347	14	0,734	0,286	0,824	-1,482	2,053
	Varianzen sind nicht gleich			0,334	10,825	0,745	0,286	0,856	-1,602	2,173
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	2,306	0,151	0,449	14	0,660	0,365	0,813	-1,378	2,108
	Varianzen sind nicht gleich			0,427	9,974	0,679	0,365	0,856	-1,543	2,273
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	0,001	0,971	0,023	14	0,982	0,016	0,686	-1,455	1,487
	Varianzen sind nicht gleich			0,023	11,524	0,982	0,016	0,704	-1,526	1,558
[Beine:]	Varianzen sind gleich	3,206	0,095	-0,642	14	0,531	-0,381	0,594	-1,654	0,892
	Varianzen sind nicht gleich			-0,691	12,676	0,502	-0,381	0,551	-1,575	0,813
[Füße:]	Varianzen sind gleich	13,988	0,002	-1,429	14	0,175	-0,667	0,467	-1,667	0,334
	Varianzen sind nicht gleich			-1,633	8,000	0,141	-0,667	0,408	-1,608	0,275

Tabelle A 11: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Vibrationsempfinden in Szenario 3

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,560	0,461	1,260	24	0,220	0,846	0,671	-0,539	2,232
	Varianzen sind nicht gleich			1,260	22,840	0,220	0,846	0,671	-0,543	2,235
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,527	0,475	0,923	24	0,365	0,692	0,750	-0,856	2,241
	Varianzen sind nicht gleich			0,923	23,380	0,366	0,692	0,750	-0,859	2,243
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	0,010	0,922	0,000	24	1,000	0,000	0,644	-1,328	1,328
	Varianzen sind nicht gleich			0,000	24,000	1,000	0,000	0,644	-1,328	1,328
[Nase:]	Varianzen sind gleich	0,023	0,882	0,203	24	0,841	0,077	0,379	-0,706	0,860
	Varianzen sind nicht gleich			0,203	24,000	0,841	0,077	0,379	-0,706	0,860
[Hals:]	Varianzen sind gleich	0,146	0,706	0,000	24	1,000	0,000	0,464	-0,957	0,957
	Varianzen sind nicht gleich			0,000	22,708	1,000	0,000	0,464	-0,960	0,960
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	3,227	0,085	-0,828	24	0,416	-0,308	0,372	-1,075	0,459
	Varianzen sind nicht gleich			-0,828	21,661	0,417	-0,308	0,372	-1,079	0,464
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,885	0,356	1,477	24	0,153	0,923	0,625	-0,367	2,213
	Varianzen sind nicht gleich			1,477	21,857	0,154	0,923	0,625	-0,373	2,220
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	0,240	0,628	0,373	24	0,712	0,231	0,619	-1,046	1,507
	Varianzen sind nicht gleich			0,373	23,364	0,712	0,231	0,619	-1,048	1,509
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	3,039	0,094	1,117	24	0,275	0,615	0,551	-0,522	1,753
	Varianzen sind nicht gleich			1,117	20,745	0,277	0,615	0,551	-0,532	1,762
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	1,250	0,275	0,526	24	0,604	0,231	0,439	-0,674	1,136
	Varianzen sind nicht gleich			0,526	20,907	0,604	0,231	0,439	-0,681	1,143
[Beine:]	Varianzen sind gleich	1,330	0,260	-0,326	24	0,747	-0,231	0,707	-1,690	1,229
	Varianzen sind nicht gleich			-0,326	22,977	0,747	-0,231	0,707	-1,694	1,232
[Füße:]	Varianzen sind gleich	0,707	0,409	-0,108	24	0,915	-0,077	0,712	-1,546	1,393
	Varianzen sind nicht gleich			-0,108	23,223	0,915	-0,077	0,712	-1,549	1,395

Tabelle A 12: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Vibrationsempfinden in Szenario 4

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,972	0,333	-0,396	28	0,695	-0,306	0,774	-1,891	1,279
	Varianzen sind nicht gleich			-0,417	24,381	0,681	-0,306	0,735	-1,822	1,209
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,197	0,660	0,177	28	0,861	0,134	0,757	-1,416	1,684
	Varianzen sind nicht gleich			0,179	21,816	0,859	0,134	0,748	-1,417	1,685
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	6,389	0,017	-0,514	28	0,611	-0,354	0,689	-1,765	1,057
	Varianzen sind nicht gleich			-0,588	27,967	0,561	-0,354	0,602	-1,588	0,880
[Nase:]	Varianzen sind gleich	12,380	0,002	-1,764	28	0,089	-0,761	0,431	-1,644	0,122
	Varianzen sind nicht gleich			-1,416	11,458	0,183	-0,761	0,537	-1,938	0,416
[Hals:]	Varianzen sind gleich	10,764	0,003	-1,763	28	0,089	-1,043	0,592	-2,255	0,169
	Varianzen sind nicht gleich			-1,480	12,737	0,163	-1,043	0,705	-2,569	0,483
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,417	0,524	-0,546	28	0,589	-0,402	0,736	-1,910	1,106
	Varianzen sind nicht gleich			-0,537	19,970	0,597	-0,402	0,748	-1,963	1,159
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,713	0,405	-0,295	28	0,770	-0,225	0,761	-1,784	1,334
	Varianzen sind nicht gleich			-0,280	17,859	0,783	-0,225	0,803	-1,912	1,463
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	1,116	0,300	-0,732	28	0,470	-0,526	0,719	-1,998	0,946
	Varianzen sind nicht gleich			-0,692	17,681	0,498	-0,526	0,760	-2,126	1,073
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	2,791	0,106	-0,987	28	0,332	-0,675	0,683	-2,075	0,725
	Varianzen sind nicht gleich			-0,909	16,351	0,377	-0,675	0,742	-2,246	0,897
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	15,559	0,000	-1,742	28	0,093	-0,684	0,393	-1,489	0,121
	Varianzen sind nicht gleich			-1,408	11,660	0,185	-0,684	0,486	-1,746	0,378
[Beine:]	Varianzen sind gleich	0,026	0,873	-0,204	28	0,840	-0,129	0,635	-1,429	1,171
	Varianzen sind nicht gleich			-0,214	24,388	0,832	-0,129	0,603	-1,372	1,114
[Füße:]	Varianzen sind gleich	3,261	0,082	-1,076	28	0,291	-0,627	0,583	-1,820	0,567
	Varianzen sind nicht gleich			-1,014	17,550	0,324	-0,627	0,618	-1,928	0,674

Tabelle A 13: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Vibrationsempfinden in Szenario 5

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,971	0,370	-2,803	5	0,038	-1,833	0,654	-3,515	-0,152
	Varianzen sind nicht gleich			-3,051	4,829	0,030	-1,833	0,601	-3,395	-0,272
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,776	0,419	-1,019	5	0,355	-1,333	1,308	-4,696	2,029
	Varianzen sind nicht gleich			-0,956	3,356	0,403	-1,333	1,394	-5,516	2,849
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	8,929	0,031	-1,324	5	0,243	-1,500	1,133	-4,412	1,412
	Varianzen sind nicht gleich			-1,441	4,829	0,211	-1,500	1,041	-4,204	1,204
[Nase:]	Varianzen sind gleich	4,037	0,101	-1,363	5	0,231	-1,083	0,795	-3,127	0,960
	Varianzen sind nicht gleich			-1,182	2,324	0,344	-1,083	0,917	-4,544	2,378
[Hals:]	Varianzen sind gleich	22,857	0,005	-1,195	5	0,286	-1,000	0,837	-3,151	1,151
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	2,000	0,423	-1,000	1,000	-5,303	3,303
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	2,059	0,211	-0,488	5	0,646	-0,500	1,025	-3,134	2,134
	Varianzen sind nicht gleich			-0,447	3,000	0,685	-0,500	1,118	-4,058	3,058
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,158	0,707	-7,584	5	0,001	-3,083	0,407	-4,128	-2,038
	Varianzen sind nicht gleich			-7,400	4,032	0,002	-3,083	0,417	-4,237	-1,930
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	22,857	0,005	-4,183	5	0,009	-2,333	0,558	-3,767	-0,900
	Varianzen sind nicht gleich			-3,500	2,000	0,073	-2,333	0,667	-5,202	0,535
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	5,714	0,062	-4,140	5	0,009	-2,000	0,483	-3,242	-0,758
	Varianzen sind nicht gleich			-3,464	2,000	0,074	-2,000	0,577	-4,484	0,484
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	10,989	0,021	-2,259	5	0,073	-1,667	0,738	-3,563	0,230
	Varianzen sind nicht gleich			-1,890	2,000	0,199	-1,667	0,882	-5,461	2,128
[Beine:]	Varianzen sind gleich	0,158	0,707	-2,255	5	0,074	-1,833	0,813	-3,923	0,257
	Varianzen sind nicht gleich			-2,200	4,032	0,092	-1,833	0,833	-4,140	0,473
[Füße:]	Varianzen sind gleich	1,623	0,259	-0,782	5	0,469	-1,000	1,278	-4,285	2,285
	Varianzen sind nicht gleich			-0,866	4,571	0,430	-1,000	1,155	-4,054	2,054

Tabelle A 14: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Unwohlseinempfinden in Szenario 1

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,408	0,538	-1,040	10	0,323	-1,200	1,153	-3,770	1,370
	Varianzen sind nicht gleich			-1,092	9,907	0,301	-1,200	1,098	-3,651	1,251
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	2,234	0,166	0,023	10	0,982	0,029	1,268	-2,797	2,854
	Varianzen sind nicht gleich			0,024	10,000	0,981	0,029	1,188	-2,618	2,675
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	0,697	0,423	0,281	10	0,785	0,400	1,425	-2,774	3,574
	Varianzen sind nicht gleich			0,271	7,651	0,793	0,400	1,475	-3,028	3,828
[Nase:]	Varianzen sind gleich	16,026	0,003	-1,273	10	0,232	-1,000	0,786	-2,750	0,750
	Varianzen sind nicht gleich			-1,528	6,000	0,177	-1,000	0,655	-2,602	0,602
[Hals:]	Varianzen sind gleich	7,748	0,019	-1,005	10	0,338	-0,943	0,938	-3,033	1,147
	Varianzen sind nicht gleich			-1,186	6,792	0,275	-0,943	0,795	-2,834	0,948
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	14,804	0,003	-1,373	10	0,200	-1,086	0,791	-2,847	0,676
	Varianzen sind nicht gleich			-1,610	7,113	0,151	-1,086	0,675	-2,676	0,504
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,483	0,503	-0,178	10	0,862	-0,171	0,961	-2,312	1,969
	Varianzen sind nicht gleich			-0,164	6,145	0,875	-0,171	1,045	-2,713	2,370
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	2,142	0,174	-1,301	10	0,222	-1,200	0,922	-3,255	0,855
	Varianzen sind nicht gleich			-1,473	8,703	0,176	-1,200	0,815	-3,053	0,653
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	0,080	0,783	-0,189	10	0,854	-0,114	0,604	-1,459	1,231
	Varianzen sind nicht gleich			-0,197	9,771	0,848	-0,114	0,580	-1,412	1,183
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	6,373	0,030	-1,111	10	0,293	-0,571	0,514	-1,717	0,574
	Varianzen sind nicht gleich			-1,333	6,000	0,231	-0,571	0,429	-1,620	0,477
[Beine:]	Varianzen sind gleich	6,373	0,030	-1,111	10	0,293	-0,571	0,514	-1,717	0,574
	Varianzen sind nicht gleich			-1,333	6,000	0,231	-0,571	0,429	-1,620	0,477
[Füße:]	Varianzen sind gleich	6,373	0,030	-1,111	10	0,293	-0,571	0,514	-1,717	0,574
	Varianzen sind nicht gleich			-1,333	6,000	0,231	-0,571	0,429	-1,620	0,477

Tabelle A 15: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Unwohlseinempfinden in Szenario 2

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	4,502	0,067	0,000	8	1,000	0,000	1,244	-2,869	2,869
	Varianzen sind nicht gleich			0,000	7,443	1,000	0,000	0,951	-2,222	2,222
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,911	0,368	-0,187	8	0,857	-0,286	1,532	-3,818	3,247
	Varianzen sind nicht gleich			-0,198	4,412	0,852	-0,286	1,443	-4,148	3,577
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	3,752	0,089	-1,356	8	0,212	-1,762	1,300	-4,759	1,235
	Varianzen sind nicht gleich			-1,521	5,068	0,188	-1,762	1,159	-4,728	1,205
[Nase:]	Varianzen sind gleich	2,304	0,168	-0,632	8	0,545	-0,429	0,678	-1,991	1,134
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	6,000	0,356	-0,429	0,429	-1,477	0,620
[Hals:]	Varianzen sind gleich	2,304	0,168	-0,632	8	0,545	-0,429	0,678	-1,991	1,134
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	6,000	0,356	-0,429	0,429	-1,477	0,620
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,353	0,569	0,337	8	0,745	0,238	0,706	-1,391	1,867
	Varianzen sind nicht gleich			0,439	7,367	0,674	0,238	0,543	-1,033	1,509
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,718	0,421	-0,163	8	0,874	-0,143	0,875	-2,160	1,874
	Varianzen sind nicht gleich			-0,186	5,252	0,860	-0,143	0,769	-2,092	1,807
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	0,003	0,954	0,769	8	0,464	0,857	1,114	-1,712	3,427
	Varianzen sind nicht gleich			0,669	2,972	0,552	0,857	1,280	-3,240	4,954
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	0,827	0,390	1,342	8	0,217	1,286	0,958	-0,924	3,496
	Varianzen sind nicht gleich			1,046	2,551	0,384	1,286	1,229	-3,045	5,617
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	3,671	0,092	-0,843	8	0,424	-0,571	0,678	-2,134	0,991
	Varianzen sind nicht gleich			-1,333	6,000	0,231	-0,571	0,429	-1,620	0,477
[Beine:]	Varianzen sind gleich	1,309	0,286	0,320	8	0,757	0,286	0,894	-1,776	2,347
	Varianzen sind nicht gleich			0,263	2,741	0,811	0,286	1,085	-3,358	3,930
[Füße:]	Varianzen sind gleich	0,819	0,392	-0,549	8	0,598	-0,381	0,694	-1,982	1,220
	Varianzen sind nicht gleich			-0,710	7,283	0,500	-0,381	0,537	-1,640	0,878

