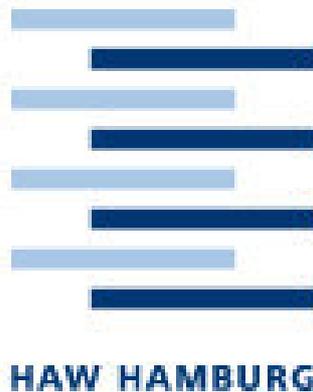


Bachelorthesis

Zur Erlangung des Akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.)

Infraschall und tieffrequenter Schall von Windenergieanlagen

Eine Belastungsstudie unter Schalleinfluss



Verfasser: Julia Beindorf
Matrikelnummer: [REDACTED]
Department Umwelttechnik
Fakultät Life Sciences
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Datum: 08.06.2015

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing. Friedrich Ueberle

Zweitprüfer: Prof. Dr. Marc Schütte

Inhaltsverzeichnis

Bilderverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
Symbolverzeichnis	iv
1. Einleitung	1
2. Theoretische Grundlagen	3
2.1 Infraschall und tieffrequenter Schall	3
2.2 Entstehung von Infraschall und tieffrequenten Schallimmissionen bei Windenergieanlagen	4
2.3 Bestimmungen zu Infraschall und tieffrequentem Schall	7
2.4 Mögliche Auswirkungen auf Menschen	8
3. Angewandte Methodik	10
3.1 Akustische Szenarien	10
3.2 Klinische Methoden	12
4. Belastungsstudie unter Schalleinfluss	17
4.1 Versuchsablauf	17
4.2 Verteilung der Versuchspersonen	20
5. Darstellung der Ergebnisse	21
5.1 Hörtest	21
5.2 Befindlichkeits-Skala.....	23
5.3 Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest	25
5.4 BioPac Daten: Atemfrequenz, Herzfrequenz und Hautwiderstand	27
6. Diskussion der Ergebnisse	29
6.1 Befindlichkeits-Skala.....	29
6.2 Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest	29
6.3 BioPac Daten: Atemfrequenz, Herzfrequenz und Hautwiderstand	29
7. Zusammenfassung und Ausblick.....	30
Literaturverzeichnis	31
Eidesstattliche Erklärung	33
Anhang	34

Bilderverzeichnis

Bild 2.1: Schallbereiche	3
Bild 2.2: Lee- und Luvläufer.....	5
Bild 2.3: Typisches Tieffrequenz-Spektrum einer lee- und luvlaufenden WEA.....	5
Bild 2.4: Luvläufer Anströmungs-Konfiguration	6
Bild 2.5: Vergleich von WEA Geräuschen im Wohnraum mit genährter Hörschwelle	6
Bild 2.6: Näherung der menschlichen Hörschwelle.....	8
Bild 3.1: Weißes Rauschen	10
Bild 3.2: Rosa Rauschen	11
Bild 3.3 Rosa Rauschen im Frequenz Bereich von 0 - 20 Hz	11
Bild 3.4: Rosa Rauschen im Frequenz Bereich von 0 - 150 Hz	11
Bild 3.5: Windturbinen Geräusch >150 Hz	12
Bild 3.6: Beispiel Testzeile.....	13
Bild 3.7: Beispiel Audiogramm von 125 Hz bis 1 kHz	15
Bild 3.8: BioPac MP30 und Sensoren	15
Bild 3.9: Beispiel eines Pegelschriebs.....	16
Bild 4.1: Versuchsablauf.....	17
Bild 4.2: Prüfung der Schalldruckpegel mit dem Kunstkopf	19
Bild 4.3: Verteilung der Probanden nach Setup und Alter.....	20
Bild 5.1: KL je Setup nach Geräusch-Szenario	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Wellenlänge von tieffrequenten Geräuschen bei unterschiedlichen Frequenzen.....	3
Tabelle 2.2: Überblick über aerodynamische Geräusch-Mechanismen bei WEA	4
Tabelle 2.3: Marktverteilung der Lee- und Luvläufer.....	5
Tabelle 2.4: Hörschwelle des Menschen im Infraschall und tieffrequenten Bereich	8
Tabelle 3.1: Empfehlung zur Verbalisierung von Testergebnissen.....	14
Tabelle 4.1: Geräusch-Szenarien der 4 verschiedenen Setups.....	18
Tabelle 5.1: Auswertung Hörtest nach den Altersgruppen je Hörschwelle	21
Tabelle 5.2: MW der T-Werte aufgeschlüsselt nach Geräusch-Szenario	23
Tabelle 5.3: ANOVA des T-Wertes nach Geräusch-Szenario	23
Tabelle 5.4: MW der T-Werte nach Setup.....	23
Tabelle 5.5: ANOVA des T-Wertes nach Setup	24
Tabelle 5.6: Mehrfachvergleiche (Post-hoc-Test) des T-Wertes nach Setup	24
Tabelle 5.7: MW der KL nach Geräusch-Szenario.....	25
Tabelle 5.8: ANOVA der KL nach Geräusch-Szenario	26

Tabelle 5.9: MW der KL nach Setup	26
Tabelle 5.10: ANOVA der KL nach Setup	26
Tabelle 5.12: MW der EDA nach Geräusch-Szenario.....	27
Tabelle 5.13: ANOVA der EDA nach Geräusch-Szneraio	28
Tabelle 5.14: MW der EDA nach Setup	28
Tabelle 5.15: ANOVA der EDA nach Setup	28

Abkürzungsverzeichnis

ADS	Allgemeine Depressionsskala
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of variance)
BZO	Bearbeitete Zielobjekte
Bf-SR	Befindlichkeits-Skala (Bf-SR)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
d2-R	Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest (D2-R)
dB	Dezibel
EDA	Hautwiderstand (electrodermal activity)
F%	Fehlerprozent
FFT	Schnelle Fourier-Transformation (Fast Fourier Transformation)
Hz	Hertz
KL	Konzentrationsleistung
LEQ	Äquivalenter Dauerschallpegel
LEQ_A	A-Gewichteter äquivalenter Dauerschallpegel
LEQ_C	C-Gewichteter äquivalenter Dauerschallpegel
MW	Mittelwert
STABW	Standartabweichung
SW	Standartwert
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
WEA	Windenergieanlagen
WHO	World Health Organization

Symbolverzeichnis

c	[m/s]	Schallgeschwindigkeit
λ	[m]	Wellenlänge (Lambda)
f	[Hz]	Frequenz
T	[°C]	Temperatur
I'	[W/m ²]	Intensitätsdichte

1. Einleitung

Die Errichtung von Windenergieanlagen (WEA) zur Erzeugung von Strom aus natürlichen Ressourcen sorgt für Angst unter den Anwohnern vor möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Infraschall und tieffrequentem Schallimmissionen, in der näheren Umgebung der Errichtungsgebiete. Es ist deutlich geworden, dass bei jedem Verfahren zur Genehmigung der Errichtung von WEA die Anwohner eine große Sorge über psychoakustische Effekte durch den emittierten Schall haben (1). In dieser Arbeit werden daher die für WEA üblichen Infraschall und tieffrequenten Geräusche definiert, erzeugt. Dazu werden in einem Belastungsversuch mit Probanden, deren Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden und dessen Auswirkungen auf die Konzentrations- und Aufmerksamkeitsleistung untersucht.

Es existieren wenig umweltmedizinisch ausgerichtete Studien die sich mit der Belästigung im Grenzbereich von Infraschall und tieffrequentem Schall (allgemein Frequenzbereich zwischen 8 bis 150 Hz) an der unteren Grenze der Hörwahrnehmung beschäftigen. Da diese Frequenzen neben hörbaren Ereignissen auch andere Belästigungsreaktionen hervorrufen können. Immissionen im Infraschall-Bereich besitzen eine große Wellenlänge von bis zu mehreren hundert Metern und werden nur geringfügig über Luftschallabsorption gedämpft. Daher können Infraschall-Phänomene auch außerhalb des vorgeschriebenen Abstandes von Errichtungsgebieten zu Wohngebieten auftreten. Die meisten Anwohner klagen über Störungen des Nachtschlafes. Es wird jedoch eine breite Palette an Krankheitsbilder mit Infraschall in Verbindung gebracht, wie z.B. das Brumntonphänomen (2 S. 42).

Das Umweltbundesamt hat daher im Jahr 2011 ein Forschungsvorhaben in Auftrag gegeben, dass sich mit der Geräuschbelastung durch tieffrequenten Schall, insbesondere durch Infraschall beschäftigt „Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall. Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen,“ (2 S. 1). Hierbei werden alle Anlagen betrachtet die Infraschall abstrahlen und basierend darauf ein Vorschlag für ein Studiendesign gemacht.

Im Hinblick auf die erzeugten WEA-Immissionen werden Probanden mit Geräuschen von WEA im Hörschallbereich sowie im tieffrequenten Bereich unter gleichen Bedingungen mit der gleichen Schallintensität je Geräuschszenario beschallt. Dadurch kann ein Maßstab erstellt werden der die Messergebnisse der Probanden vergleichbar macht. Somit kann eine Aussage über die Effektstärke von Infraschall auf das menschliche Aufmerksamkeits- und Konzentrationsvermögen sowie auf dessen Wohlbefinden getroffen werden.

Der Hauptteil dieser Arbeit enthält die Ausführungen zu den theoretischen Grundlagen, der verwendeten Methodik, dem Versuchsaufbau und der Auswertung und Diskussion der Ergebnisse sowie eine Zusammenfassung:

- Abschnitt 2 stellt die Grundlagen zum Thema Schall, explizit Infraschall und tieffrequenter Schall vor, sowie dessen Entstehung in Bezug auf Windenergie Anlagen, Messverfahren und Bestimmungen sowie mögliche Auswirkungen die diese Geräusche auf den Menschen haben können.
- Abschnitt 3 stellt die verwendeten akustischen und klinischen Methoden zur Datenerhebung und Auswertung vor.
- Abschnitt 4 erläutert den Versuchsaufbau und -Ablauf sowie des gesamte Setup der Versuchsreihe.
- Abschnitt 5 enthält die Darstellung der Auswertung der Messergebnisse.

- Abschnitt 6 enthält die Diskussion der Messeergebnisse.
- Abschnitt 7 enthält die Zusammenfassung der Arbeit und einen Ausblick.
- Anhang A enthält alle verwendeten Dokumentationsbögen, Auswerteschablonen, Normtabellen der Befindlichkeits-Skala (Bf-SR, Bf-SR').
- Anhang B enthält alle verwendeten Dokumentationsbögen, Auswertbögen, Normtabellen der Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest - Test D2- Revision (d2-R).
- Anhang C enthält die Parameter der verwendeten Audiometrie Kabine.
- Anhang D enthält die Methodik und Dokumentation zum generierten und gemessenen Infraschall Geräusch-Szenario: Rosa Rauschen im Bereich 0 – 20 Hz.
- Anhang E enthält die Methodik und Dokumentation zum generierten und gemessenen Tieffrequenten Geräusch-Szenario: Rosa Rauschen im Bereich 0 – 150 Hz.
- Anhang F enthält die Methodik und Dokumentation zum verwendeten und gemessenen Windenergieanlagen Geräusch-Szenarios: Aufnahme einer Windenergieanlage ohne tieffrequente Anteile 150 Hz – 20000 Hz.
- Anhang G stellt die Verteilung der Probanden nach Geräusch-Szenario, Alter und Geschlecht dar.
- Anhang H zeigt die Auswertung der Hörtests der Probanden aus der Voruntersuchung.
- Anhang I zeigt die Auswertung der Befindlichkeits-Skala (Bf-SR, Bf-SR') der Probanden aus der Voruntersuchung als auch aus dem Belastungsversuch.
- Anhang J zeigt die Auswertung der Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest (d2-R) der Probanden aus dem Belastungsversuch.
- Anhang K zeigt die Auswertung der BioPac-Daten für den Hautwiderstandes (EDA) der Probanden aus dem Belastungsversuch.

2. Theoretische Grundlagen

In der Akustik wird, gemessen am menschlichen Hörvermögen, zwischen Infraschall, Hörschall und Ultraschall unterschieden. Dabei kann das menschliche Ohr Geräusche im Bereich von ca. 16 Hz bis 16 kHz wahrnehmen. Daraus lassen sich folgende Frequenzbereiche unterscheiden (Bild 2.1):

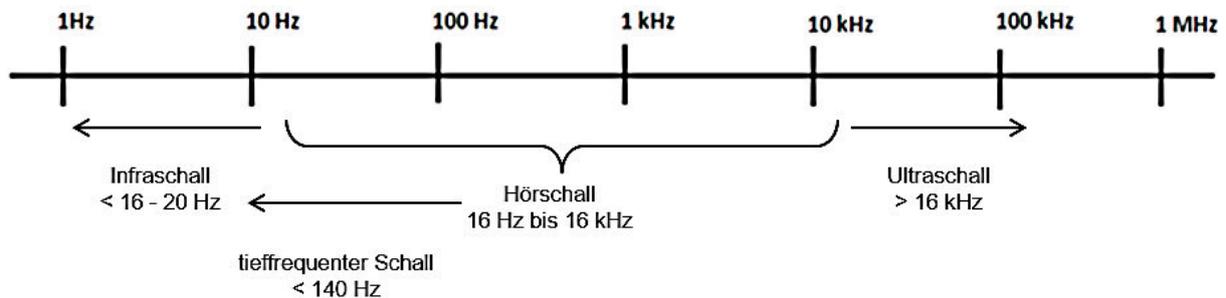


Bild 2.1: Schallbereiche, eigene Darstellung

Allgemein bildet der Schall im Bereich von ca. 16 Hz bis 16 kHz den Hörfrequenzbereich und wird als Hörschall bezeichnet. Als Infraschall gilt der Schall unterhalb der Hörfrequenzen von 16 Hz und als Ultraschall wird der Schall bezeichnet der oberhalb der Hörfrequenzen von 16 kHz liegt (3 S. 40).

2.1 Infraschall und tieffrequenter Schall

Tieffrequenter Schall und Infraschall treten in vielen industriellen und gewerblichen Bereichen, aber auch in der Nachbarschaft in Wohngebieten auf.

Definitionsgemäß liegt der Infraschall zwischen 0,1 Hz und 20 Hz (4). „Darunter werden periodische Druckschwankungen, sofern die menschliche Fühl-Schwelle überschritten wird, nur noch als mechanische Erschütterungen wahrgenommen“ (5 S. 207). Luftschallwellen die Frequenzen unterhalb von 140 Hz erzeugen werden als tieffrequenter Schall bezeichnet (6) und können je nach Schalldruckpegel noch vom menschlichen Gehör wahrgenommen werden.

Tieffrequenter Schall hat im Unterschied zum Hörschall eine wesentlich größere Wellenlänge. Bei einer Lufttemperatur T von 20°C, einer Luftfeuchtigkeit von 70% und einer Schallgeschwindigkeit c mit näherungsweise 344 m/s ergeben sich mit der Formel $\lambda = c / f$

(2.1):

$$\lambda = c / f \quad (2.1)$$

folgende Wellenlängen im tieffrequenten Bereich (Tabelle 2.1):

Tabelle 2.1: Wellenlänge von tieffrequenten Geräuschen bei unterschiedlichen Frequenzen

Frequenz [Hz]	1	5	7	10	20	50	70	100
Wellenlänge [m]	344	69	49	43	17	7	5	3

Tieffrequente Geräusch-Effekte können vor allem bei Gebäuden Fenster, Wände oder Fußböden zum Schwingen anregen, da deren Wellenlänge von der Größenordnung die Ausdehnungen der Wohnstrukturen haben kann. Aus der Tabelle 2.1 kann man entnehmen, dass diese die gleichen Maße wie Wohnräume haben können, aber auch von Häusern und Brücken. Es können somit Resonanz- und Überlagerungseffekte in Wohnräumen auftreten, wenn die Wellenlänge mit der Eigenfrequenz des

Raumes zusammenfällt. Durch die vergleichsweise langsame Schalldruckänderung der tieffrequenten Geräusche sowie der Resonanz- und Überlagerungseffekte treten gerade im Bereich von Begrenzungen wie Wänden erhöhte Schalldruckpegel auf (7).

Aufgrund der geringen Frequenz und damit verbunden der langsamen Druckänderungen, werden tieffrequente Geräusche nicht stark über die Luft gedämpft. Luftabsorption entsteht aufgrund von Reibungs- und Wärmeverlusten bei der Schallausbreitung von hohen Frequenzen und ist von der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur abhängig (8). Das bedeutet je niedriger die Frequenz desto geringer ist die Schallabsorption. Daher können Infraschall Effekte und tieffrequente Geräusche noch in vielen Kilometern entfernt vom Emissionsort auftreten. Das bedeutet, dass nicht immer das Haus mit dem kürzesten Abstand zur WEA auch automatisch den höchsten Geräuschpegel erfährt und umgekehrt. (9 S. 2)

2.2 Entstehung von Infraschall und tieffrequenten Schallimmissionen bei Windenergieanlagen

Schall von Windenergieanlagen kann auf verschiedene Weise emittiert werden, einerseits durch mechanische Teile wie Generator und Rotor andererseits durch aerodynamische Effekte durch die Drehung des Rotors und damit der Rotorblätter. Schallimmissionen die mechanisch bedingt sind, können durch Entkopplung der Bauteile von der Gondel minimiert und durch getriebelose Anlagen stark reduziert werden. Schallimmissionen die durch Interaktionen der bewegten Luftmassen mit dem Rotor auftreten (10 S. 333), lassen sich, wie in der nachfolgenden Tabelle 2.2 zu sehen ist in drei Kategorien unterteilen (11 S. 72):

Tabelle 2.2: Überblick über aerodynamische Geräusch-Mechanismen bei WEA

Bezeichnung	Ort und Mechanismus der Geräusch-Entstehung	Frequenzband
kontinuierliche und nicht kontinuierliche Lastaufnahmen-Geräusche	Drehbewegung und/ oder Hebung der Rotorblätter	Tieffrequentes Band, verursacht durch die aktuelle Rotorblatt-Durchgangsfrequenzen
Anströmungs-Turbulenz Geräusche	Interaktionen der Rotorblätter mit atmosphärischen Turbulenzen	Verursacht Breitbandrauschen, noch nicht vollständig quantifiziert
Tragflächen und Rotorblatt Geräusche	Interaktion der Rotorblattkomponenten mit der Luft Bsp.: Blattspitzengeräusche	Verursacht Breitbandrauschen, als auch Hochfrequenz Geräusche von 750 Hz bis 2 kHz

Aus der Tabelle 2.2 wird ersichtlich, dass tieffrequente Geräusche, einschließlich Infraschall, bei der Interaktion von den Rotorblättern mit dem Turm entstehen. Die generierten Geräusche entstehen explizit wenn die drehenden Rotorblätter auf lokalen Strömungstau (10 S. 333) und Strömungsänderungen vor dem Turm treffen. Diese entstehen aufgrund von

- aerodynamischen Fluideffekten mit dem Turm
- An- und Zuströmungsveränderungen oder auch durch
- abgeworfene Nachlaufströmungen von anderen Rotorblättern (11 S. 73f).

Da diese Geräuschereignisse auf der Interaktion von Blättern mit dem Turm begründet sind und auch aus der Rotorblatt-Hebung entstehen, muss man zwischen Lee- (downwind rotor) und Luvläufern (upwind rotor) unterscheiden. Bei leelaufenden Anlagen dreht sich der Rotor in Windrichtung hinter dem Turm. Bei luvlaufenden Anlagen ist dies genau umgekehrt, der Rotor dreht sich in Windrichtung vor dem Turm (Bild 2.2).

Der Vorteil von leelaufenden Anlagen ist die passive Windrichtungsnachführung, bei der der Wind die Anlage mit Hilfe von z.B. Windfahnen alleine in die richtige Windrichtung dreht. Dies ist heute nur noch

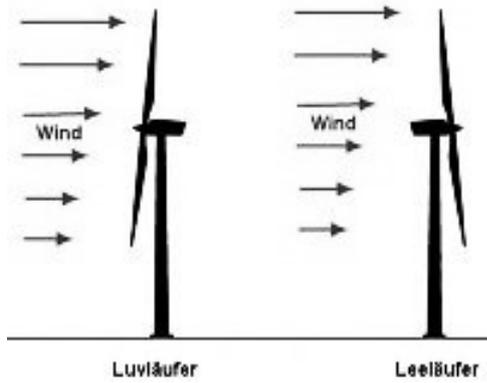


Bild 2.2: Lee- und Luvläufer (12)

bei Kleinst-WEA der Fall welche eine Leistung von lediglich mehr 100 Watt besitzen, da so die Kosten sowie das Gewicht dafür gespart werden können. Denn ein großes Problem bei leelaufenden WEA ist die Rotordrehung im Turmschatten. Die durch den Turm verursachten Verwirbelungen führen zu Leistungsschwankungen und erhöhen die statischen und dynamischen Belastungen des Rotors, der Blätter und des gesamten Getriebes. Darüber hinaus kommt es zu großen Lärmemissionen aufgrund des frequenziellen Ganges der Rotorblätter vorbei am Turm (11 S. 73f). Die nachfolgende Abbildung (Bild 2.3) zeigt ein typisches Schalldruckpegel-Spektrum einer lee- und einer luvlaufenden WEA.

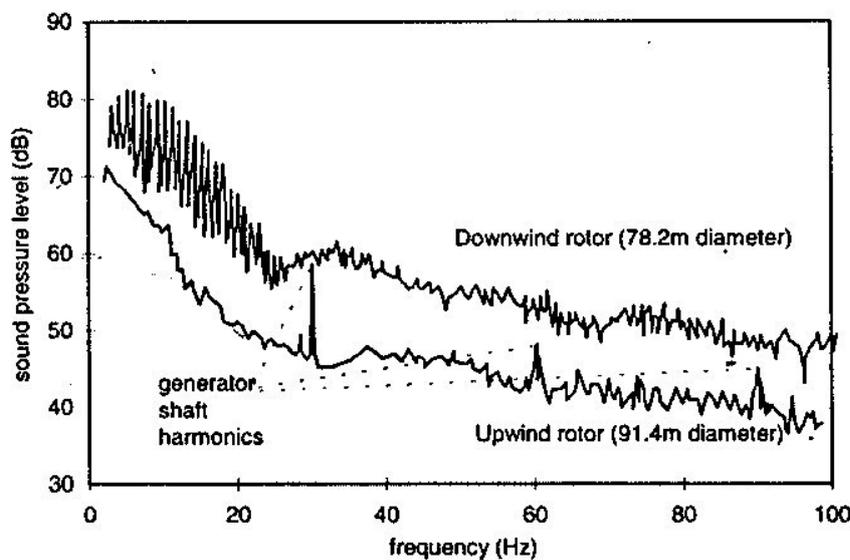


Bild 2.3: Typisches Tieffrequenz-Spektrum einer lee- und luvlaufenden WEA (11 S. 75)

Es ist zu erkennen, dass die Schalldruckpegel bei luvlaufenden Anlagen um einige dB niedriger sind als es bei leelaufenden Anlagen der Fall ist. Mit zunehmendem Rotordiameter werden die Kräfte die aufgrund des Turmschattens auf die Rotorblätter wirken immer problematischer. Daher wurden wie in Tabelle 2.3 (12) zu sehen ist keine Projekte mit größeren Anlagen mehr, mit leelaufenden WEA realisiert.

Tabelle 2.3: Marktverteilung der Lee- und Luvläufer

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Seit 1995
Leeläufer	18 %	8 %	5 %	4 %	2 %	1 %	0 %
Luvläufer	82 %	92 %	95 %	96 %	98 %	99 %	100 %

Da leelaufende Anlagen in Planung von Windparks nicht mehr von Bedeutung sind, wird ab dieser Stelle nur noch auf die Entstehung von Infraschall und tieffrequentem Schall von luvlaufenden Anlagen eingegangen.

Bei luvlaufenden Windrädern kann man ein einfaches Model (Bild 2.4) der Anströmung annehmen. Der Wind strömt von vorn an die Rotorblätter und dann um den Turm herum.

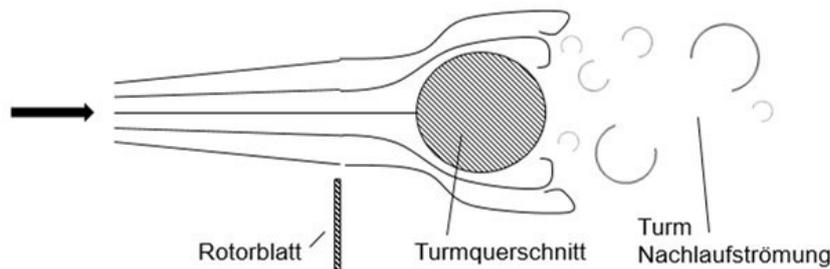


Bild 2.4: Luvläufer Anströmungskonfiguration, modifiziert, entnommen aus (11 S. 74)

Im WEA-Betrieb begegnen die Rotorblätter den oben genannten Fluideffekten, welche durch den Turm verursacht werden. Dieser bedingt nicht gleichmäßige Stromlinien, wie in Bild 2.4 zu sehen ist, sind diese gekrümmt. Sobald eines der Rotorblätter dieses gekrümmte Strömungsfeld passiert, kommt es zu Änderungen des Anströmungswinkels auf das Rotorblatt und somit zu einer Schwankung in der Rotorhebung. Diese verursachten Druckschwanken sorgen für Schallabstrahlung welche zeitlich mit dem gekrümmten Strömungsbereich vor dem Turm assoziiert sind (13 S. 3). Das bedeutet, dass diese Effekte in direktem Zusammenhang mit der Rotorblattanzahl (2 bis 4 Rotorblätter pro WEA, üblicherweise immer 3) und der Rotorblattpassierfrequenz von 18 bis 60 Umdrehungen pro Minute im tieffrequenten Bereich des Geräuschkpektrums einer WEA auftreten. Somit entstehen Infraschall und tieffrequente Schallimmissionen mit sehr hohem Schalldruckpegel im Frequenzbereich von 1 bis 150 Hz bei der Interaktion von Rotorblatt und Turm im Betrieb (11 S. 73ff).

