

UBA-Studie

“Wirkung von Infraschall auf den Menschen“

Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen
UFOPLAN 2014; Forschungskennzahl (FKZ): 3714 51 100 0

Detlef Krahé

Uni Wuppertal



ZEUS GmbH



DLR e.V.



Möhler + Partner
Ingenieure AG



Kernpunkte der Untersuchung

- Die Testpersonen sollten während der Untersuchung den Infraschall wie in einer alltäglichen Situation erleben.
- Der Frage nach dem Einfluss einer längeren Exposition sollte nachgegangen werden.
- Physiologische Untersuchungen
- Psychologische Untersuchungen

Umsetzung der Vorgaben in der Untersuchung

- Um den Einfluss einer ungewohnten Umgebung soweit wie möglich auszuschließen, sollen die Testpersonen in einem Raum mit Wohnzimmercharakter beschallt werden.
- Eine über längere Zeit konstante Beschallung soll Bestandteil im Ablauf der Untersuchung sein.
- Personen, die nachweislich bereits über eine längere Zeit tieffrequentem Schall oder Infraschall ausgesetzt waren, sollen als Gruppe in die Untersuchung einbezogen werden.
- Der Infraschall soll von einem System erzeugt werden, das weitestgehend frei von Verzerrungen und Störungen ist.

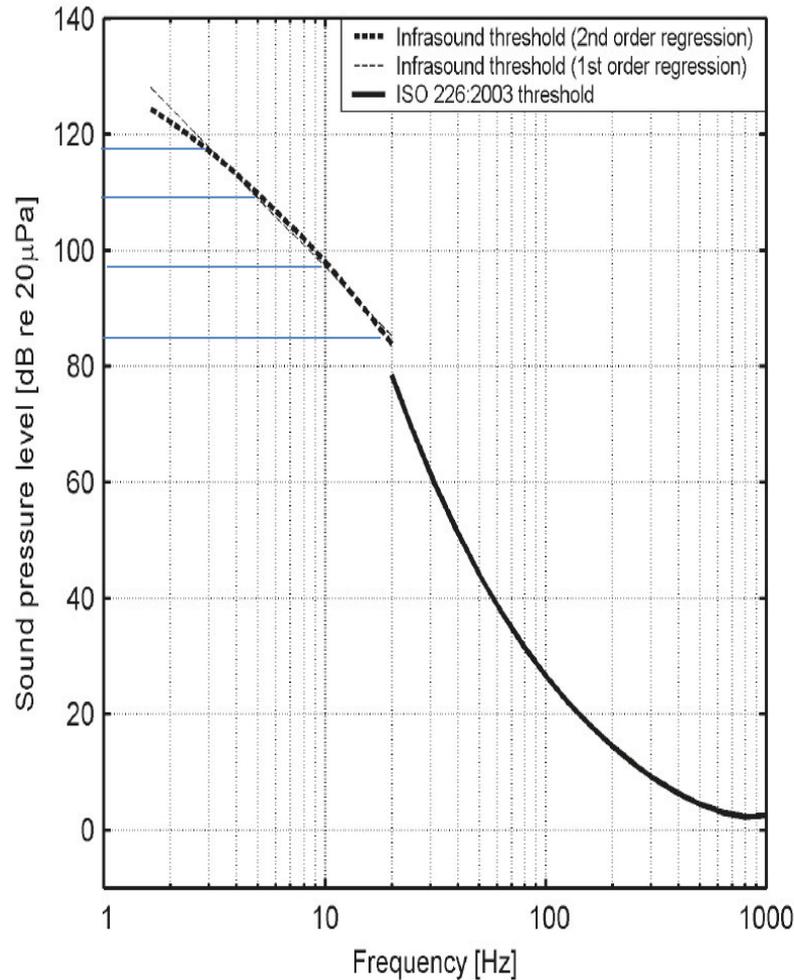
Präsentierte Szenarien

- 18 Hz Sinus mit einem SPL von 85 dB
- 10 Hz Sinus mit einem SPL von 95 dB
- 5 Hz Sinus mit einem SPL von 105 dB
- 3 Hz Sinus mit einem SPL von 105 dB
und 100 % amplitudenmoduliert mit 1 Hz
- Ruhe

Die gewählten Pegel orientierten sich an der Hörschwelle:
18 Hz oberhalb der HS, 10 Hz an der HS, 5 und 3 Hz unterhalb der HS

Die Präsentation erfolgte in Permutationen der Reihenfolge,
basierend auf dem „Lateinischen Quadrat“

Hörschwelle aus statistischer Untersuchung



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

Anm.: Eingezeichnet die Werte
für die vier Geräusche

Anwerbung der Testpersonen

Ohne ITFS-Erfahrung (per Zeitungsanzeigen)

- 54 Fragebögen verschickt
- 47 Fragebögen zurück

- 17 erfüllten nicht die Kriterien im Fragebogen zur Anamnese
- 30 erfüllten die Kriterien im Fragebogen zur Anamnese

- 4 Testpersonen zogen zurück
- 3 Testpersonen wurden später von den physiologischen Tests ausgeschlossen

- **Gültige physiologische Daten von 23 Testpersonen**

Mit ITFS-Erfahrung (Kontakt über Gutachter, Behörden etc)

- 64 Fragebögen verschickt
- 48 Fragebögen zurück

- 24 erfüllten nicht die Kriterien im Fragebogen zur Anamnese
- 24 erfüllten die Kriterien im Fragebogen zur Anamnese

- 6 Testpersonen zogen zurück
- 2 Testpersonen wurden später von den physiologischen Tests ausgeschlossen

- **Gültige physiologische Daten von 16 Testpersonen**

Anm.: ITFS = Infraschall und tieffrequenter Schall

Ablauf der Untersuchung

Eintreffen der Testperson (Begrüßung, kurze Führung durch das Labor)			30 Min.
Einführung in die physiologischen Messungen inkl. Fragebögen, Audiometrie, Anlegen der EEG-Elektroden, 3x Messungen Blutdruck, Ruhemessung Gleichgewicht			120 Min.
Ablauf der Hörversuche (5 Szenarien)		5 x	
Freier Blick	3 Min.	10 Min.	200 Min.
Punkt fixieren	3 Min.		
Augen geschlossen	3 Min.		
Freier Blick	1 Min.		
Messung Blutdruck und Gleichgewicht		10 Min.	
Fragebögen		10 Min.	
Messung Blutdruck und Gleichgewicht		10 Min.	
Pausen (ohne Beschallung)	3 x 15 Min.	45 Min.	90 Min.
Mittagspause	45 Min.	45 Min.	
Entfernen der Messmittel, abschließender Fragebogen, abschließende Formalitäten			40 Min.
Insgesamt			480 Min. 8 Std.

Die physiologischen und psychologischen Untersuchungen

Physiologische Effekte	Psychologische Effekte
<ul style="list-style-type: none"> • Atemprobleme • Druck • Erschöpfung • Herzklopfen • Kopfschmerzen • Müdigkeit • Schmerzen • Schwindelgefühl • Übelkeit • Unruhe • Vibrationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Angespanntheit • Gereiztheit • Resignation • Besorgnis • Angst / Ängstlichkeit • Verärgerung • Ungeduld • Demotivation • Hilflosigkeit • Aggression • Verzweiflung

Physiologische Untersuchung

Marker für die kardiovaskuläre Regulation

- Elektrokardiogramm (EKG), kontinuierlich
- Blutdruckänderungen, in kurzen Intervallen

Störungen des Gleichgewichtsorgans

- Nystagmus = Augenzittern, typisches Symptom für Schwindel; Erfassen mittels Frenzel-Brille
- Bárány-Zeigetest
- Finger-Nasen-Test
- Kopf-Impulstest
- Romberg-Test

Aktivität des zentralen Nervensystems

- Elektroenzephalogramm (EEG), kontinuierlich (exploratorisch)

Psychologische Untersuchung

Befragung vor dem Hörversuch

- Demografische Daten
- Wohndauer und Wohnzufriedenheit
- Belästigung durch verschiedene Lärmquellen in den letzten 12 Monaten
- Gehör
- Allgemeine Umweltbedenken
- Aktuelles Wohlbefinden

Lärmwahrnehmung, Belästigung, Wohlbefinden während der Hörversuche

- Geräuschwahrnehmung und -bewertung
- Belästigung
- Wahrnehmung von Druck und Vibration
- Aktuelles Wohlbefinden
- Bewertung der vorangegangenen Schallszenarien insgesamt

Zum Abschluss

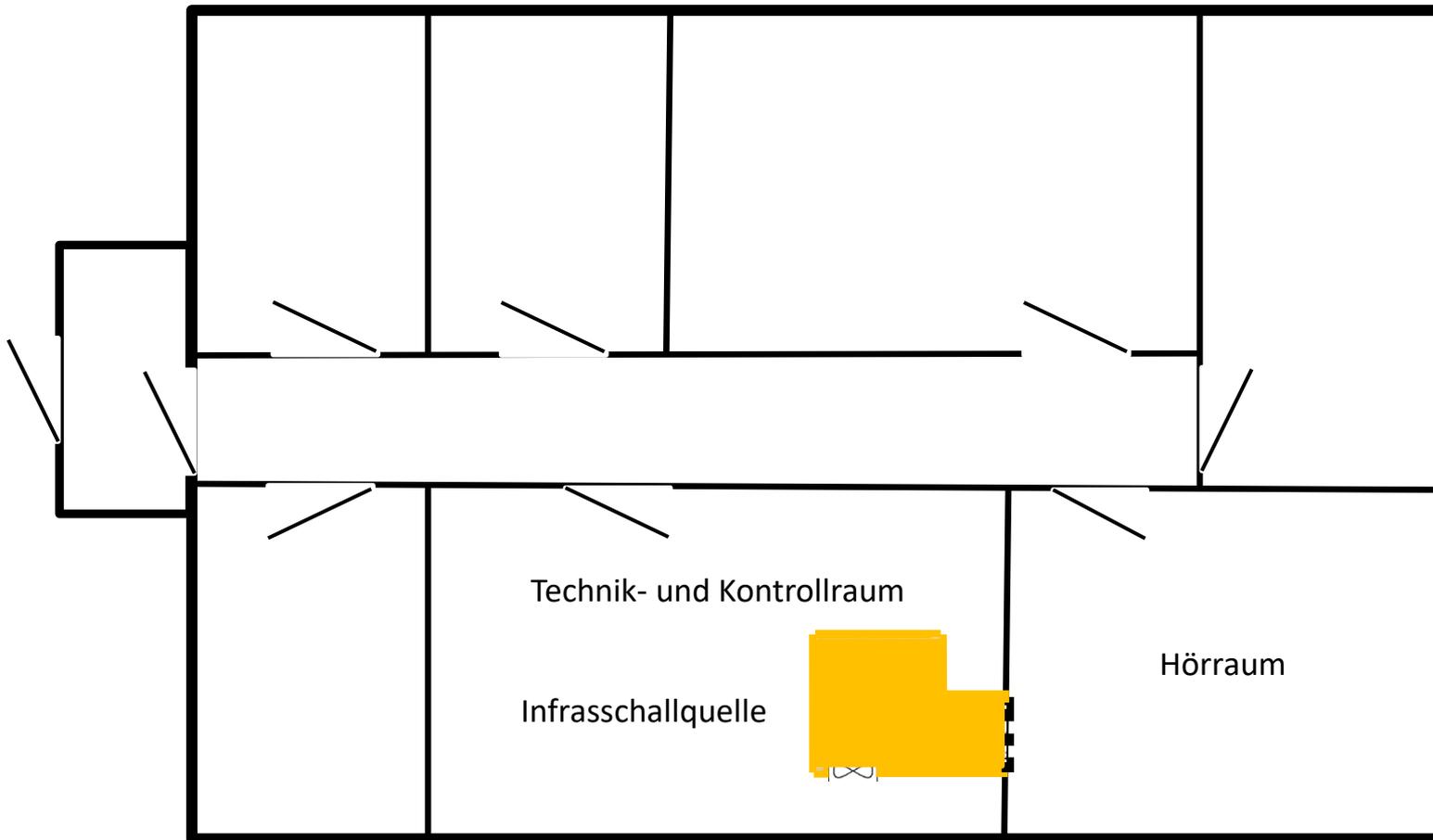
- Abschließende Bewertung des Experiments und der Umgebung insgesamt
- Subjektive Vorstellung von ITFS und deren Wirkung
- Allgemeiner Gesundheitszustand und Risikofaktoren