Tabelle A 16: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Unwohlseinempfinden in Szenario 3

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	3,396	0,103	0,099	8	0,924	0,083	0,841	-1,856	2,023
	Varianzen sind nicht gleich			0,119	6,342	0,909	0,083	0,700	-1,608	1,774
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,380	0,555	-0,958	8	0,366	-0,917	0,957	-3,123	1,290
	Varianzen sind nicht gleich			-0,906	5,385	0,404	-0,917	1,012	-3,462	1,629
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	0,196	0,670	0,083	8	0,936	0,083	1,010	-2,246	2,412
	Varianzen sind nicht gleich			0,088	7,838	0,932	0,083	0,944	-2,100	2,267
[Nase:]	Varianzen sind gleich	4,000	0,081	-0,800	8	0,447	-0,333	0,417	-1,294	0,628
	Varianzen sind nicht gleich			-1,000	5,000	0,363	-0,333	0,333	-1,190	0,524
[Hals:]	Varianzen sind gleich	4,722	0,062	-1,082	8	0,311	-0,583	0,539	-1,827	0,660
	Varianzen sind nicht gleich			-1,234	7,700	0,254	-0,583	0,473	-1,681	0,515
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,091	0,770	0,434	8	0,676	0,333	0,768	-1,438	2,105
	Varianzen sind nicht gleich			0,405	5,124	0,702	0,333	0,823	-1,768	2,434
[Brust:]	Varianzen sind gleich	3,123	0,115	0,865	8	0,412	0,917	1,060	-1,528	3,362
	Varianzen sind nicht gleich			0,735	3,703	0,506	0,917	1,248	-2,660	4,493
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	1,224	0,301	-0,072	8	0,944	-0,083	1,154	-2,745	2,579
	Varianzen sind nicht gleich			-0,068	5,379	0,948	-0,083	1,221	-3,156	2,989
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	9,143	0,016	1,209	8	0,261	1,333	1,102	-1,209	3,875
	Varianzen sind nicht gleich			1,029	3,722	0,365	1,333	1,295	-2,371	5,038
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	1,600	0,242	-0,531	8	0,610	-0,250	0,470	-1,335	0,835
	Varianzen sind nicht gleich			-0,591	7,977	0,571	-0,250	0,423	-1,227	0,727
[Beine:]	Varianzen sind gleich	1,600	0,242	-1,594	8	0,150	-1,500	0,941	-3,670	0,670
	Varianzen sind nicht gleich			-1,772	7,977	0,114	-1,500	0,847	-3,453	0,453
[Füße:]	Varianzen sind gleich	4,320	0,071	-0,769	8	0,464	-0,750	0,975	-2,998	1,498
	Varianzen sind nicht gleich			-0,868	7,846	0,411	-0,750	0,864	-2,748	1,248

Tabelle A 17: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Unwohlseinempfinden in Szenario 4

		Test bei unabhängigen Stichproben								
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	0,535	0,479	-0,937	12	0,367	-0,667	0,712	-2,217	0,884
	Varianzen sind nicht gleich			-0,907	9,507	0,387	-0,667	0,735	-2,315	0,982
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	0,187	0,673	-1,104	12	0,291	-0,750	0,680	-2,231	0,731
	Varianzen sind nicht gleich			-1,075	9,786	0,308	-0,750	0,697	-2,308	0,808
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	4,863	0,048	-0,920	12	0,376	-0,917	0,996	-3,087	1,254
	Varianzen sind nicht gleich			-0,832	6,631	0,434	-0,917	1,102	-3,552	1,718
[Nase:]	Varianzen sind gleich	18,521	0,001	-1,447	12	0,174	-1,208	0,835	-3,028	0,612
	Varianzen sind nicht gleich			-1,667	7,769	0,135	-1,208	0,725	-2,889	0,472
[Hals:]	Varianzen sind gleich	0,286	0,603	-1,011	12	0,332	-1,167	1,154	-3,682	1,349
	Varianzen sind nicht gleich			-1,023	11,362	0,328	-1,167	1,141	-3,668	1,335
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	0,388	0,545	0,360	12	0,725	0,458	1,273	-2,316	3,233
	Varianzen sind nicht gleich			0,352	9,895	0,733	0,458	1,304	-2,450	3,367
[Brust:]	Varianzen sind gleich	0,155	0,701	0,588	12	0,567	0,667	1,133	-1,802	3,136
	Varianzen sind nicht gleich			0,572	9,676	0,580	0,667	1,166	-1,942	3,276
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	0,002	0,969	0,498	12	0,628	0,542	1,088	-1,829	2,912
	Varianzen sind nicht gleich			0,484	9,649	0,639	0,542	1,120	-1,966	3,049
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	0,429	0,525	0,306	12	0,765	0,333	1,089	-2,040	2,707
	Varianzen sind nicht gleich			0,290	8,562	0,778	0,333	1,148	-2,284	2,951
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	13,914	0,003	-1,292	12	0,221	-0,875	0,677	-2,351	0,601
	Varianzen sind nicht gleich			-1,507	7,000	0,175	-0,875	0,581	-2,248	0,498
[Beine:]	Varianzen sind gleich	0,575	0,463	0,361	12	0,724	0,375	1,039	-1,888	2,638
	Varianzen sind nicht gleich			0,340	8,195	0,743	0,375	1,104	-2,159	2,909
[Füße:]	Varianzen sind gleich	2,990	0,109	-1,167	12	0,266	-0,750	0,643	-2,151	0,651
	Varianzen sind nicht gleich			-1,312	9,331	0,221	-0,750	0,572	-2,036	0,536

Tabelle A 18: Mittelwertunterschiede von vorbelasteten und nicht vorbelasteten Versuchspersonen beim Unwohlseinempfinden in Szenario 5

		Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit							95% Konf. Int. der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere		
[Kopf:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-0,500	0,500	-2,651	1,651	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-0,500	0,500	-6,853	5,853	-1,000	1,000		
[Gehirn:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-2,000	2,000	-10,605	6,605	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-2,000	2,000	-27,412	23,412	-1,000	1,000		
[Ohr(en):]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-1,500	1,500	-7,954	4,954	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-1,500	1,500	-20,559	17,559	-1,000	1,000		
[Nase:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-1,500	1,500	-7,954	4,954	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-1,500	1,500	-20,559	17,559	-1,000	1,000		
[Hals:]	Varianzen sind gleich	-2,828	2	0,106	-2,000	0,707	-5,042	1,042	-2,828	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-2,828	2,000	0,106	-2,000	0,707	-5,042	1,042	-2,828	2,000		
[Nacken:]	Varianzen sind gleich	-5,000	2	0,038	-2,500	0,500	-4,651	-0,349	-5,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-5,000	1,000	0,126	-2,500	0,500	-8,853	3,853	-5,000	1,000		
[Brust:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-1,500	1,500	-7,954	4,954	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-1,500	1,500	-20,559	17,559	-1,000	1,000		
[Bauch:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-1,500	1,500	-7,954	4,954	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-1,500	1,500	-20,559	17,559	-1,000	1,000		
[Rumpf:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-1,500	1,500	-7,954	4,954	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-1,500	1,500	-20,559	17,559	-1,000	1,000		
[Gesäß:]	Varianzen sind gleich	-2,000	2	0,184	-2,000	1,000	-6,303	2,303	-2,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-2,000	1,000	0,295	-2,000	1,000	-14,706	10,706	-2,000	1,000		
[Beine:]	Varianzen sind gleich	-2,000	2	0,184	-2,000	1,000	-6,303	2,303	-2,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-2,000	1,000	0,295	-2,000	1,000	-14,706	10,706	-2,000	1,000		
[Füße:]	Varianzen sind gleich	-1,000	2	0,423	-0,500	0,500	-2,651	1,651	-1,000	2		
	Varianzen sind nicht gleich	-1,000	1,000	0,500	-0,500	0,500	-6,853	5,853	-1,000	1,000		

D.3 Varianzanalysen mit Messwiederholungen

gg Tabelle A 19: Varianzanalysen zur Lärmbelastigung und Lautheit

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat
*AV = Lärmbelastigung ICBEN 5er-Skala (im Labor).							
Tests der Innersubjekteffekte							
Szenario	Sphärizität angenommen	43,259	4,000	10,815	13,711	0,000	0,407
	Greenhouse-Geisser		3,201	13,516	13,711	0,000	0,407
	Huynh-Feldt	43,259	4,000	10,815	13,711	0,000	0,407
	Untergrenze	43,259	1,000	43,259	13,711	0,001	0,407
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	27,438	44,000	0,624	0,791	0,801	0,303
	Greenhouse-Geisser	27,438	35,206	0,779	0,791	0,773	0,303
	Huynh-Feldt	27,438	44,000	0,624	0,791	0,801	0,303
	Untergrenze	27,438	11,000	2,494	0,791	0,647	0,303
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,797	4,000	0,699	0,886	0,476	0,042
	Greenhouse-Geisser	2,797	3,201	0,874	0,886	0,459	0,042
	Huynh-Feldt	2,797	4,000	0,699	0,886	0,476	0,042
	Untergrenze	2,797	1,000	2,797	0,886	0,358	0,042
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	24,857	36,000	0,690	0,875	0,665	0,283
	Greenhouse-Geisser	24,857	28,805	0,863	0,875	0,645	0,283
	Huynh-Feldt	24,857	36,000	0,690	0,875	0,665	0,283
	Untergrenze	24,857	9,000	2,762	0,875	0,562	0,283
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	63,100	80,000	0,789			
	Greenhouse-Geisser	63,100	64,011	0,986			
	Huynh-Feldt	63,100	80,000	0,789			
	Untergrenze	63,100	20,000	3,155			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term		850,667	1,000	850,667	286,822	0,000	0,935
ReihenfolgeStimuli		17,457	11,000	1,587	0,535	0,857	0,227
Sensitiv		8,072	1,000	8,072	2,722	0,115	0,120
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		31,926	9,000	3,547	1,196	0,350	0,350
Fehler		59,317	20,000	2,966			
*AV = Lärmbelastigung ICBEN 11er-Skala (im Labor).							
Tests der Innersubjekteffekte							
Szenario	Sphärizität angenommen	314,082	4,000	78,521	12,638	0,000	0,387
	Greenhouse-Geisser	314,082	3,395	92,525	12,638	0,000	0,387
	Huynh-Feldt	314,082	4,000	78,521	12,638	0,000	0,387
	Untergrenze	314,082	1,000	314,082	12,638	0,002	0,387
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	185,354	44,000	4,213	0,678	0,919	0,272
	Greenhouse-Geisser	185,354	37,340	4,964	0,678	0,901	0,272
	Huynh-Feldt	185,354	44,000	4,213	0,678	0,919	0,272
	Untergrenze	185,354	11,000	16,850	0,678	0,743	0,272
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	24,834	4,000	6,208	0,999	0,413	0,048
	Greenhouse-Geisser	24,834	3,395	7,316	0,999	0,406	0,048
	Huynh-Feldt	24,834	4,000	6,208	0,999	0,413	0,048
	Untergrenze	24,834	1,000	24,834	0,999	0,329	0,048
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	164,892	36,000	4,580	0,737	0,844	0,249

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat
	Greenhouse-Geisser	164,892	30,551	5,397	0,737	0,823	0,249
	Huynh-Feldt	164,892	36,000	4,580	0,737	0,844	0,249
	Untergrenze	164,892	9,000	18,321	0,737	0,672	0,249
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	497,033	80,000	6,213			
	Greenhouse-Geisser	497,033	67,891	7,321			
	Huynh-Feldt	497,033	80,000	6,213			
	Untergrenze	497,033	20,000	24,852			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term		2196,569	1,000	2196,569	82,544	0,000	0,805
ReihenfolgeStimuli		200,793	11,000	18,254	0,686	0,736	0,274
Sensitiv		97,499	1,000	97,499	3,664	0,070	0,155
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		256,634	9,000	28,515	1,072	0,424	0,325
Fehler		532,217	20,000	26,611			

***AV = Lärmbelästigung (tagsüber).**

Tests der Innersubjekteffekte							
Szenario	Sphärizität angenommen	321,932	4,000	80,483	19,740	0,000	0,497
	Greenhouse-Geisser	321,932	3,151	102,163	19,740	0,000	0,497
	Huynh-Feldt	321,932	4,000	80,483	19,740	0,000	0,497
	Untergrenze	321,932	1,000	321,932	19,740	0,000	0,497
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	177,786	44,000	4,041	0,991	0,503	0,353
	Greenhouse-Geisser	177,786	34,663	5,129	0,991	0,500	0,353
	Huynh-Feldt	177,786	44,000	4,041	0,991	0,503	0,353
	Untergrenze	177,786	11,000	16,162	0,991	0,486	0,353
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	30,259	4,000	7,565	1,855	0,126	0,085
	Greenhouse-Geisser	30,259	3,151	9,603	1,855	0,144	0,085
	Huynh-Feldt	30,259	4,000	7,565	1,855	0,126	0,085
	Untergrenze	30,259	1,000	30,259	1,855	0,188	0,085
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	159,199	36,000	4,422	1,085	0,374	0,328
	Greenhouse-Geisser	159,199	28,360	5,613	1,085	0,384	0,328
	Huynh-Feldt	159,199	36,000	4,422	1,085	0,374	0,328
	Untergrenze	159,199	9,000	17,689	1,085	0,415	0,328
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	326,167	80,000	4,077			
	Greenhouse-Geisser	326,167	63,023	5,175			
	Huynh-Feldt	326,167	80,000	4,077			
	Untergrenze	326,167	20,000	16,308			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term		1830,929	1,000	1830,929	109,691	0,000	0,846
ReihenfolgeStimuli		204,770	11,000	18,615	1,115	0,399	0,380
Sensitiv		86,202	1,000	86,202	5,164	0,034	0,205
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		243,100	9,000	27,011	1,618	0,177	0,421
Fehler		333,833	20,000	16,692			