Ein wesentlicher Faktor der tieffrequenten Schallabstrahlung von WEA kann durch den Abstand von Rotorblatt zum Turm minimiert werden. Je größer der Abstand zwischen Rotor und Turm desto geringer sind die Fluideffekte aus der Rotor-Turm-Interaktion (11 S. 76).

Wie in Bild 2.3 zu erkennen ist, liegen die Schalldruckpegel im Infraschall und tieffrequenten Bereich zwischen 55 bis 70 dB. In der nachfolgenden Grafik (Bild 2.5) ist dargestellt, wie hoch der Anteil an tieffrequenten Geräuschen im Wohnraum immer noch sein kann.

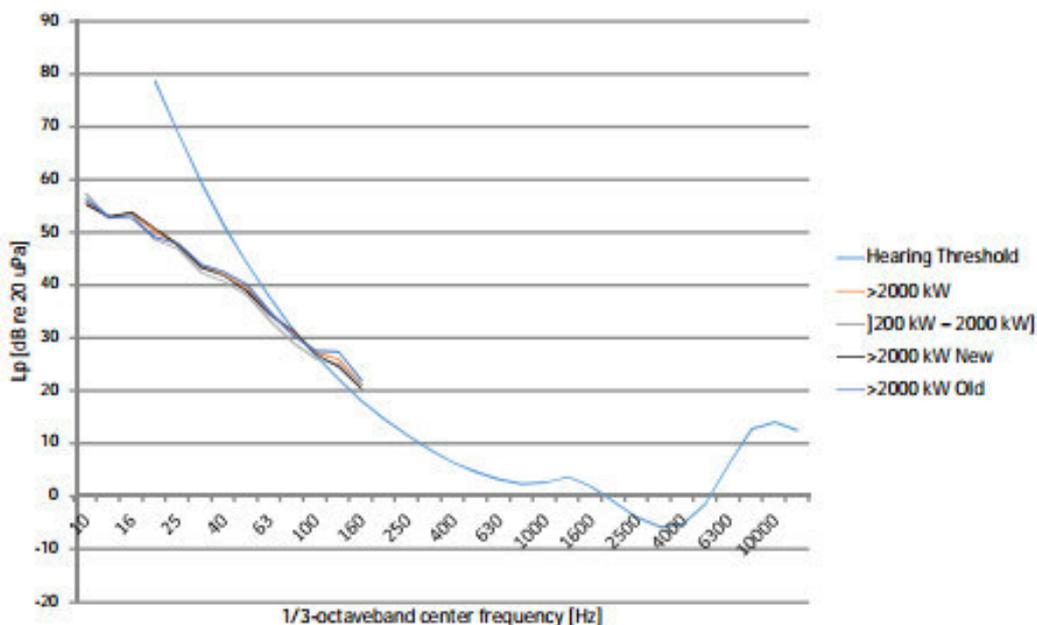


Bild 2.5: Vergleich von WEA Geräuschen im Wohnraum mit genährter Hörschwelle, (9 S. 11)

Der Grafik kann man entnehmen, dass trotz aller Planungsfaktoren und Genehmigungen zu WEA nicht hörbare Geräuscheignisse in Wohnräumen auftreten können, die deutlich unter der Hörschwelle (hellblaue Linie) des Menschen liegen (9 S. 11).

2.3 Bestimmungen zu Infraschall und tieffrequentem Schall

Wie bereits im Kapitel 2.2 genannt, sind die von WEA abgestrahlten Schallemissionen ein wesentlicher Planungsfaktor im Genehmigungsverfahren. Anforderungen des Verfahrens im Bereich der in dieser Arbeit behandelten Thematik werden durch Paragraph 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) spezifiziert. Somit ist die Errichtung und der Betrieb aller Anlagen die umweltschädliche Einwirkungen hervorrufen können genehmigungspflichtig (14 S. § 4). Windenergieanlagen können große Geräuschemissionen in die Umwelt einbringen. Sie sind laut BImSchG so zu „errichten und zu betreiben, dass keine schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden können.“ (2 S. 111) (14 S. §4).

Eine breitere Erläuterung der Anforderungen erfolgt in der „Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm“ (TA Lärm). Diese beinhaltet konkrete Vorgaben für maximale Geräuschpegel in Abhängigkeit von der angrenzenden Gebietsart (z.B. Wohn- und Gewerbegebiete). Diese maximalen Grenzwerte sind für den Erhalt einer Baugenehmigung einzuhalten, obgleich hierbei vorwiegend hörbare Anteile des Schallspektrums Berücksichtigung finden. Ziel der Einhaltung der Grenzwerte ist die Unversehrtheit von Tieren und Menschen, um eine dauerhafte Schädigung auszuschließen (2 S. 111). Darunter fallen alle Anlagen die auf der Einwirkfläche einen Beurteilungspegel verursachen der weniger als 10 dB (nach A-Gewichtung) unter dem für diese Fläche maßgebenden Immissionsrichtwert liegt oder aber auch Geräuschspitzen emittiert, die maßgeblich im Beurteilungsbereich der Immissionsschutzwerte liegen (15 S. Z. 2.2). Diese Immissionsrichtwerte sind unter Ziffer 6 in der TA Lärm genau definiert.

2.3.1 Messung

Messungen werden mit Mikrofonen durchgeführt die eine untere Grenzfrequenz von 3 Hz besitzen, sowie Schallpegelmessern die eine Frequenzbewertung nach A- und C-Gewichtung sowie eine Zeitbewertung nach F und eine Terzanalyse zulassen (6 S. Z. 4.2).

Die Messungen werden dann im am stärksten schutzbedürftigen Raum (z.B. Schlafzimmer) bei geschlossenen Türen und Fenstern ohne weitere Vorkehrungen gemessen (6 S. Z. 4.2).

2.3.2 Bewertung und Beurteilung

Die Bewertung und Beurteilung von Geräuschen, die überwiegende Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz aufweisen erfolgt nach Ziffer 7.3 nach TA Lärm zweistufig und wird im Einzelfall nach den örtlichen Verhältnissen geklärt (15 S. Z. 7.3).

In Stufe eins wird zunächst das sog. 20 dB-Kriterium nach Nummer A.1.5 des Anhangs TA Lärm ermittelt. Sind in schutzbedürftigen Räumen bei geschlossenem Fenster tieffrequente Geräusche deutlich wahrnehmbar, wird die Differenz von LEQ_C und LEQ_A gemessen. Liegt die Differenz nicht über 20 dB, wird dieser Fall nicht weiter untersucht und als nicht schädliche Umwelteinwirkung nicht weiter verfolgt (2 S. 112).

Stufe zwei erfolgt nur wenn das 20 dB-Kriterium überschritten wird. Dann ist laut Nummer A 1.5 des Anhangs die Anwendung der DIN 45680 erforderlich die eine Richtlinie zur Bewertung und Beurteilung tieffrequenter Geräusche darstellt (15 S. Z. 7.3). Diese findet jedoch nur Anwendung, wenn schädliche Umwelteinwirkungen durch Schall mit vorherrschenden Energieanteilen im Bereich unter 90 Hz zu erwarten sind. Auch hier wird auf den Bereich von Frequenzen unterhalb 20 Hz nicht eigens eingegangen. Darüber hinaus ist zu prüfen ob es geeignete Minderungsmaßnahmen gibt. Die

Ausführung dieser Minderungsmaßnahmen soll solange durchgeführt werden bis diese Anlage ohne tieffrequente Schallabstrahlung in Betrieb genommen werden kann (2 S. 111).

2.4 Mögliche Auswirkungen auf Menschen

Das menschliche Hörvermögen ist von Schalldruckpegeln bei verschiedenen Frequenzen abhängig. Wie in Kapitel 2.1.1 erläutert kann der Mensch bestimmte Frequenzen nur bei ausreichendem Schalldruck wahrnehmen. Darüber hinaus verschwimmen im Bereich von Infraschall und tieffrequentem Schall die Grenzen zwischen Hören und Fühlen. Die nachfolgende Tabelle 2.4 (16 S. 42) zeigt einige gemessene Werte der Hörschwelle des Menschen im Infraschall und tieffrequenten Bereich.

Tabelle 2.4: Hörschwelle des Menschen im Infraschall und tieffrequenten Bereich

Frequenz [Hz]	4	8	12,5	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Schallpegel [dB]	107	100	92	88	69	60	51	44	38	32	27	22	18

Zur Visualisierung ergibt sich damit folgendes Bild 2.6 mit der sich eine näherungsweise gleichmäßige Kurve für die Hörschwelle des Menschen in diesem Bereich ergibt.

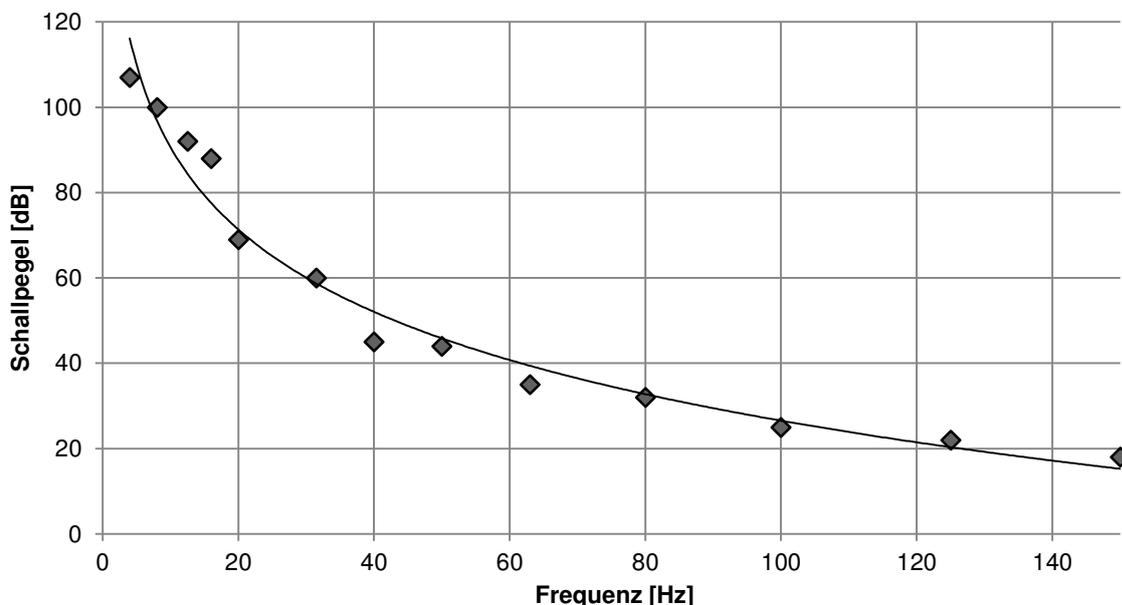


Bild 2.6: Näherung der menschlichen Hörschwelle, eigene Abbildung

Wie man im Bild 2.6 erkennen kann, braucht man hohe Schalldruckpegel im tieffrequenten Bereich um diesen Frequenzbereich als Geräuschereignisse wahrzunehmen. Für ein Infraschall Geräusch bei 20 Hz wäre ein Pegel von annähernd 69 dB (1 μ Pa) notwendig.

Infraschall kann im Allgemeinen nicht vom menschlichen Ohr gehört werden. Dessen ungeachtet klagen viele Menschen über generelle Beschwerden. Denn das Ohr als Organ kann Infraschall erkennen und darauf reagieren (17). Die häufigsten Gesundheitsprobleme die im Zusammenhang mit Infraschall beschrieben werden, sind Konzentrationsbeschwerden, Kopfschmerzen, Übelkeit und allgemeines Unwohlsein, aber auch Schlafstörungen und das sogenannte Brummtton-Phänomen werden mehrfach im Zusammenhang mit tieffrequenten Geräuschen in Verbindung gebracht (2 S. 46).

2.4.1 Mögliche Auswirkungen

Infraschall erzeugt im menschlichen Ohr enorme elektrische Potenziale. Die Amplitude von tieffrequentem Lärm ist etwa viermal so groß wie im hörbaren Frequenzbereich. Dadurch kann das Ohr sehr empfindlich auf Infraschall reagieren und es kann zu den beschriebenen Symptomen kommen (17).

Es wird dargestellt, dass Geräusche im Infraschall-Bereich häufig als Druck auf das Ohr wahrgenommen werden oder es zu einem sogenannten „Ohrenflattern“ kommt. Tieffrequente Geräusche haben dazu noch einen größeren Störeffekt im Bereich der Hörwahrnehmung (oberhalb der Hörschwelle) und wirken daher schon in kürzerer Zeit deutlich lästiger. Darüber hinaus wurden auch einige pathologische Reaktionen vom menschlichen Körper beschrieben. So wurde auch dargestellt, dass Infraschall und tieffrequente Geräusche zu einer Veränderung der Atem- und Herzfrequenz und damit auch zu einer eventuellen Blutdruckänderung führen kann (18 S. 6).

Am empfindlichsten reagiert das Ohr auf Infraschall wenn andere hörbare Töne auf einem niedrigen Schalldruckpegel oder wenn sie gar nicht vorhanden sind. Damit ist zu erklären, dass Schall in Häusern und somit die Übertragung übers Kissen zu diesem Problem beitragen. Wenn man beispielsweise mit einem Ohr auf dem Kissen schläft, werden hörbare Töne vom Kissen absorbiert und somit gedämpft. Dies ist jedoch nicht der Fall bei Infraschall (17).

2.4.2 Brumntonphänomen

Das Brumntonphänomen (19) wird im Allgemeinen als eine glaubhafte Scheinbeschwerde genannt. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, dass die Betroffenen ein im Kopf auftretendes Dröhn-, Schwingungs- und Druckgefühl fühlen (2 S. 44), obwohl keine Schallquelle vorhanden ist. In der Öffentlichkeit und durch die Verbreitung der Medien kam es deswegen zu einem plötzlichen Anwachsen dieser Beschwerden. Auch wurden neue Quellen gesucht, wie Erschütterungen oder elektromagnetische Felder die neben Lärm zu den zuvor beschriebenen Beschwerden und zu anderen gesundheitlichen Auswirkungen führen können. Untersuchungen haben ergeben, dass auch nach einiger Zeit an einem anderen Ort wieder glaubhafte Beschwerden bei den Betroffenen auftraten ohne, dass jedoch eine Schallquelle gefunden werden konnte (18 S. 13).

3. Angewandte Methodik

Im nachfolgenden Kapitel sollen die verwendeten akustischen, technischen und klinischen Materialien und Methoden vorgestellt und erläutert werden.

3.1 Akustische Szenarien

Der Belastungsversuch findet unter vier verschiedenen Schalleinflüssen statt. Die ausgewählten akustischen Szenarien werden nachfolgend erläutert sowie die Eigenschaften und Unterschiede der verschiedenen Geräusche erklärt und visualisiert. Dazu wird die gesamte Methodik der vier verschiedenen akustischen Ereignisse, mit denen die Probanden konfrontiert werden, beschrieben und definiert.

3.1.1 Stille

Stille ist ein Zustand, bei dem jegliche Geräusche abwesend sind und ist damit gleichzusetzen mit der Lautlosigkeit. Die Stille spielt in der Psychoakustik genauso eine wichtige Rolle wie empfundener Lärm. Bei kompletter Stille ohne Schallreflexionen fehlt der menschliche Orientierungssinn und dieser Zustand wird allgemein als unangenehm empfunden. Infraschall und tieffrequente Geräusche führen in Wohnräumen häufig zu gleicher Symptomatik. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, fällt es den Betroffenen schwer tieffrequente Schallquellen zu Orten (7).

3.1.2 Rosa Rauschen

Um zu gewährleisten, dass alle Probanden den gleichen Geräuschszenarien ausgesetzt sind, wird mit Hilfe des Geräuschgenerators REAPER ein definiertes und reproduzierbares Standardgeräusch im Bereich 0 bis 20 Hz sowie von 0 bis 150 Hz erzeugt.

Weißes Rauschen eignet sich besonders gut zur akustischen Untersuchung. Es bildet einen wichtigen Sonderfall des Rauschens, denn die Intensitätsdichte I' ist über alle Frequenzen hin linear (Bild 3.1).

Das weiße Rauschen wird über Terz und Oktavfilter ausgefiltert und abgestrahlt. Das bedeutet, dass die Intensität pro Oktavfilter um 3dB je Oktave und bei Terzfiltern um 1dB pro Terz zunimmt (5 S. 88).

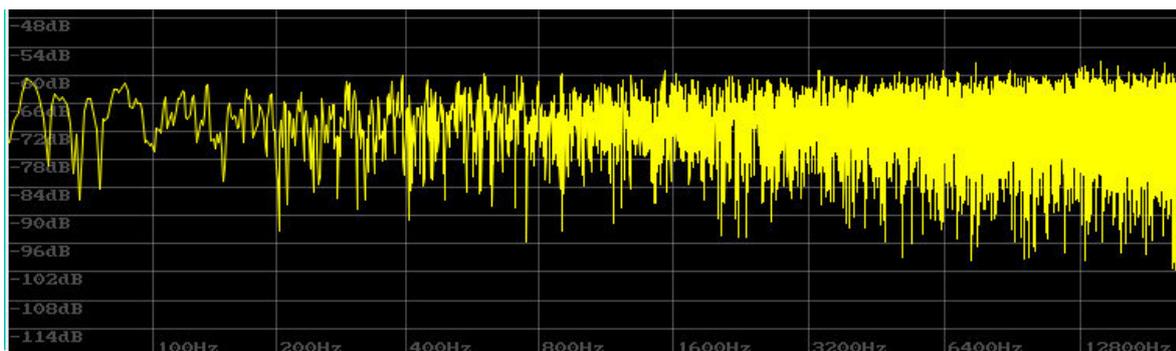


Bild 3.1: Weißes Rauschen, Screenshot REAPER Software

Die Ordinatenachse, die den Schallpegel darstellt, enthält in allen Abbildungen nur negative Werte. Da Schall eine logarithmierte Größe ist, wird der Schalldruckpegel immer auf einen Referenz-Druckpegel bezogen, üblicherweise ist dies 1 μPa . Da dieser Wert in der REAPER Software nicht hinterlegt ist, beziehen sich die angezeigten Schalldruckpegel auf den Maximal-Pegel der enthaltenen Soundkarte der verwendeten Hardware.

Rosa Rauschen (Pink Noise) kann aus weißem Rauschen generiert werden. Dabei sollen die Terzbänder mit gleichen Pegeln abgestrahlt werden. Außerdem muss eine Pegeldämpfung von 3 dB pro Oktave zugeschaltet werden (Bild 3.2). Das heißt, beim rosa Rauschen nimmt die Intensitätsdichte linear ab,

wobei die Intensität pro Frequenz gleich ist (5 S. 88f). Dadurch, dass in jedem Frequenzband die gleiche Intensität herrscht, wird garantiert, dass alle Probanden dem gleichen Dauerschallpegel bei gleichen Einstellungen ausgesetzt sind. Die Messungen der Dauerschallpegel wird im nachfolgenden Kapitel 4 genauer erläutert.

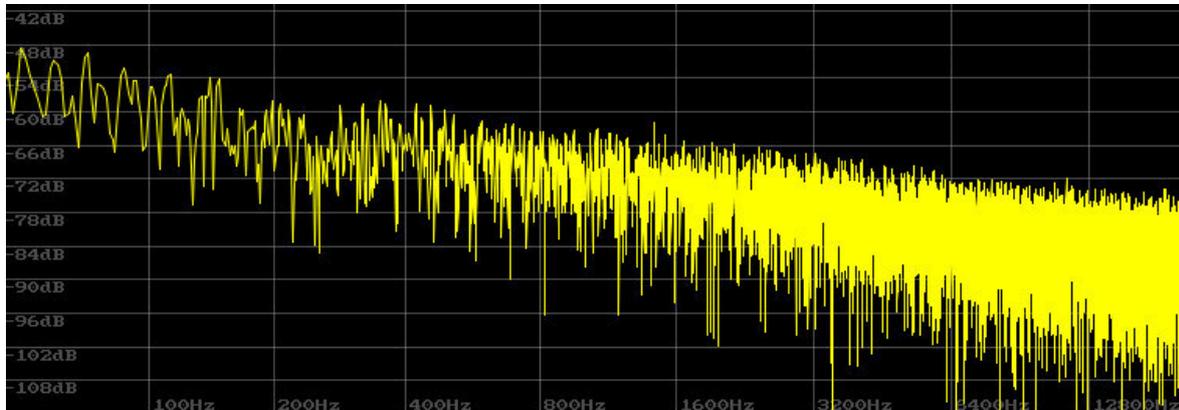


Bild 3.2: Rosa Rauschen, Screenshot REAPER Software

3.1.2.1 Rosa Rauschen im Bereich 0 – 20 Hz



Mit Hilfe der REAPER Software wird das rosa Rauschen aus der REAPER Datenbank mit einem Tiefpass-Filter mit einer Dämpfung von 72dB pro Oktave verschalten. Somit werden nur die Frequenzen von 0 bis 20 Hz vom Filter abgestrahlt. Alle anderen Frequenzen lässt der Filter nicht passieren (Bild 3.3). Mit Hilfe des Filters stellt das 0 bis 20 Hz Rauschen das Infraschall Szenario für die Probanden da (20).

Bild 3.3 Rosa Rauschen im Frequenz Bereich von 0 - 20 Hz, Screenshot REAPER Software

3.1.2.2 Rosa Rauschen im Bereich 0 – 150 Hz



Das Rosa Rauschen wird noch ein weiteres Mal mit einem Tiefpass-Filter mit einer Dämpfung von 72 dB pro Oktave verschalten. Somit werden nur die Frequenzen von 0 bis 150 Hz vom Filter abgestrahlt. Alle anderen Frequenzen werden nicht abgestrahlt (Bild 3.4). Das 0 bis 150 Hz Rauschen stellt damit das tieffrequente akustische Szenario für die Probanden da (21).

Bild 3.4: Rosa Rauschen im Frequenz Bereich von 0 - 150 Hz, Screenshot REAPER Software

3.1.3 Aufnahme einer Windenergieanlage ohne tieffrequente Anteile 150 Hz – 20000 Hz

Um auch die Auswirkungen von periodischen Signalen von WEA mit in die Untersuchung einzubeziehen, werden die Probanden darüber hinaus mit einem typischen WEA-Geräusch beschallt. Das verwendete WEA-Geräusch stammt aus der Datenbank des HAW Akustiklabors. Das WEA-Geräusch wurde in einer Entfernung gleich Narbenhöhe gemessen und aufgezeichnet. Um einen möglichst großen Effekt zwischen Infraschall und tieffrequentem Schall zu erlangen wird das WEA-Rauschen mit Hilfe eines Hochpass-Filters der REAPER Software so vorbereitet, dass alle tieffrequenten Anteile unter 150 Hz herausgefiltert und nicht abgestrahlt werden (Bild 3.5) (22).

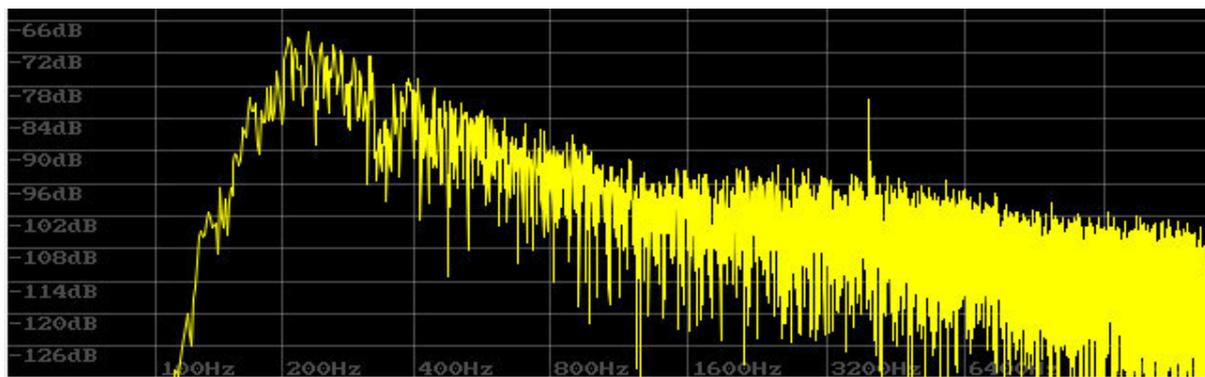


Bild 3.5: Windturbinen Geräusch >150 Hz, Screenshot REAPER Software

3.2 Klinische Methoden

Zur Datenerhebung werden nun die verwendeten psychischen und physischen Methoden vorgestellt. Um die Belastung der einzelnen Geräusch-Szenarien auswertbar zu machen, werden die Probanden vor, während und nach der Beschallung mit verschiedenen Tests eingeschätzt. Diese bestehen grob aus einer Befindlichkeitserhebung, sowie einem Konzentrations- und Aufmerksamkeitstest, einem Hörtest und einem „Lügendetektortest“, bei dem die Atem- und Herzfrequenz sowie der Hautwiderstand (EDA) gemessen werden.

3.2.1 Psychische Tests

Um Aussagen darüber machen zu können wie störend die oben geschilderten akustischen Szenarien sind, werden die Befindlichkeit sowie das Konzentrationsvermögen der Probanden während des Versuchs festgehalten. Die folgenden Tests sind normiert und langjährig erprobt. Dadurch wird gewährleistet, dass eine subjektive Wahrnehmung so ausgewertet wird, dass eine objektive Aussage zu treffen ist und die Daten vergleichbar sind.

3.2.1.1 Befindlichkeits-Skala

Befindlichkeit ist ein subjektiv wahrgenommener Zustand, den jeder Mensch anders erfährt. Die Erfassung der momentanen Befindlichkeit während des Versuchs lässt Rückschlüsse auf die subjektive Bewertung des Geräusch-Szenarios zu (20 S. 7).