Ort der Untersuchung und seine Ausstattung

Gebäude auf einem ehemaligen Militärflughafen



Grundriss des Gebäudes



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Hörraum



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Hörraum



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Technikraum mit Infraschallquelle

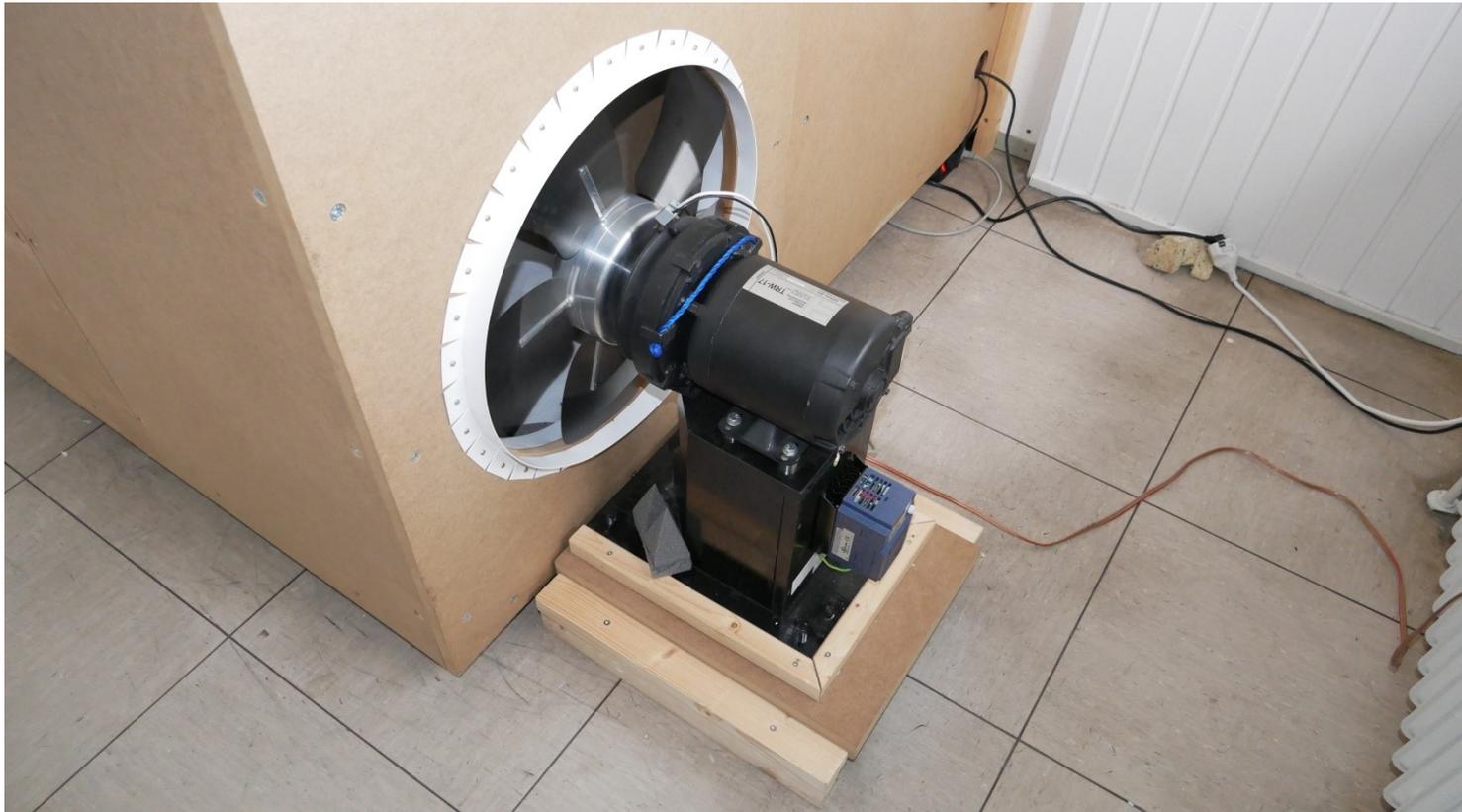


Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Infraschallquelle

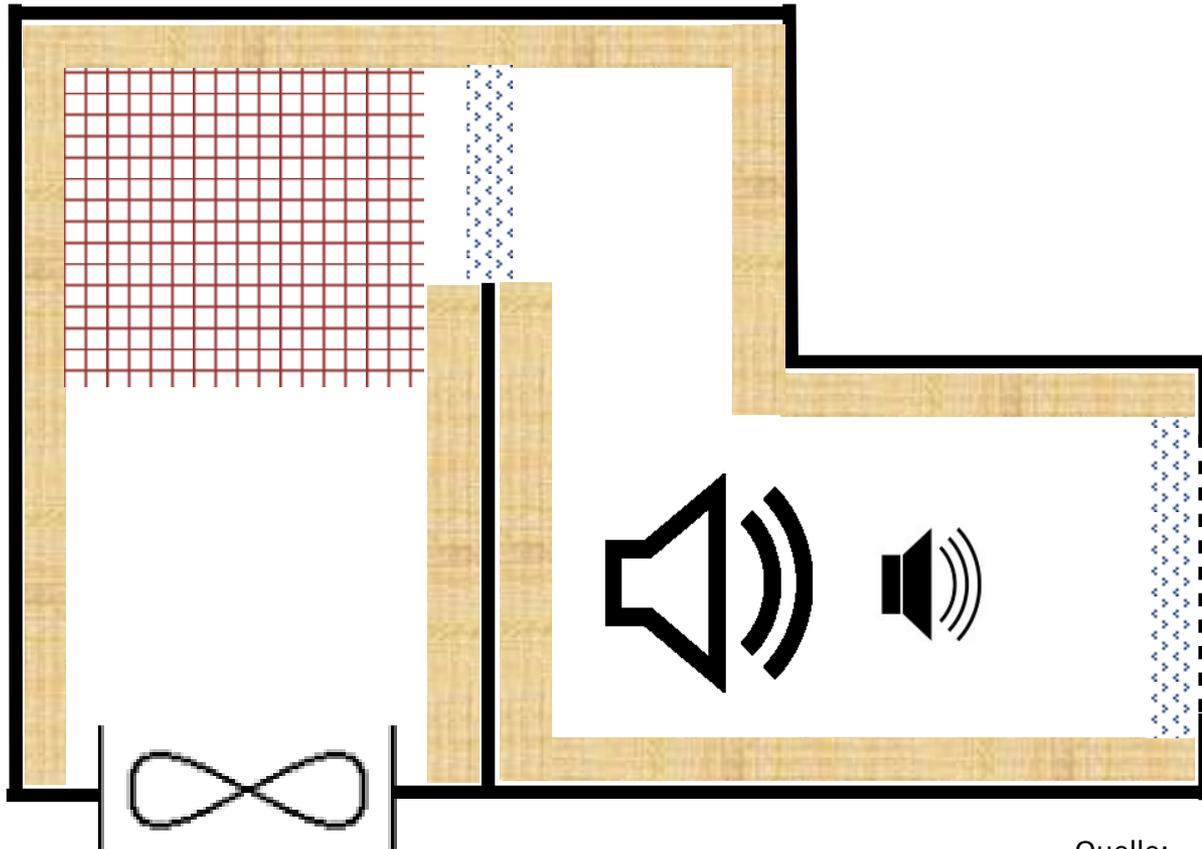


Infraschallquelle mit TRW-17



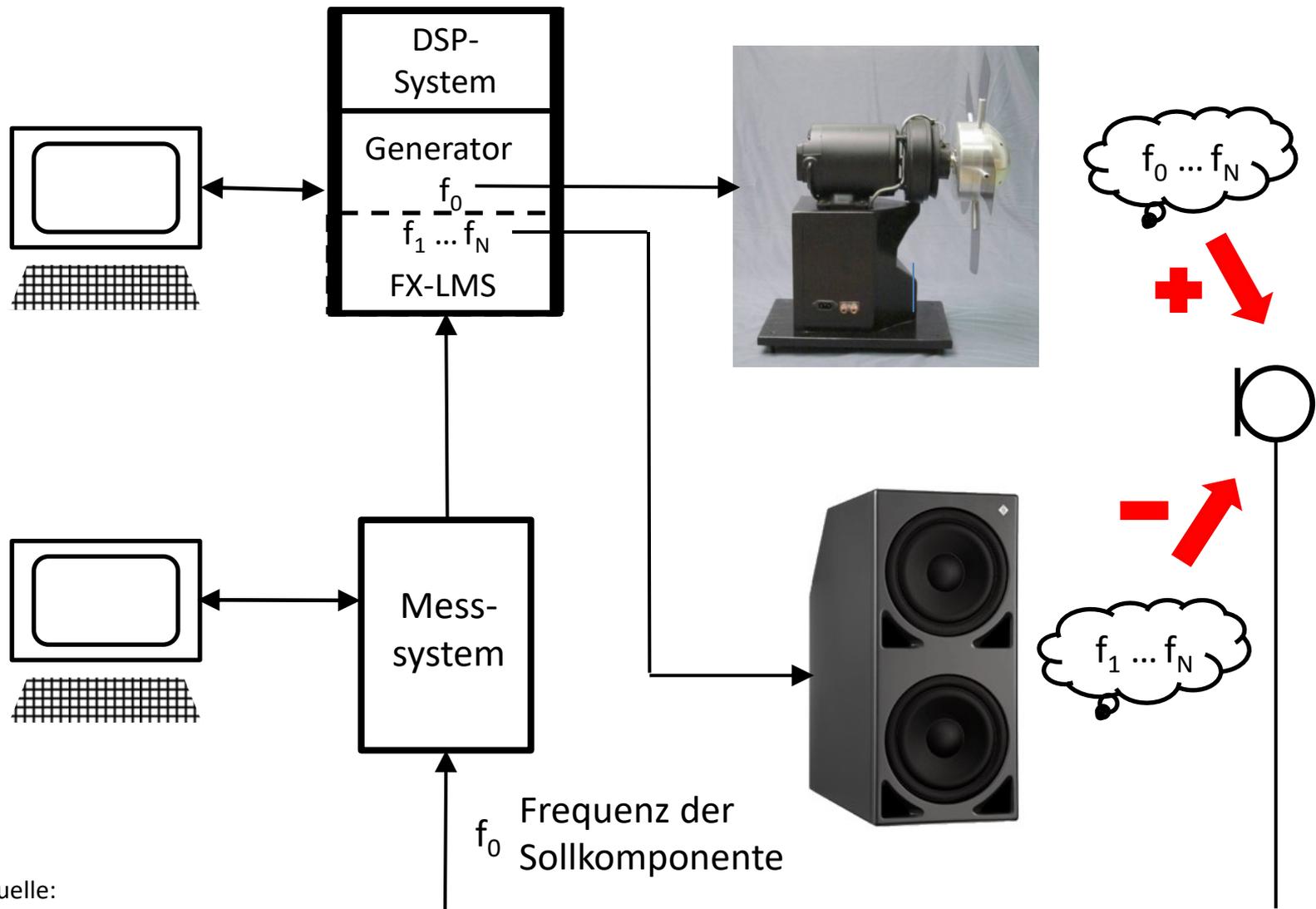
Innerer Aufbau der Infrasschallquelle