***AV = Lärmbelästigung (abends).**

Tests der Innersubjekteffekte							
Szenario	Sphärizität angenommen	396,099	4,000	99,025	15,518	0,000	0,437
	Greenhouse-Geisser	396,099	3,350	118,254	15,518	0,000	0,437
	Huynh-Feldt	396,099	4,000	99,025	15,518	0,000	0,437
	Untergrenze	396,099	1,000	396,099	15,518	0,001	0,437

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	221,579	44,000	5,036	0,789	0,803	0,303
	Greenhouse-Geisser	221,579	36,845	6,014	0,789	0,781	0,303
	Huynh-Feldt	221,579	44,000	5,036	0,789	0,803	0,303
	Untergrenze	221,579	11,000	20,144	0,789	0,649	0,303
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	39,419	4,000	9,855	1,544	0,197	0,072
	Greenhouse-Geisser	39,419	3,350	11,768	1,544	0,207	0,072
	Huynh-Feldt	39,419	4,000	9,855	1,544	0,197	0,072
	Untergrenze	39,419	1,000	39,419	1,544	0,228	0,072
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	142,286	36,000	3,952	0,619	0,944	0,218
	Greenhouse-Geisser	142,286	30,146	4,720	0,619	0,926	0,218
	Huynh-Feldt	142,286	36,000	3,952	0,619	0,944	0,218
	Untergrenze	142,286	9,000	15,810	0,619	0,767	0,218
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	510,500	80,000	6,381			
	Greenhouse-Geisser	510,500	66,991	7,620			
	Huynh-Feldt	510,500	80,000	6,381			
	Untergrenze	510,500	20,000	25,525			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term		3241,347	1,000	3241,347	128,286	0,000	0,865
ReihenfolgeStimuli		260,424	11,000	23,675	0,937	0,527	0,340
Sensitiv		147,290	1,000	147,290	5,829	0,025	0,226
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		432,740	9,000	48,082	1,903	0,111	0,461
Fehler		505,333	20,000	25,267			
*AV = Lärmbelästigung (nachts).							
Tests der Innersubjekteffekte							
Szenario	Sphärizität angenommen	501,408	4,000	125,352	16,645	0,000	0,454
	Greenhouse-Geisser	501,408	3,546	141,401	16,645	0,000	0,454
	Huynh-Feldt	501,408	4,000	125,352	16,645	0,000	0,454
	Untergrenze	501,408	1,000	501,408	16,645	0,001	0,454
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	258,086	44,000	5,866	0,779	0,816	0,300
	Greenhouse-Geisser	258,086	39,006	6,617	0,779	0,800	0,300
	Huynh-Feldt	258,086	44,000	5,866	0,779	0,816	0,300
	Untergrenze	258,086	11,000	23,462	0,779	0,657	0,300
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	58,909	4,000	14,727	1,956	0,109	0,089
	Greenhouse-Geisser	58,909	3,546	16,613	1,956	0,118	0,089
	Huynh-Feldt	58,909	4,000	14,727	1,956	0,109	0,089
	Untergrenze	58,909	1,000	58,909	1,956	0,177	0,089
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	131,700	36,000	3,658	0,486	0,991	0,179
	Greenhouse-Geisser	131,700	31,914	4,127	0,486	0,987	0,179
	Huynh-Feldt	131,700	36,000	3,658	0,486	0,991	0,179
	Untergrenze	131,700	9,000	14,633	0,486	0,867	0,179
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	602,467	80,000	7,531			
	Greenhouse-Geisser	602,467	70,920	8,495			
	Huynh-Feldt	602,467	80,000	7,531			
	Untergrenze	602,467	20,000	30,123			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term		4365,770	1,000	4365,770	111,166	0,000	0,848
ReihenfolgeStimuli		229,991	11,000	20,908	0,532	0,859	0,226

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat
Sensitiv		171,361	1,000	171,361	4,363	0,050	0,179
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		495,216	9,000	55,024	1,401	0,252	0,387
Fehler		785,450	20,000	39,273			
*AV = Lautheit							
Tests der Innersubjekteffekte							
Szenario	Sphärizität angenommen	166,187	4,000	41,547	10,550	0,000	0,345
	Greenhouse-Geisser	166,187	2,776	59,858	10,550	0,000	0,345
	Huynh-Feldt	166,187	4,000	41,547	10,550	0,000	0,345
	Untergrenze	166,187	1,000	166,187	10,550	0,004	0,345
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	154,624	44,000	3,514	0,892	0,655	0,329
	Greenhouse-Geisser	154,624	30,540	5,063	0,892	0,626	0,329
	Huynh-Feldt	154,624	44,000	3,514	0,892	0,655	0,329
	Untergrenze	154,624	11,000	14,057	0,892	0,563	0,329
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	15,906	4,000	3,977	1,010	0,407	0,048
	Greenhouse-Geisser	15,906	2,776	5,729	1,010	0,391	0,048
	Huynh-Feldt	15,906	4,000	3,977	1,010	0,407	0,048
	Untergrenze	15,906	1,000	15,906	1,010	0,327	0,048
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	115,579	36,000	3,211	0,815	0,749	0,268
	Greenhouse-Geisser	115,579	24,987	4,626	0,815	0,707	0,268
	Huynh-Feldt	115,579	36,000	3,211	0,815	0,749	0,268
	Untergrenze	115,579	9,000	12,842	0,815	0,609	0,268
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	315,033	80,000	3,938			
	Greenhouse-Geisser	315,033	55,527	5,673			
	Huynh-Feldt	315,033	80,000	3,938			
	Untergrenze	315,033	20,000	15,752			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term		1682,047	1,000	1682,047	75,674	0,000	0,791
ReihenfolgeStimuli		220,591	11,000	20,054	0,902	0,555	0,332
Sensitiv		5,923	1,000	5,923	0,266	0,611	0,013
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		119,115	9,000	13,235	0,595	0,786	0,211
Fehler		444,550	20,000	22,228			

Tabelle A 20: Varianzanalysen zur Geräuschbewertung

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ001								
Poltern								
Tests der Innersubjekteffekte								
Szenario	Sphärizität angenommen	45,586	4,000	11,396	6,079	0,000	0,242	0,002
	Greenhouse-Geisser	45,586	2,441	18,674	6,079	0,003	0,242	0,021
	Huynh-Feldt	45,586	4,000	11,396	6,079	0,000	0,242	0,002
	Untergrenze	45,586	1,000	45,586	6,079	0,023	0,242	0,187
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	84,093	44,000	1,911	1,020	0,462	0,371	3,694
	Greenhouse-Geisser	84,093	26,852	3,132	1,020	0,465	0,371	3,724
	Huynh-Feldt	84,093	44,000	1,911	1,020	0,462	0,371	3,694
	Untergrenze	84,093	11,000	7,645	1,020	0,467	0,371	3,733

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,415	4,000	0,604	0,322	0,862	0,017	6,899
	Greenhouse-Geisser	2,415	2,441	0,989	0,322	0,768	0,017	6,145
	Huynh-Feldt	2,415	4,000	0,604	0,322	0,862	0,017	6,899
	Untergrenze	2,415	1,000	2,415	0,322	0,577	0,017	4,616
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	65,759	36,000	1,827	0,974	0,522	0,316	4,178
	Greenhouse-Geisser	65,759	21,970	2,993	0,974	0,510	0,316	4,084
	Huynh-Feldt	65,759	36,000	1,827	0,974	0,522	0,316	4,178
	Untergrenze	65,759	9,000	7,307	0,974	0,490	0,316	3,922
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	142,467	76,000	1,875				
	Greenhouse-Geisser	142,467	46,380	3,072				
	Huynh-Feldt	142,467	76,000	1,875				
	Untergrenze	142,467	19,000	7,498				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	576,475	1,000	576,475	129,316	0,000	0,872	0,000
ReihenfolgeStimuli	47,368	11,000	4,306	0,966	0,506	0,359	4,049
Sensitiv	7,461	1,000	7,461	1,674	0,211	0,081	1,690
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	53,497	9,000	5,944	1,333	0,284	0,387	2,275
Fehler	84,700	19,000	4,458				

GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ002

Dröhnen

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	95,193	4,000	23,798	9,938	0,000	0,332	0,000
	Greenhouse-Geisser	95,193	3,277	29,049	9,938	0,000	0,332	0,000
	Huynh-Feldt	95,193	4,000	23,798	9,938	0,000	0,332	0,000
	Untergrenze	95,193	1,000	95,193	9,938	0,005	0,332	0,040
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	104,494	44,000	2,375	0,992	0,502	0,353	4,017
	Greenhouse-Geisser	104,494	36,047	2,899	0,992	0,500	0,353	3,999
	Huynh-Feldt	104,494	44,000	2,375	0,992	0,502	0,353	4,017
	Untergrenze	104,494	11,000	9,499	0,992	0,485	0,353	3,883
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	3,293	4,000	0,823	0,344	0,848	0,017	6,781
	Greenhouse-Geisser	3,293	3,277	1,005	0,344	0,811	0,017	6,487
	Huynh-Feldt	3,293	4,000	0,823	0,344	0,848	0,017	6,781
	Untergrenze	3,293	1,000	3,293	0,344	0,564	0,017	4,514
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	65,139	36,000	1,809	0,756	0,823	0,254	6,587
	Greenhouse-Geisser	65,139	29,493	2,209	0,756	0,797	0,254	6,379
	Huynh-Feldt	65,139	36,000	1,809	0,756	0,823	0,254	6,587
	Untergrenze	65,139	9,000	7,238	0,756	0,657	0,254	5,253
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	191,567	80,000	2,395				
	Greenhouse-Geisser	191,567	65,540	2,923				
	Huynh-Feldt	191,567	80,000	2,395				
	Untergrenze	191,567	20,000	9,578				

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term	1391,333	1,000	1391,333	145,296	0,000	0,879	0,000
ReihenfolgeStimuli	30,352	11,000	2,759	0,288	0,981	0,137	7,847
Sensitiv	0,157	1,000	0,157	0,016	0,899	0,001	7,194
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	86,243	9,000	9,583	1,001	0,471	0,310	3,765
Fehler	191,517	20,000	9,576				

GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ003

Rauschen

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	8,067	4,000	2,017	1,700	0,159	0,082	1,270
	Greenhouse-Geisser	8,067	3,032	2,660	1,700	0,177	0,082	1,413
	Huynh-Feldt	8,067	4,000	2,017	1,700	0,159	0,082	1,270
	Untergrenze	8,067	1,000	8,067	1,700	0,208	0,082	1,663
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	64,664	44,000	1,470	1,239	0,204	0,418	1,634
	Greenhouse-Geisser	64,664	33,356	1,939	1,239	0,234	0,418	1,873
	Huynh-Feldt	64,664	44,000	1,470	1,239	0,204	0,418	1,634
	Untergrenze	64,664	11,000	5,879	1,239	0,328	0,418	2,628
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	9,299	4,000	2,325	1,959	0,109	0,093	0,874
	Greenhouse-Geisser	9,299	3,032	3,066	1,959	0,130	0,093	1,037
	Huynh-Feldt	9,299	4,000	2,325	1,959	0,109	0,093	0,874
	Untergrenze	9,299	1,000	9,299	1,959	0,178	0,093	1,422
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	62,984	36,000	1,750	1,475	0,079	0,411	0,630
	Greenhouse-Geisser	62,984	27,291	2,308	1,475	0,108	0,411	0,863
	Huynh-Feldt	62,984	36,000	1,750	1,475	0,079	0,411	0,630
	Untergrenze	62,984	9,000	6,998	1,475	0,227	0,411	1,817
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	90,167	76,000	1,186				
	Greenhouse-Geisser	90,167	57,615	1,565				
	Huynh-Feldt	90,167	76,000	1,186				
	Untergrenze	90,167	19,000	4,746				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	484,071	1,000	484,071	85,226	0,000	0,818	0,000
ReihenfolgeStimuli	18,527	11,000	1,684	0,297	0,978	0,147	7,827
Sensitiv	3,458	1,000	3,458	0,609	0,445	0,031	3,559
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	23,455	9,000	2,606	0,459	0,884	0,179	7,074
Fehler	107,917	19,000	5,680				

GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ004

Fauchen

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	1,279	4,000	0,320	0,826	0,513	0,042	4,100
	Greenhouse-Geisser	1,279	2,347	0,545	0,826	0,461	0,042	3,689
	Huynh-Feldt	1,279	4,000	0,320	0,826	0,513	0,042	4,100

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Untergrenze	1,279	1,000	1,279	0,826	0,375	0,042	2,998
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	32,576	44,000	0,740	1,914	0,006	0,526	0,052
	Greenhouse-Geisser	32,576	25,814	1,262	1,914	0,028	0,526	0,224
	Huynh-Feldt	32,576	44,000	0,740	1,914	0,006	0,526	0,052
	Untergrenze	32,576	11,000	2,961	1,914	0,103	0,526	0,825
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	6,050	4,000	1,513	3,910	0,006	0,171	0,049
	Greenhouse-Geisser	6,050	2,347	2,578	3,910	0,022	0,171	0,174
	Huynh-Feldt	6,050	4,000	1,513	3,910	0,006	0,171	0,049
	Untergrenze	6,050	1,000	6,050	3,910	0,063	0,171	0,502
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	25,130	36,000	0,698	1,805	0,016	0,461	0,127
	Greenhouse-Geisser	25,130	21,120	1,190	1,805	0,049	0,461	0,389
	Huynh-Feldt	25,130	36,000	0,698	1,805	0,016	0,461	0,127
	Untergrenze	25,130	9,000	2,792	1,805	0,133	0,461	1,067
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	29,400	76,000	0,387				
	Greenhouse-Geisser	29,400	44,588	0,659				
	Huynh-Feldt	29,400	76,000	0,387				
	Untergrenze	29,400	19,000	1,547				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	263,368	1,000	263,368	169,054	0,000	0,899	0,000
ReihenfolgeStimuli	10,374	11,000	0,943	0,605	0,802	0,260	6,416
Sensitiv	0,298	1,000	0,298	0,192	0,667	0,010	5,332
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	23,095	9,000	2,566	1,647	0,172	0,438	1,376
Fehler	29,600	19,000	1,558				

GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ005

Klopfen

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	73,035	4,000	18,259	13,279	0,000	0,411	0,000
	Greenhouse-Geisser	73,035	3,190	22,894	13,279	0,000	0,411	0,000
	Huynh-Feldt	73,035	4,000	18,259	13,279	0,000	0,411	0,000
	Untergrenze	73,035	1,000	73,035	13,279	0,002	0,411	0,014
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	113,740	44,000	2,585	1,880	0,008	0,521	0,062
	Greenhouse-Geisser	113,740	35,092	3,241	1,880	0,015	0,521	0,122
	Huynh-Feldt	113,740	44,000	2,585	1,880	0,008	0,521	0,062
	Untergrenze	113,740	11,000	10,340	1,880	0,109	0,521	0,875
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	3,655	4,000	0,914	0,665	0,619	0,034	4,948
	Greenhouse-Geisser	3,655	3,190	1,146	0,665	0,586	0,034	4,688
	Huynh-Feldt	3,655	4,000	0,914	0,665	0,619	0,034	4,948
	Untergrenze	3,655	1,000	3,655	0,665	0,425	0,034	3,401
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	72,862	36,000	2,024	1,472	0,080	0,411	0,638
	Greenhouse-Geisser	72,862	28,712	2,538	1,472	0,103	0,411	0,827
	Huynh-Feldt	72,862	36,000	2,024	1,472	0,080	0,411	0,638

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Untergrenze	72,862	9,000	8,096	1,472	0,228	0,411	1,824
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	104,500	76,000	1,375				
	Greenhouse-Geisser	104,500	60,614	1,724				
	Huynh-Feldt	104,500	76,000	1,375				
	Untergrenze	104,500	19,000	5,500				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		836,218	1,000	836,218	200,904	0,000	0,914	0,000
ReihenfolgeStimuli		76,219	11,000	6,929	1,665	0,159	0,491	1,270
Sensitiv		0,287	1,000	0,287	0,069	0,796	0,004	6,365
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		32,313	9,000	3,590	0,863	0,572	0,290	4,579
Fehler		79,083	19,000	4,162				

GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ006

Brummen

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	73,367	4,000	18,342	8,336	0,000	0,294	0,000
	Greenhouse-Geisser	73,367	3,208	22,867	8,336	0,000	0,294	0,001
	Huynh-Feldt	73,367	4,000	18,342	8,336	0,000	0,294	0,000
	Untergrenze	73,367	1,000	73,367	8,336	0,009	0,294	0,073
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	100,104	44,000	2,275	1,034	0,440	0,363	3,519
	Greenhouse-Geisser	100,104	35,292	2,836	1,034	0,444	0,363	3,552
	Huynh-Feldt	100,104	44,000	2,275	1,034	0,440	0,363	3,519
	Untergrenze	100,104	11,000	9,100	1,034	0,455	0,363	3,638
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,389	4,000	0,597	0,271	0,896	0,013	7,164
	Greenhouse-Geisser	2,389	3,208	0,745	0,271	0,858	0,013	6,865
	Huynh-Feldt	2,389	4,000	0,597	0,271	0,896	0,013	7,164
	Untergrenze	2,389	1,000	2,389	0,271	0,608	0,013	4,865
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	86,546	36,000	2,404	1,093	0,364	0,330	2,911
	Greenhouse-Geisser	86,546	28,876	2,997	1,093	0,375	0,330	2,998
	Huynh-Feldt	86,546	36,000	2,404	1,093	0,364	0,330	2,911
	Untergrenze	86,546	9,000	9,616	1,093	0,410	0,330	3,284
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	176,033	80,000	2,200				
	Greenhouse-Geisser	176,033	64,168	2,743				
	Huynh-Feldt	176,033	80,000	2,200				
	Untergrenze	176,033	20,000	8,802				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		1173,789	1,000	1173,789	143,539	0,000	0,878	0,000
ReihenfolgeStimuli		34,114	11,000	3,101	0,379	0,949	0,173	7,595
Sensitiv		8,819	1,000	8,819	1,078	0,311	0,051	2,491
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		64,024	9,000	7,114	0,870	0,566	0,281	4,528
Fehler		163,550	20,000	8,178				

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ007							Pulsieren	
Tests der Innersubjekteffekte								
Szenario	Sphärizität angenommen	85,032	4,000	21,258	9,396	0,000	0,320	0,000
	Greenhouse-Geisser	85,032	2,917	29,155	9,396	0,000	0,320	0,000
	Huynh-Feldt	85,032	4,000	21,258	9,396	0,000	0,320	0,000
	Untergrenze	85,032	1,000	85,032	9,396	0,006	0,320	0,049
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	100,976	44,000	2,295	1,014	0,468	0,358	3,748
	Greenhouse-Geisser	100,976	32,082	3,147	1,014	0,470	0,358	3,759
	Huynh-Feldt	100,976	44,000	2,295	1,014	0,468	0,358	3,748
	Untergrenze	100,976	11,000	9,180	1,014	0,469	0,358	3,751
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,338	4,000	0,585	0,258	0,904	0,013	7,230
	Greenhouse-Geisser	2,338	2,917	0,802	0,258	0,850	0,013	6,799
	Huynh-Feldt	2,338	4,000	0,585	0,258	0,904	0,013	7,230
	Untergrenze	2,338	1,000	2,338	0,258	0,617	0,013	4,934
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	66,949	36,000	1,860	0,822	0,740	0,270	5,918
	Greenhouse-Geisser	66,949	26,249	2,551	0,822	0,704	0,270	5,633
	Huynh-Feldt	66,949	36,000	1,860	0,822	0,740	0,270	5,918
	Untergrenze	66,949	9,000	7,439	0,822	0,603	0,270	4,827
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	181,000	80,000	2,263				
	Greenhouse-Geisser	181,000	58,331	3,103				
	Huynh-Feldt	181,000	80,000	2,263				
	Untergrenze	181,000	20,000	9,050				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		1710,381	1,000	1710,381	202,013	0,000	0,910	0,000
ReihenfolgeStimuli		75,005	11,000	6,819	0,805	0,635	0,307	5,079
Sensitiv		23,691	1,000	23,691	2,798	0,110	0,123	0,880
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		62,928	9,000	6,992	0,826	0,600	0,271	4,803
Fehler		169,333	20,000	8,467				

GLM Geräuschbewertung Fragen 9.2. (Item 9.2 SQ001 bis Item 9.2. SQ008) – Item SQ008

Pfeifen

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	7,363	4,000	1,841	0,962	0,433	0,046	3,463
	Greenhouse-Geisser	7,363	3,400	2,166	0,962	0,424	0,046	3,390
	Huynh-Feldt	7,363	4,000	1,841	0,962	0,433	0,046	3,463
	Untergrenze	7,363	1,000	7,363	0,962	0,338	0,046	2,707
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	78,129	44,000	1,776	0,928	0,600	0,338	4,798
	Greenhouse-Geisser	78,129	37,398	2,089	0,928	0,590	0,338	4,723
	Huynh-Feldt	78,129	44,000	1,776	0,928	0,600	0,338	4,798
	Untergrenze	78,129	11,000	7,103	0,928	0,534	0,338	4,273
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	5,921	4,000	1,480	0,774	0,545	0,037	4,363
	Greenhouse-Geisser	5,921	3,400	1,742	0,774	0,527	0,037	2,275

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Huynh-Feldt	5,921	4,000	1,480	0,774	0,545	0,037	4,363
	Untergrenze	5,921	1,000	5,921	0,774	0,389	0,037	3,116
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	80,788	36,000	2,244	1,173	0,274	0,346	2,190
	Greenhouse-Geisser	80,788	30,599	2,640	1,173	0,288	0,346	2,302
	Huynh-Feldt	80,788	36,000	2,244	1,173	0,274	0,346	2,190
	Untergrenze	80,788	9,000	8,976	1,173	0,363	0,346	2,901
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	153,033	80,000	1,913				
	Greenhouse-Geisser	153,033	67,997	2,251				
	Huynh-Feldt	153,033	80,000	1,913				
	Untergrenze	153,033	20,000	7,652				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		631,146	1,000	631,146	88,706	0,000	0,816	0,000
ReihenfolgeStimuli		47,727	11,000	4,339	0,610	0,799	0,251	6,395
Sensitiv		21,650	1,000	21,650	3,043	0,096	0,132	0,772
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		42,622	9,000	4,736	0,666	0,730	0,230	5,838
Fehler		142,300	20,000	7,115				

Tabelle A 21.: Varianzanalysen zur Geräuschempfindung (semantisches Differenzial)

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
*AVs = Geräuschempfinden (sem. Diff.).								
GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ001								
Tests der Innersubjekteffekte								
Szenario	Sphärizität angenommen	89,397	4,000	22,349	10,100	0,000	0,336	0,000
	Greenhouse-Geisser	89,397	3,118	28,673	10,100	0,000	0,336	0,000
	Huynh-Feldt	89,397	4,000	22,349	10,100	0,000	0,336	0,000
	Untergrenze	89,397	1,000	89,397	10,100	0,005	0,336	0,142
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	83,546	44,000	1,899	0,858	0,707	0,321	21,205
	Greenhouse-Geisser	83,546	34,296	2,436	0,858	0,682	0,321	20,461
	Huynh-Feldt	83,546	44,000	1,899	0,858	0,707	0,321	21,205
	Untergrenze	83,546	11,000	7,595	0,858	0,591	0,321	17,724
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	5,295	4,000	1,324	0,598	0,665	0,029	19,949
	Greenhouse-Geisser	5,295	3,118	1,698	0,598	0,625	0,029	18,744
	Huynh-Feldt	5,295	4,000	1,324	0,598	0,665	0,029	19,949
	Untergrenze	5,295	1,000	5,295	0,598	0,448	0,029	13,449
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	82,457	36,000	2,290	1,035	0,438	0,318	13,128
	Greenhouse-Geisser	82,457	28,060	2,939	1,035	0,441	0,318	13,241
	Huynh-Feldt	82,457	36,000	2,290	1,035	0,438	0,318	13,128
	Untergrenze	82,457	9,000	9,162	1,035	0,447	0,318	13,422
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	177,033	80,000	2,213				
	Greenhouse-Geisser	177,033	62,356	2,839				
	Huynh-Feldt	177,033	80,000	2,213				
	Untergrenze	177,033	20,000	8,852				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Konstanter Term	2921,009	1,000	2921,009	291,785	0,000	0,936	0,000
ReihenfolgeStimuli	46,575	11,000	4,234	0,423	0,928	0,189	27,838
Sensitiv	30,486	1,000	30,486	3,045	0,096	0,132	2,890
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	125,402	9,000	13,934	1,392	0,256	0,385	7,685
Fehler	200,217	20,000	10,011				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ002

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	94,786	4,000	23,697	11,541	0,000	0,366	0,000
	Greenhouse-Geisser	94,786	3,105	30,527	11,541	0,000	0,366	0,000
	Huynh-Feldt	94,786	4,000	23,697	11,541	0,000	0,366	0,000
	Untergrenze	94,786	1,000	94,786	11,541	0,003	0,366	0,086
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	98,026	44,000	2,228	1,085	0,370	0,374	11,087
	Greenhouse-Geisser	98,026	34,155	2,870	1,085	0,382	0,374	11,467
	Huynh-Feldt	98,026	44,000	2,228	1,085	0,370	0,374	11,087
	Untergrenze	98,026	11,000	8,911	1,085	0,419	0,374	12,581
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	7,213	4,000	1,803	0,878	0,481	0,042	14,425
	Greenhouse-Geisser	7,213	3,105	2,323	0,878	0,460	0,042	13,810
	Huynh-Feldt	7,213	4,000	1,803	0,878	0,481	0,042	14,425
	Untergrenze	7,213	1,000	7,213	0,878	0,360	0,042	10,796
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	41,911	36,000	1,164	0,567	0,970	0,203	29,089
	Greenhouse-Geisser	41,911	27,945	1,500	0,567	0,950	0,203	28,488
	Huynh-Feldt	41,911	36,000	1,164	0,567	0,970	0,203	29,089
	Untergrenze	41,911	9,000	4,657	0,567	0,808	0,203	24,239
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	164,267	80,000	2,053				
	Greenhouse-Geisser	164,267	62,099	2,645				
	Huynh-Feldt	164,267	80,000	2,053				
	Untergrenze	164,267	20,000	8,213				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	1821,914	1,000	1821,914	219,200	0,000	0,916	0,000
ReihenfolgeStimuli	56,005	11,000	5,091	0,613	0,797	0,252	23,915
Sensitiv	4,973	1,000	4,973	0,598	0,448	0,029	13,448
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	153,720	9,000	17,080	2,055	0,086	0,480	2,589
Fehler	166,233	20,000	8,312				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ003

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	64,622	4,000	16,155	7,876	0,000	0,283	0,001
	Greenhouse-Geisser	64,622	3,347	19,304	7,876	0,000	0,283	0,002
	Huynh-Feldt	64,622	4,000	16,155	7,876	0,000	0,283	0,001
	Untergrenze	64,622	1,000	64,622	7,876	0,011	0,283	0,327
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	55,360	44,000	1,258	0,613	0,961	0,252	28,819
	Greenhouse-Geisser	55,360	36,822	1,503	0,613	0,945	0,252	28,364
	Huynh-Feldt	55,360	44,000	1,258	0,613	0,961	0,252	28,819
	Untergrenze	55,360	11,000	5,033	0,613	0,796	0,252	23,895

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,891	4,000	0,723	0,352	0,842	0,017	25,250
	Greenhouse-Geisser	2,891	3,347	0,864	0,352	0,809	0,017	24,262
	Huynh-Feldt	2,891	4,000	0,723	0,352	0,842	0,017	25,250
	Untergrenze	2,891	1,000	2,891	0,352	0,559	0,017	16,783
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	56,612	36,000	1,573	0,767	0,810	0,256	24,313
	Greenhouse-Geisser	56,612	30,127	1,879	0,767	0,787	0,256	23,622
	Huynh-Feldt	56,612	36,000	1,573	0,767	0,810	0,256	24,313
	Untergrenze	56,612	9,000	6,290	0,767	0,648	0,256	19,430
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	164,100	80,000	2,051				
	Greenhouse-Geisser	164,100	66,950	2,451				
	Huynh-Feldt	164,100	80,000	2,051				
	Untergrenze	164,100	20,000	8,205				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		1833,422	1,000	1833,422	216,567	0,000	0,915	0,000
ReihenfolgeStimuli		95,165	11,000	8,651	1,022	0,463	0,360	13,900
Sensitiv		27,710	1,000	27,710	3,273	0,085	0,141	2,564
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		101,458	9,000	11,273	1,332	0,282	0,375	8,468
Fehler		169,317	20,000	8,466				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ004