Dazu wird die Befindlichkeits-Skala (Bf-SR, Bf-SR') als auszuwertender Maßstab herangezogen. Die Fragebögen Bf-SR und Bf-SR' (siehe Anhang A) werden parallel angewendet. Der Proband entscheidet sich je nach momentanen Empfinden für den Bf-SR oder den Bf-SR' Testbogen. Diese Testbögen umfassen 1 bis 24 Testitems die als Eigenschaftswörter formuliert sind. Der Proband muss sich beim Ausfüllen für eines der Eigenschaftswörter, welches seinem Befinden in diesem Fall mehr entspricht, entscheiden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit „weder noch“ anzukreuzen, wenn der Proband sich für keines der dargestellten Eigenschaftsitems entscheiden kann (20 S. 10ff).

Mit den Schablonen (siehe Anhang A) werden alle positiven Eigenschaftswörter ausgeblendet und die Anzahl der Kreuze bei den negativen Eigenschaftswörtern als Summe zusammen gezählt und mit dem Faktor zwei multipliziert. Somit erhält man einen Rohwert mit dem man in den Normtabellen für Die Bf-SR und die Bf-SR' den „T-Wert“ ablesen kann (siehe Anhang A).

Der „T-Wert“ gibt Auskunft über den Schweregrad der momentanen Beeinträchtigung des Wohlbefindens und lässt sich wie folgt anwenden:

- T-Wert > 60 leicht erhöht
- T-Wert > 63 deutlich erhöht
- T-Wert > 70 stark erhöht (20 S. 13f)

3.2.1.2 Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest

Bei dem Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest (d2-R) handelt es sich um einen Durchstreichtest (Bild 3.6) bei dem auf einem Testbogen (siehe Anhang B) die Probanden die Buchstaben „d“ und „p“ vorfinden, die durch Striche darüber und darunter ergänzt sind. Der Test umfasst 14 Zeilen mit jeweils unterschiedlichen Strichkombinationen.

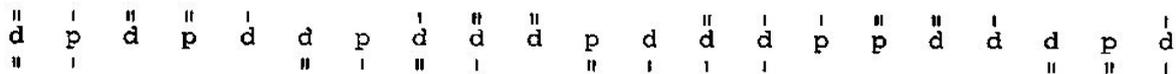


Bild 3.6: Beispiel Testzeile, (20)

Die Bearbeitung des Bogens erfolgt nach Zeit. Jeweils 20 Sekunden pro Zeile hat der Proband Zeit, die „d“s die mit zwei Strichen versehen sind, anzustreichen. Nach Ablauf der Zeit muss die nächste Zeile bearbeitet werden, der Test dauert als genau 4:40 Minuten (21 S. 30f).

Die Auswertung erfolgt qualitativ und quantitativ mit einem Auswertbogen (siehe auch Anhang B). Dabei werden die erste und die letzte Zeile nicht zur Auswertung heran gezogen. Alle anderen Zeilen werden jeweils zu Dritt in einem Block zusammengefasst und für jeden Block die bearbeiteten Zielobjekte (BZO) zusammen gezählt. Dann werden die Auslassungsfehler (AF) sowie die Verwechslungsfehler (VF) zusammen für jeden Block abgezählt und anschließend dann der Konzentrationsleistungswert (KL) nach folgender Formel $KL = BZO - AF - VF$

(3.1) ermittelt.

$$KL = BZO - AF - VF \quad (3.1)$$

Abschließend wird noch die Sorgfalt (F%) der Testbearbeitung herangezogen und wie folgt $F\% = ((AF + VF) / BZO) \cdot 100$ (3.2) ermittelt (21 S. 31ff):

$$F\% = ((AF + VF) / BZO) \cdot 100 \quad (3.2)$$

Aus diesen Werten können nun für den BZO, KL und den F% die Standartwerte (SW) aus den Normtabellen (siehe Anhang B) transformiert werden. Diese Normtabelle decken verschiedene Altersgruppen ab, da für Kinder und Jugendliche beispielsweise andere Werte gelten als für Erwachsene. Die SW geben Auskunft darüber, wie die Konzentrationsleistung im Vergleich zu einer Person aus der gleichen Altersgruppe zu bewerten ist.

Die nachfolgende Tabelle 3.1 (21 S. 34ff) enthält die SW zu den Grenzen der KL als Empfehlung zur Verbalisierung der Testergebnisse.

Tabelle 3.1: Empfehlung zur Verbalisierung von Testergebnissen

Bereich bezeichnung für KL	Grenze	SW
Sehr hoch	<i>Untere</i>	116
Hoch	<i>Obere</i> <i>Untere</i>	115 106
Durchschnittlich	<i>Obere</i> <i>Untere</i>	105 95
Niedrig	<i>Obere</i> <i>Untere</i>	94 85
Sehr niedrig	<i>obere</i>	84

3.2.1.3 Allgemeine Depressionsskala (ADS)

Um eine dritte Methode zur Evaluierung der untersuchten Geräusch-Szenarien und dessen Effekt noch besser zu klassifizieren, sollte noch die allgemeine Depressionsskala (ADS) verwendet werden. Dementgegen ist der Einsatz dieser Methode nicht dazu geeignet, Aussagen über eine momentane Belastung zu treffen. Dieses Testverfahren dient lediglich „als erste klärende Auswahlstufe für weitere Untersuchungen um depressive Auffälligkeiten [...] oder gar eine depressive Störung zu identifizieren“ und kommt daher nicht in Frage (22).

3.2.2 Physische Tests

Die physischen Tests dienen als ein weiteres Instrument um mögliche Auswirkungen von den verschiedenen Geräusch-Szenarien im Belastungsversuch unter Schallbelastung noch durch eine physische Methode erfassbar und auswertbar zu machen.

3.2.2.1 Hörtest

Da ein Geräuschereignis immer abhängig von der individuellen Hörschwelle ist, haben alle Probanden einen Hörtest zu absolvieren um eine spätere Auswertung auch in Bezug auf Hörbarkeit der Geräusch-Szenarien zu gewährleisten. Ein Hörtest muss einfach durchzuführen sein und schnell objektive Zahlenwerte ausgeben (23).

Die Probanden werden in einer Audiometrie Kabine mit einem dafür geeigneten Kopfhörer (silent supermax noise reducing headphones von Oscilla®) und einem Taster ausgestattet. Über die Oscilla® Software USB-300B wird ein einfacher Hörtest gemacht. Dazu werden die Frequenzen von 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz sowie 1 kHz mit linear steigenden Pegeln jeweils fürs rechte und für das linke Ohr erzeugt. Der Startpegel liegt bei jeder Frequenz bei 0 dB. Die Tonlänge beträgt jeweils 1 s, mit einer Antwortzeit von ebenfalls 1 s. Gibt der Proband keine Antwort wird der Pegel um 5 dB erhöht, dies geschieht bis zu einem maximalen Pegel von 30 dB. Im Anhang C findet sich eine Beschreibung sowie ein Bild der verwendeten Audiometrie-Kabine (24).

Das Messverfahren sowie die Startpegel von 0 dB mit Referenz Nulldruck ist durch das Messverfahren der Hughson-Westlake Prozedur festgelegt und von der WHO definiert worden (23).

Der Befund wird direkt in einem Audiogramm (Bild 3.7) ausgegeben und gespeichert. In diesem werden die vom Probanden individuellen Hörschwellen eingetragen und aufgezeichnet. Eine Abfrage des Alters vorab, beim Anlegen des Probanden in der Datenbank erzeugt automatisch eine allgemeine untere Hörschwelle entsprechend der Altersgruppe, in Bild 3.7 ist diese für ein Alter von 19 bis 25 Jahre dargestellt. Diese Grenze verschiebt sich in Abhängigkeit vom Alter nach oben oder weiter nach unten.

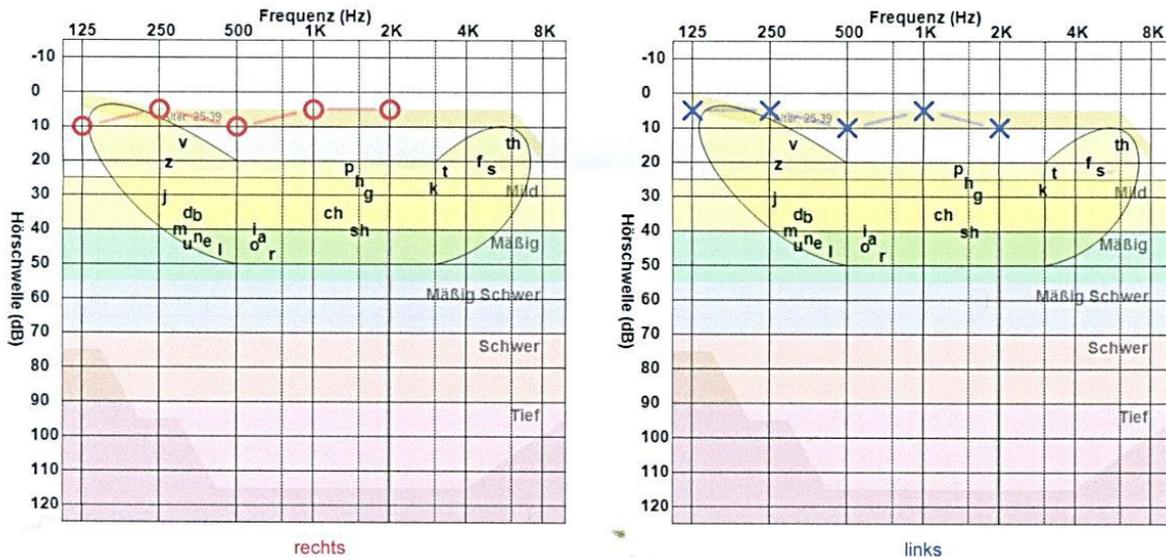


Bild 3.7: Beispiel Audiogramm von 125 Hz bis 1 kHz, Oscilla® Software USB-300B

3.2.2.2 Messung BioPac: Atemfrequenz Herzfrequenz und des Hautwiderstandes

Mit dem BioPac Student Laboratory werden einzelne Körperfunktionen der Probanden während der Belastung aufgezeichnet. Das BioPac hat dazu 3 Eingänge die mit den Messsensoren für die Atemfrequenz, die Herzfrequenz sowie des Hautwiderstands verbunden werden (Bild 3.8).

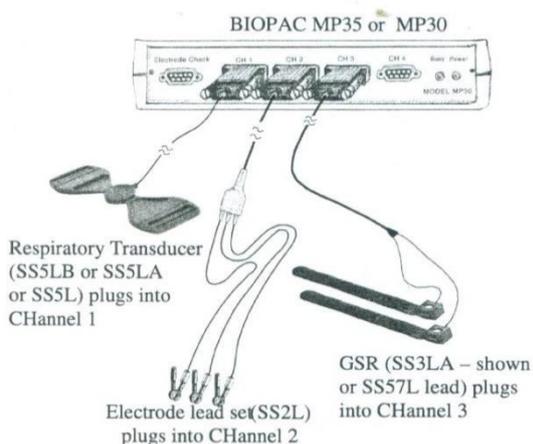


Bild 3.8: BioPac MP30 und Sensoren, (25)

Spannungspotenzial zu ermitteln ist. Dies sollte dafür sorgen, dass der Sensor nicht allzu große Messfehler aufgrund der Bewegungen der Probanden während des Versuchs aufzeichnet.

Der Sensor für die Atemfrequenz wird um die Brust, unter den Achseln und über den Nippeln, platziert. Und dann beim Punkt der maximalen Ausatmung fest gezogen. Der Hautwiderstandssensor wird mit Elektrodengel gefüllt und an die aufgewärmten Fingerspitzen von Mittel und Zeigefinger befestigt. Dabei ist es egal welche Hand verwendet wird. Um die Herzfrequenz zu erfassen werden zwei Elektroden, eine auf den rechten inneren Oberarm- und eine auf die linke Beininnenseite geklebt und danach mit den Elektrodenkabeln verbunden. Da die Probanden während des Versuchs jedoch mit den Händen arbeiten mussten, wurden die Elektroden auf die linke obere Brustseite sowie auf den rechten unteren Bauch geklebt, da ein

Das BioPac wird mit dem PC verbunden und vor Beginn der Messung kalibriert, wenn der Proband entspannt und normal sitzt sowie ruhig atmet. Dies dient zur Feststellung der Messsensoren-Parameter für Versatz und Skalierung. Die Auswertung erfolgt als einfacher Pegelschrieb über die gemessene Zeit (Bild 3.9). Zwischen jedem Geräusch-Szenario, sowie in den Pausen, werden die Messungen des „Lügendetektortest“ ausgesetzt. Dessen ungeachtet erfolgte die Pausierung erst nachdem der dritte Proband an der Belastungsstudie teilgenommen hatte.

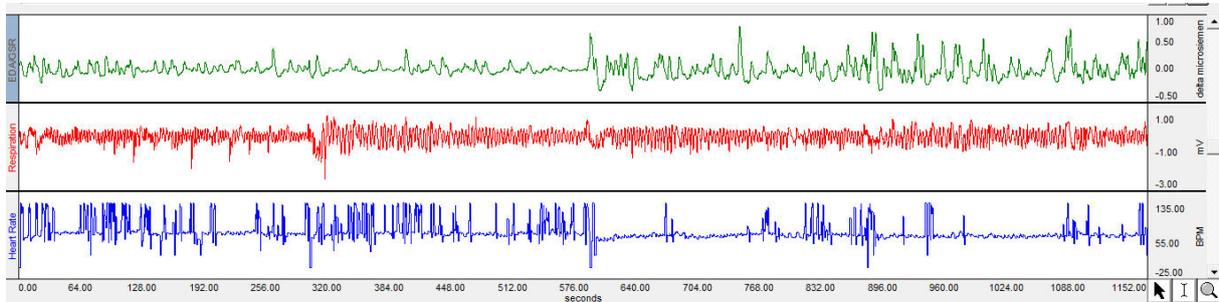


Bild 3.9: Beispiel eines Pegelschriebs, Screenshot BioPac Software

Der grüne Pegelschrieb ist der Hautwiderstand (EDA), der rote Pegelschrieb stellt die Atemfrequenz und der blaue die Herzfrequenz dar. Bei allen drei Pegeln gilt, je höher der Ausschlag desto größer der Erregungszustand auf den Reiz. Die enormen Ausreißer bei der blauen Linie nach oben stellen Messfehler da, die aufgrund von Bewegungen während des Versuchs entstanden sind.

4. Belastungsstudie unter Schalleinfluss

Um zu evaluieren welche Effekte Infraschall und tieffrequente Geräusche auf den Menschen haben können, gibt es verschieden Ansätze. Im nachfolgend erläuterten Belastungsversuch unter Schalleinfluss, wurde eine ausgewählte Stichprobe von Probanden untersucht. Diese wurden in der Audiometrie-Kabine (siehe Anhang C) mit einem geeigneten Kopfhörer von Sennheiser HD25-1-II 70 Ohm (26) ausgestattet und mit der zuvor erläuterten Methodik vertraut gemacht.

4.1 Versuchsablauf

Die Reihenfolge und Kombination der einzelnen Methoden ist wichtig für die Bewertung der Messergebnisse, um eine Aussage über die erhobenen Daten zu treffen. Der Versuchsablauf war wie folgt strukturiert (Bild 4.1) und war für alle Probanden identisch.

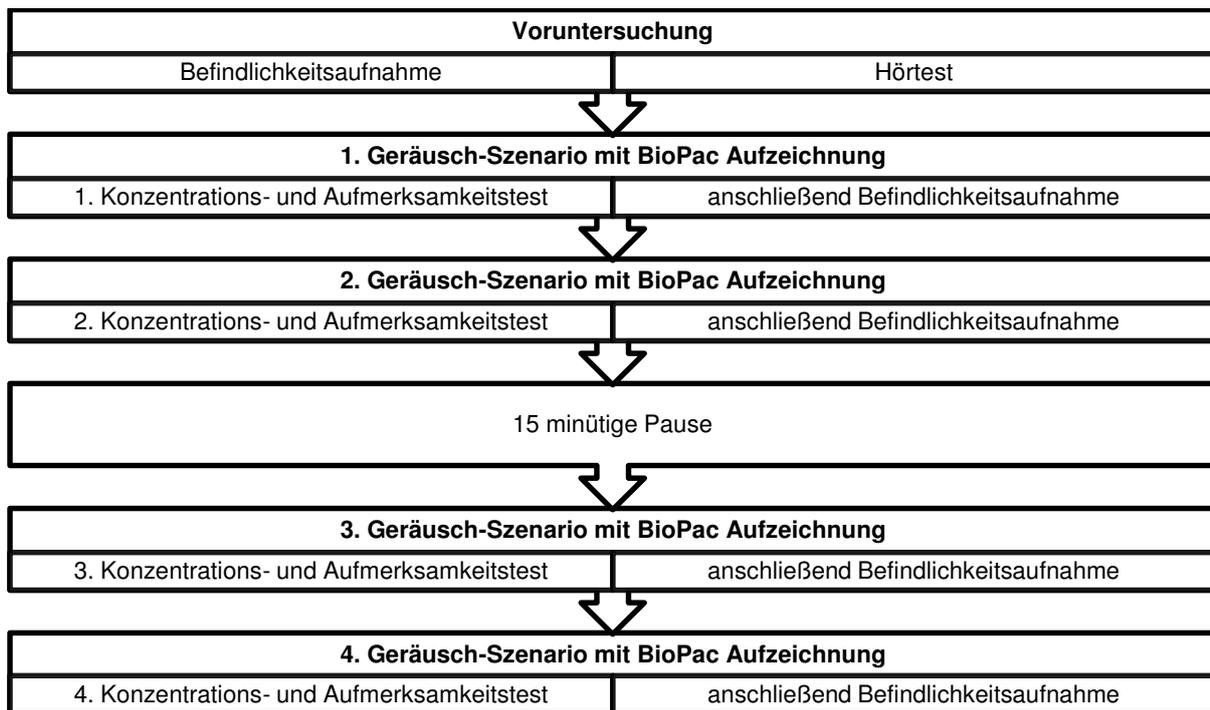


Bild 4.1: Versuchsablauf, eigene Abbildung

Die Probanden wurden nacheinander mit den vier akustischen Szenarien konfrontiert, die in Kapitel 3.1 vorgestellt wurden. Nach der ersten Hälfte des Versuchs (nach dem 2. Geräusch-Szenario) wurde eine 15 minütige Pause eingelegt, um möglichen Ermüdungs- und Gewöhnungseffekten des Gehörs als auch der Konzentrationsleistung entgegen zu wirken.

Der Versuchsablauf unterschied sich lediglich in der Anordnung der verschiedenen akustischen Szenarien die in den verschiedenen Geräusch-Szenarien aufeinander folgten. Dabei trat kein akustisches Szenario doppelt auf. Bei vier verschiedenen Geräusch-Szenarien sowie vier Belastungsversuchen ergeben sich 24 verschiedene sowie unterschiedliche Reihenfolgen zur Anordnung der Geräusche. Zur Kontrolle der erhobenen Daten und um eventuell auftretende Sequenzeffekte durch Gewöhnungen an die akustischen Szenarien methodisch auszublenden, müssten alle 24 Setups mit ihren Geräusch-Anordnungen gleichmäßig mit einander abgewechselt werden.

Da es sich bei dieser Studie jedoch um eine sehr kleine Stichprobengröße handelt, wurden nur vier verschiedene Setups (Tabelle 4.1) verfolgt um eine ausreichende Repräsentanz der ermittelten Messwerte zu gewährleisten und gleichzeitig eine möglichst abwechslungsreiche Reizdarbietung zu erhalten.

Tabelle 4.1: Geräusch-Szenarien der 4 verschiedenen Setups

	1. Geräusch-Szenario	2. Geräusch-Szenario	3. Geräusch-Szenario	4. Geräusch-Szenario
Setup I	Stille	0 – 20 Hz	0 – 150 Hz	WEA > 150 Hz
Setup II	0 – 20 Hz	WEA > 150 Hz	Stille	0 – 150 Hz
Setup III	0 – 150 Hz	WEA > 150 Hz	0 – 20 Hz	Stille
Setup IV	WEA > 150 Hz	Stille	0 – 150 Hz	0 – 20 Hz

Wie in Tabelle 4.1 ersichtlich, wurde die Reihenfolge der akustischen Szenarien so gewählt, dass das Infraschall Szenario des „Rosa Rauschen im Bereich von 0 – 20 Hz“ niemals im Anschluss auf das gleiche akustische Szenario folgt. In der Anordnung der Geräusch-Szenarien wurde versucht eine möglichst große Varianz im Hinblick auf das Infraschall Szenario zu erzielen.

Um sicherzustellen, dass alle Probanden trotz verschiedener Setups immer mit den identischen Versuchsbedingungen konfrontiert sind, wurden die nachfolgenden Kriterien festgelegt und verfolgt.

Die Probanden mussten allen Geräusch-Szenarien in einem völlig stillen Raum begegnen um zu gewährleisten, dass während des Belastungsversuchs das Ergebnis des Konzentrationsversuches nicht durch externe Geräuschquellen verfälscht wird. Ein völlig stiller Raum wird mit Hilfe der Audiometrie Kabine erzeugt in der auch die Voruntersuchung, der Hörtest stattgefunden hat. Stille stellt im Allgemeinen ein gleich wichtiges Szenario bei der Evaluierung der Infraschall und tieffrequenten Geräusche da wie diese selbst (siehe Kapitel 3.1.1).

Da Stille in der Kabine bereits durch die Dämpfungseigenschaften der Wände erzeugt wird, musste garantiert werden, dass die anderen akustischen Szenarien in vollem Umfang ihrer Frequenzbänder abgestrahlt werden konnten. Das bedeutet, dass ein geeigneter Kopfhörer gefunden werden musste. Der Kopfhörer *Sennheiser HD25* zeichnete sich im Gegensatz zu allen anderen getesteten Kopfhörern dadurch aus, dass dieser auch im tieffrequenten Bereich den maximalen Schalldruckpegel der vorher definierten akustischen Szenarien lieferte. Die Daten zur Vermessung der Kopfhörer sind im Laborprotokoll von Herrn Professor Ueberle verfügbar (26). Dieser Kopfhörer konnte somit die erzeugten und bearbeiteten Geräusche der REAPER Software wiedergeben.

Um eine große Vergleichbarkeit als auch Effektstärke der ermittelten Daten zu den verwendeten akustischen Szenarien zu erzielen, wurden alle Geräusche mit einem näherungsweise einheitlichen äquivalenten Dauerschallpegel (LEQ) von 69 dB abgestrahlt. Dieser Wert wurde gewählt, da bei einer Frequenz von 20 Hz ein Dauerschallpegel (1 µPa) notwendig ist, damit dieses Geräuschereignis ggfs. akustisch (bei einer sehr guten Hörschwelle) oder andernfalls haptisch über die Druckänderung am Trommelfell wahrnehmbar wird.

Die Dauerschallpegel der einzelnen Geräusch-Szenarien wurden alle über den gleichen Kopfhörer Sennheiser HD25 sowie über den gleichen Handyrecorder (Zoom H4N Handy Recorder) während des Versuchs in der Audiometrie Kabine abgestrahlt. Vorab wurden jedoch mit Hilfe der Kunstkopftechnik und einem Schallpegelmessgerät (Acoustilyzer AL1) alle Einstellungen des Versuchs vorab erhoben.

Der Kunstkopf wurde mit den jeweiligen akustischen Szenarien über den Kopfhörer Sennheiser HD25 beschallt (Bild 4.2) und die Lautstärke am Handyrecorder solange variiert bis für jedes Geräusch-Szenario ein annähernd konstanter LEQ von 69 dB herrschte und dokumentiert werden konnte. Die Kontrolle des LEQ der einzelnen akustischen Szenarien erfolgte als einfache Messung des Dauerschallpegels über den Zeitraum von einer Minute. Abschließend wurde noch der frequenz aufgelöste LEQ mit Hilfe der schnellen Fourier-Transformation (FFT) vermessen und aufgenommen (27). Die Messung wurde für jedes Geräusch zwei Mal durchgeführt. Zum einen als LEQ mit ungefiltertem Schalldruckpegel und ein zweites Mal als A-bewerteter LEQ mit einem Filter zur A-Gewichtung. Die Ergebnisse der Aufnahmen der Kontrollmessung lassen sich für die einzelnen akustischen Szenarien in den folgenden Anhängen:

- Rosa Rauschen im Bereich 0 – 20 Hz siehe Anhang D,
- Rosa Rauschen im Bereich 0 – 150 Hz siehe Anhang E und
- Aufnahme einer Windenergieanlage ohne tieffrequente Anteile 150 Hz – 20000 Hz siehe Anhang F

nachschlagen.



Bild 4.2: Methodik zur Prüfung und Dokumentation der Schalldruckpegel der akustischen Szenarien mit dem Kunstkopf, eigene Aufnahme

Um den Kunstkopf zu kalibrieren gab es ein eigenes internes Prüfgeräusch von 94 dB welches zur Kontrolle auf dem Schallpegelmessgerät zu messen war. Dies garantierte, dass der Schallpegelmessgerät auch exakt die Schallpegel ausgab, die der Kunstkopf hörte. Somit konnte garantiert werden, dass alle Probanden jedes Geräusch-Szenario mit einem LEQ von näherungsweise 69 dB erfahren haben.

Die physische Aktivität wurde über das in Kapitel 3.2.2.2 erläuterte BioPac während Belastung aufgezeichnet (siehe Datenaufzeichnung BioPac Daten).

4.2 Verteilung der Versuchspersonen

Da es sich bei dieser Studie vom Umfang her nur um eine sehr kleine Stichprobe handelt, wurden die Probanden so verteilt, dass jedes Setup die gleiche Anzahl an Testperson erhielt. Des Weiteren wurden diese so gestreut, dass in allen Setups der gleiche Anteil an männlichen und weiblichen Probanden vorhanden war, um eventuell eine spätere Bewertung nach weiteren Gesichtspunkten zu ermöglichen. Dies ergab für die vier Setups sechs Probanden mit jeweils vier Männern und zwei Frauen pro Gruppe (siehe Anhang G).