Funktion: Durch Verstellen der rotierenden Flügel des TRW-17 wird der Infrasschall erzeugt. Durch die Dämmung werden höherfrequente Störgeräusche unterdrückt. Der große Lautsprecher kompensiert vom TRW-17 generierte Obertöne, der kleine Lautsprecher die vom großen.



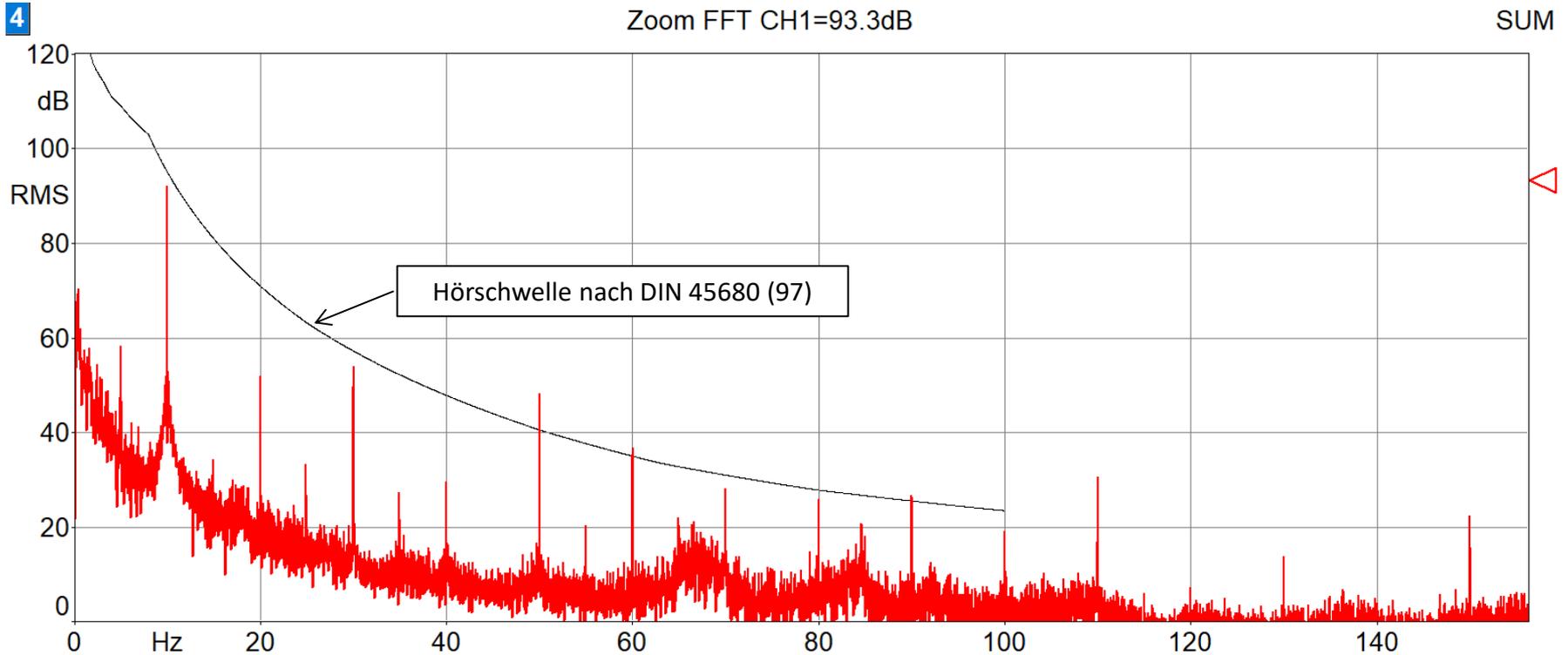
Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Kontrolle von Obertönen der Infrasschallquelle



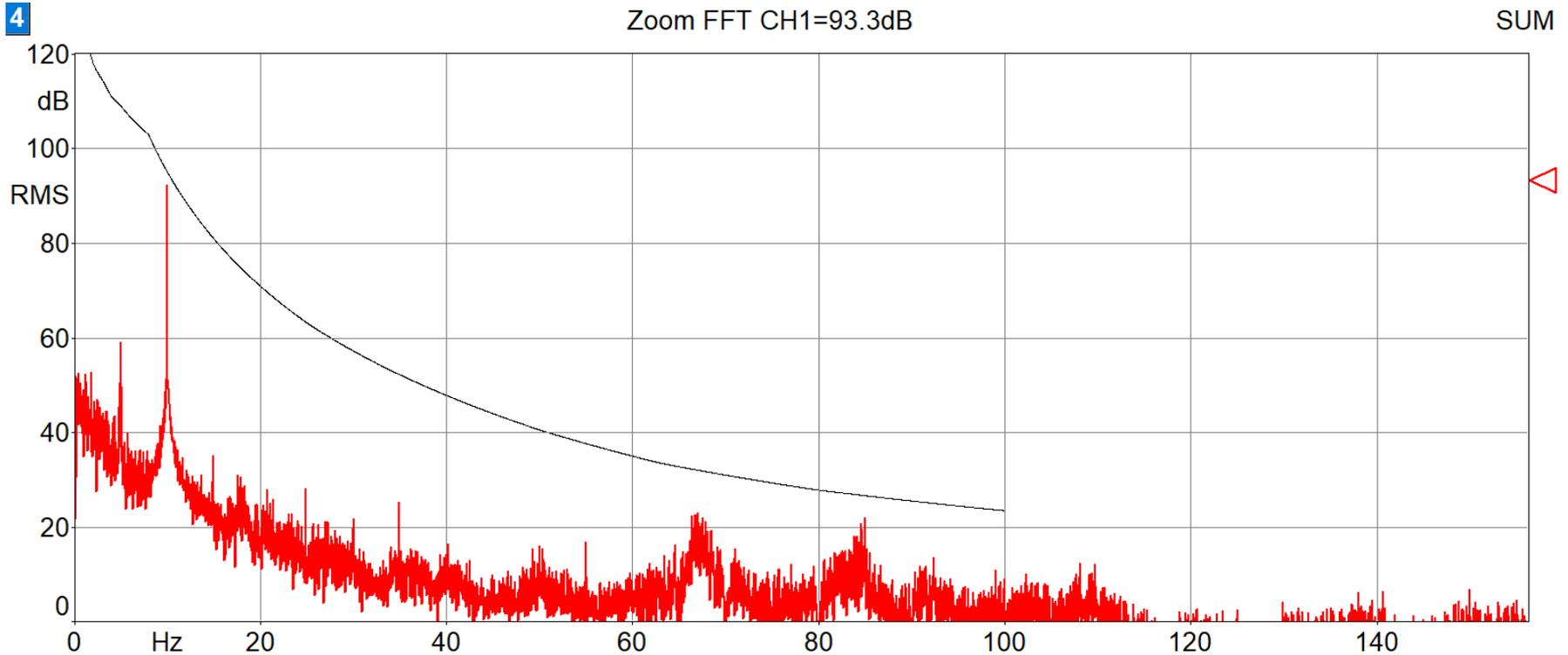
Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Spektrum bei 10 Hz ohne Kompensation



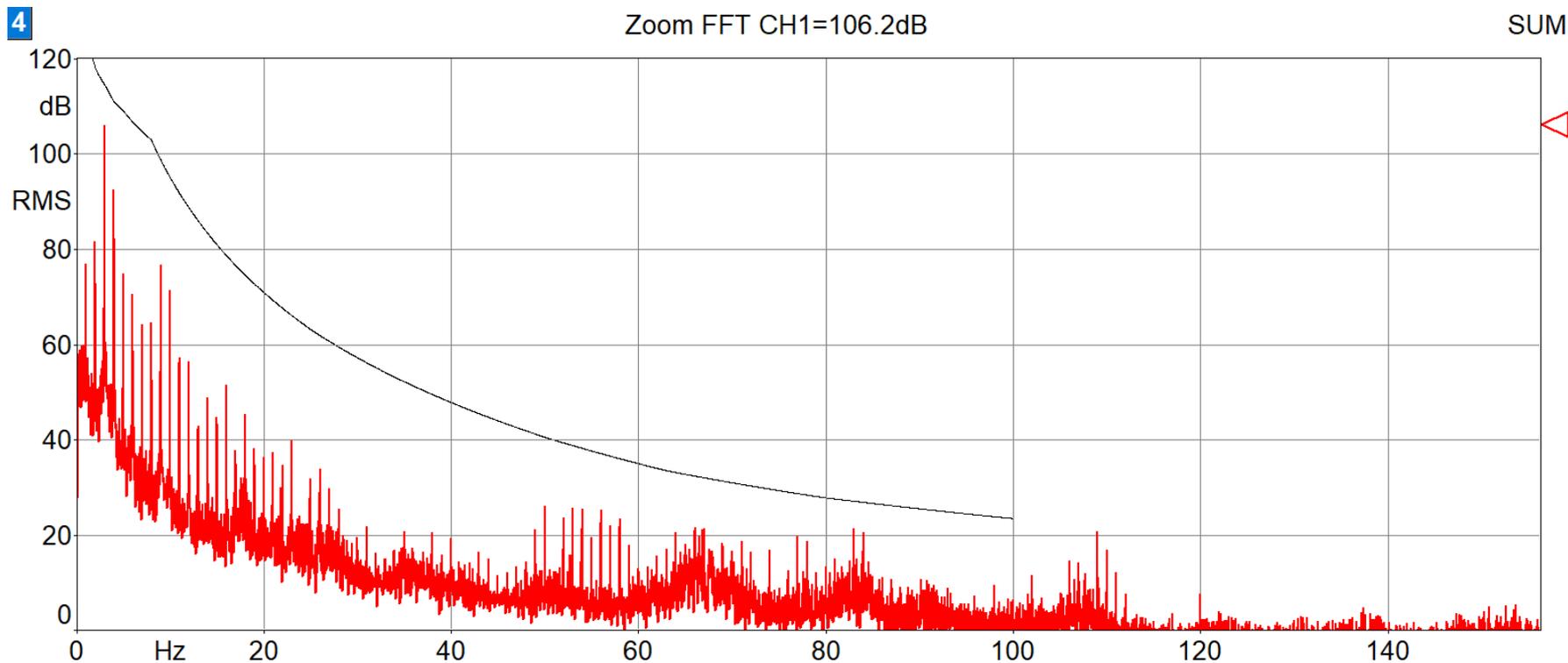
Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Spektrum bei 10 Hz mit Kompensation