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	88,994	4,000	22,248	12,122	0,000	0,377	0,000
	Greenhouse-Geisser	88,994	2,951	30,161	12,122	0,000	0,377	0,000
	Huynh-Feldt	88,994	4,000	22,248	12,122	0,000	0,377	0,000
	Untergrenze	88,994	1,000	88,994	12,122	0,002	0,377	0,071
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	88,720	44,000	2,016	1,099	0,352	0,377	10,559
	Greenhouse-Geisser	88,720	32,457	2,733	1,099	0,369	0,377	11,077
	Huynh-Feldt	88,720	44,000	2,016	1,099	0,352	0,377	10,559
	Untergrenze	88,720	11,000	8,065	1,099	0,410	0,377	12,309
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,677	4,000	0,669	0,365	0,833	0,018	24,995
	Greenhouse-Geisser	2,677	2,951	0,907	0,365	0,776	0,018	23,267
	Huynh-Feldt	2,677	4,000	0,669	0,365	0,833	0,018	24,995
	Untergrenze	2,677	1,000	2,677	0,365	0,553	0,018	16,583
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	65,459	36,000	1,818	0,991	0,499	0,308	14,962
	Greenhouse-Geisser	65,459	26,556	2,465	0,991	0,494	0,308	14,835
	Huynh-Feldt	65,459	36,000	1,818	0,991	0,499	0,308	14,962
	Untergrenze	65,459	9,000	7,273	0,991	0,478	0,308	14,326
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	146,833	80,000	1,835				
	Greenhouse-Geisser	146,833	59,012	2,488				
	Huynh-Feldt	146,833	80,000	1,835				
	Untergrenze	146,833	20,000	7,342				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		1939,048	1,000	1939,048	327,266	0,000	0,942	0,000
ReihenfolgeStimuli		72,684	11,000	6,608	1,115	0,399	0,380	11,982
Sensitiv		8,256	1,000	8,256	1,393	0,252	0,065	7,551
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		114,383	9,000	12,709	2,145	0,075	0,491	2,235

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Fehler	118,500	20,000	5,925				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ005

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	168,715	4,000	42,179	10,933	0,000	0,353	0,000
	Greenhouse-Geisser	168,715	2,771	60,879	10,933	0,000	0,353	0,000
	Huynh-Feldt	168,715	4,000	42,179	10,933	0,000	0,353	0,000
	Untergrenze	168,715	1,000	168,715	10,933	0,004	0,353	0,106
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	126,832	44,000	2,883	0,747	0,853	0,291	25,600
	Greenhouse-Geisser	126,832	30,484	4,161	0,747	0,806	0,291	24,182
	Huynh-Feldt	126,832	44,000	2,883	0,747	0,853	0,291	25,600
	Untergrenze	126,832	11,000	11,530	0,747	0,684	0,291	20,529
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	3,660	4,000	0,915	0,237	0,917	0,012	27,496
	Greenhouse-Geisser	3,660	2,771	1,321	0,237	0,856	0,012	25,668
	Huynh-Feldt	3,660	4,000	0,915	0,237	0,917	0,012	27,496
	Untergrenze	3,660	1,000	3,660	0,237	0,632	0,012	18,946
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	107,444	36,000	2,985	0,774	0,802	0,258	24,061
	Greenhouse-Geisser	107,444	24,942	4,308	0,774	0,755	0,258	22,663
	Huynh-Feldt	107,444	36,000	2,985	0,774	0,802	0,258	24,061
	Untergrenze	107,444	9,000	11,938	0,774	0,642	0,258	19,261
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	308,633	80,000	3,858				
	Greenhouse-Geisser	308,633	55,426	5,568				
	Huynh-Feldt	308,633	80,000	3,858				
	Untergrenze	308,633	20,000	15,432				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2560,383	1,000	2560,383	330,834	0,000	0,943	0,000
ReihenfolgeStimuli	121,409	11,000	11,037	1,426	0,236	0,440	7,080
Sensitiv	7,013	1,000	7,013	0,906	0,353	0,043	10,575
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	38,653	9,000	4,295	0,555	0,817	0,200	24,513
Fehler	154,783	20,000	7,739				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ006

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	39,386	4,000	9,847	4,775	0,002	0,193	0,050
	Greenhouse-Geisser	39,386	3,419	11,519	4,775	0,003	0,193	0,092
	Huynh-Feldt	39,386	4,000	9,847	4,775	0,002	0,193	0,050
	Untergrenze	39,386	1,000	39,386	4,775	0,041	0,193	1,228
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	60,333	44,000	1,371	0,665	0,929	0,268	27,880
	Greenhouse-Geisser	60,333	37,611	1,604	0,665	0,912	0,268	27,368
	Huynh-Feldt	60,333	44,000	1,371	0,665	0,929	0,268	27,880
	Untergrenze	60,333	11,000	5,485	0,665	0,754	0,268	22,621
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	8,890	4,000	2,223	1,078	0,373	0,051	11,193
	Greenhouse-Geisser	8,890	3,419	2,600	1,078	0,369	0,051	11,076
	Huynh-Feldt	8,890	4,000	2,223	1,078	0,373	0,051	11,193
	Untergrenze	8,890	1,000	8,890	1,078	0,312	0,051	9,347
	Sphärizität angenommen	56,053	36,000	1,557	0,755	0,824	0,254	24,721

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Greenhouse-Geisser	56,053	30,772	1,822	0,755	0,804	0,254	24,106
	Huynh-Feldt	56,053	36,000	1,557	0,755	0,824	0,254	24,721
	Untergrenze	56,053	9,000	6,228	0,755	0,657	0,254	19,711
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	164,967	80,000	2,062				
	Greenhouse-Geisser	164,967	68,383	2,412				
	Huynh-Feldt	164,967	80,000	2,062				
	Untergrenze	164,967	20,000	8,248				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3557,942	1,000	3557,942	372,494	0,000	0,949	0,000
ReihenfolgeStimuli	106,054	11,000	9,641	1,009	0,472	0,357	14,173
Sensitiv	15,906	1,000	15,906	1,665	0,212	0,077	6,348
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	106,790	9,000	11,866	1,242	0,325	0,359	9,764
Fehler	191,033	20,000	9,552				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ007

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	75,197	4,000	18,799	9,441	0,000	0,321	0,000
	Greenhouse-Geisser	75,197	2,900	25,929	9,441	0,000	0,321	0,001
	Huynh-Feldt	75,197	4,000	18,799	9,441	0,000	0,321	0,000
	Untergrenze	75,197	1,000	75,197	9,441	0,006	0,321	0,180
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	63,350	44,000	1,440	0,723	0,879	0,285	26,369
	Greenhouse-Geisser	63,350	31,901	1,986	0,723	0,838	0,285	25,139
	Huynh-Feldt	63,350	44,000	1,440	0,723	0,879	0,285	26,369
	Untergrenze	63,350	11,000	5,759	0,723	0,705	0,285	21,147
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	1,660	4,000	0,415	0,208	0,933	0,010	27,991
	Greenhouse-Geisser	1,660	2,900	0,573	0,208	0,884	0,010	26,531
	Huynh-Feldt	1,660	4,000	0,415	0,208	0,933	0,010	27,991
	Untergrenze	1,660	1,000	1,660	0,208	0,653	0,010	19,587
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	49,600	36,000	1,378	0,692	0,889	0,237	26,683
	Greenhouse-Geisser	49,600	26,101	1,900	0,692	0,848	0,237	25,443
	Huynh-Feldt	49,600	36,000	1,378	0,692	0,889	0,237	26,683
	Untergrenze	49,600	9,000	5,511	0,692	0,708	0,237	21,252
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	159,300	80,000	1,991				
	Greenhouse-Geisser	159,300	58,001	2,746				
	Huynh-Feldt	159,300	80,000	1,991				
	Untergrenze	159,300	20,000	7,965				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	1645,509	1,000	1645,509	242,224	0,000	0,924	0,000
ReihenfolgeStimuli	61,307	11,000	5,573	0,820	0,622	0,311	18,664
Sensitiv	10,207	1,000	10,207	1,503	0,235	0,070	7,036
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	151,794	9,000	16,866	2,483	0,043	0,528	1,300
Fehler	135,867	20,000	6,793				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ008

Tests der Innersubjekteffekte

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Szenario	Sphärizität angenommen	38,428	4,000	9,607	5,163	0,001	0,205	0,028
	Greenhouse-Geisser	38,428	3,036	12,656	5,163	0,003	0,205	0,088
	Huynh-Feldt	38,428	4,000	9,607	5,163	0,001	0,205	0,028
	Untergrenze	38,428	1,000	38,428	5,163	0,034	0,205	1,028
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	57,545	44,000	1,308	0,703	0,898	0,279	26,951
	Greenhouse-Geisser	57,545	33,401	1,723	0,703	0,864	0,279	25,929
	Huynh-Feldt	57,545	44,000	1,308	0,703	0,898	0,279	26,951
	Untergrenze	57,545	11,000	5,231	0,703	0,722	0,279	21,663
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	3,653	4,000	0,913	0,491	0,742	0,024	22,274
	Greenhouse-Geisser	3,653	3,036	1,203	0,491	0,692	0,024	20,766
	Huynh-Feldt	3,653	4,000	0,913	0,491	0,742	0,024	22,274
	Untergrenze	3,653	1,000	3,653	0,491	0,492	0,024	14,749
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	37,248	36,000	1,035	0,556	0,974	0,200	29,211
	Greenhouse-Geisser	37,248	27,328	1,363	0,556	0,953	0,200	28,595
	Huynh-Feldt	37,248	36,000	1,035	0,556	0,974	0,200	29,211
	Untergrenze	37,248	9,000	4,139	0,556	0,816	0,200	24,489
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	148,867	80,000	1,861				
	Greenhouse-Geisser	148,867	60,729	2,451				
	Huynh-Feldt	148,867	80,000	1,861				
	Untergrenze	148,867	20,000	7,443				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3382,493	1,000	3382,493	621,782	0,000	0,969	0,000
ReihenfolgeStimuli	43,673	11,000	3,970	0,730	0,699	0,286	20,973
Sensitiv	12,823	1,000	12,823	2,357	0,140	0,105	4,212
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	61,897	9,000	6,877	1,264	0,314	0,363	9,429
Fehler	108,800	20,000	5,440				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ009

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	40,705	4,000	10,176	7,028	0,000	0,260	0,002
	Greenhouse-Geisser	40,705	2,504	16,256	7,028	0,001	0,260	0,029
	Huynh-Feldt	40,705	4,000	10,176	7,028	0,000	0,260	0,002
	Untergrenze	40,705	1,000	40,705	7,028	0,015	0,260	0,460
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	51,720	44,000	1,175	0,812	0,773	0,309	23,183
	Greenhouse-Geisser	51,720	27,545	1,878	0,812	0,718	0,309	21,551
	Huynh-Feldt	51,720	44,000	1,175	0,812	0,773	0,309	23,183
	Untergrenze	51,720	11,000	4,702	0,812	0,629	0,309	18,881
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	1,921	4,000	0,480	0,332	0,856	0,016	25,676
	Greenhouse-Geisser	1,921	2,504	0,767	0,332	0,766	0,016	22,990
	Huynh-Feldt	1,921	4,000	0,480	0,332	0,856	0,016	25,676
	Untergrenze	1,921	1,000	1,921	0,332	0,571	0,016	17,132
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	40,487	36,000	1,125	0,777	0,798	0,259	23,946
	Greenhouse-Geisser	40,487	22,537	1,797	0,777	0,740	0,259	22,186
	Huynh-Feldt	40,487	36,000	1,125	0,777	0,798	0,259	23,946
	Untergrenze	40,487	9,000	4,499	0,777	0,640	0,259	19,186
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	115,833	80,000	1,448				
	Greenhouse-Geisser	115,833	50,081	2,313				

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Huynh-Feldt	115,833	80,000	1,448				
Untergrenze	115,833	20,000	5,792				
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term	1790,468	1,000	1790,468	270,259	0,000	0,931	0,000
ReihenfolgeStimuli	58,336	11,000	5,303	0,800	0,639	0,306	19,168
Sensitiv	0,243	1,000	0,243	0,037	0,850	0,002	25,500
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	72,733	9,000	8,081	1,220	0,337	0,354	10,114
Fehler	132,500	20,000	6,625				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ010

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	119,585	4,000	29,896	14,954	0,000	0,428	0,000
	Greenhouse-Geisser	119,585	3,349	35,712	14,954	0,000	0,428	0,000
	Huynh-Feldt	119,585	4,000	29,896	14,954	0,000	0,428	0,000
	Untergrenze	119,585	1,000	119,585	14,954	0,001	0,428	0,029
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	137,680	44,000	3,129	1,565	0,041	0,463	1,236
	Greenhouse-Geisser	137,680	36,835	3,738	1,565	0,056	0,463	1,669
	Huynh-Feldt	137,680	44,000	3,129	1,565	0,041	0,463	1,236
	Untergrenze	137,680	11,000	12,516	1,565	0,185	0,463	5,549
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	9,549	4,000	2,387	1,194	0,320	0,056	9,596
	Greenhouse-Geisser	9,549	3,349	2,852	1,194	0,320	0,056	9,605
	Huynh-Feldt	9,549	4,000	2,387	1,194	0,320	0,056	9,596
	Untergrenze	9,549	1,000	9,549	1,194	0,287	0,056	8,625
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	63,426	36,000	1,762	0,881	0,657	0,284	19,702
	Greenhouse-Geisser	63,426	30,137	2,105	0,881	0,642	0,284	19,245
	Huynh-Feldt	63,426	36,000	1,762	0,881	0,657	0,284	19,702
	Untergrenze	63,426	9,000	7,047	0,881	0,557	0,284	16,721
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	159,933	80,000	1,999				
	Greenhouse-Geisser	159,933	66,972	2,388				
	Huynh-Feldt	159,933	80,000	1,999				
	Untergrenze	159,933	20,000	7,997				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2216,610	1,000	2216,610	472,121	0,000	0,959	0,000
ReihenfolgeStimuli	42,701	11,000	3,882	0,827	0,617	0,313	18,503
Sensitiv	14,731	1,000	14,731	3,138	0,092	0,136	2,752
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	85,778	9,000	9,531	2,030	0,090	0,477	2,696
Fehler	93,900	20,000	4,695				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ011