Der Altersdurchschnitt der Probanden lag bei 31 Jahren und war wie folgt verteilt (Bild 4.3):

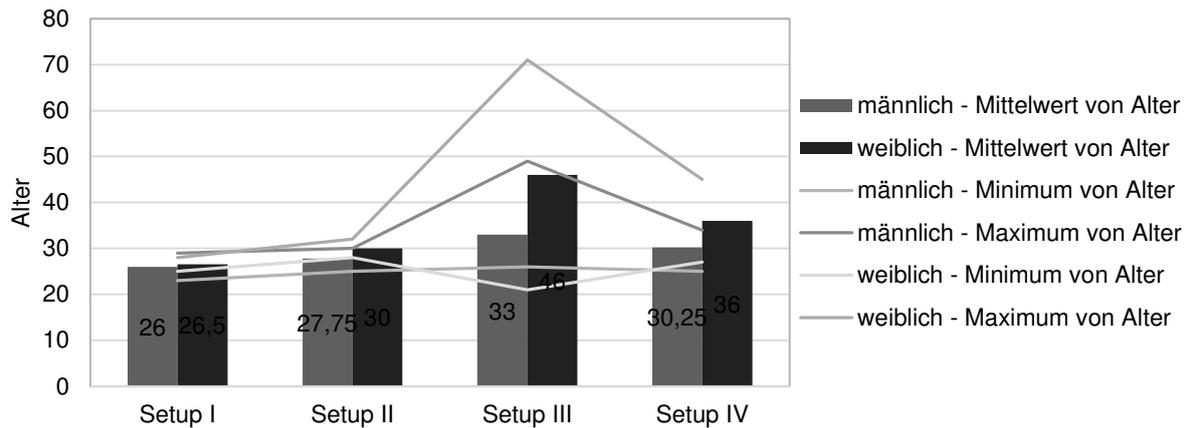


Bild 4.3: Verteilung der Probanden nach Setup und Alter, eigene Abbildung

5. Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel wird die Auswertung der Daten und deren Ergebnisse dargestellt. Dazu sollen der Hörtest und die erhobenen Daten der unterschiedlichen akustischen Szenarien sowie der Setups während des Belastungsversuchs auf die Probanden ausgewertet werden.

Zur Auswertung werden die Mittelwerte (MW) der SW vom Bf-SR, d2-R sowie die Werte der EDA BioPac Daten verglichen und anschließend eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Hilfe von IBM SPSS Statistics durchgeführt (28).

Die ANOVA ist ein Hypothesentest. Es wird die Nullhypothese (H_0) darauf geprüft ob alle MW einer Stichprobe annähernd gleich sind. Dazu vergleicht die ANOVA die MW anhand der Stichprobendaten und macht eine unabhängige Schätzung der Varianzen innerhalb der Gruppen und zwischen den Gruppen möglich. Es wird zum einen die Varianz innerhalb der Gruppen geschätzt und zum anderen die Varianz zwischen den Gruppen. Somit kann ermittelt werden, ob sich die Mittelwerte der Gruppen signifikant unterscheiden. Ist dies nicht der Fall, sind die geschätzten Varianzen innerhalb der Gruppen und zwischen den Gruppen ähnlich. Je größer die Varianz zwischen den Gruppen im Vergleich zur Varianz innerhalb der Gruppen ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass die Mittelwerte nicht übereinstimmen (29).

Dazu werden die individuellen Abweichungen der Messergebnisse von den MW innerhalb der Gruppe und zwischen den Gruppen quadriert und die Summe (Quadratsumme) gebildet. Der Quotient aus den gemittelten individuellen Abweichungen der Messergebnisse (Mittel der Quadrate) gibt den F-Wert wieder. Sind die geschätzten Varianzen zwischen den Gruppen und die innerhalb der Gruppen ungefähr gleich ist der F-Wert ungefähr gleich 1,0. Somit ist die H_0 wahr. Je größer die Differenz von F und 1,0 ist desto sicherer ist, dass die MW der Gruppen sich signifikant unterscheiden. Ist F sehr viel kleiner als 1,0 wird H_0 beibehalten (29).

Für F-Werte größer 1,0 macht es Sinn mit sogenannten Post-hoc-Tests (Einzelvergleiche) herauszufinden welche der MW sich signifikant unterscheiden (29).

5.1 Hörtest

In der nachfolgenden Tabelle 5.1 sind die Ergebnisse aus der Voruntersuchung dargestellt. Die Probanden wurden nach Altersgruppen für die jeweiligen Hörschwellen, sowie nach linkem und rechtem Ohr sortiert und nach Frequenzen gemittelt (siehe Anhang H). Dazu wurden die MW und Standardabweichungen (STABW) dieser Hörschwellengruppen berechnet, sowie die minimale (Min) und maximale (Max) Hörschwelle der jeweiligen Altersgruppen nach WHO mit dargestellt um eine leichtere Einschätzung vornehmen zu können:

Tabelle 5.1: Auswertung Hörtest nach den Altersgruppen je Hörschwelle

Hörschwellen nach Altersgruppen in Jahren	Frequenz	Min	Max	Mittlere linke Hörschwelle		Mittlere rechte Hörschwelle	
				MW	STABW	MW	STABW
0 - 24	125	0	0	6,7	2,9	8,3	2,9
0 - 24	250	0	5	3,3	2,9	1,7	2,9
0 - 24	500	0	5	8,3	2,9	6,7	2,9
0 - 24	750	0	5	8,3	5,8	10,0	0,0
0 - 24	1000	0	5	8,3	2,9	6,7	2,9

Hörschwellen nach Altersgruppen in Jahren	Frequenz	Min	Max	MW	STABW	MW	STABW
25 - 39	125	0	5	7,2	6,5	10,8	5,8
25 - 39	250	5	10	6,7	5,7	6,4	4,8
25 - 39	500	5	10	9,7	6,1	10,0	5,9
25 - 39	750	5	10	9,7	6,7	11,1	6,3
25 - 39	1000	5	10	8,9	6,3	6,9	7,1
Hörschwellen nach Altersgruppen in Jahren	Frequenz	Min	Max	MW	STABW	MW	STABW
40 - 49	125	5	10	10,0	7,1	12,5	3,5
40 - 49	250	10	15	12,5	3,5	15,0	0,0
40 - 49	500	10	15	10,0	7,1	17,5	3,5
40 - 49	750	10	15	12,5	3,5	17,5	3,5
40 - 49	1000	10	15	10,0	7,1	15,0	7,1
Hörschwellen nach Altersgruppen in Jahren	Frequenz	Min	Max	MW	STABW	MW	STABW
70 - 80	125	25	30	20,0	0,0	15,0	0,0
70 - 80	250	25	30	20,0	0,0	15,0	0,0
70 - 80	500	25	30	20,0	0,0	20,0	0,0
70 - 80	750	25	35	20,0	0,0	20,0	0,0
70 - 80	1000	25	35	25,0	0,0	25,0	0,0

Wie man aus der Tabelle 5.1 ersehen kann, nimmt die gemittelte Hörschwelle über das Alter zu. Dies gilt sowohl für das linke, als auch für das rechte Ohr. Die Abweichungen der Hörschwelle vom linken und rechten Ohr liegen im annehmbaren Bereich. Aufgrund der unterschiedlichen Stichprobengröße in den verschiedenen Altersgruppen lassen sich die Streuung der Mittelwerte und der STABW erklären. Die tendenziellen Abweichungen der Hörschwelle für die jeweiligen Frequenzen und Altersgruppen zu höheren Schalldruckpegeln ist auf für die Voruntersuchung verwendet Kopfhörer zurückzuführen.

5.2 Befindlichkeits-Skala

Der T-Wert gibt, wie bereits in Kapitel 3.2.1.1 erläutert, die momentane Beeinträchtigung des Wohlbefindens an. Liegt der T-Wert dabei über 60 kann von einer leichten Beeinträchtigung ausgegangen werden. Je höher der T-Wert ist, desto größer ist die Beeinträchtigung des momentanen Zustands. Um zu prüfen ob die verschiedenen akustischen Szenarien zu einer Minderung des Wohlbefindens führen, werden nachfolgend die MW der Ergebnisse (siehe Anhang I) aus den Laborprotokollen (30) miteinander in verschiedenen Variationen verglichen.

Tabelle 5.2: MW der T-Werte aufgeschlüsselt nach Geräusch-Szenario

Geräusch-Szenario	MW von T-Wert	Anzahl Werte je Gruppe	STABW
150	50,167	24	5,4347
20	52,667	24	5,6466
Ohne	50,708	24	5,9233
Stille	50,958	24	6,4974
WEA	50,917	24	5,9265

Die MW der T-Werte in Tabelle 5.2 sind alle in der gleichen Größenordnung. Auch die STABW lässt keinen Rückschluss auf Unterschiede zu. Um herauszufinden, ob die MW der Stichproben von den Geräusch-Szenarien sich nicht signifikant unterscheiden wird eine ANOVA (Tabelle 5.3) durchgeführt. Die Nullhypothese, ob alle MW der verschiedenen Geräusch-Szenarien gleich sind, wird geprüft.

Tabelle 5.3: ANOVA des T-Wertes nach Geräusch-Szenario

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zwischen Gruppen	84,750	21,187	,609	,657
Innerhalb der Gruppen	3998,417	34,769		

Der F-Wert ist kleiner als 1,0, somit unterscheiden sich die MW zwischen den Gruppen und innerhalb Gruppen nicht bedeutend. Der p-Wert liegt bei 0,657 und somit kann bei einem Signifikanzniveau von 5% die Nullhypothese nicht verworfen werden. Die MW der T-Werte unterscheiden sich nicht und sind näherungsweise gleich.

Da der T-Wert der Befindlichkeiten jedoch nicht nur über die verschiedenen akustischen Szenarien gemittelt werden kann, soll nun geprüft werden, ob die verschiedenen Setups mit der unterschiedlichen Geräuschanordnung einen Effekt auf das Wohlbefinden haben.

Tabelle 5.4: MW der T-Werte nach Setup

Setup	MW von T-Wert	Anzahl Werte je Gruppe	STABW
Setup I	53,733	30	5,6625
Setup II	50,900	30	4,6413
Setup III	50,833	30	6,1928
Setup IV	48,867	30	6,0329

Die MW der T-Werte in Tabelle 5.4 der verschiedenen Setups unterscheiden sich nicht bedeutend voneinander. Die Streuung der MW ist etwas verschieden zu der Streuung bei den Geräusch-Szenarien. Daher werden auch hier mithilfe der ANOVA die MW miteinander verglichen.

Tabelle 5.5: ANOVA des T-Wertes nach Setup

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	p-Wert.
Zwischen Gruppen	360,967	120,322	3,750	,013
Innerhalb der Gruppen	3722,200	32,088		

Der F-Wert ist mit 3,750 (Tabelle 5.5) größer als 1,0. Dazu kann mit einem p-Wert von 0,013 die Nullhypothese, dass alle MW annähernd gleich sind auf einem Signifikanzniveau 5% nicht beibehalten werden, sondern muss verworfen werden. Der Post-hoc-Test soll in einem Einzelvergleich der jeweiligen Mittelwerte Ausschluss darüber geben welche sich bedeutend unterscheiden.

Tabelle 5.6: Post-hoc-Test des T-Wertes nach Setup

(I) Setup	(J) Setup	Mittelwertdifferenz (I-J)	p-Wert	95 % Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Setup I	Setup II	2,8333	,055	-,064	5,730
	Setup III	2,9000*	,050	,003	5,797
	Setup IV	4,8667*	,001	1,970	7,764
Setup II	Setup I	-2,8333	,055	-5,730	,064
	Setup III	,0667	,964	-2,830	2,964
	Setup IV	2,0333	,167	-,864	4,930
Setup III	Setup I	-2,9000*	,050	-5,797	-,003
	Setup II	-,0667	,964	-2,964	2,830
	Setup IV	1,9667	,181	-,930	4,864
Setup IV	Setup I	-4,8667*	,001	-7,764	-1,970
	Setup II	-2,0333	,167	-4,930	,864
	Setup III	-1,9667	,181	-4,864	,930

Die Mittelwertdifferenzen sind auf der Stufe 0,05 signifikant. Aus den Ergebnissen der Einzelvergleiche die in Tabelle 5.6 dargestellt sind, zeigt sich, dass der p-Wert mit 0,001 nur für den Vergleich von Setup I und Setup IV kleiner als 0,05 ist. Alle anderen Setups sind von der Varianz der MW nicht bedeutend verschieden voneinander und die Nullhypothese kann nur für Setup I und Setup IV verworfen werden.

5.3 Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest

Zur Auswertung der Ergebnisse der d2-R Testbögen (30) wird die Konzentrationsleistung (KL) herangezogen. Wie in Kapitel 3.2.1.2 beschrieben, wird die KL einer Testperson in Standardwerten auf Basis 100 transformiert, wobei 100 als eine durchschnittliche KL verbalisiert ist. In dieser Studie stellt die ermittelte KL dessen ungeachtet ein Maß zur Einschätzung der Beeinträchtigung dieser durch die verschiedenen akustischen Szenarien sowie der verschiedenen Setups dar. Eine Einschätzung ob die KL hoch, durchschnittlich oder niedrig ist, ist daher bei der Auswertung nicht von Bedeutung und wird somit nicht für die Auswertung mit herangezogen.

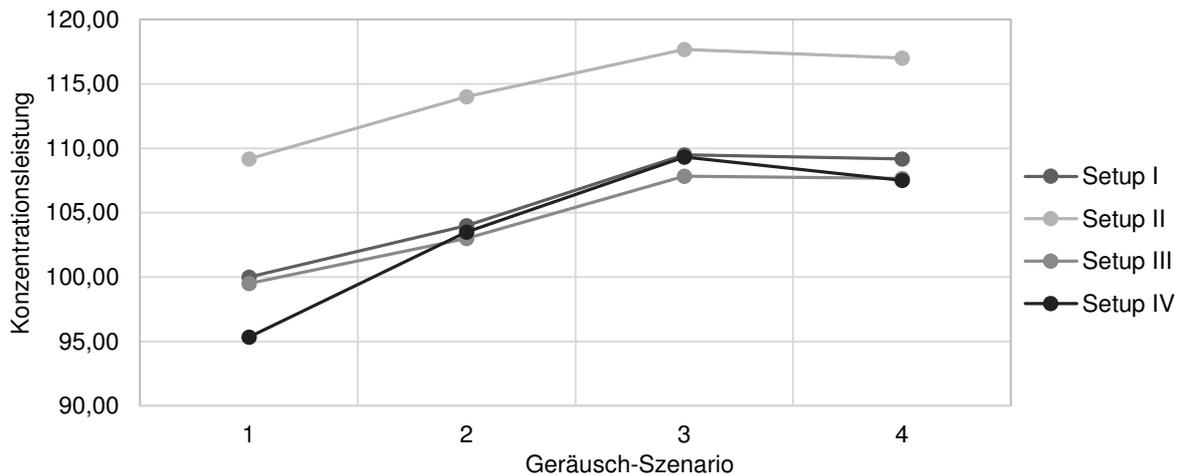


Bild 5.1: KL je Setup nach Geräusch-Szenario, eigene Abbildung

Wie aus den Ergebnissen (siehe Anhang J) und dem Bild 5.1 erkennbar, ist der Kurvenverlauf der KL bei allen Setups annähernd gleich. Nach dem ersten Geräusch-Szenario ist ein Anstieg der KL durch den eintretenden Lerneffekt zu sehen. Da nach dem zweiten Geräusch-Szenario eine 15 minütige Pause eingelegt wurde ist der Wert der KL beim dritten Geräusch-Szenario gemittelt am höchsten. Durch die Pause und die dadurch bedingte Erholung in Kombination mit dem Lerneffekt ist die Konzentrationsleistung dort am höchsten. Der leichte Abfall der KL beim vierten Geräusch-Szenario ist durch langsam eintretende Ermüdungserscheinungen bedingt, da die Probanden während jedem Geräusch-Szenario einen identischen Testbogen bearbeiten mussten.

Durch die Daten aus Bild 5.1 können die MW der KL der verschiedenen Geräusch-Szenarien und Setups untereinander verglichen werden.

Tabelle 5.7: MW der KL nach Geräusch-Szenario

Szenario	MW von KL	Anzahl Werte je Gruppe	STABW
150	108,375	24	11,5601
20	107,417	24	9,7709
Stille	107,042	24	10,2384
WEA	105,708	24	12,6370

Die Mittelwerte der KL aus Tabelle 5.7 der verschiedenen Geräusch-Szenarien unterscheiden sich nicht bedeutend voneinander. Auch die Werte der Standardabweichung lassen keine Rückschlüsse auf Varianzen zu. Es werden mithilfe der ANOVA die MW miteinander verglichen.

Tabelle 5.8: ANOVA der KL nach Geräusch-Szenario

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zwischen Gruppen	87,865	29,288	,237	,870
Innerhalb der Gruppen	11353,375	123,406		

Mit einem F-Wert bedeutend kleiner als 1,0 und einem p-Wert größer als 0,05 kann die Nullhypothese nicht widerlegt werden.

Wie bei der Bf-SR soll auch die KL nicht nur über die akustischen Szenarien ein Maß für eventuelle Beeinträchtigungen darstellen, sondern auch der Einfluss der Reizdarbietung durch die unterschiedlichen Setups geprüft werden.

Tabelle 5.9: MW der KL nach Setup

Setup	MW von KL	Anzahl Werte je Gruppe	STABW
Setup I	105,667	24	12,4923
Setup II	114,458	24	11,6805
Setup III	104,500	24	6,8271
Setup IV	103,917	24	9,0598

Vergleicht man die MW der verschiedenen Setups miteinander kann man wie in Tabelle 5.9 sehen, dass auch hier die MW der Konzentrationsleistung nicht erheblich voneinander abweichen. Auch hier soll mit Hilfe der ANOVA ein Hypothesentest gemacht werden.

Tabelle 5.10: ANOVA der KL nach Setup

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zwischen Gruppen	1754,115	584,705	5,553	,002
Innerhalb der Gruppen	9687,125	105,295		

Durch die Ergebnisse die in Tabelle 5.10 dargestellt sind kann die Nullhypothese nicht beibehalten werden. Mit einem F-Wert fünfeinhalbmals größer als 1,0 sowie einem p-Wert von 0,002 kann die Nullhypothese, dass alle MW gleich sind, nicht beibehalten werden. Dazu werden im nachfolgenden alle Setups mit dem Post-hoc-Test untereinander verglichen.

Tabelle 5.11: Post-hoc-Test der KL nach Setup

(I) Setup	(J) Setup	Mittelwertdifferenz (I-J)	p-Wert.	95 % Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Setup I	Setup II	-8,7917*	,004	-14,675	-2,909
	Setup III	1,1667	,695	-4,716	7,050
	Setup IV	1,7500	,556	-4,133	7,633
Setup II	Setup I	8,7917*	,004	2,909	14,675
	Setup III	9,9583*	,001	4,075	15,841
	Setup IV	10,5417*	,001	4,659	16,425
Setup III	Setup I	-1,1667	,695	-7,050	4,716

	Setup II	-9,9583*	,001	-15,841	-4,075
	Setup IV	,5833	,844	-5,300	6,466
Setup IV	Setup I	-1,7500	,556	-7,633	4,133
	Setup II	-10,5417*	,001	-16,425	-4,659
	Setup III	-,5833	,844	-6,466	5,300

Die Mittelwertdifferenzen sind auf der Stufe 0,05 signifikant. Aus den Ergebnissen der Einzelvergleiche die in Tabelle 5.11 dargestellt sind, zeigt sich, dass das Setup II mit p-Werten jeweils kleiner als 0,05 sich von den anderen Setups unterscheidet. Die MW sind nicht gleich und H0 muss somit verworfen werden. Für alle anderen Setups gibt es untereinander keine große Varianz der MW der KL. Die Mittelwerte der Setups I, III und IV sind somit gleich.

5.4 BioPac Daten: Atemfrequenz, Herzfrequenz und Hautwiderstand

Abschließend sollen nun die Daten des BioPac ausgewertet werden. In Zusammenhang mit Infraschall wird eine Veränderung der Atem- und Herzfrequenz beschrieben (Kapitel 2.4.1). Aus diesem Grund werden nachfolgend die physiologischen Daten (siehe Anhang K) analysiert.

Bei Betrachtung der vorliegenden Pegelschriebe (34) der einzelnen Probanden ist ersichtlich, dass kein Rückschluss von den ermittelten Werten auf den Zusammenhang des Versuchsaufbaus von den verschiedenen akustischen Reizen auf Herzschlag und Atmung gezogen werden kann. Die im Belastungsversuch ermittelten Atem- und Herzfrequenzen weisen dazu erhebliche Messfehler auf. Dies ist damit zu begründen, dass der „Lügendetektortest“ der *BioPac Lesson 9* nur zur Beurteilung beitragen kann, wenn die Probanden ruhig sitzen. Da jedoch während der gesamten Datenaufzeichnung die d2-R Bögen zu bearbeiten waren, sind die Daten nur mit großem Aufwand statistisch auswertbar. Da dies jedoch den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde, erfolgte nur eine Sichtung der Pegelschriebe. Aus diesen wird ersichtlich, dass keiner der Probanden zu irgendeinem Zeitpunkt der Messung eine erhebliche Erhöhung bzw. Änderung der Atem- oder Herzfrequenz erlitten hat.

Die Auswertung des Hautwiderstands erfolgt statistisch, nach dem gleichen Vorgehen wie bei den Bf-SR und d2-R Tests. Der EDA gibt an wie groß ein Erregungszustand auf einen bestimmten Reiz ist und kann somit auch als Maß für einen beeinträchtigenden Effekt durch die akustischen Szenarien dienen.

Tabelle 5.12: MW der EDA nach Geräusch-Szenario

Szenario	MW von EDA	Anzahl Werte je Gruppe	STABW
150	,065720470289579	21	,053498670189858
20	,088024323439618	21	,086718126467197
Stille	,075103694875320	21	,066871264746505
WEA	,090218791989456	21	,109471187479671

In Tabelle 5.12 sind die MW der EDA Messung dargestellt. Wie bereits in Kapitel 3.2.2.2 erwähnt, erfolgte die Pausierung der Datenaufzeichnung erst nach dem dritten Proband. Das bedeutet, dass die Daten der ersten drei Probanden nur unvollständig aufgezeichnet werden konnten und somit die Pegel für das letzte Geräusch-Szenario nicht aufgezeichnet werden konnte. Darüber hinaus sind durch die fehlenden Zeitmarker, die Daten nur mit großem Aufwand auswertbar. Somit sind für jedes akustische Szenario nur 21 Messwerte anstatt 24 für den Mittelwertvergleich vorhanden.

Der Mittelwertvergleich in Tabelle 5.12 könnte den Schluss zulassen, dass die MW der verschiedenen akustischen Szenarien nicht gleich sind. Somit soll auch wieder mit einer ANOVA diese Hypothese geprüft werden.

Tabelle 5.13: ANOVA der EDA nach Geräusch-Szenario

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zwischen Gruppen	,008	,003	,414	,744
Innerhalb der Gruppen	,537	,007		

Durch die ANOVA kann man der Tabelle 5.13 entnehmen, dass die Nullhypothese mit einem F-Wert von 0,414 kleiner als 1,0 und einem p-Wert bedeutend größer als 0,05 nicht wiederlegt werden kann.

Wie bei der Bf-SR und der d2-R sollen nicht nur die akustischen Szenarien ein Maß für eventuelle Beeinträchtigungen darstellen, sondern auch der Einfluss der Reizdarbietung durch die unterschiedlichen Setup geprüft werden.

Tabelle 5.14: MW der EDA nach Setup

Setup	WM von EDA	Anzahl Werte je Gruppe	STABW
Setup I	,088390810466758	20	,077649635241189
Setup II	,074757779375906	20	,066076033737397
Setup III	,058124072433225	20	,053264480432253
Setup IV	,094789985289819	24	,109720821500310

Wie bereits im Abschnitt weiter oben erwähnt, konnten drei Datensätze bei der Auswertung nicht ohne großen Aufwand erhoben werden. Daher fehlen bei der Auswertung der MW in der Tabelle 5.14 den ersten drei Setups jeweils vier Datensätzen.

Auch die Daten in Tabelle 5.14 könnten wie in der vorherigen Auswertung den Schluss zulassen, dass die MW der vier verschiedenen Setups, die eine Variation der Reizdarbietung darstellen nicht gleich sind. Somit soll auch wieder mit einer ANOVA diese Hypothese geprüft werden.

Tabelle 5.15: ANOVA der EDA nach Setup

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zwischen Gruppen	,017	,006	,847	,472
Innerhalb der Gruppen	,528	,007		

Mit einem F-Wert von 0,874 (Tabelle 5.15) ist dieser nicht bedeutend größer als 1,0. Des Weiteren kann mit einem p-Wert von 0,472 die Nullhypothese, dass alle MW annähernd gleich sind auf einem 5% Signifikanzniveau nicht beibehalten wiederlegt werden.

6. Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen abschließend die Ergebnisse und Schlussfolgerungen zum Effekt der verschiedenen akustischen Szenarien sowie der Setups auf das momentane menschliche Befinden, der Konzentrationsleistung sowie des Hautwiderstandes diskutiert werden.

6.1 Befindlichkeits-Skala

Wie aus Kapitel 5.2 ersichtlich haben die einzelnen akustischen Szenarien keinen Effekt auf das momentane Befinden der Probanden. Bei der Sichtung der Ergebnisse (siehe Anhang I) fällt auf, dass die Mehrzahl der Studienteilnehmer keinen T-Wert über 60 hatte. Ausschließlich vier Probanden hatten beim Infraschallgeräusch eine leichte Erhöhung des T-Wertes über 60. Hieraus lässt sich ableiten, dass Infraschall bzw. tieffrequente Geräusch das menschliche Wohlbefinden nicht beeinträchtigen.