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

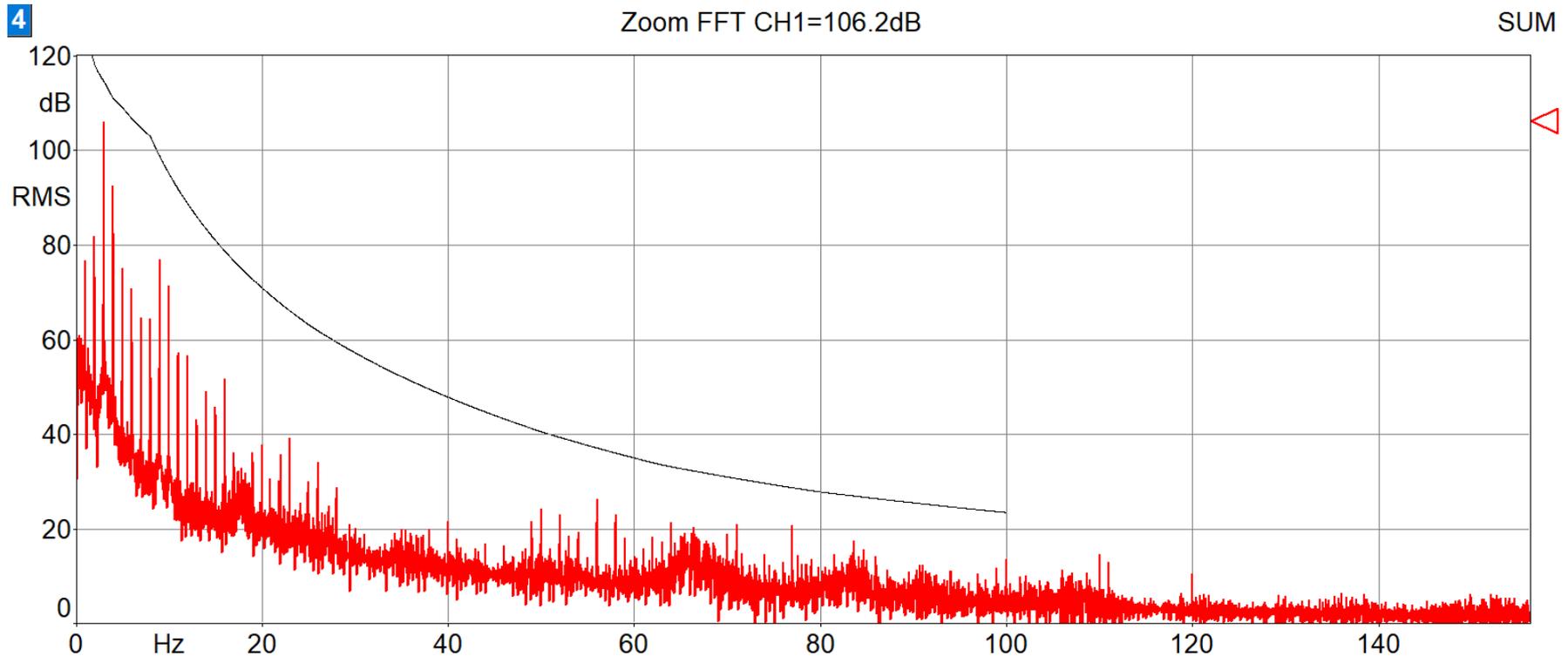
Spektrum bei modulierten 3 Hz ohne Kompensation



Anm.: Aufgrund von Nicht-Linearitäten entstanden Komponenten in einem Raster von 1 Hz.

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

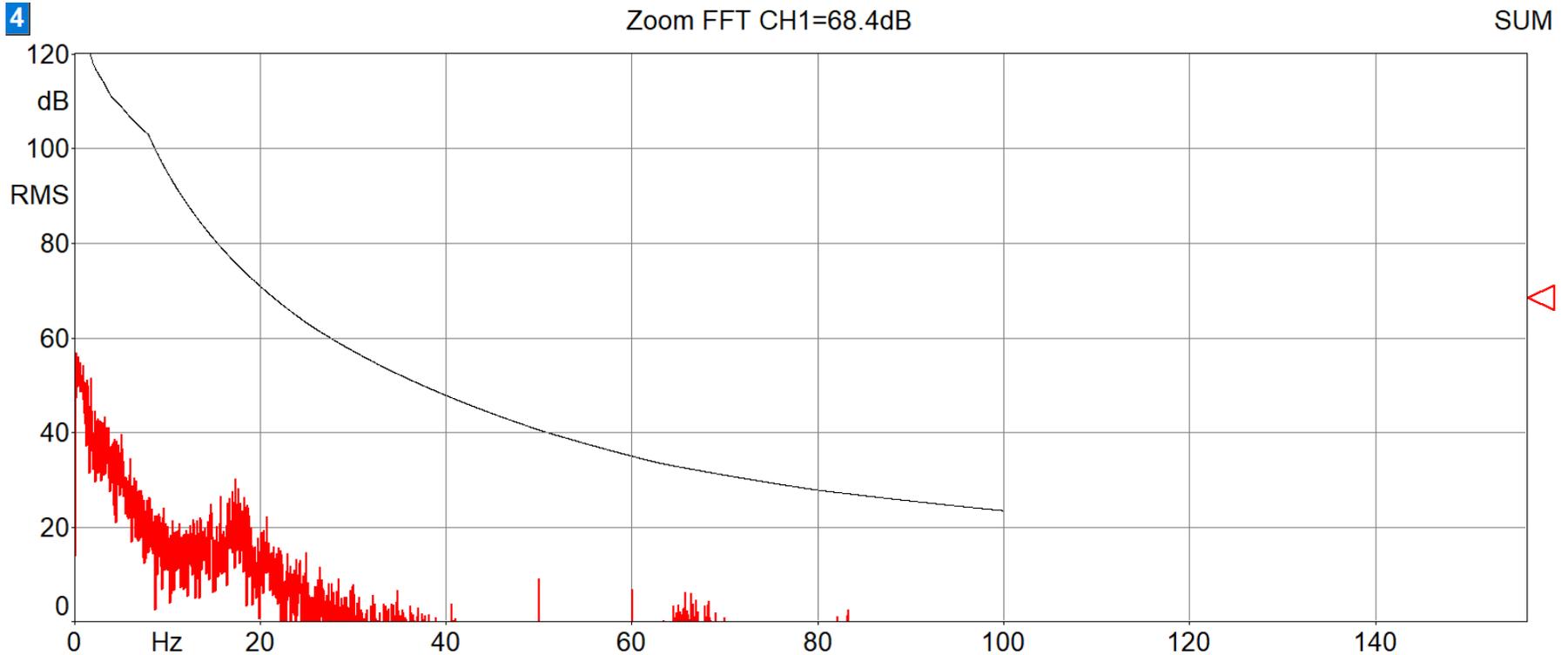
Spektrum bei modulierten 3 Hz mit Kompensation



Anm.: Die Anzahl der kompensierten Komponenten war durch die Verarbeitungskapazität des DSP beschränkt. Das Spektrum des verbliebenen Geräusches war nicht untypisch für einen modulierten Infraschall, der Pegel war leicht unterhalb der Hörschwelle angesetzt.

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Spektrum bei Ruhe

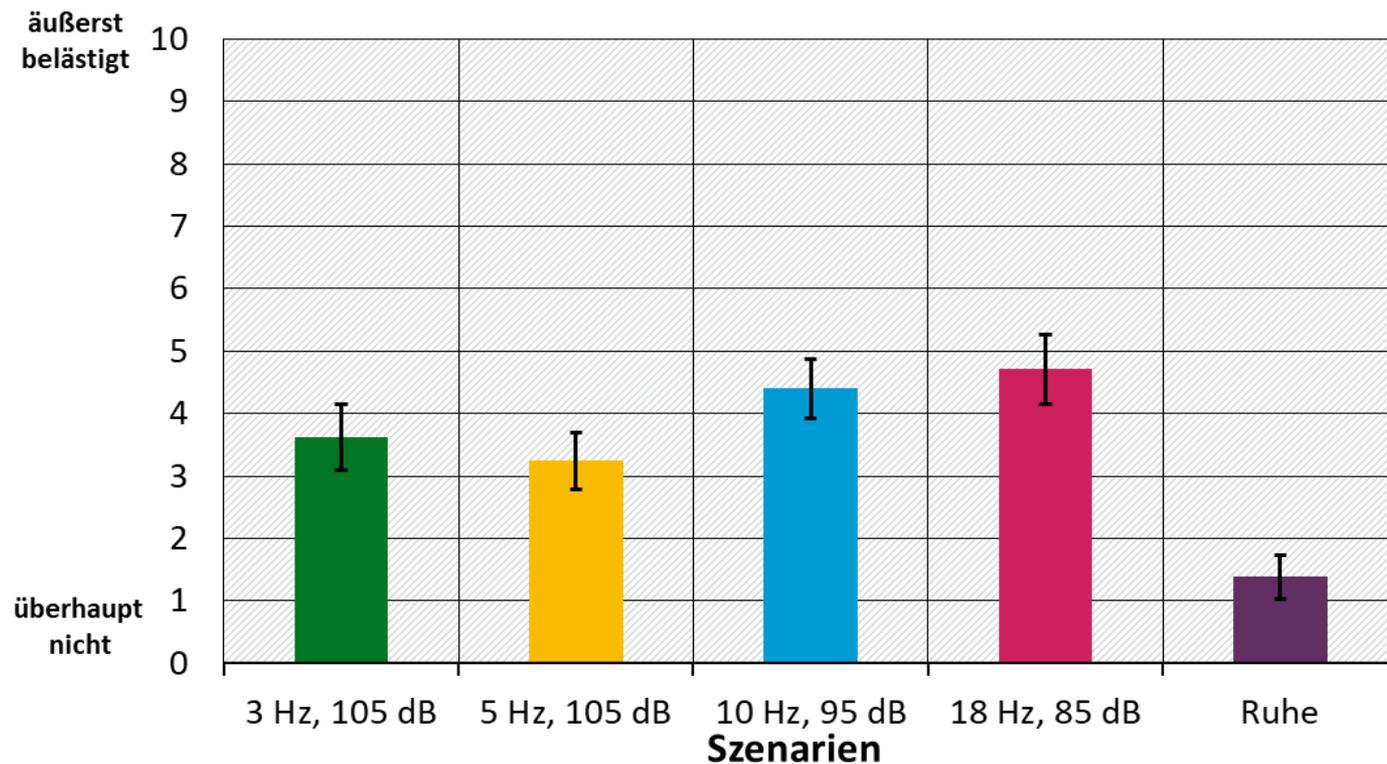


Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Einige Ergebnisse der psychologischen Untersuchung