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	127,131	4,000	31,783	13,811	0,000	0,408	0,000
	Greenhouse-Geisser	127,131	3,209	39,616	13,811	0,000	0,408	0,000
	Huynh-Feldt	127,131	4,000	31,783	13,811	0,000	0,408	0,000
	Untergrenze	127,131	1,000	127,131	13,811	0,001	0,408	0,041
	Sphärizität angenommen	135,295	44,000	3,075	1,336	0,130	0,424	3,898

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Greenhouse-Geisser	135,295	35,300	3,833	1,336	0,155	0,424	4,660
	Huynh-Feldt	135,295	44,000	3,075	1,336	0,130	0,424	3,898
	Untergrenze	135,295	11,000	12,300	1,336	0,276	0,424	8,274
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	7,411	4,000	1,853	0,805	0,526	0,039	15,766
	Greenhouse-Geisser	7,411	3,209	2,309	0,805	0,503	0,039	15,087
	Huynh-Feldt	7,411	4,000	1,853	0,805	0,526	0,039	15,766
	Untergrenze	7,411	1,000	7,411	0,805	0,380	0,039	11,408
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	81,190	36,000	2,255	0,980	0,514	0,306	15,415
	Greenhouse-Geisser	81,190	28,882	2,811	0,980	0,509	0,306	15,275
	Huynh-Feldt	81,190	36,000	2,255	0,980	0,514	0,306	15,415
	Untergrenze	81,190	9,000	9,021	0,980	0,485	0,306	14,549
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	184,100	80,000	2,301				
	Greenhouse-Geisser	184,100	64,182	2,868				
	Huynh-Feldt	184,100	80,000	2,301				
	Untergrenze	184,100	20,000	9,205				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3064,742	1,000	3064,742	473,076	0,000	0,959	0,000
ReihenfolgeStimuli	68,516	11,000	6,229	0,961	0,508	0,346	15,249
Sensitiv	7,416	1,000	7,416	1,145	0,297	0,054	8,922
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	99,381	9,000	11,042	1,705	0,153	0,434	4,605
Fehler	129,567	20,000	6,478				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ012

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	83,095	4,000	20,774	10,734	0,000	0,349	0,000
	Greenhouse-Geisser	83,095	2,959	28,078	10,734	0,000	0,349	0,000
	Huynh-Feldt	83,095	4,000	20,774	10,734	0,000	0,349	0,000
	Untergrenze	83,095	1,000	83,095	10,734	0,004	0,349	0,113
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	90,708	44,000	2,062	1,065	0,396	0,369	11,885
	Greenhouse-Geisser	90,708	32,554	2,786	1,065	0,407	0,369	12,225
	Huynh-Feldt	90,708	44,000	2,062	1,065	0,396	0,369	11,885
	Untergrenze	90,708	11,000	8,246	1,065	0,433	0,369	12,985
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,670	4,000	0,668	0,345	0,847	0,017	25,405
	Greenhouse-Geisser	2,670	2,959	0,902	0,345	0,790	0,017	23,708
	Huynh-Feldt	2,670	4,000	0,668	0,345	0,847	0,017	25,405
	Untergrenze	2,670	1,000	2,670	0,345	0,564	0,017	16,908
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	71,167	36,000	1,977	1,021	0,456	0,315	13,681
	Greenhouse-Geisser	71,167	26,635	2,672	1,021	0,458	0,315	13,736
	Huynh-Feldt	71,167	36,000	1,977	1,021	0,456	0,315	13,681
	Untergrenze	71,167	9,000	7,907	1,021	0,457	0,315	13,696
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	154,833	80,000	1,935				
	Greenhouse-Geisser	154,833	59,189	2,616				
	Huynh-Feldt	154,833	80,000	1,935				
	Untergrenze	154,833	20,000	7,742				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2698,086	1,000	2698,086	349,455	0,000	0,946	0,000
ReihenfolgeStimuli	48,825	11,000	4,439	0,575	0,827	0,240	24,806

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Sensitiv	13,681	1,000	13,681	1,772	0,198	0,081	5,943
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	102,896	9,000	11,433	1,481	0,222	0,400	6,650
Fehler	154,417	20,000	7,721				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ013

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	44,147	4,000	11,037	8,457	0,000	0,297	0,000
	Greenhouse-Geisser	44,147	2,098	21,047	8,457	0,001	0,297	0,021
	Huynh-Feldt	44,147	4,000	11,037	8,457	0,000	0,297	0,000
	Untergrenze	44,147	1,000	44,147	8,457	0,009	0,297	0,261
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	61,804	44,000	1,405	1,076	0,381	0,372	11,431
	Greenhouse-Geisser	61,804	23,073	2,679	1,076	0,407	0,372	12,208
	Huynh-Feldt	61,804	44,000	1,405	1,076	0,381	0,372	11,431
	Untergrenze	61,804	11,000	5,619	1,076	0,425	0,372	12,756
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,002	4,000	0,500	0,383	0,820	0,019	24,595
	Greenhouse-Geisser	2,002	2,098	0,954	0,383	0,694	0,019	20,810
	Huynh-Feldt	2,002	4,000	0,500	0,383	0,820	0,019	24,595
	Untergrenze	2,002	1,000	2,002	0,383	0,543	0,019	16,282
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	57,297	36,000	1,592	1,220	0,229	0,354	6,885
	Greenhouse-Geisser	57,297	18,878	3,035	1,220	0,288	0,354	8,654
	Huynh-Feldt	57,297	36,000	1,592	1,220	0,229	0,354	6,885
	Untergrenze	57,297	9,000	6,366	1,220	0,337	0,354	10,118
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	104,400	80,000	1,305				
	Greenhouse-Geisser	104,400	41,951	2,489				
	Huynh-Feldt	104,400	80,000	1,305				
	Untergrenze	104,400	20,000	5,220				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	4375,137	1,000	4375,137	997,940	0,000	0,980	0,000
ReihenfolgeStimuli	58,211	11,000	5,292	1,207	0,343	0,399	10,300
Sensitiv	1,316	1,000	1,316	0,300	0,590	0,015	17,695
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	41,919	9,000	4,658	1,062	0,430	0,323	12,886
Fehler	87,683	20,000	4,384				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ014

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	63,664	4,000	15,916	5,691	0,000	0,222	0,013
	Greenhouse-Geisser	63,664	2,796	22,769	5,691	0,002	0,222	0,067
	Huynh-Feldt	63,664	4,000	15,916	5,691	0,000	0,222	0,013
	Untergrenze	63,664	1,000	63,664	5,691	0,027	0,222	0,812
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	122,966	44,000	2,795	0,999	0,491	0,355	14,724
	Greenhouse-Geisser	122,966	30,758	3,998	0,999	0,489	0,355	14,658
	Huynh-Feldt	122,966	44,000	2,795	0,999	0,491	0,355	14,724
	Untergrenze	122,966	11,000	11,179	0,999	0,480	0,355	14,395
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	6,517	4,000	1,629	0,583	0,676	0,028	20,285
	Greenhouse-Geisser	6,517	2,796	2,331	0,583	0,617	0,028	18,518

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Huynh-Feldt	6,517	4,000	1,629	0,583	0,676	0,028	20,285
	Untergrenze	6,517	1,000	6,517	0,583	0,454	0,028	13,627
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	102,382	36,000	2,844	1,017	0,462	0,314	13,867
	Greenhouse-Geisser	102,382	25,165	4,068	1,017	0,463	0,314	13,898
	Huynh-Feldt	102,382	36,000	2,844	1,017	0,462	0,314	13,867
	Untergrenze	102,382	9,000	11,376	1,017	0,460	0,314	13,787
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	223,733	80,000	2,797				
	Greenhouse-Geisser	223,733	55,923	4,001				
	Huynh-Feldt	223,733	80,000	2,797				
	Untergrenze	223,733	20,000	11,187				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2717,419	1,000	2717,419	243,879	0,000	0,924	0,000
ReihenfolgeStimuli	88,920	11,000	8,084	0,725	0,703	0,285	21,085
Sensitiv	0,681	1,000	0,681	0,061	0,807	0,003	24,216
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	65,608	9,000	7,290	0,654	0,739	0,227	22,170
Fehler	222,850	20,000	11,143				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ015

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	61,587	4,000	15,397	7,571	0,000	0,275	0,001
	Greenhouse-Geisser	61,587	3,105	19,837	7,571	0,000	0,275	0,005
	Huynh-Feldt	61,587	4,000	15,397	7,571	0,000	0,275	0,001
	Untergrenze	61,587	1,000	61,587	7,571	0,012	0,275	0,369
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	93,628	44,000	2,128	1,046	0,422	0,365	12,670
	Greenhouse-Geisser	93,628	34,152	2,742	1,046	0,429	0,365	12,869
	Huynh-Feldt	93,628	44,000	2,128	1,046	0,422	0,365	12,670
	Untergrenze	93,628	11,000	8,512	1,046	0,446	0,365	13,379
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	3,054	4,000	0,763	0,375	0,826	0,018	24,767
	Greenhouse-Geisser	3,054	3,105	0,984	0,375	0,778	0,018	23,333
	Huynh-Feldt	3,054	4,000	0,763	0,375	0,826	0,018	24,767
	Untergrenze	3,054	1,000	3,054	0,375	0,547	0,018	16,410
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	64,644	36,000	1,796	0,883	0,654	0,284	19,631
	Greenhouse-Geisser	64,644	27,943	2,313	0,883	0,633	0,284	18,995
	Huynh-Feldt	64,644	36,000	1,796	0,883	0,654	0,284	19,631
	Untergrenze	64,644	9,000	7,183	0,883	0,556	0,284	16,683
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	162,700	80,000	2,034				
	Greenhouse-Geisser	162,700	62,095	2,620				
	Huynh-Feldt	162,700	80,000	2,034				
	Untergrenze	162,700	20,000	8,135				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2753,730	1,000	2753,730	277,268	0,000	0,933	0,000
ReihenfolgeStimuli	41,865	11,000	3,806	0,383	0,948	0,174	28,428
Sensitiv	7,890	1,000	7,890	0,794	0,383	0,038	11,501
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	102,989	9,000	11,443	1,152	0,375	0,341	11,239
Fehler	198,633	20,000	9,932				

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ016								
Tests der Innersubjekteffekte								
Szenario	Sphärizität angenommen	9,864	4,000	2,466	1,680	0,163	0,078	4,880
	Greenhouse-Geisser	9,864	3,237	3,047	1,680	0,176	0,078	5,291
	Huynh-Feldt	9,864	4,000	2,466	1,680	0,163	0,078	4,880
	Untergrenze	9,864	1,000	9,864	1,680	0,210	0,078	6,289
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	93,862	44,000	2,133	1,454	0,073	0,444	2,202
	Greenhouse-Geisser	93,862	35,612	2,636	1,454	0,095	0,444	2,855
	Huynh-Feldt	93,862	44,000	2,133	1,454	0,073	0,444	2,202
	Untergrenze	93,862	11,000	8,533	1,454	0,225	0,444	6,749
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	5,200	4,000	1,300	0,886	0,476	0,042	14,290
	Greenhouse-Geisser	5,200	3,237	1,606	0,886	0,460	0,042	13,792
	Huynh-Feldt	5,200	4,000	1,300	0,886	0,476	0,042	14,290
	Untergrenze	5,200	1,000	5,200	0,886	0,358	0,042	10,735
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	57,328	36,000	1,592	1,085	0,373	0,328	11,189
	Greenhouse-Geisser	57,328	29,137	1,968	1,085	0,383	0,328	11,476
	Huynh-Feldt	57,328	36,000	1,592	1,085	0,373	0,328	11,189
	Untergrenze	57,328	9,000	6,370	1,085	0,415	0,328	12,452
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	117,400	80,000	1,468				
	Greenhouse-Geisser	117,400	64,749	1,813				
	Huynh-Feldt	117,400	80,000	1,468				
	Untergrenze	117,400	20,000	5,870				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	1537,254	1,000	1537,254	190,845	0,000	0,905	0,000
ReihenfolgeStimuli	53,289	11,000	4,844	0,601	0,806	0,249	24,182
Sensitiv	0,287	1,000	0,287	0,036	0,852	0,002	25,563
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	55,132	9,000	6,126	0,760	0,653	0,255	19,579
Fehler	161,100	20,000	8,055				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ017

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	76,643	4,000	19,161	7,782	0,000	0,280	0,001
	Greenhouse-Geisser	76,643	3,082	24,872	7,782	0,000	0,280	0,005
	Huynh-Feldt	76,643	4,000	19,161	7,782	0,000	0,280	0,001
	Untergrenze	76,643	1,000	76,643	7,782	0,011	0,280	0,339
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	77,418	44,000	1,759	0,715	0,887	0,282	26,618
	Greenhouse-Geisser	77,418	33,897	2,284	0,715	0,854	0,282	25,634
	Huynh-Feldt	77,418	44,000	1,759	0,715	0,887	0,282	26,618
	Untergrenze	77,418	11,000	7,038	0,715	0,712	0,282	21,362
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	15,225	4,000	3,806	1,546	0,197	0,072	5,908
	Greenhouse-Geisser	15,225	3,082	4,941	1,546	0,211	0,072	6,322
	Huynh-Feldt	15,225	4,000	3,806	1,546	0,197	0,072	5,908
	Untergrenze	15,225	1,000	15,225	1,546	0,228	0,072	6,844
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	50,118	36,000	1,392	0,565	0,970	0,203	29,107
	Greenhouse-Geisser	50,118	27,734	1,807	0,565	0,950	0,203	28,491
	Huynh-Feldt	50,118	36,000	1,392	0,565	0,970	0,203	29,107