Aus der Tabelle 5.4 kann man erkennen, dass der T-Wert bei Setup I, welches mit Stille beginnt im Mittel am höchsten liegt. Das Setup II und Setup III haben annähernd gleiche Mittelwerte. Das Infraschallgeräusch stand dabei jeweils am Anfang einer Versuchshälfte. Das Setup IV hat den niedrigsten T-Wert, das Infraschall-Geräusch kam hierbei am Schluss vor. Grundlegend kann also davon ausgegangen werden, dass die Anordnung der verschiedenen akustischen Szenarien einen Effekt auf das Wohlbefinden hat. Bei der Sichtung der Ergebnisse (siehe Anhang I) wird erkennbar, dass der T-Wert bei Setup I fünf Mal die T-Wert Grenze von 60 überschritten hat. Dies ausschließlich bei drei Probanden beim 20 Hz Rauschen sowie beim WEA Geräusch. Da nur bei vier Probanden eine leichte Beeinträchtigung des Wohlbefindens festgestellt werden konnte und ein F-Wert von annähernd 4 festgestellt wurde, kann von einem nicht erheblichen Effekt der Anordnung der akustischen Szenarien ausgegangen werden. Beim Setup IV kam es bei keinem Probanden zu einer Beeinträchtigung des momentanen Wohlbefindens.

6.2 Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest

Wie aus Kapitel 5.3 ersichtlich haben die einzelnen akustischen Szenarien keinen Effekt auf die momentane KL der Probanden. Betrachtet man die MW der unterschiedlichen Geräusch-Szenarien näher, war die KL bei allen akustischen Szenarien durchschnittlich, beim tieffrequenten Geräusch jedoch am höchsten. Die Probanden erzielten beim Infraschallgeräusch als auch bei Stille ähnliche Konzentrationsleistungen. Beim WEA Geräusch war die mittlere KL der Probanden am niedrigsten. Dies bedeutet, dass bei den unterschiedlichen Geräusch-Szenarien keine Beeinträchtigung der KL vorhanden war und es somit keinen Einfluss der einzelnen akustischen Szenarien gibt.

Aus der Tabelle 5.11 wird ersichtlich, dass die Anordnung der unterschiedlichen akustischen Szenarien einen Einfluss auf die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung haben könnte. Vor allem Setup II unterschied sich im Mittel der KL deutlich von den anderen Setups. Bei Sichtung der Ergebnisse (siehe Anhang J) kann man erkennen, dass im Setup II zwei Probanden eine überdurchschnittlich hohe Konzentrationsleistung hatten, welches den MW von 114 erklärt. Beide Probanden haben die gleiche „Lernkurve“ wie in Bild 5.1 dargestellt ist. Durch die ANOVA kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Anordnung der akustischen Szenarien einen Effekt auf die KL hat.

6.3 BioPac Daten: Atemfrequenz, Herzfrequenz und Hautwiderstand

Abschließend werden die EDA Ergebnisse diskutiert. Aus der Auswertung in Kapitel 5.4 kann durch die Ermittlung des F- und des p-Wertes davon ausgegangen werden, dass sowohl die verschiedenen akustischen Szenarien als auch deren Anordnung keinen Effekt untereinander auf den gemittelten Hautwiderstand der Probanden hatten. Dies bekräftigt auch den Schluss, dass es auch keine extremen Veränderungen in Atem- und Herzfrequenz gab.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde eine Belastungsstudie mit einer ausgewählten Stichprobe durchgeführt. Die Probanden wurden mit verschiedenen Geräuschen von Windenergieanlagen beschallt (belastet). Dabei kamen vier vorher erstellte akustische Szenarien zum Einsatz:

- Stille,
- Infraschall (Rosa Rauschen im Bereich von 0 – 20 Hz),
- tieffrequenter Schall (Rosa Rauschen im Bereich von 0 – 150 Hz) sowie
- ein periodisches Geräusch einer Windenergieanlage ohne tieffrequente Anteile (150 – 20000 Hz).

Die Zielsetzung der Arbeit war der Nachweis eines Effektes sowie dessen Stärke auf verschiedene psychische und physische Faktoren. Diese Datenerhebung sollte durch die im Belastungsversuch ermittelten Messwerte unter Schalleinfluss ermöglicht werden. Die gefundenen Effekte sollten Aufschluss über den momentanen und kurzfristigen Einfluss auf Vorgänge im menschlichen Körper verschiedener Frequenzbänder geben.

Die akustischen Szenarien wurden mithilfe des REAPER Generators erstellt. Das WEA Geräusch stammt aus der Datenbank des Akustiklabors der HAW Hamburg. Alle Geräusche wurden mit einem Dauerschallpegel von 69 dB in einer Audiometrie Kabine abgestrahlt. Die Einstellungen wurden zuvor mit Hilfe der Kopfkopftechnik und einem geeigneten Schallpegelmessgerät vermessen und dokumentiert. Dahingehend wurden vor, während und nach der Beschallung verschiedene Tests mit den Probanden durchgeführt. Vor dem eigentlichen Versuch wurde die Hörschwelle ermittelt sowie die momentane Befindlichkeit aufgenommen. Während der Belastung mit den verschiedenen Geräusch-Szenarien mussten die Probanden einem Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest absolvieren. Zeitgleich wurden die Atem- und Herzfrequenz, sowie der Hautwiderstand gemessen. Nach jedem Geräusch-Szenario wurde erneut die momentane Befindlichkeit aufgenommen.

Die Auswertung der erhobenen Daten lässt bei der Befindlichkeit sowie der Konzentrationsleistung der Probanden keinen nennenswerten Rückschluss auf eine Beeinträchtigung in Bezug auf die unterschiedlichen akustischen Szenarien zu. Jedoch wird bei der weiteren einfaktoriellen Analyse der Daten erkennbar, dass die Reizdarbietung im Hinblick auf die Anordnung der verschiedenen akustischen Szenarien in verschiedenen Setups eine Beeinträchtigung nicht ausgeschlossen werden kann. Die Stärke der Beeinträchtigung kann in beiden Untersuchungen nicht genau ermittelt werden, da hierzu geklärt werden müsste wie die Verteilung der Befindlichkeit bzw. Konzentrationsleistung der Bevölkerung im Durchschnitt ist. Die Aufnahme der Atem- und Herzfrequenz sowie des Hautwiderstandes lassen nicht den Schluss zu, dass durch die Einwirkung der verschiedenen akustischen Szenarien oder dessen Anordnung ein Erregungszustand der Probanden eingetreten ist.

Die Auswertungen haben aufgrund des Umfangs jeweils nur im Hinblick auf einen Faktor der dargebotenen Reize stattgefunden. Dies war jedoch ausreichend um einen Effekt nachzuweisen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass Infraschall oder tieffrequenter Schall als auch periodische Signale von Windenergieanlagen zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens als auch der Konzentrationsleistung führen.

Zur weiteren Auswertung der Ergebnisse sind weitere Vergleiche durchzuführen. Verschiedene Kombinationen der Faktoren könnten mithilfe der zweifaktoriellen Varianzanalyse anknüpfende Hinweise als auch Befunde für mögliche Beeinträchtigungen bezogen auf Schall liefern. Eine detailliertere Analyse der BioPac Daten könnten Hinweise auf den Schall als belastender Faktor auf den Menschen geben. Durch die Anfertigung eines Fragebogens könnten beispielsweise Alter als auch Geschlecht oder auch die Einstellung zur Windenergie sowie die Wohnsituation im Allgemeinen festgestellt werden. Ein solcher Fragebogen kann dazu dienen herauszufinden wie die verschiedenen akustischen Reize individuell wahrgenommen wurden und ob diese er als angenehm oder als störend empfunden wurden.

Literaturverzeichnis

1. Wetzel, Daniel. [Online] 08. 03 2015. http://m.welt.de/wirtschaft/energie/article137970641/Macht-der-Infraschall-von-Windkraftanlagen-krank.html?wtrid=socialmedia.socialflow....socialflow_facebook,
2. UmBuA. Das Umweltbundesamt. [Online] 2014. [Zitat vom: 22. 11 2014.] <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/machbarkeitsstudie-zu-wirkungen-von-infraschall>.
3. Maue, Jürgen. *0 Dezibel + 0 Dezibel = 3*. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 1999.
4. ISO7196. *ISO 7196 Acoustics - Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements*. 1995.
5. Gh. Sinambari, S. Sentpali. *Ingenieurakustik*. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2014.
6. DIN45680. DIN 45680. *DIN 45680 - Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft*. 1997, Entwurf 2013.
7. Umweltbundesamt. Wissenswertes über tieffrequenten Schall. <http://www.umweltbundesamt.de/>. [Online] [Zitat vom: 26. 05 2015.] <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/infraschall.pdf>.
8. Baunetzwissen. [Online] [Zitat vom: 08. 03 2015.] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Akustik_Luftabsorption_147707.html.
9. Søndergaard, Bo. Noise and Low frequency noise from Wind Turbines. www.wind-watch.org. [Online] 2014. [Zitat vom: 22. 11 2014.] <http://docs.wind-watch.org/Internoise-2014-Sondergaard.pdf>.
10. Martin Kaltschmitt, Wolfgang Streicher, Andreas Wiese. *Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*. Berlin : Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
11. Wagner, S., Bareiß, G. und Guidati, G. *Wind Turbine Noise*. s.l. : Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1996.
12. BWE. BWE - Bundesverband Windenergie. *Windenergieanlagen mit horizontaler Achse* . [Online] [Zitat vom: 22. 11 2014.] <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/leelaeufer>.
13. Doolan, Con. Paper Number 17, Proceedings of ACOUSTICS 2011. <https://www.wind-watch.org/>. [Online] [Zitat vom: 08. 03 2015.] http://docs.wind-watch.org/p17_wtn-Doolan.pdf.
14. BImSchG. BImSchG. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)*. 1974.
15. TALärm. Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm. *Nach § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes*. 1998.
16. GOV. Government UK. [Online] 2010. [Zitat vom: 12. 01 2015.] https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/335014/RCE-14_for_web_with_security.pdf.

17. Salt, Alec N. [Online] 04. 02 2014. [Zitat vom: 26. 11 2014.]
18. Menges, Dr. Heinrich. Physikalische Grundlagen und Messungen von tieffrequentem Schall und Infraschall . [Online] 18. 10 2012. [Zitat vom: 20. 12 2014.]
19. MacPherson, Dr. Glen. THE WORLD HUM MAP AND DATABASE. [Online] [Zitat vom: 22. 04 2015.] <http://www.thehum.info/>.
20. Beindorf, Julia. 0 - 20 Hz Rauschen. [CD] HAW Hamburg : REAPER, 2015.
21. —. 0 - 150 Hz Rauschen. [CD] HAW Hamburg : REAPER, 2015.
22. —. WEA Geräusch. [CD] HAW Hamburg : REAPER, 2015.
23. Zeressen, Detlev von und Petermann, Franz. *Die Befindlichkeits-Skala - Revidierte Fassung*. Göttingen : Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG, 2011.
24. Brickenkamp, R., Schmidt, L. und Liepmann, D. *Test d2 - Revision - Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest*. Göttingen : Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG, 2010.
25. Hautzinger, M., et al. *Allgemeine Depressionsskala*. s.l. : Hogrefe Verlag, 2012.
26. Franks, J. *American National Standard for Manual Audiometry - HEARING MEASUREMENT*. [PDF] Ohio : WHO, 1992. ANSI S3.21-1978 (R-1992)..
27. IAC Acoustics. Schalldichte Räume und Kabinen. www.iac-acoustics.com. [Online] [Zitat vom: 22. 04 2015.] <http://www.iac-acoustics.com/de/soundproof-rooms-and-booths/medical/audiology-booths/>.
28. BioPac. *Biopac Student Laoratoy Manuel*. [Manual] HAW Hamburg, Labor für Med. Gerätetechnik : s.n., 2015.
29. Ueberle, Prof. Dr. Friedrich. Laborprotokoll Auswahl des Kopfhörers. *Frequenzspektren der Generatoren und Kopfhörer*. Hamburg : s.n., 2014.
30. Beindorf, Julia. *NTI AL1 Acousilyzer Logbücher*. [Daten-CD] HAW Hamburg Labor für Med. Gerätetechnik : s.n., 2015.
31. Schütte, Prof. Dr. Marc. Besprechung Bachelorarbeit. *Auswertung der Messdaten*. HAW Hamburg : s.n., 2015.
32. Uni Hamburg. ANOVA - Einfaktorielle Varianzanalyse. <http://www2.jura.uni-hamburg.de/>. [Online] [Zitat vom: 22. 04 2015.] <http://www2.jura.uni-hamburg.de/instkrim/kriminologie/Mitarbeiter/Enzmann/Lehre/StatIIKrim/Anova.pdf>.
33. Beindorf, Julia. Laborprotokolle. Hamburg : HAW, Labor für Med. Gerätetechnik, 2015.
34. —. *Datenaufzeichnung via BioPac Lesson 9*. [CD] HAW Hamburg Ergonomie Labor : s.n., 2015.

Eidesstattliche Erklärung

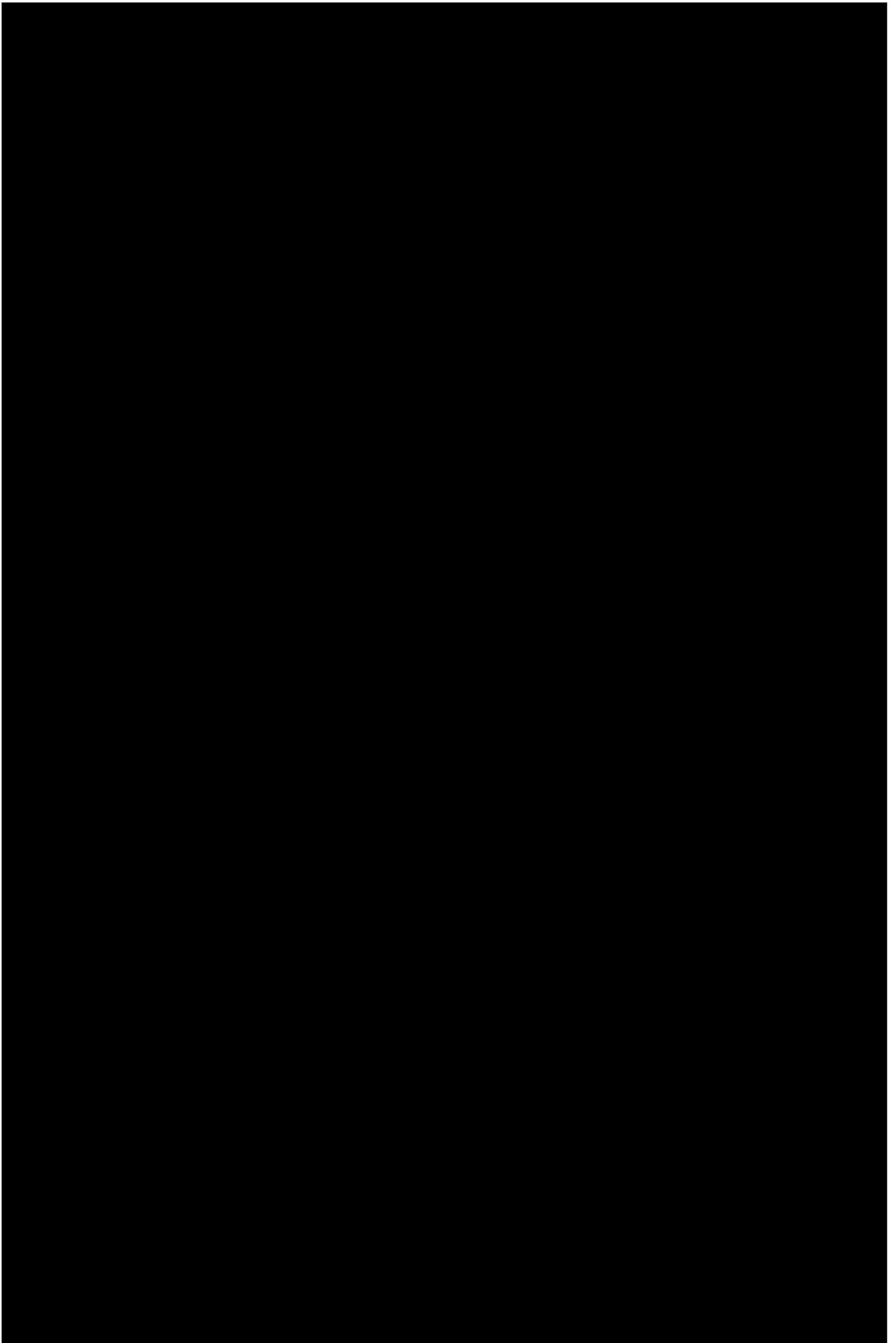
Ich versichere hiermit, die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

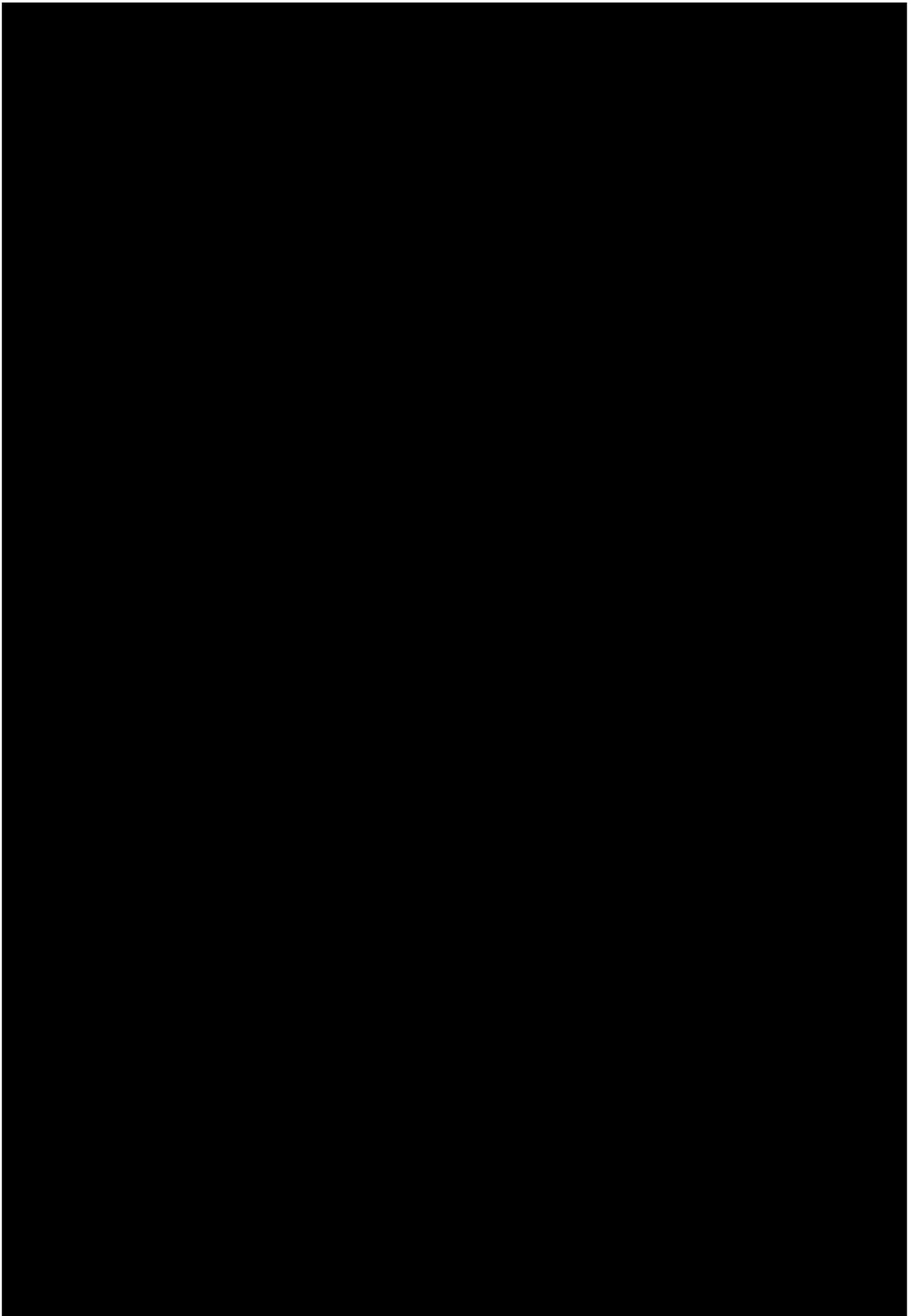
„Infraschall und tieffrequenter Schall von Windenergieanlagen – Eine Belastungsstudie unter Schalleinfluss“

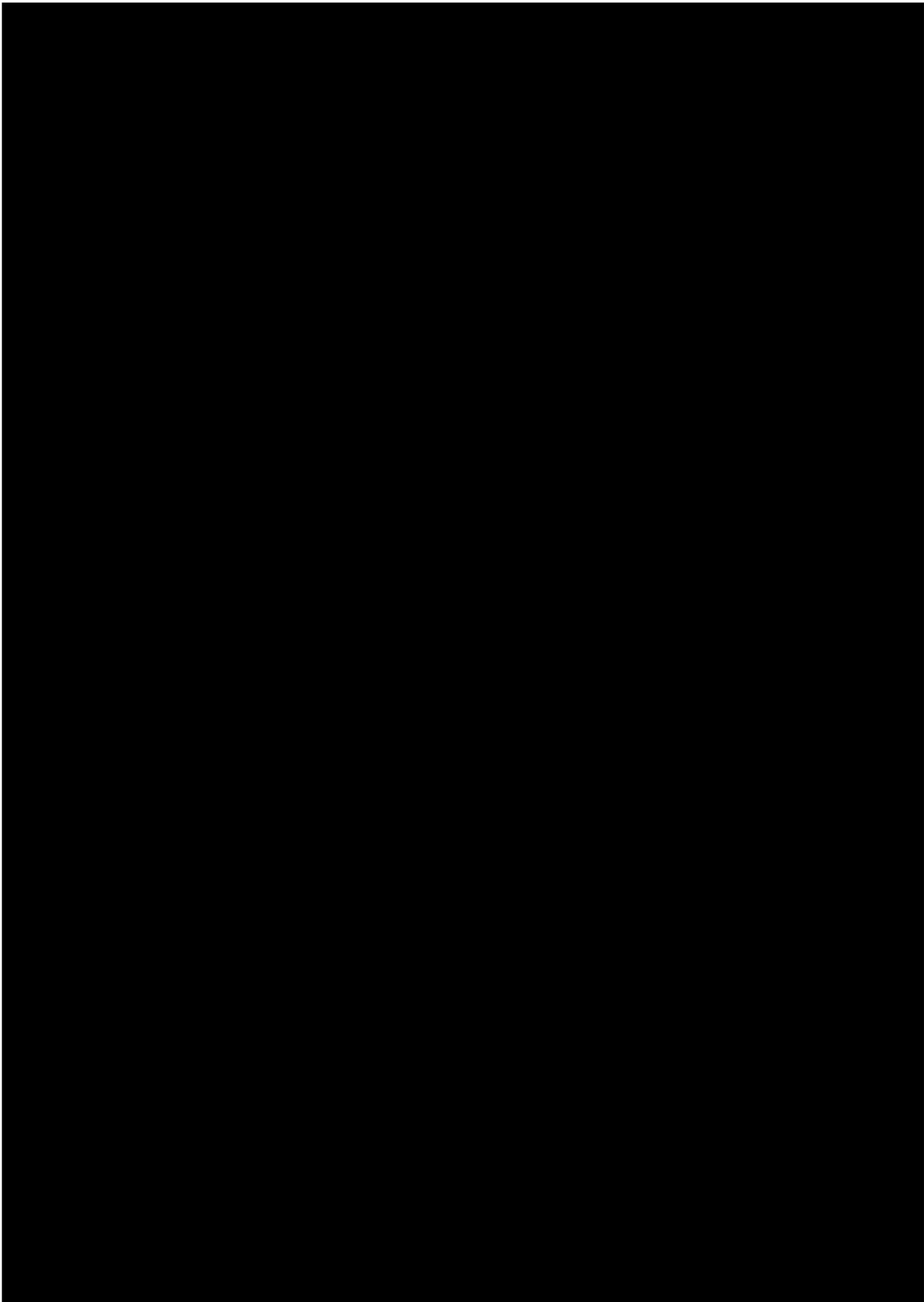
selbstständig und nur mit den von mir angebenen Quellen angefertigt zu haben.