Lärmbelastigung der fünf Szenarien

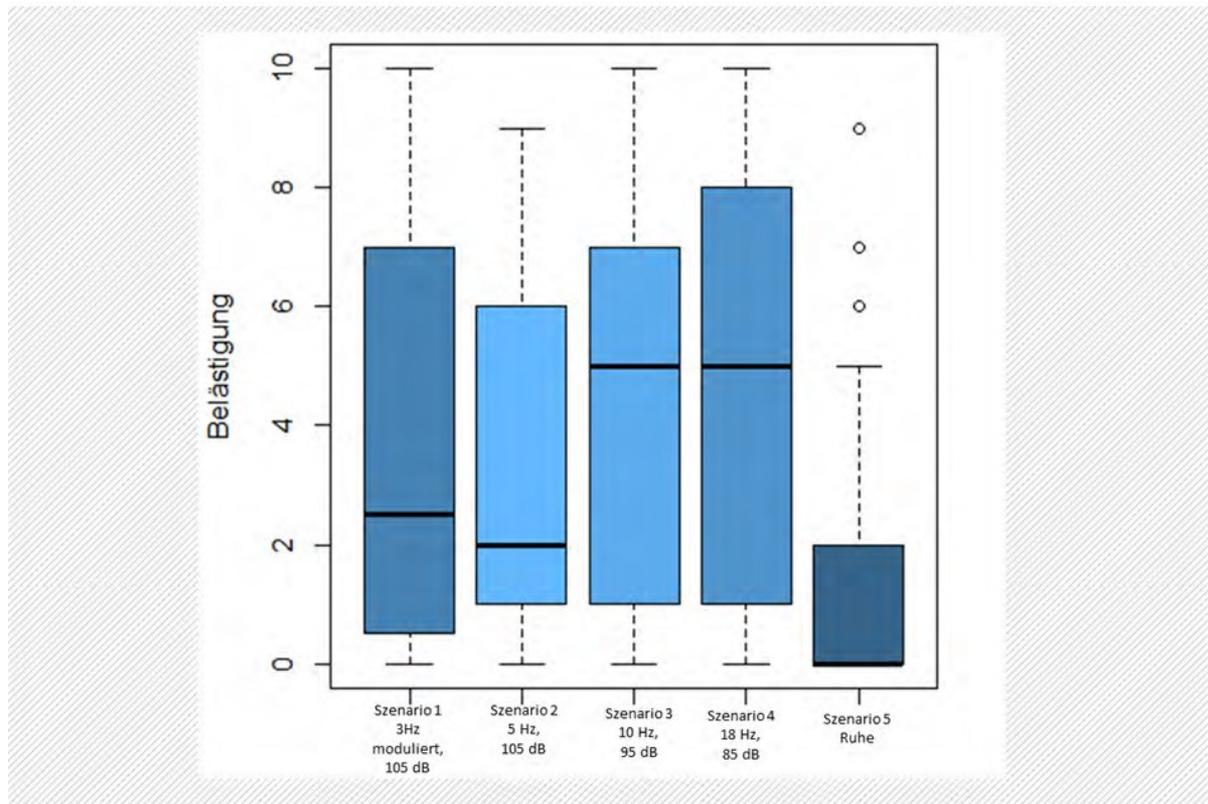
11-stufige Skala nach ICBEN



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Lärmbelästigung der fünf Szenarien

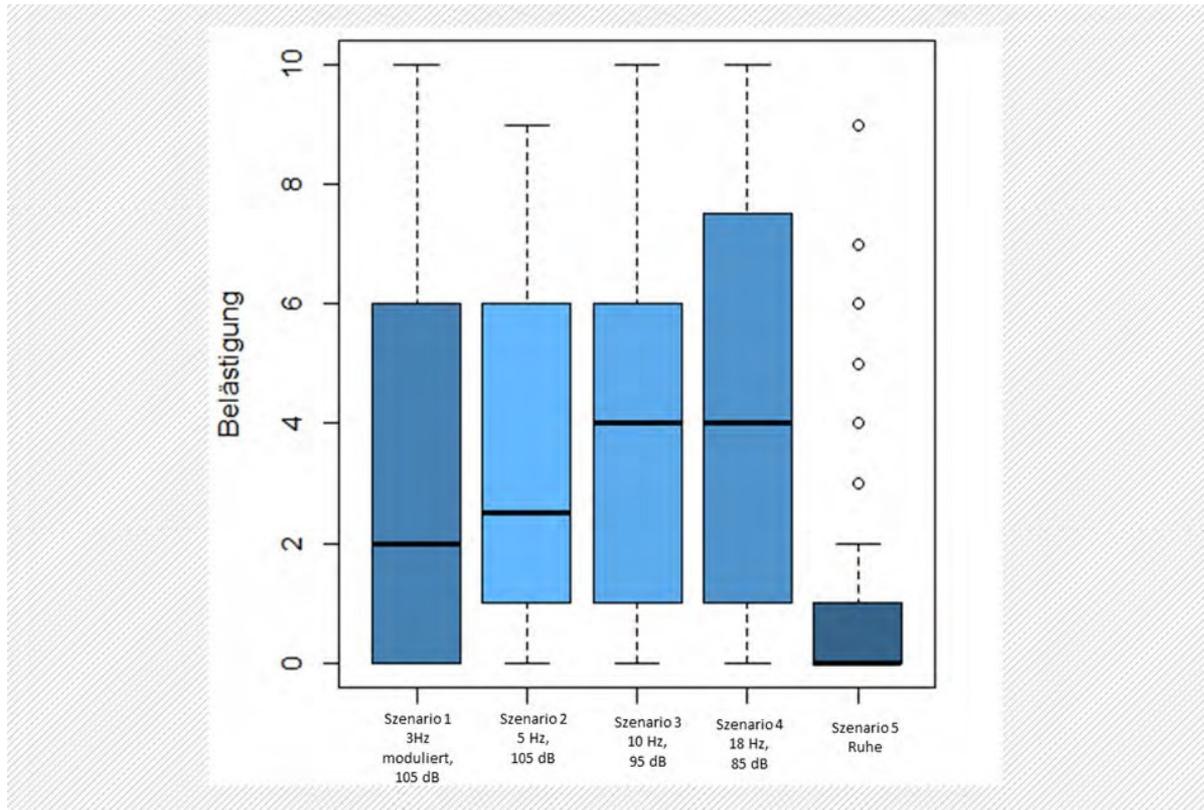
11-stufige Skala nach ICBEN



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Lärmbelästigung der fünf Szenarien

11-stufige Skala nach IC BEN

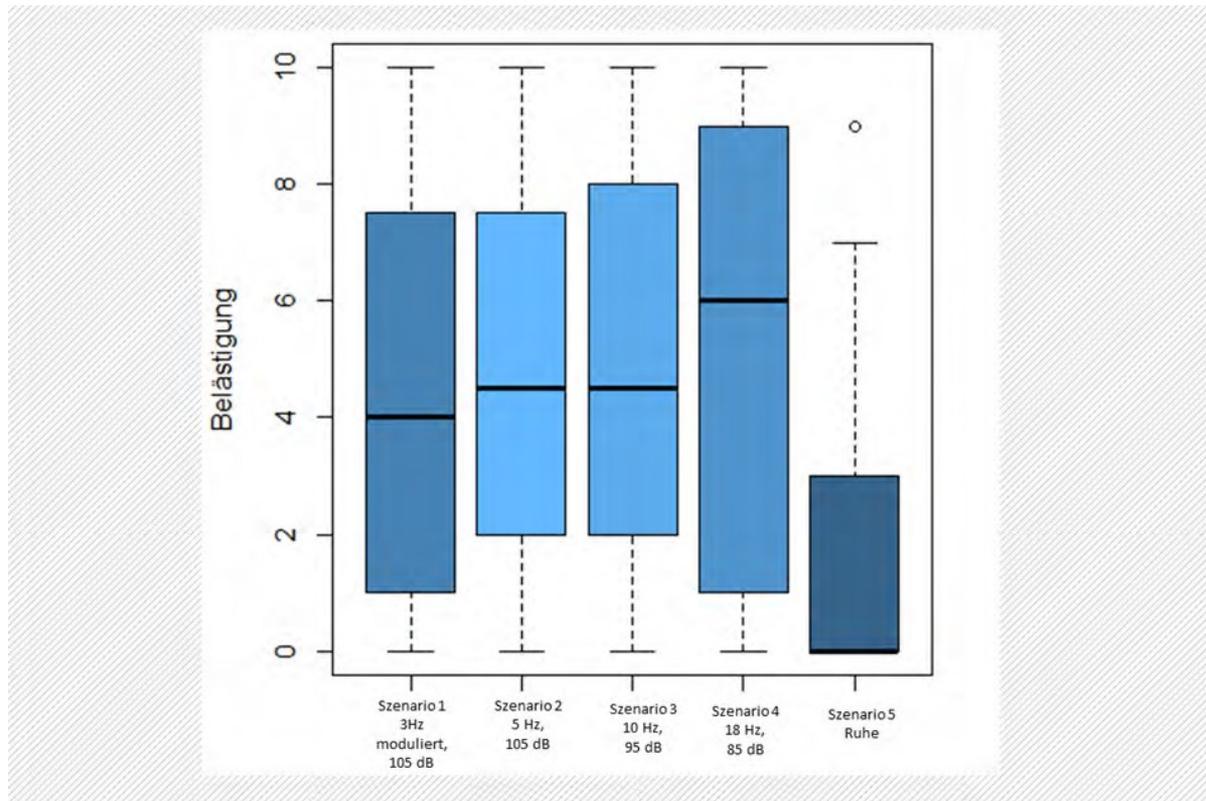


Unterstellte Bedingung: Geräusch tritt zwischen 6 Uhr und 18 Uhr auf

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Lärmbelästigung der fünf Szenarien