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Untergrenze	50,118	9,000	5,569	0,565	0,809	0,203	24,274
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	196,967	80,000	2,462				
	Greenhouse-Geisser	196,967	61,631	3,196				
	Huynh-Feldt	196,967	80,000	2,462				
	Untergrenze	196,967	20,000	9,848				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		2105,019	1,000	2105,019	326,065	0,000	0,942	0,000
ReihenfolgeStimuli		91,899	11,000	8,354	1,294	0,296	0,416	8,892
Sensitiv		37,214	1,000	37,214	5,764	0,026	0,224	0,786
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		186,937	9,000	20,771	3,217	0,014	0,591	0,424
Fehler		129,117	20,000	6,456				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ018

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	5,749	4,000	1,437	0,580	0,678	0,028	20,347
	Greenhouse-Geisser	5,749	3,537	1,625	0,580	0,658	0,028	19,734
	Huynh-Feldt	5,749	4,000	1,437	0,580	0,678	0,028	20,347
	Untergrenze	5,749	1,000	5,749	0,580	0,455	0,028	13,660
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	88,658	44,000	2,015	0,813	0,772	0,309	23,150
	Greenhouse-Geisser	88,658	38,907	2,279	0,813	0,757	0,309	22,707
	Huynh-Feldt	88,658	44,000	2,015	0,813	0,772	0,309	23,150
	Untergrenze	88,658	11,000	8,060	0,813	0,629	0,309	18,861
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	11,672	4,000	2,918	1,177	0,327	0,056	9,821
	Greenhouse-Geisser	11,672	3,537	3,300	1,177	0,327	0,056	9,818
	Huynh-Feldt	11,672	4,000	2,918	1,177	0,327	0,056	9,821
	Untergrenze	11,672	1,000	11,672	1,177	0,291	0,056	8,727
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	63,060	36,000	1,752	0,706	0,876	0,241	26,274
	Greenhouse-Geisser	63,060	31,833	1,981	0,706	0,860	0,241	25,800
	Huynh-Feldt	63,060	36,000	1,752	0,706	0,876	0,241	26,274
	Untergrenze	63,060	9,000	7,007	0,706	0,697	0,241	20,897
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	198,367	80,000	2,480				
	Greenhouse-Geisser	198,367	70,740	2,804				
	Huynh-Feldt	198,367	80,000	2,480				
	Untergrenze	198,367	20,000	9,918				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		1223,109	1,000	1223,109	197,594	0,000	0,908	0,000
ReihenfolgeStimuli		71,337	11,000	6,485	1,048	0,445	0,366	13,350
Sensitiv		0,118	1,000	0,118	0,019	0,892	0,001	26,751
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		78,632	9,000	8,737	1,411	0,248	0,388	7,444
Fehler		123,800	20,000	6,190				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ019

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	9,808	4,000	2,452	2,254	0,071	0,101	2,116
	Greenhouse-Geisser	9,808	2,698	3,635	2,254	0,099	0,101	2,961

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Huynh-Feldt	9,808	4,000	2,452	2,254	0,071	0,101	2,116
	Untergrenze	9,808	1,000	9,808	2,254	0,149	0,101	4,467
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	69,088	44,000	1,570	1,443	0,077	0,443	2,319
	Greenhouse-Geisser	69,088	29,678	2,328	1,443	0,120	0,443	3,588
	Huynh-Feldt	69,088	44,000	1,570	1,443	0,077	0,443	2,319
	Untergrenze	69,088	11,000	6,281	1,443	0,229	0,443	6,872
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	0,281	4,000	0,070	0,065	0,992	0,003	29,765
	Greenhouse-Geisser	0,281	2,698	0,104	0,065	0,970	0,003	29,111
	Huynh-Feldt	0,281	4,000	0,070	0,065	0,992	0,003	29,765
	Untergrenze	0,281	1,000	0,281	0,065	0,802	0,003	24,059
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	56,501	36,000	1,569	1,443	0,089	0,394	2,663
	Greenhouse-Geisser	56,501	24,282	2,327	1,443	0,132	0,394	3,945
	Huynh-Feldt	56,501	36,000	1,569	1,443	0,089	0,394	2,663
	Untergrenze	56,501	9,000	6,278	1,443	0,236	0,394	7,076
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	87,033	80,000	1,088				
	Greenhouse-Geisser	87,033	53,959	1,613				
	Huynh-Feldt	87,033	80,000	1,088				
	Untergrenze	87,033	20,000	4,352				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	837,494	1,000	837,494	164,672	0,000	0,892	0,000
ReihenfolgeStimuli	52,484	11,000	4,771	0,938	0,526	0,340	15,790
Sensitiv	0,323	1,000	0,323	0,063	0,804	0,003	24,109
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	20,418	9,000	2,269	0,446	0,893	0,167	26,796
Fehler	101,717	20,000	5,086				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ020

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	68,390	4,000	17,097	9,076	0,000	0,312	0,000
	Greenhouse-Geisser	68,390	2,099	32,588	9,076	0,000	0,312	0,013
	Huynh-Feldt	68,390	4,000	17,097	9,076	0,000	0,312	0,000
	Untergrenze	68,390	1,000	68,390	9,076	0,007	0,312	0,206
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	82,252	44,000	1,869	0,992	0,501	0,353	15,036
	Greenhouse-Geisser	82,252	23,085	3,563	0,992	0,494	0,353	14,822
	Huynh-Feldt	82,252	44,000	1,869	0,992	0,501	0,353	15,036
	Untergrenze	82,252	11,000	7,477	0,992	0,485	0,353	14,550
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	2,723	4,000	0,681	0,361	0,835	0,018	25,061
	Greenhouse-Geisser	2,723	2,099	1,298	0,361	0,709	0,018	21,267
	Huynh-Feldt	2,723	4,000	0,681	0,361	0,835	0,018	25,061
	Untergrenze	2,723	1,000	2,723	0,361	0,554	0,018	16,634
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	94,080	36,000	2,613	1,387	0,114	0,384	3,418
	Greenhouse-Geisser	94,080	18,888	4,981	1,387	0,186	0,384	5,572
	Huynh-Feldt	94,080	36,000	2,613	1,387	0,114	0,384	3,418
	Untergrenze	94,080	9,000	10,453	1,387	0,258	0,384	7,741
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	150,700	80,000	1,884				
	Greenhouse-Geisser	150,700	41,973	3,590				
	Huynh-Feldt	150,700	80,000	1,884				
	Untergrenze	150,700	20,000	7,535				

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Konstanter Term	1073,341	1,000	1073,341	185,245	0,000	0,903	0,000
ReihenfolgeStimuli	38,393	11,000	3,490	0,602	0,805	0,249	24,159
Sensitiv	26,593	1,000	26,593	4,590	0,045	0,187	1,340
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	45,521	9,000	5,058	0,873	0,564	0,282	16,912
Fehler	115,883	20,000	5,794				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ021

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	28,866	4,000	7,217	4,908	0,001	0,197	0,041
	Greenhouse-Geisser	28,866	3,541	8,152	4,908	0,002	0,197	0,068
	Huynh-Feldt	28,866	4,000	7,217	4,908	0,001	0,197	0,041
	Untergrenze	28,866	1,000	28,866	4,908	0,039	0,197	1,155
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	78,665	44,000	1,788	1,216	0,222	0,401	6,660
	Greenhouse-Geisser	78,665	38,950	2,020	1,216	0,235	0,401	7,045
	Huynh-Feldt	78,665	44,000	1,788	1,216	0,222	0,401	6,660
	Untergrenze	78,665	11,000	7,151	1,216	0,338	0,401	10,149
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	7,483	4,000	1,871	1,272	0,288	0,060	8,634
	Greenhouse-Geisser	7,483	3,541	2,113	1,272	0,290	0,060	8,702
	Huynh-Feldt	7,483	4,000	1,871	1,272	0,288	0,060	8,634
	Untergrenze	7,483	1,000	7,483	1,272	0,273	0,060	8,180
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	76,877	36,000	2,135	1,452	0,085	0,395	2,548
	Greenhouse-Geisser	76,877	31,868	2,412	1,452	0,098	0,395	2,929
	Huynh-Feldt	76,877	36,000	2,135	1,452	0,085	0,395	2,548
	Untergrenze	76,877	9,000	8,542	1,452	0,232	0,395	6,966
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	117,633	80,000	1,470				
	Greenhouse-Geisser	117,633	70,818	1,661				
	Huynh-Feldt	117,633	80,000	1,470				
	Untergrenze	117,633	20,000	5,882				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3470,220	1,000	3470,220	466,218	0,000	0,959	0,000
ReihenfolgeStimuli	87,365	11,000	7,942	1,067	0,432	0,370	12,947
Sensitiv	0,166	1,000	0,166	0,022	0,883	0,001	26,484
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	81,284	9,000	9,032	1,213	0,341	0,353	10,218
Fehler	148,867	20,000	7,443				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ022

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	39,585	4,000	9,896	4,791	0,002	0,193	0,049
	Greenhouse-Geisser	39,585	3,593	11,016	4,791	0,002	0,193	0,075
	Huynh-Feldt	39,585	4,000	9,896	4,791	0,002	0,193	0,049
	Untergrenze	39,585	1,000	39,585	4,791	0,041	0,193	1,219
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	47,653	44,000	1,083	0,524	0,989	0,224	29,684
	Greenhouse-Geisser	47,653	39,528	1,206	0,524	0,985	0,224	29,564
	Huynh-Feldt	47,653	44,000	1,083	0,524	0,989	0,224	29,684

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Szenario * Sensitiv	Untergrenze	47,653	11,000	4,332	0,524	0,864	0,224	25,930
	Sphärizität angenommen	4,512	4,000	1,128	0,546	0,702	0,027	21,070
	Greenhouse-Geisser	4,512	3,593	1,256	0,546	0,684	0,027	20,514
	Huynh-Feldt	4,512	4,000	1,128	0,546	0,702	0,027	21,070
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Untergrenze	4,512	1,000	4,512	0,546	0,468	0,027	14,055
	Sphärizität angenommen	39,184	36,000	1,088	0,527	0,983	0,192	29,476
	Greenhouse-Geisser	39,184	32,341	1,212	0,527	0,977	0,192	29,309
	Huynh-Feldt	39,184	36,000	1,088	0,527	0,983	0,192	29,476
Fehler(Szenario)	Untergrenze	39,184	9,000	4,354	0,527	0,838	0,192	25,137
	Sphärizität angenommen	165,233	80,000	2,065				
	Greenhouse-Geisser	165,233	71,869	2,299				
	Huynh-Feldt	165,233	80,000	2,065				
	Untergrenze	165,233	20,000	8,262				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3486,747	1,000	3486,747	367,477	0,000	0,948	0,000
ReihenfolgeStimuli	74,886	11,000	6,808	0,717	0,710	0,283	21,289
Sensitiv	0,066	1,000	0,066	0,007	0,934	0,000	28,028
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	71,641	9,000	7,960	0,839	0,590	0,274	17,702
Fehler	189,767	20,000	9,488				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ023

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	32,064	4,000	8,016	3,929	0,006	0,164	0,174
	Greenhouse-Geisser	32,064	2,913	11,007	3,929	0,013	0,164	0,404
	Huynh-Feldt	32,064	4,000	8,016	3,929	0,006	0,164	0,174
	Untergrenze	32,064	1,000	32,064	3,929	0,061	0,164	1,841
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	122,225	44,000	2,778	1,361	0,115	0,428	3,461
	Greenhouse-Geisser	122,225	32,044	3,814	1,361	0,152	0,428	4,549
	Huynh-Feldt	122,225	44,000	2,778	1,361	0,115	0,428	3,461
	Untergrenze	122,225	11,000	11,111	1,361	0,264	0,428	7,922
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	4,519	4,000	1,130	0,554	0,697	0,027	20,907
	Greenhouse-Geisser	4,519	2,913	1,551	0,554	0,643	0,027	19,280
	Huynh-Feldt	4,519	4,000	1,130	0,554	0,697	0,027	20,907
	Untergrenze	4,519	1,000	4,519	0,554	0,465	0,027	13,964
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	100,218	36,000	2,784	1,364	0,126	0,380	3,781
	Greenhouse-Geisser	100,218	26,218	3,822	1,364	0,162	0,380	4,853
	Huynh-Feldt	100,218	36,000	2,784	1,364	0,126	0,380	3,781
	Untergrenze	100,218	9,000	11,135	1,364	0,268	0,380	8,034
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	163,233	80,000	2,040				
	Greenhouse-Geisser	163,233	58,262	2,802				
	Huynh-Feldt	163,233	80,000	2,040				
	Untergrenze	163,233	20,000	8,162				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2824,148	1,000	2824,148	315,518	0,000	0,940	0,000
ReihenfolgeStimuli	76,086	11,000	6,917	0,773	0,662	0,298	19,875
Sensitiv	0,041	1,000	0,041	0,005	0,946	0,000	28,392

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	50,702	9,000	5,634	0,629	0,759	0,221	22,769
Fehler	179,017	20,000	8,951				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ024