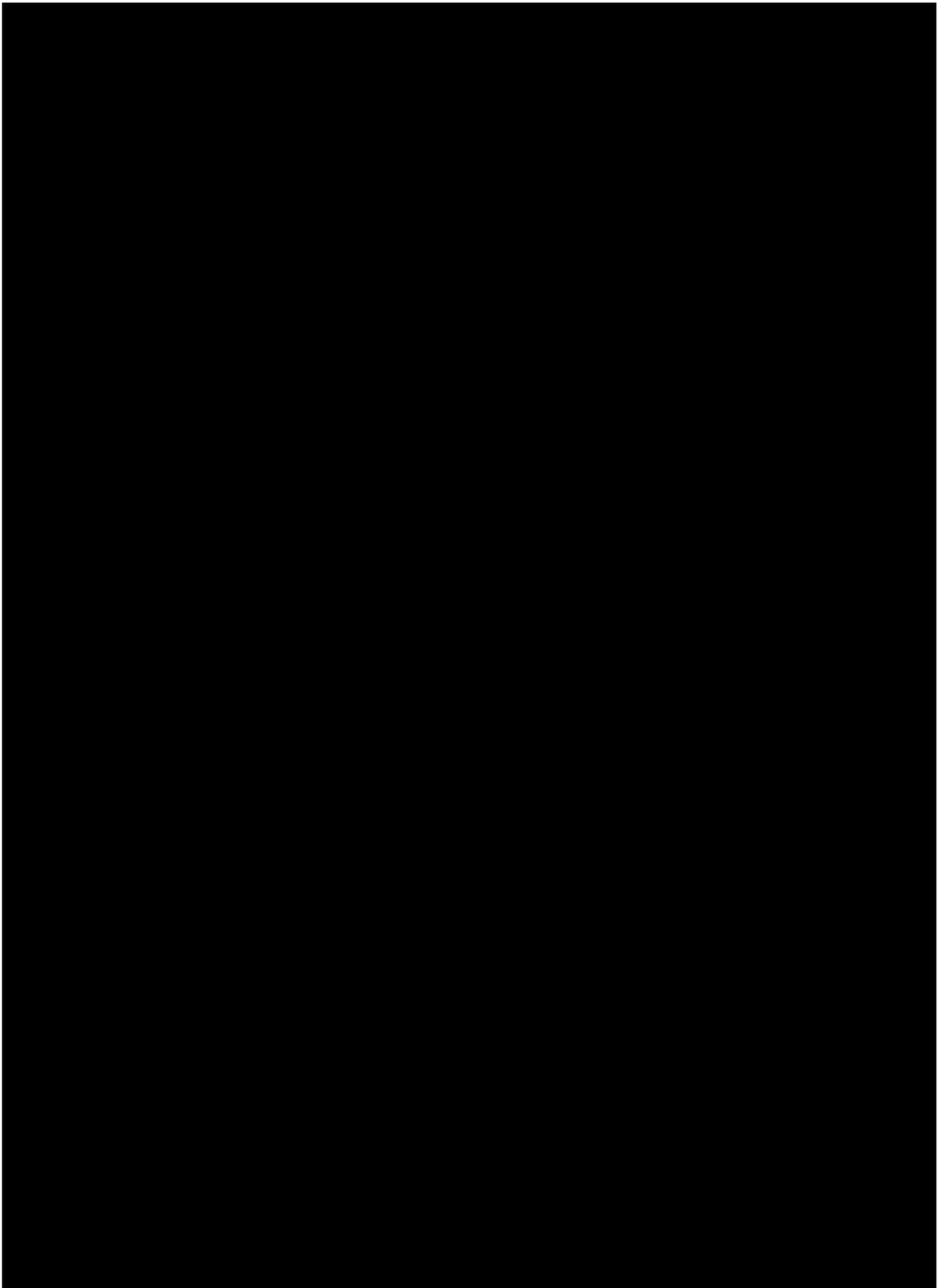
Hamburg, den 08.06.2015

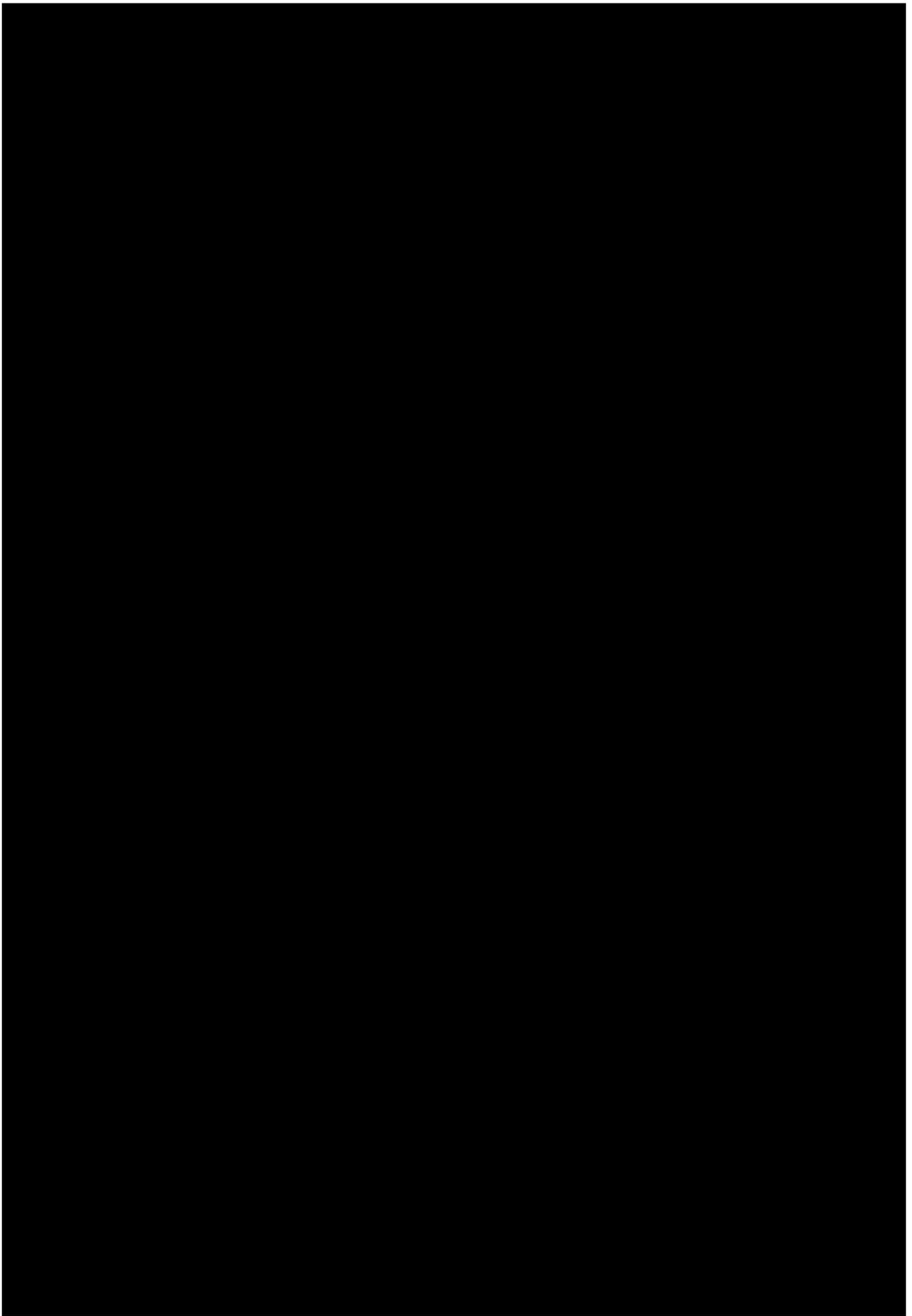
Julia Beindorf

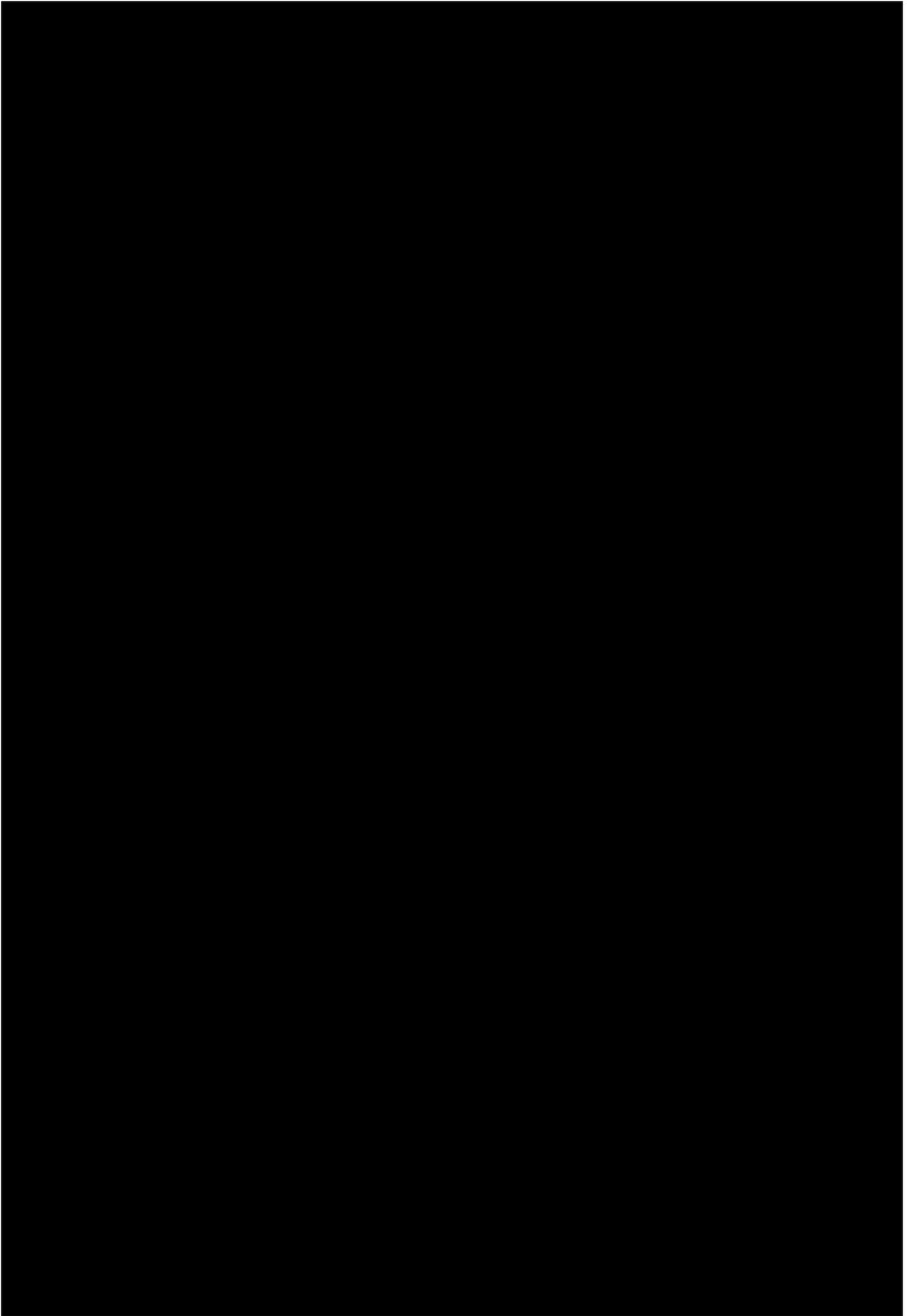


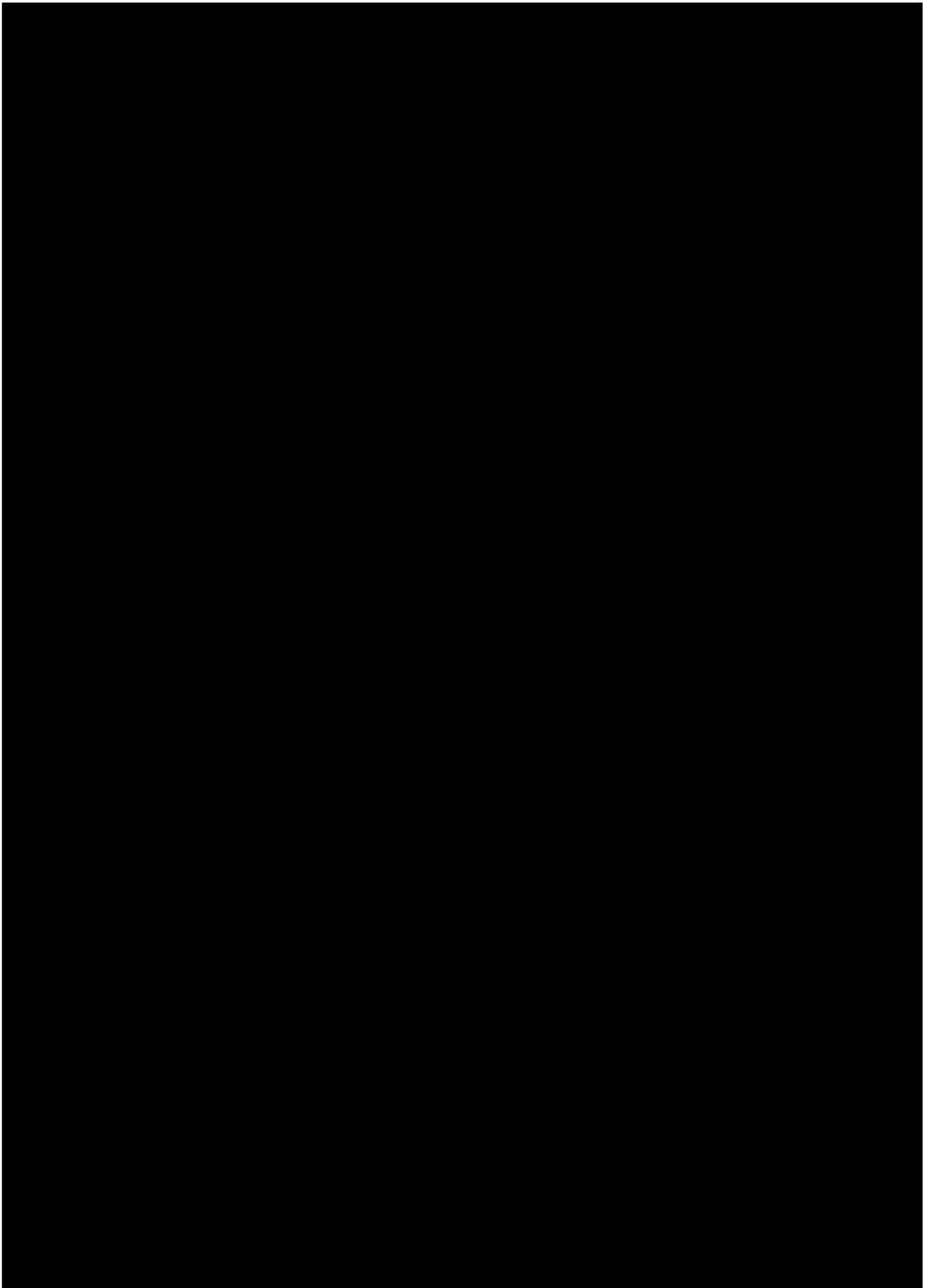


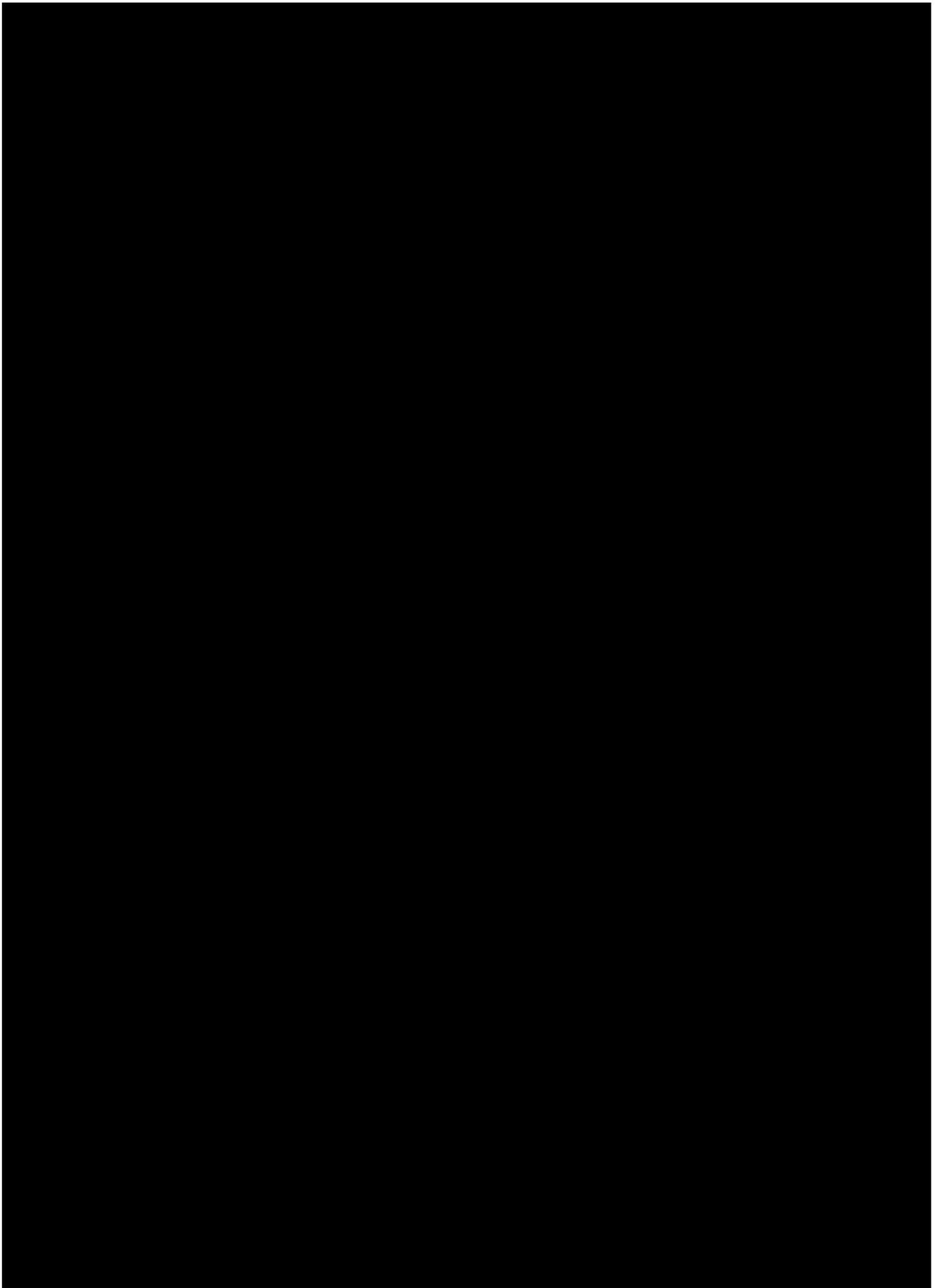


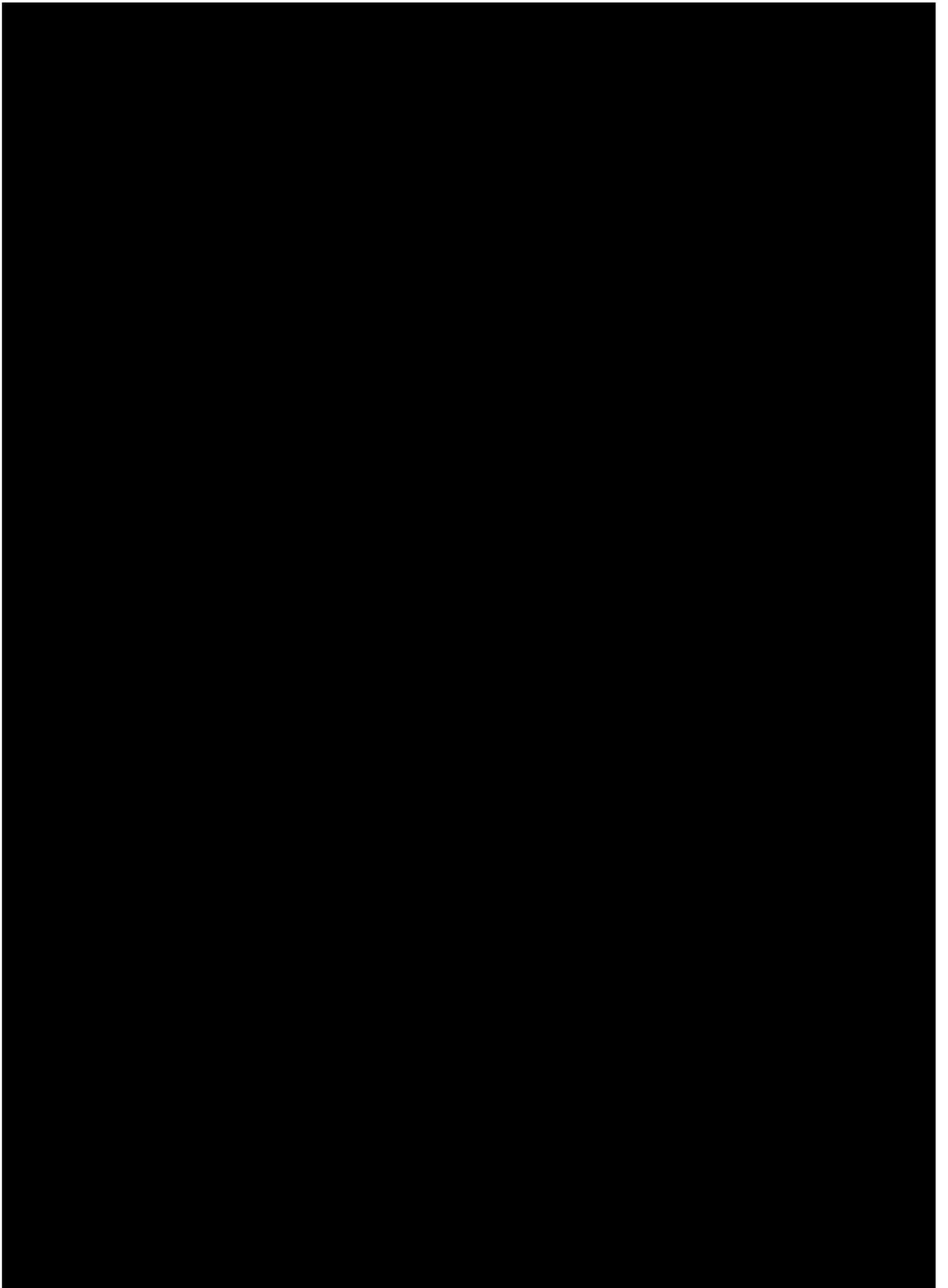


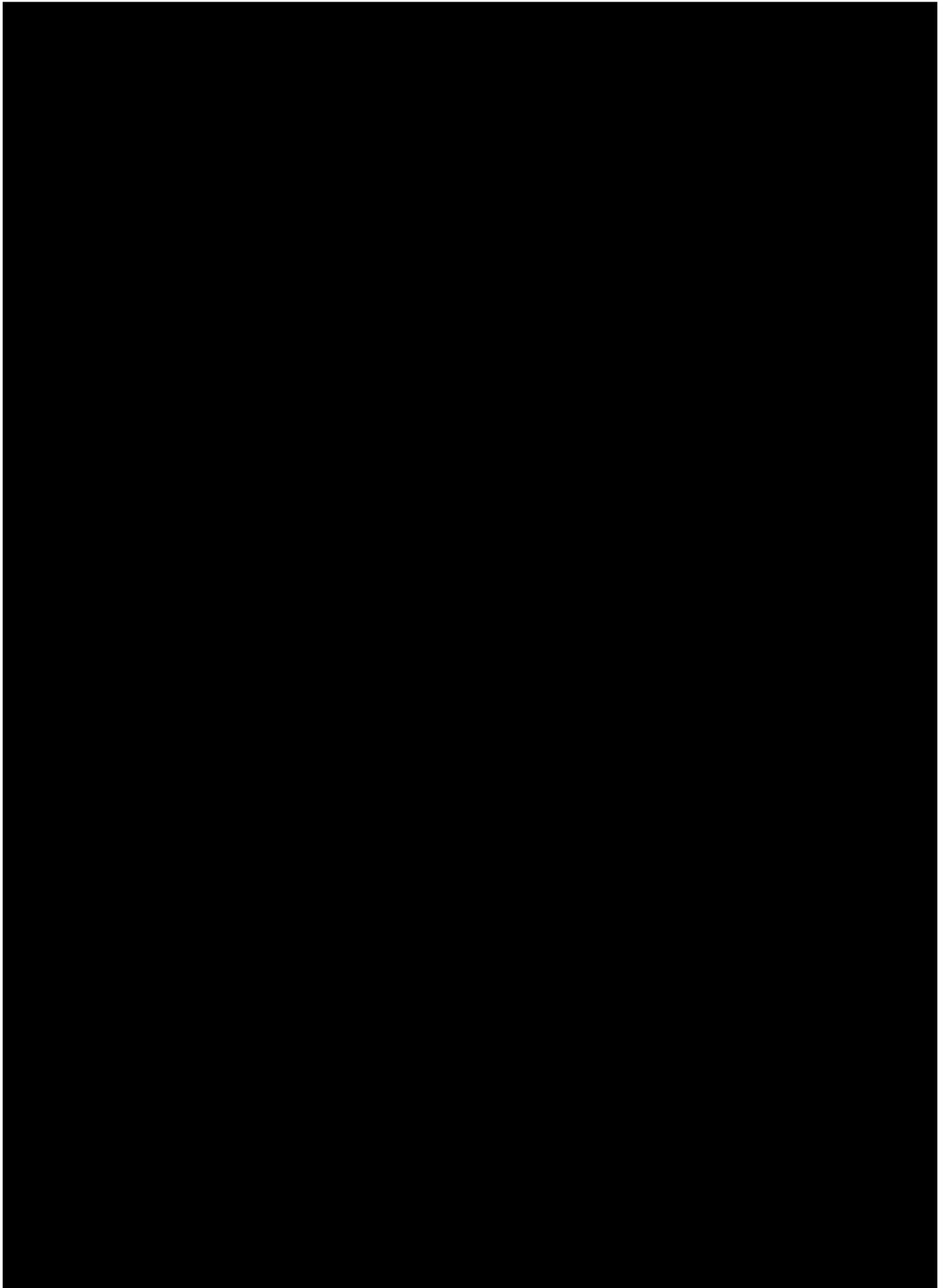


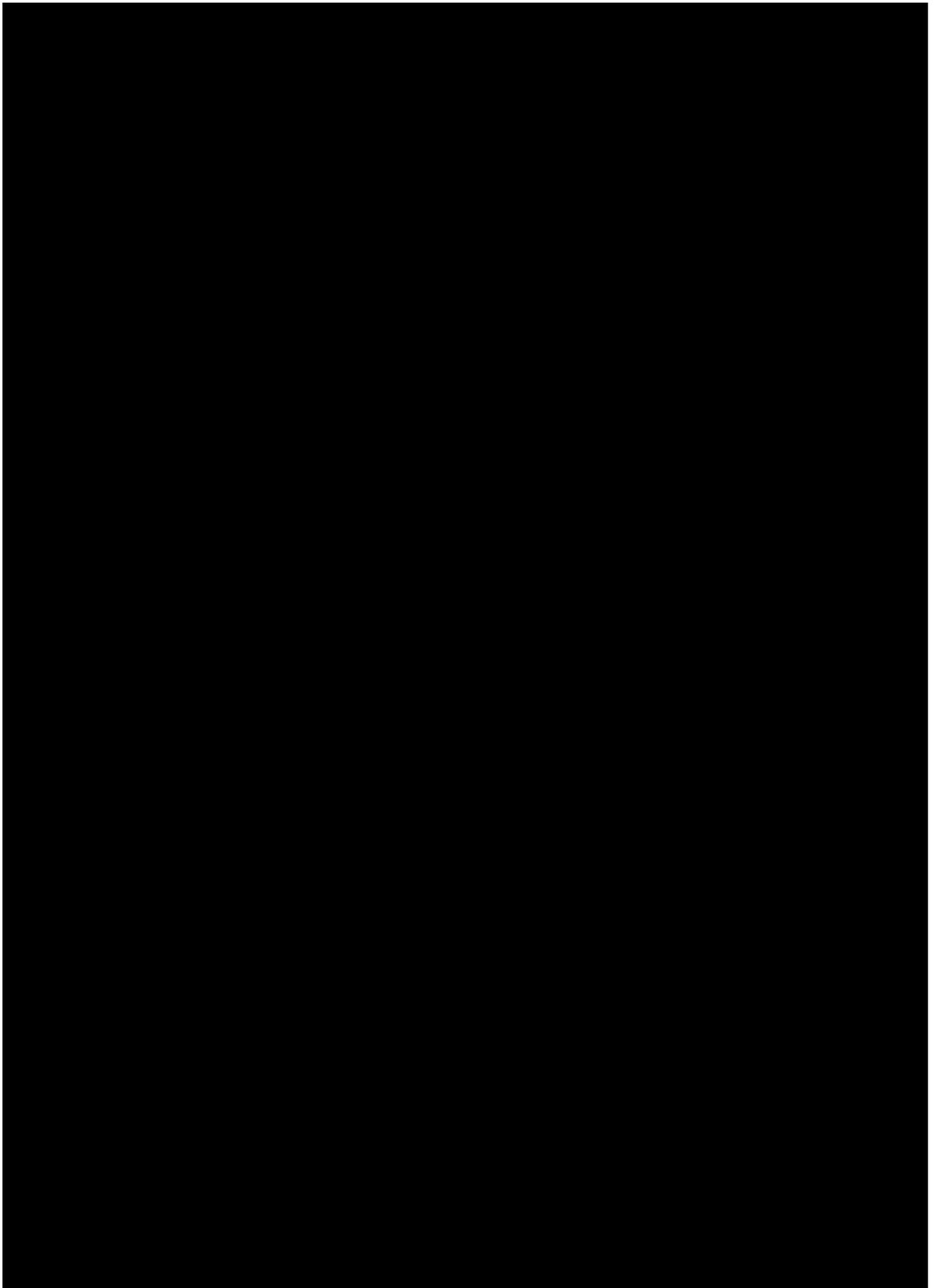


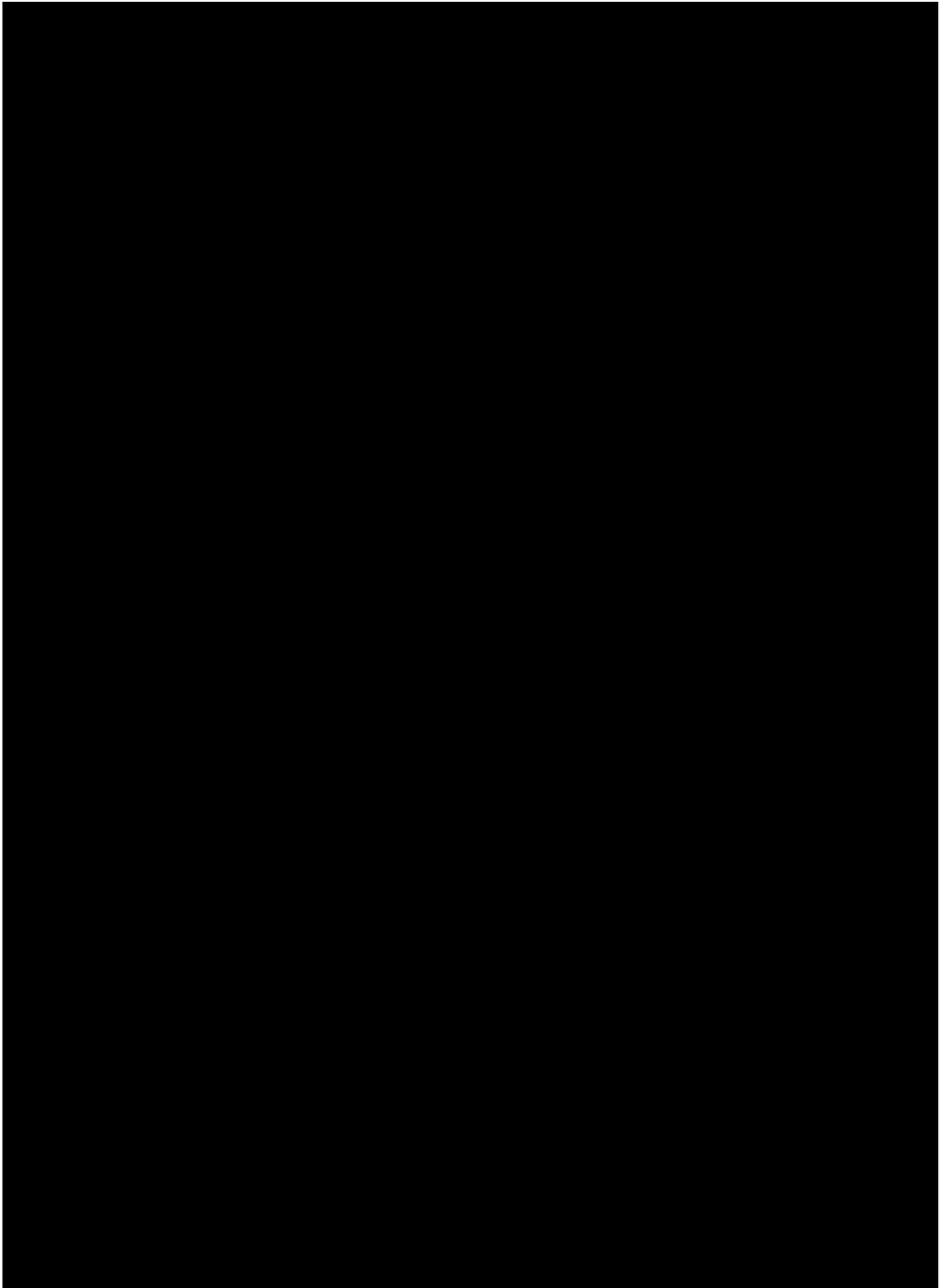


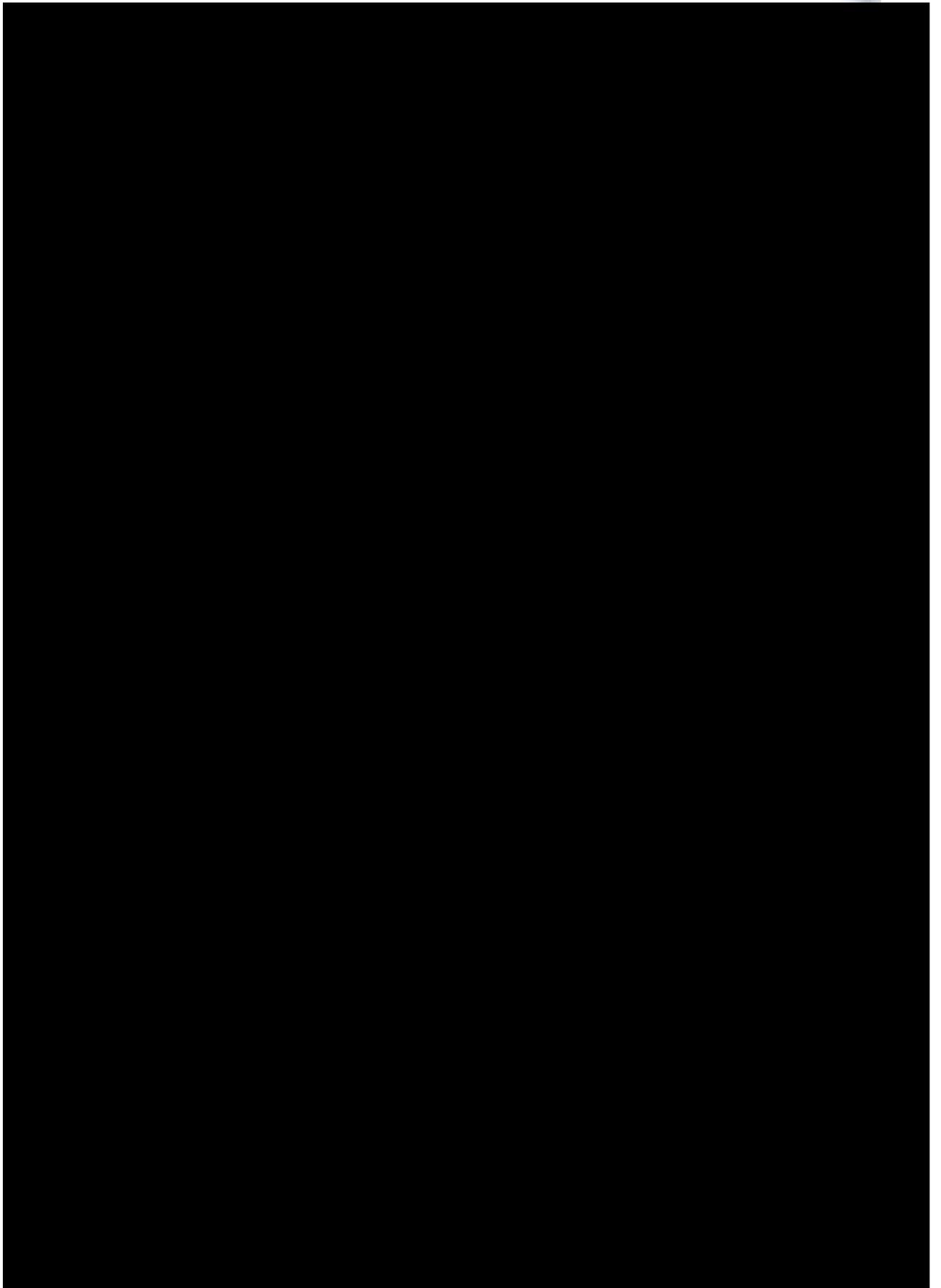












Anhang C: Audiometrie Kabine

Die von IAC Acoustics: Model 401 - A „Big Size“ verwendete Kabine ist eine leistungsstarke Kabinen, die Geräuschreduzierungen zwischen 35 und 60 dB bietet.

Merkmale der Hörprüfkabinen der 40a-Serie

- kompakte, einwandige Kabine
- zur Mehrfach- oder Einzelbelegung
- Kabine besteht aus 102 mm dicken modularen Akustikpaneele
- Erfüllung aller relevanten technischen Normen: HTML 2045, ISO 8253 und ISO BS EN 6189

Pos.	Menge	Beschreibung
01	1	IAC Audiometrie Kabine Modell 401-A „Big-Size“ generell gemäß dem beigefügten Bulletin innen: 1.980 mm hoch - einschließlich körperschallentkoppelter Aufstellung auf IAC Akustikpaneelboden (170 mm inkl. Isolatorschienen) Beleuchtungseinheiten – Halogenstrahler sowie Drehzahlregler für Lüftung Ca. 2,5 m Brüstungskanal mit 1 Doppelsteckdose Hochwertige Akustiktüre mit Magnetdichtung doppelverglastes Akustikfenster aus 2 x 6 mm VS- Glas ca. 760 x 610 mm schallgedämpfter Be- und Entlüftungseinheit, dachseitig montiert Buchsenbrett zum Anschluss des Audiometers (mittels Adapterkabel – siehe unten) Teppichboden mit guten antistatischen Eigen- schaften (grau Velours)

Bild C.1: Merkmale IAC Audiometrie Kabine Modell 401-A, HAW Hamburg



Bild C.2: Audiometrie Kabine HAW Hamburg, eigene Aufnahme

Anhang D: Rosa Rauschen im Bereich 0 - 20 Hz

D.1 Einstellungen

Tabelle D.1: Input Rosa Rauschen im Bereich 0 - 20 Hz

	<p>Software: REAPER 4.75x64</p> <p>Generator: JS: Liteon/pinknoisegen Filter: JS: Lieon/applefilter72dB/ oct., LP Slope 0 – 20Hz, HP aus Analyzer: Analysis/gfanalyzer, FFT Size 32768</p>
	<p>Kunstkopf Head:</p> <p>104 dB / Lin / Pulse OFF / HP OFF HPS IV Einstellungen A/ Vol 76 / HMS Auto / Filter Lin / Out Line</p>
	<p>Zoom H4N Interface Einstellungen:</p> <p>I/F, Kanäle 1,2 Volume: 79 Output Kopfhörer: Sennheiser HD25-1-II 70 Ohm</p>
	<p>NTI AL1 Acoustilyzer</p> <p>Einstellung: Fast 94 dB Referenz from Head Acoustics RC V</p>

D.2 Messergebnisse aus dem Logbuch

D.2.1 Dauerschallpegel LEQ

- > SPL_RTA_full_band
- > Time weight: fast
- > Selected filter: Flat
- > Range: 20 dB - 100 dB

Tabelle D.2: Dauerschallpegel LEQ

Timer	LEQ [dB]	MIN dt	MAX dt	SPL Act
00:59:59	67,3	65,2	70,5	68,0
00:59:58	67,4	64,6	70,0	65,3
00:59:57	67,1	63,3	67,7	66,7
00:59:56	67,6	64,1	72,1	68,8
00:59:55	67,6	65,1	71,0	66,7
00:59:54	67,8	63,5	70,9	66,5
00:59:53	68,0	64,9	71,5	68,3
00:59:52	67,9	64,3	69,5	68,7
00:59:51	67,9	65,4	69,9	66,5
00:59:50	68,1	64,8	72,1	67,0
00:59:49	68,0	63,3	70,9	68,6
00:59:48	68,1	64,7	72,6	69,2
00:59:47	68,1	66,5	70,1	66,7
00:59:46	68,1	64,8	69,8	67,1
00:59:45	68,1	65,8	72,0	68,6
00:59:44	68,1	63,9	70,6	65,1
00:59:43	68,1	62,6	72,7	66,9
00:59:42	68,2	62,7	74,2	66,5
00:59:41	68,2	64,1	71,0	71,0
00:59:40	68,1	63,7	70,7	69,0
00:59:39	68,1	62,7	70,5	64,2
00:59:38	68,0	61,8	69,2	64,6
00:59:37	67,9	62,3	69,7	68,8
00:59:36	67,9	64,2	70,3	70,3
00:59:35	67,9	64,5	70,6	68,5
00:59:34	67,9	62,4	70,0	69,1
00:59:33	67,9	65,2	70,1	67,1
00:59:32	67,9	63,1	69,9	68,7
00:59:31	67,8	64,6	69,3	65,4
00:59:30	67,9	65,2	72,8	70,9
00:59:29	68,0	66,2	73,8	73,4
00:59:28	68,0	65,8	73,6	68,9
00:59:27	68,0	64,9	71,7	70,5
00:59:26	68,1	64,8	74,1	74,1
00:59:25	68,1	66,8	74,4	67,6
00:59:24	68,1	65,9	70,7	68,3
00:59:23	68,1	62,4	69,4	67,2
00:59:22	68,0	62,3	69,6	65,1
00:59:21	68,0	62,6	70,3	67,4
00:59:20	68,0	61,0	70,1	67,8
00:59:19	67,9	64,8	69,5	64,8
00:59:18	67,9	64,0	69,9	68,6

00:59:17	67,9	63,5	69,4	63,9
00:59:16	67,9	63,6	70,5	67,0
00:59:15	67,9	62,6	71,3	66,8
00:59:14	67,9	62,9	70,9	66,2
00:59:13	67,9	65,0	70,8	65,5
00:59:12	67,9	63,7	69,1	69,1
00:59:11	67,8	62,8	69,9	66,7
00:59:10	67,8	63,4	69,7	69,7
00:59:09	67,8	63,4	72,0	68,2
00:59:08	67,8	61,3	73,2	73,0
00:59:07	67,8	63,9	74,0	67,1
00:59:06	67,8	62,6	68,2	68,2
00:59:05	67,8	65,7	70,5	67,4
00:59:04	67,8	61,7	69,9	65,8
00:59:03	67,8	63,0	69,9	66,0
00:59:02	67,8	62,5	70,4	68,8
00:59:01	67,8	65,6	71,3	69,2
00:59:00	67,9	66,2	73,0	68,2

D.2.2 Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

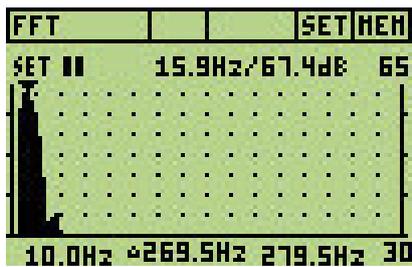


Bild D.1: Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

Tabelle D.3: Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

f [Hz]	SPL [dB]
10,00	61,00
12,93	67,20
15,86	67,30
18,79	62,70
21,72	60,00
24,65	54,40
27,58	44,30
30,51	33,10
33,44	34,00
36,37	35,10
39,30	30,80
42,23	24,10
45,16	26,20
48,09	26,70
51,02	20,20
53,95	24,40
56,88	22,90
59,80	24,60