11-stufige Skala nach ICBEN

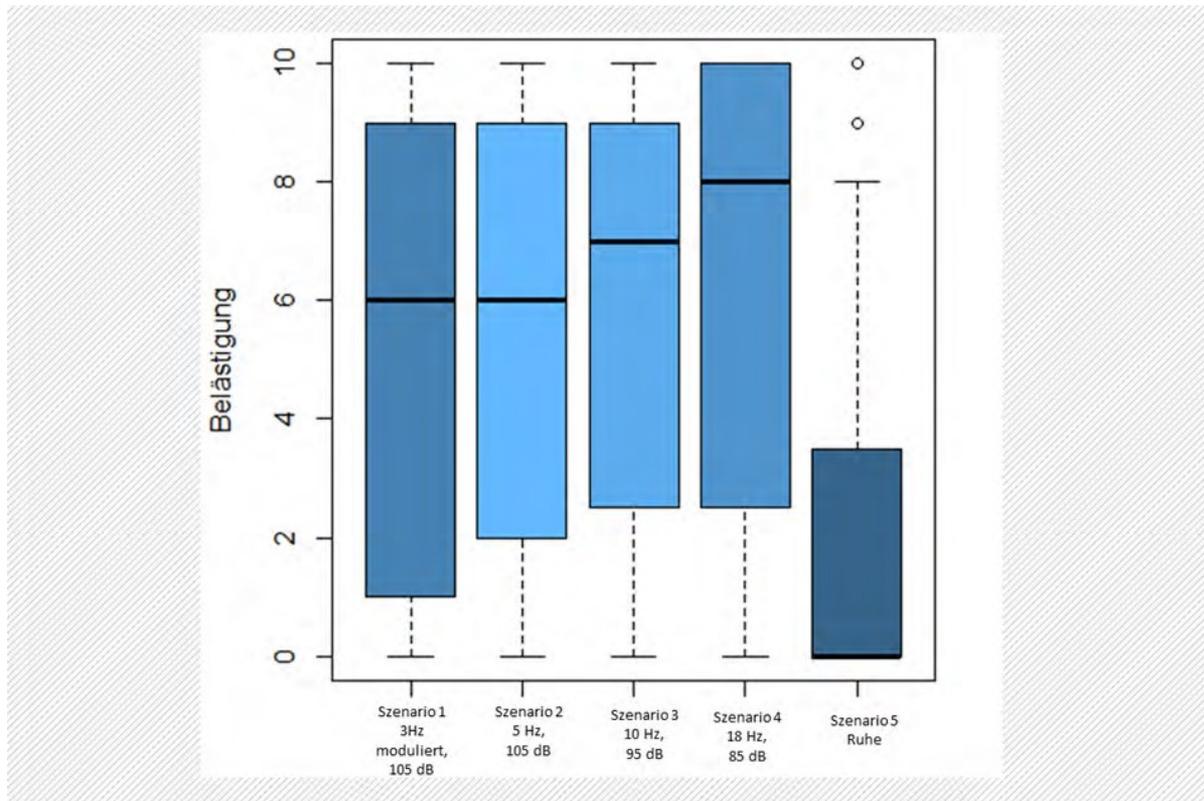


Unterstellte Bedingung: Geräusch tritt zwischen 18 Uhr und 22 Uhr auf

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Lärmbelästigung der fünf Szenarien