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	26,158	4,000	6,539	2,624	0,041	0,116	1,221
	Greenhouse-Geisser	26,158	3,008	8,695	2,624	0,058	0,116	1,754
	Huynh-Feldt	26,158	4,000	6,539	2,624	0,041	0,116	1,221
	Untergrenze	26,158	1,000	26,158	2,624	0,121	0,116	3,627
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	148,441	44,000	3,374	1,354	0,120	0,427	3,589
	Greenhouse-Geisser	148,441	33,092	4,486	1,354	0,152	0,427	4,569
	Huynh-Feldt	148,441	44,000	3,374	1,354	0,120	0,427	3,589
	Untergrenze	148,441	11,000	13,495	1,354	0,268	0,427	8,027
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	15,229	4,000	3,807	1,528	0,202	0,071	6,061
	Greenhouse-Geisser	15,229	3,008	5,062	1,528	0,216	0,071	6,492
	Huynh-Feldt	15,229	4,000	3,807	1,528	0,202	0,071	6,061
	Untergrenze	15,229	1,000	15,229	1,528	0,231	0,071	6,923
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	99,499	36,000	2,764	1,109	0,344	0,333	10,323
	Greenhouse-Geisser	99,499	27,075	3,675	1,109	0,360	0,333	10,806
	Huynh-Feldt	99,499	36,000	2,764	1,109	0,344	0,333	10,323
	Untergrenze	99,499	9,000	11,055	1,109	0,400	0,333	12,008
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	199,367	80,000	2,492				
	Greenhouse-Geisser	199,367	60,167	3,314				
	Huynh-Feldt	199,367	80,000	2,492				
	Untergrenze	199,367	20,000	9,968				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	2894,523	1,000	2894,523	512,834	0,000	0,962	0,000
ReihenfolgeStimuli	75,175	11,000	6,834	1,211	0,341	0,400	10,235
Sensitiv	40,693	1,000	40,693	7,210	0,014	0,265	0,427
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	95,344	9,000	10,594	1,877	0,116	0,458	3,466
Fehler	112,883	20,000	5,644				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ025

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	0,392	4,000	0,098	0,076	0,989	0,004	29,684
	Greenhouse-Geisser	0,392	3,509	0,112	0,076	0,983	0,004	29,500
	Huynh-Feldt	0,392	4,000	0,098	0,076	0,989	0,004	29,684
	Untergrenze	0,392	1,000	0,392	0,076	0,786	0,004	23,586
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	73,728	44,000	1,676	1,293	0,158	0,416	4,753
	Greenhouse-Geisser	73,728	38,603	1,910	1,293	0,174	0,416	5,205
	Huynh-Feldt	73,728	44,000	1,676	1,293	0,158	0,416	4,753
	Untergrenze	73,728	11,000	6,703	1,293	0,297	0,416	8,907
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	1,452	4,000	0,363	0,280	0,890	0,014	26,700
	Greenhouse-Geisser	1,452	3,509	0,414	0,280	0,868	0,014	26,040
	Huynh-Feldt	1,452	4,000	0,363	0,280	0,890	0,014	26,700

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Untergrenze	1,452	1,000	1,452	0,280	0,602	0,014	18,072
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	64,416	36,000	1,789	1,381	0,117	0,383	3,517
	Greenhouse-Geisser	64,416	31,584	2,040	1,381	0,132	0,383	3,956
	Huynh-Feldt	64,416	36,000	1,789	1,381	0,117	0,383	3,517
	Untergrenze	64,416	9,000	7,157	1,381	0,261	0,383	7,823
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	103,667	80,000	1,296				
	Greenhouse-Geisser	103,667	70,187	1,477				
	Huynh-Feldt	103,667	80,000	1,296				
	Untergrenze	103,667	20,000	5,183				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	4484,842	1,000	4484,842	549,164	0,000	0,965	0,000
ReihenfolgeStimuli	64,430	11,000	5,857	0,717	0,710	0,283	21,296
Sensitiv	3,642	1,000	3,642	0,446	0,512	0,022	15,357
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	50,027	9,000	5,559	0,681	0,718	0,234	21,527
Fehler	163,333	20,000	8,167				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ026

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	19,398	4,000	4,849	3,407	0,013	0,146	0,379
	Greenhouse-Geisser	19,398	2,567	7,556	3,407	0,030	0,146	0,907
	Huynh-Feldt	19,398	4,000	4,849	3,407	0,013	0,146	0,379
	Untergrenze	19,398	1,000	19,398	3,407	0,080	0,146	2,393
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	66,064	44,000	1,501	1,055	0,410	0,367	12,310
	Greenhouse-Geisser	66,064	28,241	2,339	1,055	0,424	0,367	12,707
	Huynh-Feldt	66,064	44,000	1,501	1,055	0,410	0,367	12,310
	Untergrenze	66,064	11,000	6,006	1,055	0,440	0,367	13,199
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	0,338	4,000	0,085	0,059	0,993	0,003	29,800
	Greenhouse-Geisser	0,338	2,567	0,132	0,059	0,969	0,003	29,081
	Huynh-Feldt	0,338	4,000	0,085	0,059	0,993	0,003	29,800
	Untergrenze	0,338	1,000	0,338	0,059	0,810	0,003	24,296
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	53,258	36,000	1,479	1,039	0,432	0,319	12,954
	Greenhouse-Geisser	53,258	23,106	2,305	1,039	0,439	0,319	13,170
	Huynh-Feldt	53,258	36,000	1,479	1,039	0,432	0,319	12,954
	Untergrenze	53,258	9,000	5,918	1,039	0,445	0,319	13,336
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	113,867	80,000	1,423				
	Greenhouse-Geisser	113,867	51,347	2,218				
	Huynh-Feldt	113,867	80,000	1,423				
	Untergrenze	113,867	20,000	5,693				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3703,162	1,000	3703,162	479,736	0,000	0,960	0,000
ReihenfolgeStimuli	52,755	11,000	4,796	0,621	0,790	0,255	23,703
Sensitiv	1,127	1,000	1,127	0,146	0,706	0,007	21,194
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	85,331	9,000	9,481	1,228	0,333	0,356	9,981
Fehler	154,383	20,000	7,719				

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ027								
Tests der Innersubjekteffekte								
Szenario	Sphärizität angenommen	14,242	4,000	3,561	2,496	0,049	0,111	1,478
	Greenhouse-Geisser	14,242	2,487	5,727	2,496	0,081	0,111	2,431
	Huynh-Feldt	14,242	4,000	3,561	2,496	0,049	0,111	1,478
	Untergrenze	14,242	1,000	14,242	2,496	0,130	0,111	3,895
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	71,907	44,000	1,634	1,145	0,295	0,387	8,853
	Greenhouse-Geisser	71,907	27,358	2,628	1,145	0,331	0,387	9,942
	Huynh-Feldt	71,907	44,000	1,634	1,145	0,295	0,387	8,853
	Untergrenze	71,907	11,000	6,537	1,145	0,380	0,387	11,405
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	7,749	4,000	1,937	1,358	0,256	0,064	7,680
	Greenhouse-Geisser	7,749	2,487	3,116	1,358	0,267	0,064	8,023
	Huynh-Feldt	7,749	4,000	1,937	1,358	0,256	0,064	7,680
	Untergrenze	7,749	1,000	7,749	1,358	0,258	0,064	7,728
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	47,508	36,000	1,320	0,925	0,593	0,294	17,799
	Greenhouse-Geisser	47,508	22,384	2,122	0,925	0,567	0,294	17,004
	Huynh-Feldt	47,508	36,000	1,320	0,925	0,593	0,294	17,799
	Untergrenze	47,508	9,000	5,279	0,925	0,525	0,294	15,737
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	114,133	80,000	1,427				
	Greenhouse-Geisser	114,133	49,742	2,294				
	Huynh-Feldt	114,133	80,000	1,427				
	Untergrenze	114,133	20,000	5,707				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term	3447,905	1,000	3447,905	458,346	0,000	0,958	0,000
ReihenfolgeStimuli	44,798	11,000	4,073	0,541	0,852	0,229	25,562
Sensitiv	0,613	1,000	0,613	0,081	0,778	0,004	23,349
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	69,038	9,000	7,671	1,020	0,458	0,315	13,730
Fehler	150,450	20,000	7,523				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ028

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	16,606	4,000	4,151	2,916	0,026	0,127	0,790
	Greenhouse-Geisser	16,606	2,840	5,848	2,916	0,045	0,127	1,338
	Huynh-Feldt	16,606	4,000	4,151	2,916	0,026	0,127	0,790
	Untergrenze	16,606	1,000	16,606	2,916	0,103	0,127	3,096
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	70,491	44,000	1,602	1,125	0,319	0,382	9,566
	Greenhouse-Geisser	70,491	31,235	2,257	1,125	0,343	0,382	10,283
	Huynh-Feldt	70,491	44,000	1,602	1,125	0,319	0,382	9,566
	Untergrenze	70,491	11,000	6,408	1,125	0,393	0,382	11,789
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	0,712	4,000	0,178	0,125	0,973	0,006	29,191
	Greenhouse-Geisser	0,712	2,840	0,251	0,125	0,938	0,006	28,142
	Huynh-Feldt	0,712	4,000	0,178	0,125	0,973	0,006	29,191
	Untergrenze	0,712	1,000	0,712	0,125	0,727	0,006	21,821
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	32,990	36,000	0,916	0,644	0,928	0,225	27,847
	Greenhouse-Geisser	32,990	25,556	1,291	0,644	0,888	0,225	26,650
	Huynh-Feldt	32,990	36,000	0,916	0,644	0,928	0,225	27,847
	Untergrenze	32,990	9,000	3,666	0,644	0,748	0,225	22,426

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	113,900	80,000	1,424				
	Greenhouse-Geisser	113,900	56,791	2,006				
	Huynh-Feldt	113,900	80,000	1,424				
	Untergrenze	113,900	20,000	5,695				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		2886,905	1,000	2886,905	403,716	0,000	0,953	0,000
ReihenfolgeStimuli		46,226	11,000	4,202	0,588	0,817	0,244	24,508
Sensitiv		7,710	1,000	7,710	1,078	0,311	0,051	9,344
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		75,627	9,000	8,403	1,175	0,362	0,346	10,847
Fehler		143,017	20,000	7,151				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ029

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	33,239	4,000	8,310	4,832	0,002	0,195	0,046
	Greenhouse-Geisser	33,239	2,847	11,676	4,832	0,005	0,195	0,157
	Huynh-Feldt	33,239	4,000	8,310	4,832	0,002	0,195	0,046
	Untergrenze	33,239	1,000	33,239	4,832	0,040	0,195	1,196
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	78,013	44,000	1,773	1,031	0,444	0,362	13,321
	Greenhouse-Geisser	78,013	31,315	2,491	1,031	0,449	0,362	13,479
	Huynh-Feldt	78,013	44,000	1,773	1,031	0,444	0,362	13,321
	Untergrenze	78,013	11,000	7,092	1,031	0,457	0,362	13,702
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	10,644	4,000	2,661	1,548	0,196	0,072	5,895
	Greenhouse-Geisser	10,644	2,847	3,739	1,548	0,214	0,072	6,414
	Huynh-Feldt	10,644	4,000	2,661	1,548	0,196	0,072	5,895
	Untergrenze	10,644	1,000	10,644	1,548	0,228	0,072	6,837
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	54,593	36,000	1,516	0,882	0,656	0,284	19,676
	Greenhouse-Geisser	54,593	25,621	2,131	0,882	0,628	0,284	18,828
	Huynh-Feldt	54,593	36,000	1,516	0,882	0,656	0,284	19,676
	Untergrenze	54,593	9,000	6,066	0,882	0,557	0,284	16,707
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	137,567	80,000	1,720				
	Greenhouse-Geisser	137,567	56,936	2,416				
	Huynh-Feldt	137,567	80,000	1,720				
	Untergrenze	137,567	20,000	6,878				

Tests der Zwischensubjekteffekte

Konstanter Term		3093,219	1,000	3093,219	316,011	0,000	0,940	0,000
ReihenfolgeStimuli		63,487	11,000	5,772	0,590	0,815	0,245	24,462
Sensitiv		18,207	1,000	18,207	1,860	0,188	0,085	5,633
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		141,828	9,000	15,759	1,610	0,179	0,420	5,381
Fehler		195,767	20,000	9,788				

GLM Geräuschempfinden Frage 9.3 (Item SQ001) bis 9.32 (Item SQ030), Item Nr. SQ030

Tests der Innersubjekteffekte

Szenario	Sphärizität angenommen	29,258	4,000	7,314	4,215	0,004	0,174	0,114
	Greenhouse-Geisser	29,258	2,790	10,489	4,215	0,011	0,174	0,325
	Huynh-Feldt	29,258	4,000	7,314	4,215	0,004	0,174	0,114

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Partielles Eta-Quadrat	p* (Bonferroni adj.)
	Untergrenze	29,258	1,000	29,258	4,215	0,053	0,174	1,602
Szenario * ReihenfolgeStimuli	Sphärizität angenommen	52,856	44,000	1,201	0,692	0,908	0,276	27,232
	Greenhouse-Geisser	52,856	30,685	1,723	0,692	0,864	0,276	25,909
	Huynh-Feldt	52,856	44,000	1,201	0,692	0,908	0,276	27,232
	Untergrenze	52,856	11,000	4,805	0,692	0,731	0,276	21,933
Szenario * Sensitiv	Sphärizität angenommen	0,693	4,000	0,173	0,100	0,982	0,005	29,467
	Greenhouse-Geisser	0,693	2,790	0,248	0,100	0,952	0,005	28,563
	Huynh-Feldt	0,693	4,000	0,173	0,100	0,982	0,005	29,467
	Untergrenze	0,693	1,000	0,693	0,100	0,755	0,005	22,661
Szenario * ReihenfolgeStimuli * Sensitiv	Sphärizität angenommen	38,686	36,000	1,075	0,619	0,944	0,218	28,321
	Greenhouse-Geisser	38,686	25,106	1,541	0,619	0,905	0,218	27,155
	Huynh-Feldt	38,686	36,000	1,075	0,619	0,944	0,218	28,321
	Untergrenze	38,686	9,000	4,298	0,619	0,767	0,218	23,013
Fehler(Szenario)	Sphärizität angenommen	138,833	80,000	1,735				
	Greenhouse-Geisser	138,833	55,790	2,488				
	Huynh-Feldt	138,833	80,000	1,735				
	Untergrenze	138,833	20,000	6,942				
Tests der Zwischensubjekteffekte								
Konstanter Term		3163,927	1,000	3163,927	302,406	0,000	0,938	0,000
ReihenfolgeStimuli		63,624	11,000	5,784	0,553	0,844	0,233	25,308
Sensitiv		0,323	1,000	0,323	0,031	0,862	0,002	25,870
ReihenfolgeStimuli * Sensitiv		83,015	9,000	9,224	0,882	0,557	0,284	16,713
Fehler		209,250	20,000	10,463				