62,73	24,00

65,66	19,50
68,59	23,80
71,52	24,70
74,45	22,50
77,38	21,50
80,31	22,40
83,24	23,90
86,17	21,80
89,10	22,50
92,03	22,20
94,96	18,90
97,89	22,50
100,82	22,00
103,75	23,70
106,68	19,40
109,61	20,80
112,54	24,00
115,47	24,80
118,40	24,70
121,33	22,30
124,26	20,40
127,19	15,80
130,12	16,40
133,05	18,20
135,98	21,10
138,91	19,90
141,84	21,40
144,77	15,80
147,70	20,70
150,62	25,50
153,55	21,80
156,48	14,70
159,41	18,90
162,34	17,90
165,27	15,10
168,20	12,70
171,13	15,40
174,06	17,70
176,99	20,20
179,92	21,20
182,85	22,30
185,78	22,70
188,71	21,00
191,64	16,20
194,57	14,00
197,50	22,00
200,43	25,70
203,36	25,40
206,29	22,20
209,22	17,80
212,15	15,40
215,08	16,60
218,01	17,90

220,94	18,70
223,87	16,50
226,80	16,50
229,73	22,60
232,66	22,50
235,59	16,30
238,52	19,20
241,45	19,10
244,38	17,20
247,30	15,00
250,23	17,40
253,16	16,90
256,09	19,10
259,02	23,00
261,95	23,00
264,88	21,40
267,81	22,50
270,74	18,80
273,67	20,20
276,60	20,70
279,53	17,40

D. 2.3 Dauerschallpegel LEQ_A

- > SPL_RTA_full_band
- > Time weight: fast
- > Selected filter: A-Weighting acc. IEC 61672
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle D.4: Dauerschallpegel LEQ_A

ActTimer	LEQ[dB]	MIN dt	MAX dt	SPL Act
00:59:59	39,8	39,4	40,0	39,7
00:59:58	39,7	39,4	39,9	39,7
00:59:57	39,7	39,4	40,0	39,7
00:59:56	39,7	39,3	40,0	39,5
00:59:55	39,7	39,3	39,8	39,6
00:59:54	39,7	39,3	39,8	39,7
00:59:53	39,7	39,3	40,1	39,7
00:59:52	39,7	39,4	39,9	39,7
00:59:51	39,7	39,4	40,0	39,6
00:59:50	39,7	39,5	40,0	39,7
00:59:49	39,7	39,3	39,8	39,4
00:59:48	39,7	39,3	40,0	39,5
00:59:47	39,6	39,2	39,9	39,5
00:59:46	39,6	39,4	39,9	39,4
00:59:45	39,6	39,2	40,0	40,0
00:59:44	39,6	39,3	40,0	39,5
00:59:43	39,6	39,4	39,8	39,8
00:59:42	39,6	39,2	39,8	39,5
00:59:41	39,6	39,3	40,0	39,8
00:59:40	39,6	39,4	39,9	39,7
00:59:39	39,6	39,3	39,8	39,3
00:59:38	39,6	39,1	39,8	39,8

00:59:37	39,6	39,4	39,8	39,5
00:59:36	39,6	39,3	39,9	39,6
00:59:35	39,6	39,5	39,7	39,5
00:59:34	39,6	39,4	39,9	39,7
00:59:33	39,6	39,3	39,8	39,6
00:59:32	39,6	39,4	40,0	39,8
00:59:31	39,6	39,5	40,0	39,7
00:59:30	39,6	39,5	40,1	39,5
00:59:29	39,6	39,4	39,9	39,7
00:59:28	39,6	39,3	39,9	39,4
00:59:27	39,6	39,3	39,9	39,8
00:59:26	39,6	39,3	39,8	39,7
00:59:25	39,6	39,5	40,1	39,7
00:59:24	39,6	39,4	39,9	39,7
00:59:23	39,6	39,5	40,0	39,7
00:59:22	39,6	39,1	39,9	39,8
00:59:21	39,6	39,4	40,0	39,5
00:59:20	39,6	39,3	40,0	39,9
00:59:19	39,6	39,4	39,8	39,7
00:59:18	39,6	39,1	39,8	39,7
00:59:17	39,6	39,5	39,9	39,6
00:59:16	39,6	39,4	40,1	39,9
00:59:15	39,6	39,4	39,9	39,7
00:59:14	39,6	39,3	39,9	39,4
00:59:13	39,6	39,0	39,7	39,5
00:59:12	39,6	39,3	39,9	39,6
00:59:11	39,6	39,4	40,0	39,7
00:59:10	39,6	39,5	40,0	39,5
00:59:09	39,6	39,3	39,9	39,7
00:59:08	39,6	39,5	39,9	39,8
00:59:07	39,6	39,5	40,0	39,6
00:59:06	39,6	39,4	39,8	39,7
00:59:05	39,6	39,4	39,9	39,6
00:59:04	39,6	39,3	39,7	39,5
00:59:03	39,6	39,2	39,9	39,5
00:59:02	39,6	39,4	40,0	39,6
00:59:01	39,6	39,5	39,9	39,6
00:59:00	39,6	39,5	40,1	39,7
00:58:59	39,6	39,5	40,1	39,5

D.2.2 Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst



Bild D.2: Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

- > SPL_RTA_third_octave
- > RTA filter: A-Weighting acc. IEC 61672
- > Time weight: fast
- > Range: 40 dB - 120 dB

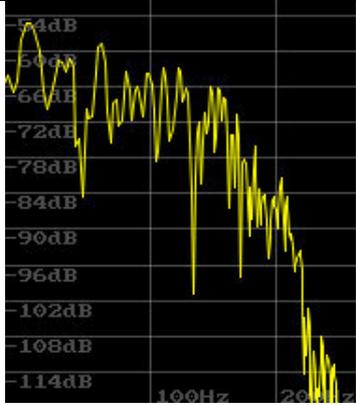
Tabelle D.5: Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

Band [Hz]	LEQ [dB]	SPL [dB]	MIN [dB]	MAX [dB]
full_A-WTD	40,8	39,4	39,3	47,2
20	37,6	37,5	35,5	38,2
25	37,9	37,9	36,2	38,0
31,5	37,9	35,8	35,2	38,3
40	38,5	37,2	36,0	38,0
50	38,7	37,0	36,6	37,8
63	38,6	36,2	35,4	38,1
80	38,3	37,4	36,3	39,6
100	38,4	37,4	37,0	44,0
125	37,6	37,2	36,1	39,4
160	37,6	37,2	36,9	37,8
200	37,7	37,4	37,0	38,6
250	37,7	36,9	36,0	40,0
315	37,8	37,1	36,8	39,2
400	37,8	37,3	37,1	37,5
500	37,9	37,3	36,7	37,9
630	38,0	37,4	37,1	37,7
800	38,0	37,4	37,2	37,6
1000	37,8	37,1	37,0	37,8
1250	37,6	37,4	37,2	37,6
1600	37,4	37,4	37,3	37,4
2000	37,6	37,5	37,1	37,7
2500	37,6	37,4	37,2	37,5
3150	37,4	37,4	37,3	37,4
4000	37,4	37,3	37,1	37,5
5000	37,4	37,4	37,3	37,4
6300	37,4	37,4	37,3	37,4
8000	37,4	37,3	37,2	37,5
10000	37,4	37,3	37,3	37,4
12500	37,4	37,4	37,3	37,4
16000	37,4	37,3	37,3	37,4
20000	37,4	37,3	37,3	37,4

Anhang E: Rosa Rauschen im Bereich 0 - 150 Hz

E.1 Einstellungen

Tabelle E.1: Input Rosa Rauschen im Bereich 0 - 150 Hz

	<p>Software REAPER 4.75x64</p> <p>Generator: JS: Liteon/pinknoisegen Filter: JS: Lieon/applefilter72dB, LP Slope 0 – 150Hz, HP Slope aus Analyzer: Analysis/gfanalyzer, FFT Size 32768</p>
	<p>Kunstkopf Head:</p> <p>104 dB / Lin / Pulse OFF / HP OFF HPS IV Einstellungen: A/ Vol 76 / HMS Auto / Filter Lin / Out Line</p>
	<p>Zoom H4N Interface Einstellungen:</p> <p>I/F, Kanäle 1,2 Volume: 71 Output Kopfhörer: Sennheiser Sennheiser HD25-1-II 70 Ohm</p>
	<p>NTI AL1 Acoustilyzer</p> <p>Einstellung: Fast 94 dB Referenz from Head Acoustics RC V</p>