11-stufige Skala nach ICBEN

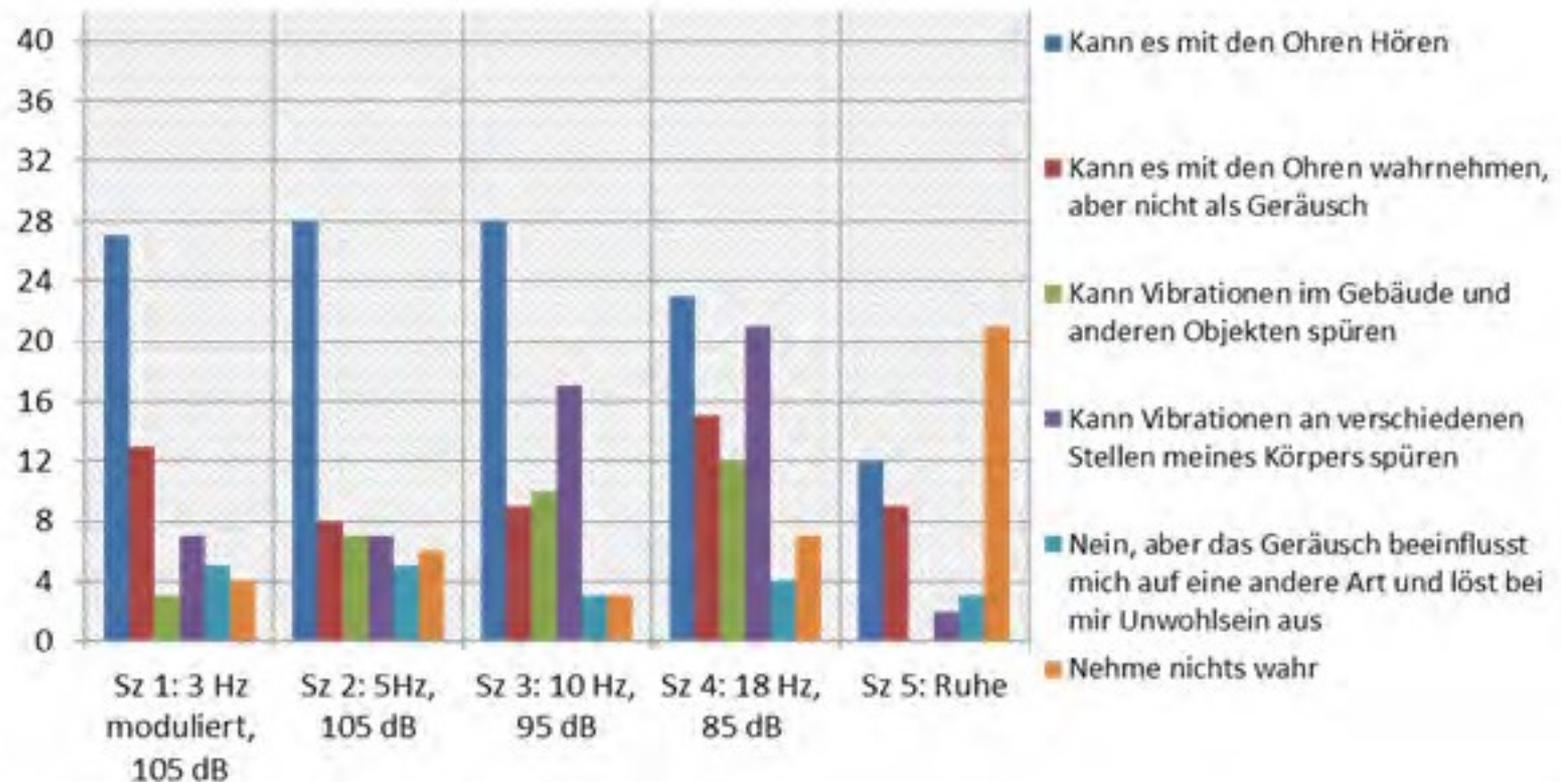


Unterstellte Bedingung: Geräusch tritt zwischen 22 Uhr und 6 Uhr auf

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

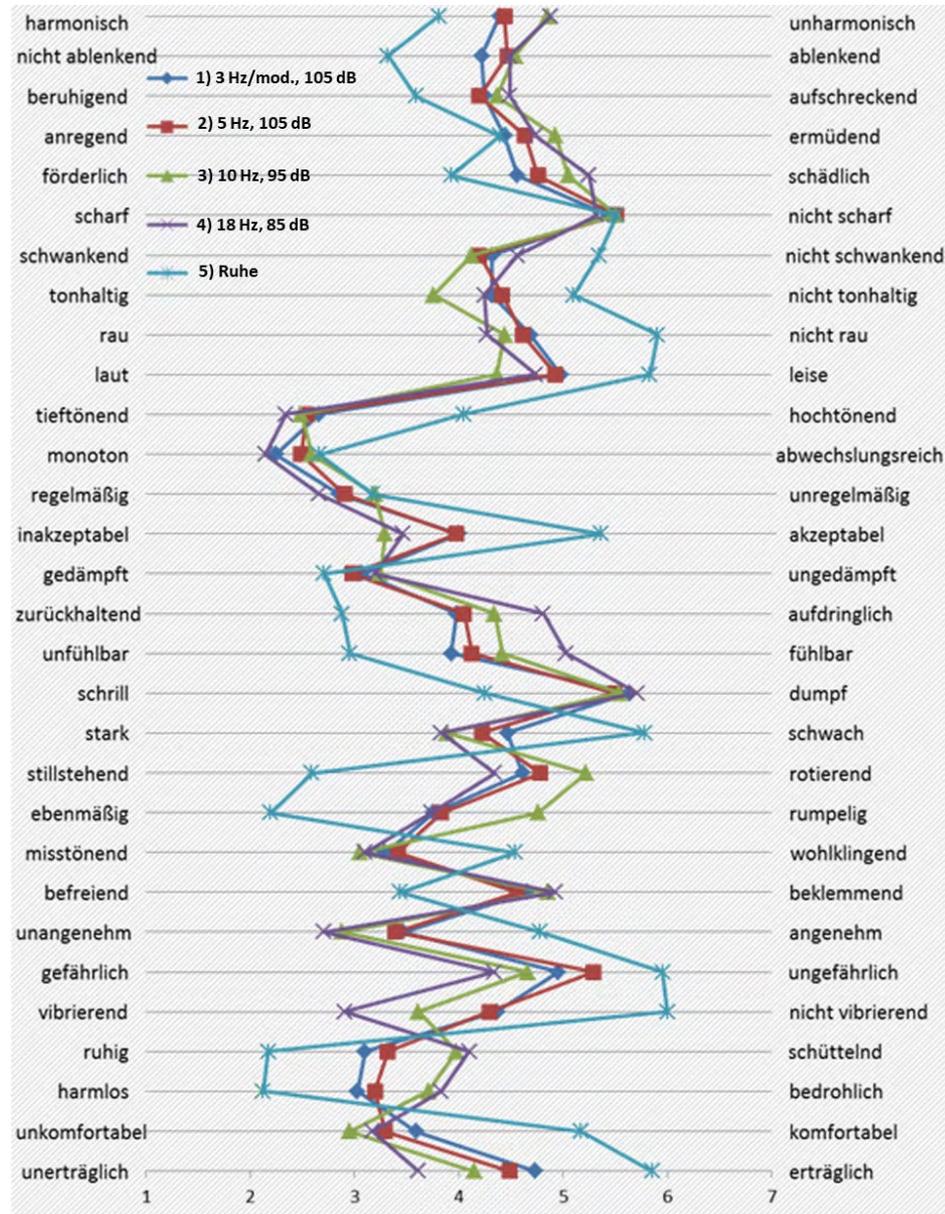
Wahrnehmung in den fünf Szenarien

Anzahl der Antworten



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

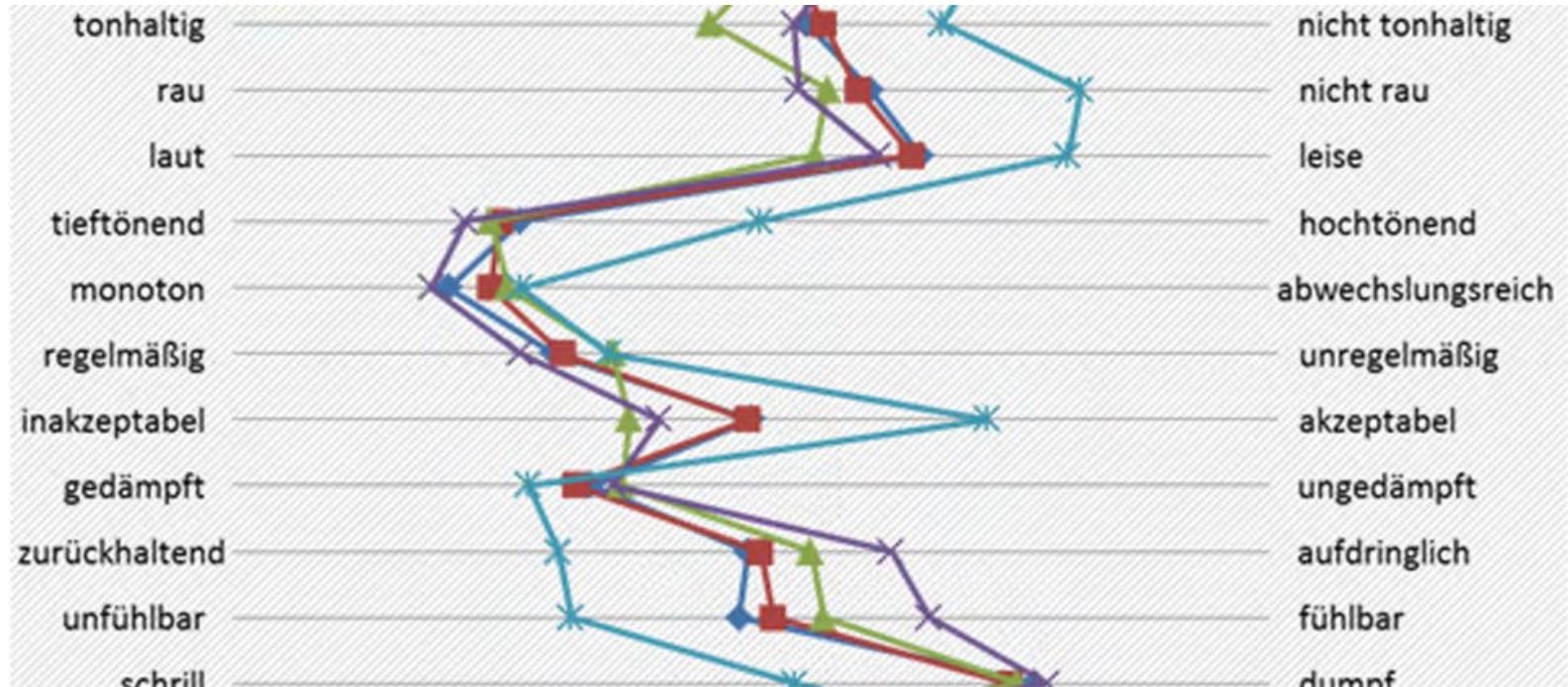
Polaritätsprofil der semantischen Differenziale zum Geräuschempfinden



Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Polaritätsprofil der semantischen Differenziale zum Geräuschempfinden

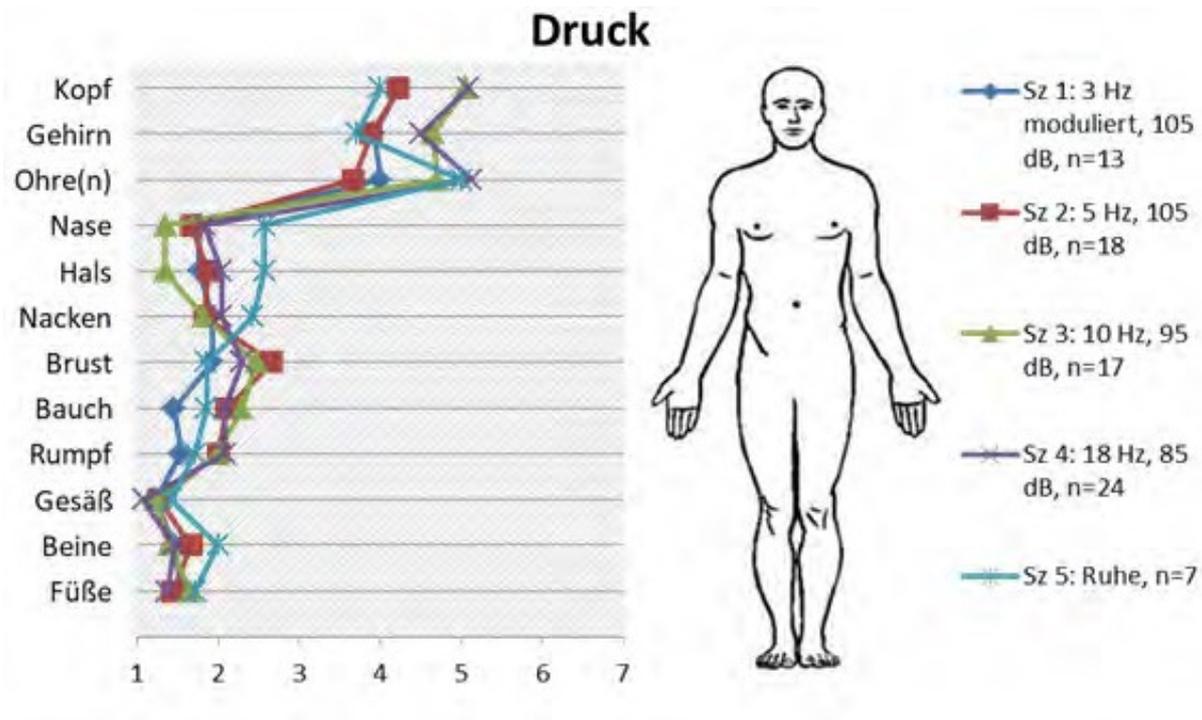
Ausschnitt



Anm.: Interessant ist, dass das Gefühl der Monotonie in allen Szenarien fast gleich stark ausgeprägt ist. Bei manchen Personen mag es ein Gefühl von Langeweile sein, die entspannt schläfrig macht, bei anderen eher ein Gefühl mentaler Erschöpfung, die vielleicht auch schläfrig macht, allerdings unter Anspannungen.

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Wahrnehmung von Druck in unterschiedlichen Körperpartien bei den fünf Szenarien



Anm.: Die Wahrnehmung wurde primär am oder im Kopf lokalisiert.
Ähnliches gilt für Vibration und Unwohlsein.

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

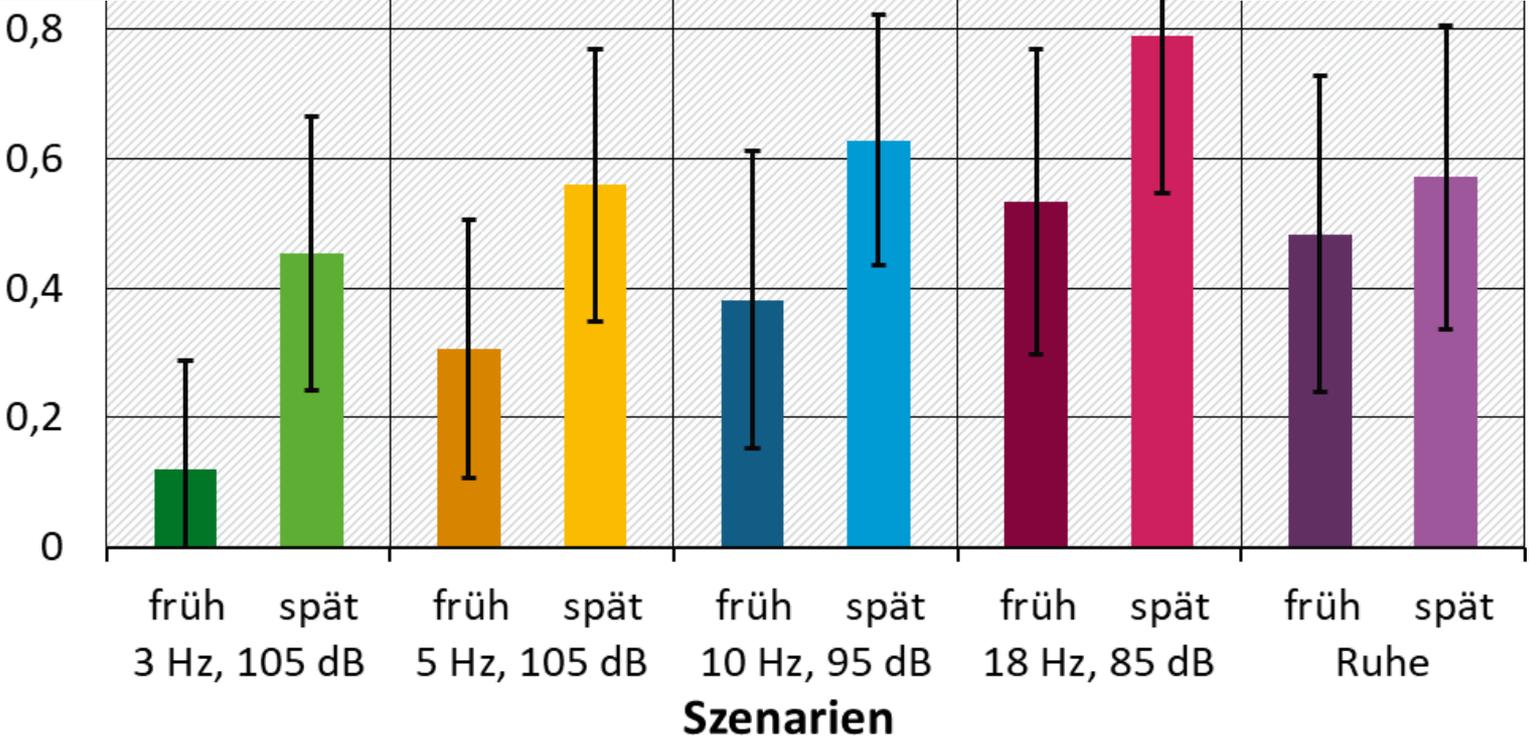
Einige Ergebnisse der physiologischen Untersuchung

Hier: Herzfrequenzvariabilität und EEG

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Szenario	4	127	1.62	0.1725
Reihenfolge	1	127	25.97	<.0001
Gruppe	1	30	3.80	0.0605
Gruppe*Szenario	4	127	0.82	0.5134
Alter	1	30	9.00	0.0054
Geschlecht	1	30	2.36	0.1351

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Szenario	4	127	1.14	0.3416
Reihenfolge	1	127	37.51	<.0001
Gruppe	1	30	3.73	0.0629
Gruppe*Szenario	4	127	0.92	0.4552
Alter	1	30	13.88	0.0008
Geschlecht	1	30	0.84	0.3678

SNS-Index

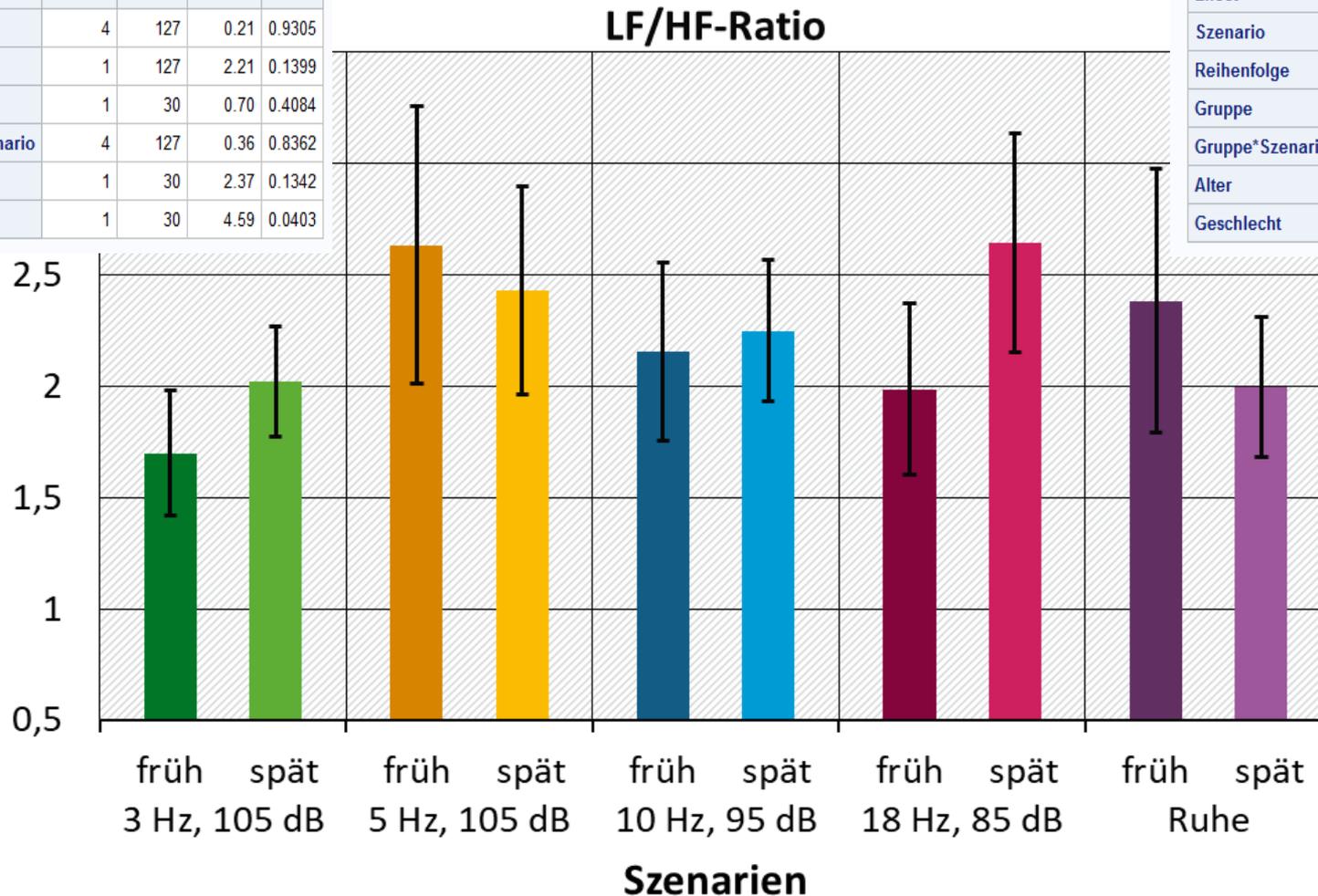


Quelle: UBA-Bericht 163/2020

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

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Szenario	4	127	0.21	0.9305
Reihenfolge	1	127	2.21	0.1399
Gruppe	1	30	0.70	0.4084
Gruppe*Szenario	4	127	0.36	0.8362
Alter	1	30	2.37	0.1342
Geschlecht	1	30	4.59	0.0403

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Szenario	4	127	0.49	0.7439
Reihenfolge	1	127	0.07	0.7976
Gruppe	1	30	2.20	0.1483
Gruppe*Szenario	4	127	0.32	0.8646
Alter	1	30	9.39	0.0046
Geschlecht	1	30	2.17	0.1513



Quelle: UBA-Bericht 163/2020

LF = Absolute Power im niedrigen Frequenzband (0,04 bis 0,15 Hz) in ms², Barorezeptoraktivität unter Ruhebedingungen, parasympathisch und sympathisch, Sympathikus überwiegt

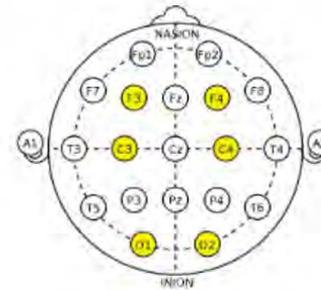
HF = Absolute Power im hohen Frequenzband (0,15 bis 0,4 Hz) in ms², parasympathische Aktivität, beeinflusst durch Respiration

LF/HF-Ratio = niedriger Wert entspricht Entspannung, hoher Wert entspricht Stress

Tendenziell scheinen manche Grafiken Aussagen in eine bestimmte Richtung zu stützen, doch wird aufgrund der allgemein großen Varianz das Signifikanzniveau von 0,05 nur stellenweise und dort auch nicht regelmäßig erreicht. Dies führt von medizinischer Seite zu folgenden Aussagen:

- Die Ergebnisse der physiologischen Messungen zeigen die akuten Reaktionen des menschlichen Organismus auf die 30-minütigen Lärmexpositionsszenarien .
- Bei geringer oder keiner Veränderung der physiologischen Parameter bei den Lärmszenarien im Vergleich zur Referenzsituation „Ruhe“ kann ein Gesundheitsrisiko nicht ausgeschlossen werden. Eine mögliche Sensibilisierung kann durchaus auch nach längerer Lärmbelastung stattfinden.
- Der deutliche Unterschied, der sich bei den psychologischen Reaktionen zwischen der Ruhe und den anderen Szenarien findet, spiegelt sich so nicht in den physiologischen Reaktionen wider.
- Würde eine deutliche Veränderung der physiologischen Parameter bei den Lärmszenarien im Vergleich zur Ruhe festgestellt, wäre die Hypothese plausibel, dass eine Langzeitbelastung zur Entstehung von Krankheiten führen kann.
- Eine solche Plausibilität kann hier nicht festgestellt werden. Die Überprüfung einer solchen Hypothese ist nur durch epidemiologische Folgestudien möglich.

Durchführung und Auswertung des EEGs



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

- Analyse nur für C4, F4 und O2
- Bestimmung des Alpha-Anteils (8-13 Hz, Maß für Entspannung, entspannte Wachheit) und Theta-Frequenzanteils (4-8 Hz, Maß für die Schläfrigkeit)
- Zwei Zustände: Augen auf (3 Min.) / Augen zu (3 Min.)

Auswertung des EEG-Signals ist explorativ, aufgrund fehlender wissenschaftlicher Ergebnisse bisher, nicht hypothesengeleitet!

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Die relative Unabhängigkeit der mittleren physiologischen Reaktionen von den Szenarien wird durch die nachfolgenden Tabellen gestützt.

Das gilt für die Alpha- wie die Theta-Wellen.

Das trifft auch innerhalb der Gruppe der Vorbelasteten wie innerhalb der Gruppe der Nicht-Vorbelasteten zu.

Selbst korrespondierende Mittelwerte der Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant.

Auffällig ist aber, dass sich korrespondierenden Varianzen der Gruppen vielfach sehr deutlich unterscheiden. (Beispiel: eingekreiste Werte in der folgenden Tabelle) Das gilt mehr für die Alpha-Wellen als für die Theta-Wellen.

Mit geschlossenen Augen steigen die Mittelwerte allgemein an, was nicht verwunderlich ist, sind die Werte doch ein Maß für Entspannung und Schläfrigkeit. Aber auch die Varianzen werden größer. Zum Teil verschwinden bei diesen die zuvor beschriebenen Unterschiede.

Diese und weitere Beobachtungen können möglicherweise weiterhelfen, von dem rein explorativen Ansatz der Untersuchung zukünftig zu einer hypothesengestützten Untersuchung zu kommen.

Deskriptive Statistik der Ergebnisse aus den EEG-Messungen

Augen geöffnet

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)

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Deskriptive Statistik der Ergebnisse aus den EEG-Messungen

Augen geschlossen

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)
	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)
O2-A1	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)

Quelle:
UBA-Bericht 163/2020

Zum Schluss ein Hinweis auf DIN 45680

Im aktuellen Entwurf zur Überarbeitung der DIN 45680 (Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen) wird als Ergänzung zur Bewertung der Lästigkeit von Infraschall (nur informativ) die G-Bewertung herangezogen, wie sie in der Norm Nr.45 in Dänemark bereits seit 2012 Anwendung findet. Danach soll in der Nacht der Wert von 85 dB(G) nicht überschritten werden. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, wird dieser Wert bei den im Test präsentierten Stimuli erreicht bzw. überschritten.

Bemerkenswert ist auch, dass bei 18 Hz der Pegel gleich 31,6 dB(A) und bei 10 Hz gleich 24,6 dB(A) ist. Damit wird selbst bei breitbandiger Bewertung gemäß der DIN 45680 (Fassung 97) der Anhaltswert für die Nacht von 25 dB deutlich überschritten bzw. fast erreicht.

Frequenz in Hz	Pegel in dB	Pegel in dB[A]	Pegel in dB[G]	A-Bewertung in dB	G-Bewertung in dB
1				-148,6	-43,0
1,25				-140,8	-37,5
1,6				-132,3	-32,6
2,0				-124,6	-28,3
2,5				-116,6	-24,1
3,15	105	-3,9	85	-108,9	-20,0
4,0				-100,7	-16,0
5,0	105	11,9	93	-93,1	-12,0
6,3				-85,4	-8,0
8,0				-77,6	-4,0
10	95	24,6	95	-70,4	0,0
12,5				-63,6	4,0
16	85	31,6	93,3	-56,4	7,7
20				-50,4	9,0

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

krahe@uni-wuppertal.de