E.2 Messergebnisse aus dem Logbuch

E.2.1 Dauerschallpegel LEQ

- > SPL_RTA_full_band
- > Time weight: fast
- > Selected filter: Flat
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle E.2: Dauerschallpegel LEQ

Timer	LEQ [dB]	MIN dt	MAX dt	SPL Act
00:59:59	68,8	66,6	71,5	69,2
00:59:58	68,5	66,7	70,0	68,5
00:59:57	68,7	67,7	70,3	68,6
00:59:56	68,7	66,5	70,3	68,2
00:59:55	68,6	66,9	70,7	69,5
00:59:54	68,7	67,1	70,0	69,0
00:59:53	68,7	67,7	69,7	68,6
00:59:52	68,7	67,0	70,2	68,4
00:59:51	68,7	66,6	71,1	68,1
00:59:50	68,7	67,1	69,8	68,1
00:59:49	68,7	66,8	70,7	69,2
00:59:48	68,7	67,3	70,9	68,6
00:59:47	68,8	68,2	71,1	68,8
00:59:46	68,8	67,1	71,4	69,4
00:59:45	68,8	66,8	70,3	69,3
00:59:44	68,8	67,6	69,9	68,0
00:59:43	68,8	67,1	71,4	68,4
00:59:42	68,8	66,7	70,7	68,3
00:59:41	68,8	66,8	69,4	69,2
00:59:40	68,8	66,7	70,3	67,0
00:59:39	68,7	67,2	69,6	67,8
00:59:38	68,8	67,4	70,9	67,6
00:59:37	68,8	66,6	70,8	67,9
00:59:36	68,8	67,7	70,7	68,9
00:59:35	68,8	66,6	70,4	69,6
00:59:34	68,8	66,0	70,1	68,3
00:59:33	68,8	66,9	69,7	68,3
00:59:32	68,7	66,8	70,0	69,6
00:59:31	68,7	66,9	69,7	68,5
00:59:30	68,7	67,4	70,8	70,6
00:59:29	68,8	68,0	70,5	68,1
00:59:28	68,7	66,8	69,3	69,0
00:59:27	68,8	67,6	70,8	69,6
00:59:26	68,8	67,2	70,6	69,6
00:59:25	68,8	67,1	70,2	69,4
00:59:24	68,7	67,1	69,8	69,1
00:59:23	68,8	67,8	70,7	68,3
00:59:22	68,8	67,3	70,6	69,9
00:59:21	68,7	66,7	70,2	67,5
00:59:20	68,8	67,5	70,9	68,9
00:59:19	68,7	66,5	69,8	68,0
00:59:18	68,7	66,4	69,3	68,4
00:59:17	68,7	66,4	70,1	69,0

00:59:16	68,7	67,7	70,0	69,6
00:59:15	68,7	67,0	70,7	68,8
00:59:14	68,7	66,5	69,5	69,2
00:59:13	68,7	66,8	69,5	68,6
00:59:12	68,8	67,5	74,1	74,1
00:59:11	68,8	67,5	74,7	69,0
00:59:10	68,8	67,6	70,4	70,0
00:59:09	68,8	67,3	69,9	68,5
00:59:08	68,8	67,8	70,5	68,7
00:59:07	68,8	66,4	70,2	68,8
00:59:06	68,9	68,5	72,9	68,9
00:59:05	68,9	67,2	71,0	68,0
00:59:04	68,9	67,0	69,2	68,5
00:59:03	68,9	67,7	70,6	69,8
00:59:02	68,9	67,0	70,3	68,1
00:59:01	68,9	67,2	70,5	67,6
00:59:00	68,9	67,5	70,6	69,3
00:58:59	68,9	66,6	70,1	67,7
00:58:58	68,8	60,3	67,5	64,3

E.2.2 Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

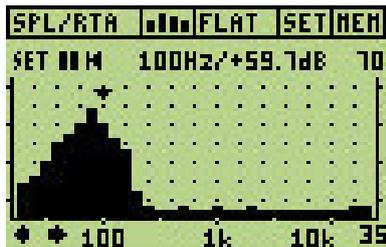


Bild E.1: Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

- > SPL_RTA_third_octave
- > RTA filter: Flat
- > Time weight: fast
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle E.3: Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

Band[Hz]	LEQ [dB]	SPL [dB]	MIN [dB]	MAX [dB]
full A-WTD	48,9	48,0	39,0	62,8
20	44,2	43,6	35,7	52,5
25	47,1	46,0	35,6	60,4
31,5	51,0	49,7	34,7	65,2
40	55,0	55,2	36,2	66,1
50	58,5	57,3	36,7	67,1
63	61,1	60,3	36,2	69,6
80	62,1	63,7	36,8	75,1
100	62,9	59,7	37,0	70,5
125	60,2	55,7	36,7	73,8
160	53,3	52,8	36,9	66,7
200	43,4	42,0	37,0	68,4
250	39,3	37,7	36,0	63,0
315	37,8	37,4	36,9	52,1

400	37,5	37,5	37,1	49,0
500	37,5	37,6	36,6	48,5
630	37,5	37,4	37,0	40,3
800	37,4	37,4	37,1	39,1
1000	37,4	37,5	36,8	38,0
1250	37,4	37,5	37,1	37,8
1600	37,3	37,4	37,2	37,5
2000	37,4	37,5	36,9	37,7
2500	37,4	37,3	37,2	37,5
3150	37,3	37,3	37,3	37,4
4000	37,4	37,3	37,1	37,6
5000	37,3	37,3	37,2	38,5
6300	37,3	37,3	37,3	37,4
8000	37,4	37,4	37,1	37,5
10000	37,4	37,4	37,3	37,5
12500	37,4	37,5	37,3	37,5
16000	37,4	37,5	37,1	37,6
20000	37,6	37,8	37,5	37,8

E.2.3. Dauerschallpegel LEQ_A

- > SPL_RTA_full_band
- > Time weight: fast
- > Selected filter: A-Weighting acc. IEC 61672
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle E.4: Dauerschallpegel LEQ_A

Timer	LEQ [dB]	MIN dt	MAX dt	SPL Act
00:59:59	48,7	47,0	51,2	48,3
00:59:58	48,5	46,7	49,8	48,1
00:59:57	48,6	47,5	49,4	49,0
00:59:56	48,7	47,0	51,4	49,6
00:59:55	48,7	47,1	50,4	48,6
00:59:54	48,7	46,8	49,6	49,4
00:59:53	48,7	47,6	50,7	48,4
00:59:52	48,7	47,5	50,2	49,1
00:59:51	48,8	47,6	50,2	49,4
00:59:50	48,8	47,5	50,0	49,2
00:59:49	48,8	47,8	50,1	49,7
00:59:48	48,8	47,7	50,2	48,9
00:59:47	48,8	46,6	49,8	49,5
00:59:46	48,8	48,0	50,3	50,0
00:59:45	48,8	47,3	50,2	49,3
00:59:44	48,8	46,8	50,3	50,2
00:59:43	48,8	47,5	50,4	49,0
00:59:42	48,8	47,9	50,5	47,9
00:59:41	48,8	46,7	48,9	48,0
00:59:40	48,8	47,7	51,0	50,6
00:59:39	48,9	47,8	51,2	48,9
00:59:38	48,8	47,3	49,7	49,4
00:59:37	48,8	46,9	49,8	48,6
00:59:36	48,8	47,9	50,7	47,9
00:59:35	48,8	47,0	50,6	48,8

00:59:34	48,8	47,7	49,7	49,5
00:59:33	48,8	47,7	50,9	49,3
00:59:32	48,8	46,8	49,8	47,7
00:59:31	48,8	47,0	49,7	48,5
00:59:30	48,8	46,7	49,6	48,1
00:59:29	48,8	47,7	50,4	50,0
00:59:28	48,8	46,8	50,2	47,8
00:59:27	48,8	47,0	49,5	49,2
00:59:26	48,8	47,1	50,1	48,9
00:59:25	48,8	47,6	49,9	48,6
00:59:24	48,8	46,5	50,3	48,6
00:59:23	48,8	47,9	50,6	49,2
00:59:22	48,8	47,6	50,0	47,6
00:59:21	48,8	47,5	50,3	48,1
00:59:20	48,8	46,3	50,0	49,7
00:59:19	48,8	47,5	50,6	48,0
00:59:18	48,8	47,6	51,5	47,6
00:59:17	48,8	46,7	49,6	48,8
00:59:16	48,8	48,0	50,4	49,3
00:59:15	48,8	47,0	50,1	49,1
00:59:14	48,8	47,2	50,4	47,8
00:59:13	48,8	47,8	51,0	49,8
00:59:12	48,8	44,7	49,8	44,7
00:59:11	48,7	39,5	44,4	39,8
00:59:10	48,6	39,0	39,9	39,2
00:59:09	48,6	39,3	49,7	48,7
00:59:08	48,6	47,0	49,6	48,3
00:59:07	48,6	47,7	49,8	48,0
00:59:06	48,6	46,8	50,5	48,5
00:59:05	48,6	47,2	49,7	49,3
00:59:04	48,6	47,7	49,6	48,0
00:59:03	48,6	47,5	50,5	50,0
00:59:02	48,6	47,7	50,2	49,1
00:59:01	48,6	46,6	50,0	48,8
00:59:00	48,6	47,0	50,0	48,5
00:58:59	48,6	46,7	49,8	48,9
00:58:58	48,6	46,5	49,8	48,7

E.2.4 Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

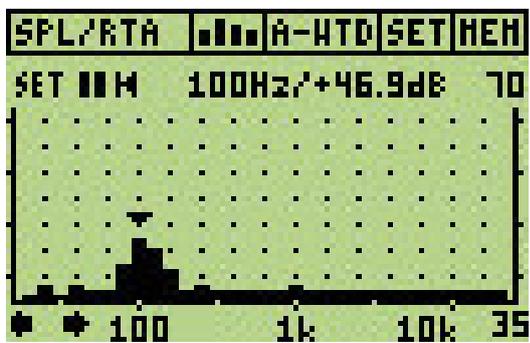


Bild E.2: Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

- > SPL_RTAs_third_octave
- > RTA filter: A-Weighting acc. IEC 61672
- > Time weight: fast

> Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle E.5: Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

Band[Hz]	LEQ [dB]	SPL [dB]	MIN [dB]	MAX [dB]
full_A-WTD	48,9	49,0	46,8	50,8
20	37,4	36,2	34,1	38,5
25	37,5	37,5	35,5	38,1
31,5	37,6	35,7	34,9	38,6
40	37,8	37,5	35,8	38,2
50	37,9	37,4	36,2	38,0
63	38,6	36,9	36,0	40,7
80	41,3	42,0	37,8	44,1
100	44,5	47,0	40,1	48,8
125	44,3	45,4	41,3	47,7
160	41,1	40,9	38,6	43,4
200	37,4	37,2	37,0	37,7
250	37,5	37,7	36,5	38,0
315	37,4	37,4	37,0	37,6
400	37,4	37,2	37,1	37,6
500	37,4	37,5	36,7	37,8
630	37,4	37,4	37,0	37,7
800	37,4	37,4	37,2	37,7
1000	37,4	37,6	36,9	37,9
1250	37,4	37,3	37,1	37,6
1600	37,4	37,4	37,3	37,5
2000	37,4	37,4	37,1	37,7
2500	37,4	37,4	37,1	37,5
3150	37,3	37,4	37,3	37,4
4000	37,3	37,5	37,1	37,6
5000	37,3	37,4	37,3	37,4
6300	37,4	37,4	37,3	37,4
8000	37,4	37,4	37,2	37,5
10000	37,4	37,4	37,3	37,4
12500	37,3	37,4	37,3	37,4
16000	37,4	37,3	37,3	37,5
20000	37,3	37,3	37,3	37,4

Anhang F: Aufnahme einer Windenergieanlage ohne tieffrequente Anteile 150 Hz – 20000 Hz

F.1 Einstellungen

Tabelle F.1: Input Aufnahme einer Windenergieanlage ohne tieffrequente Anteile 150 Hz – 20000 Hz

	<p>Software REAPER 4.75x64</p> <p>Generator: JS: Liteon/pinknoisegen Filter: JS: Lieon/applefilter72dB, LP Slope 0 – 150Hz, HP Slope aus Analyzer: Analysis/gfanalyzer, FFT Size 32768</p>
	<p>Kunstkopf Head:</p> <p>104 dB / Lin / Pulse OFF / HP OFF HPS IV Einstellungen: A/ Vol 76 / HMS Auto / Filter Lin / Out Line</p>
	<p>Zoom H4N Interface Einstellungen:</p> <p>I/F, Kanäle 1,2 Volume: 71 Output Kopfhörer: Sennheiser Sennheiser HD25-1-II 70 Ohm</p>
	<p>NTI AL1 Acoustilyzer</p> <p>Einstellung: Fast 94 dB Referenz from Head Acoustics RC V</p>

F.2 Messergebnisse aus dem Logbuch

F.2.1 Dauerschallpegel LEQ

- > SPL_RTA_full_band
- > Time weight: fast
- > Selected filter: Flat
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle F.2: Dauerschallpegel LEQ

Timer	LEQ [dB]	MIN_dt	MAX_dt	SPL_Act
00:59:59	69,5	67,4	71,5	69,3
00:59:58	69,9	67,7	72,0	69,5
00:59:57	69,4	66,5	70,2	68,5
00:59:56	69,2	66,8	70,5	68,8
00:59:55	69,4	67,4	73,2	71,0
00:59:54	69,3	67,4	71,5	68,8
00:59:53	69,5	67,7	72,0	69,4
00:59:52	69,4	66,5	70,3	68,6
00:59:51	69,3	66,7	70,5	68,6
00:59:50	69,4	67,3	73,2	71,1
00:59:49	69,3	67,4	71,4	69,0
00:59:48	69,4	67,8	72,0	69,4
00:59:47	69,4	66,5	70,3	68,6
00:59:46	69,3	66,7	70,5	68,6
00:59:45	69,3	67,3	73,2	71,0
00:59:44	69,3	67,4	71,4	68,6
00:59:43	69,4	67,7	72,0	69,4
00:59:42	69,3	66,5	70,3	68,6
00:59:41	69,3	66,7	70,5	68,8
00:59:40	69,3	67,4	73,2	71,1
00:59:39	69,3	67,4	71,4	69,3
00:59:38	69,4	67,7	72,0	69,6
00:59:37	69,3	66,5	70,3	68,8
00:59:36	69,3	66,7	70,5	68,6
00:59:35	69,3	67,4	73,2	70,6
00:59:34	69,3	67,4	71,5	69,3
00:59:33	69,4	67,7	72,0	69,4
00:59:32	69,3	66,5	70,3	68,7
00:59:31	69,3	66,7	70,5	68,8
00:59:30	69,3	67,3	73,2	71,0
00:59:29	69,3	67,4	71,5	68,5
00:59:28	69,4	67,7	72,0	69,5
00:59:27	69,3	66,5	70,2	68,6
00:59:26	69,3	66,7	70,4	68,6
00:59:25	69,3	67,4	73,2	71,1
00:59:24	69,3	67,4	71,4	69,0
00:59:23	69,4	67,7	72,0	69,5
00:59:22	69,3	66,5	70,2	68,6
00:59:21	69,3	66,7	70,4	68,5
00:59:20	69,3	67,4	73,2	70,6
00:59:19	69,3	67,5	71,5	69,3
00:59:18	69,4	67,8	72,0	69,5
00:59:17	69,3	66,5	70,3	68,6

00:59:16	69,3	66,7	70,5	68,8
00:59:15	69,3	67,4	73,2	70,9
00:59:14	69,3	67,4	71,5	69,2
00:59:13	69,4	67,7	72,0	69,6
00:59:12	69,3	66,5	70,3	68,6
00:59:11	69,3	66,7	70,5	68,8
00:59:10	69,3	67,4	73,2	71,1
00:59:09	69,3	67,4	71,5	69,3
00:59:08	69,4	67,7	72,0	69,5
00:59:07	69,3	66,4	70,3	68,6
00:59:06	69,3	66,7	70,5	68,8
00:59:05	69,3	67,4	73,2	70,6
00:59:04	69,3	67,4	71,4	68,6
00:59:03	69,4	67,7	72,0	69,5
00:59:02	69,3	66,5	70,3	68,8
00:59:01	69,3	66,8	70,5	68,6
00:59:00	69,3	67,4	73,2	71,1
00:58:59	69,3	67,4	71,5	68,6
00:58:58	69,3	67,7	72,0	69,4

F.2.2 Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

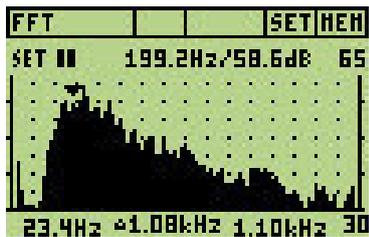


Bild F.1: Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

Tabelle F.3: Dauerschallpegel LEQ FFT aufgelöst

f [Hz]	SPL [dB]
23,44	43,1
35,16	34,6
46,88	31,4
58,59	31,1
70,31	31,4
82,03	29,8
93,75	31,7
105,47	38,6
117,19	45,6
128,91	49,3
140,62	52,2
152,34	54,5
164,06	58,5
175,78	60,2
187,50	57,4
199,22	58,6
210,94	58,0
222,66	60,2
234,38	63,7

246,09	61,4
257,81	57,4
269,53	58,2
281,25	57,7
292,97	54,7
304,69	56,9
316,41	59,8
328,12	56,2
339,84	52,7
351,56	54,4
363,28	52,3
375,00	47,9
386,72	50,8
398,44	51,7
410,16	48,0
421,88	46,2
433,59	49,0
445,31	49,9
457,03	49,9
468,75	44,8
480,47	45,1
492,19	48,5
503,91	45,7
515,62	45,5
527,34	46,2
539,06	43,9
550,78	47,0
562,50	48,5
574,22	45,8
585,94	44,6
597,66	43,4
609,38	42,0
621,09	42,0
632,81	39,2
644,53	40,7
656,25	38,7
667,97	40,0
679,69	41,0
691,41	37,5
703,12	37,2
714,84	36,6
726,56	38,4
738,28	40,0
750,00	38,4
761,72	35,9
773,44	41,0
785,16	40,9
796,88	40,5
808,59	39,9
820,31	41,2
832,03	40,0
843,75	38,2
855,47	38,8

867,19	37,4
878,91	35,8
890,62	34,1
902,34	33,8
914,06	34,9
925,78	33,9
937,50	31,7
949,22	30,4
960,94	33,2
972,66	32,4
984,38	36,9
996,09	34,9
1007,81	36,2
1019,53	34,2
1031,25	31,8
1042,97	34,2
1054,69	29,9
1066,41	30,0
1078,12	32,5
1089,84	33,9
1101,56	36,2

F.2.3. Dauerschallpegel LEQ_A

- > SPL_RTA_full_band
- > Time weight: fast
- > Selected filter: A-Weighting acc. IEC 61672
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle F.4: Dauerschallpegel LEQ_A

Timer	LEQ [dB]	MIN dt	MAX dt	SPL Act
00:59:59	62,5	61,1	64,0	62,9
00:59:58	62,3	60,4	63,4	62,0
00:59:57	62,1	61,1	63,2	61,8
00:59:56	62,3	61,5	64,4	62,0
00:59:55	62,3	60,6	63,7	61,9
00:59:54	62,3	61,1	63,9	63,0
00:59:53	62,3	60,4	63,4	62,3
00:59:52	62,2	61,1	63,2	61,7
00:59:51	62,3	61,5	64,4	62,0
00:59:50	62,3	60,6	63,7	61,5
00:59:49	62,3	61,1	63,9	62,9
00:59:48	62,3	60,4	63,4	62,0
00:59:47	62,2	61,1	63,2	61,6
00:59:46	62,3	61,5	64,4	61,9
00:59:45	62,3	60,6	63,7	61,7
00:59:44	62,3	61,1	63,9	62,9
00:59:43	62,3	60,4	63,4	62,3
00:59:42	62,2	61,2	63,2	61,9
00:59:41	62,3	61,5	64,4	62,0
00:59:40	62,3	60,6	63,7	61,9
00:59:39	62,3	61,1	63,9	63,0

00:59:38	62,3	60,4	63,4	62,3
00:59:37	62,2	61,1	63,2	61,8
00:59:36	62,3	61,5	64,4	61,8
00:59:35	62,3	60,6	63,7	61,8
00:59:34	62,3	61,1	64,0	62,6
00:59:33	62,3	60,4	63,5	62,3
00:59:32	62,2	61,1	63,2	61,9
00:59:31	62,3	61,5	64,4	61,9
00:59:30	62,3	60,6	63,7	61,7
00:59:29	62,3	61,1	63,9	63,0
00:59:28	62,3	60,4	63,5	62,0
00:59:27	62,2	61,1	63,2	61,7
00:59:26	62,3	61,5	64,4	61,7
00:59:25	62,3	60,6	63,7	61,7
00:59:24	62,3	61,1	63,9	63,0
00:59:23	62,3	60,4	63,5	62,0
00:59:22	62,2	61,1	63,2	61,7
00:59:21	62,3	61,5	64,4	61,9
00:59:20	62,3	60,6	63,7	61,7
00:59:19	62,3	61,1	63,9	62,6
00:59:18	62,3	60,4	63,4	62,0
00:59:17	62,2	61,1	63,2	61,8
00:59:16	62,3	61,5	64,4	62,0
00:59:15	62,3	60,6	63,7	61,8
00:59:14	62,3	61,1	63,9	62,8
00:59:13	62,3	60,4	63,4	62,3
00:59:12	62,2	61,1	63,1	61,9
00:59:11	62,3	61,5	64,4	61,7
00:59:10	62,3	60,6	63,7	61,6
00:59:09	62,3	61,1	63,9	63,0
00:59:08	62,3	60,4	63,4	62,3
00:59:07	62,2	61,1	63,2	61,6
00:59:06	62,3	61,5	64,4	61,9
00:59:05	62,3	60,6	63,6	61,7
00:59:04	62,3	61,1	63,9	63,0
00:59:03	62,3	60,4	63,4	62,0
00:59:02	62,2	61,1	63,2	61,9
00:59:01	62,3	61,5	64,4	62,1
00:59:00	62,3	60,6	63,7	61,6
00:58:59	62,3	61,1	63,9	63,0
00:58:58	62,3	60,4	63,4	62,0
00:58:57	62,2	61,1	63,2	61,7
00:58:56	62,3	61,5	64,4	61,9
00:58:55	62,3	60,6	63,7	61,7
00:58:54	62,3	61,1	63,9	62,7
00:58:53	62,3	60,4	63,4	62,3
00:58:52	62,2	61,1	63,2	61,9
00:58:51	62,3	61,5	64,4	62,1
00:58:50	62,3	60,5	63,7	61,7

F.2.4 Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

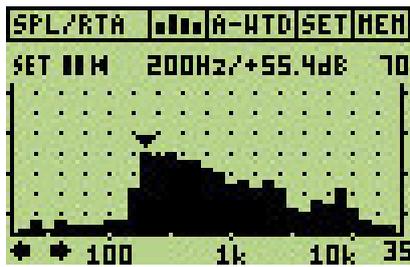


Bild F.2: Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

- > SPL_RTA_third_octave
- > RTA filter: A-Weighting acc. IEC 61672
- > Time weight: fast
- > Range: 40 dB - 120 dB

Tabelle F.5: Dauerschallpegel LEQ_A FFT aufgelöst

Band [Hz]	LEQ [dB]	SPL [dB]	MIN [dB]	MAX [dB]
full A-WTD	62,3	62,4	60,4	64,4
20	37,4	35,9	21,1	38,1
25	38,4	37,7	36,0	37,8
31,5	39,0	35,8	35,7	38,3
40	40,0	37,8	36,3	38,0
50	41,7	37,2	36,5	37,7
63	43,0	36,5	36,0	37,8
80	44,2	37,2	36,8	41,7
100	44,6	37,5	37,1	42,2
125	43,3	38,1	36,1	39,3
160	47,2	46,0	41,3	49,7
200	53,5	55,4	49,2	60,0
250	54,0	54,2	50,0	55,8
315	54,8	55,3	52,6	57,1
400	53,6	52,6	51,9	55,4
500	51,8	53,4	50,7	54,1
630	50,2	50,7	48,8	51,7
800	48,8	50,1	46,9	50,3
1000	47,4	47,1	46,0	49,1
1250	46,8	48,2	46,0	48,9
1600	47,1	46,4	46,1	49,2
2000	48,0	47,8	46,4	50,0
2500	45,8	45,6	44,8	46,7
3150	41,9	41,0	40,7	42,1
4000	40,5	39,7	39,7	40,7
5000	43,8	43,2	43,2	44,7
6300	42,1	41,7	41,5	43,0
8000	46,4	46,2	45,8	46,8
10000	41,7	41,2	41,2	42,1
12500	37,6	37,6	37,4	37,7
16000	37,3	37,4	37,3	37,4
20000	37,4	37,3	37,3	37,4

Anhang G: Verteilung der Probanden nach Geräusch-Szenario, Alter und Geschlecht

Tabelle G.1: Probanden und Setups: Verteilung der Probanden nach Geräusch-Szenario, Alter und Geschlecht

Probanden Nr.	Alter	Geschlecht	ID	Setup	
Proband 1	29	männlich	P129	I	0 – 20 – 150 - WEA
Proband 2	27	männlich	P227	II	20 – WEA – 0 - 150
Proband 3	26	männlich	P326	III	150 – WEA – 20 - 0
Proband 4	32	männlich	P432	IV	WEA – 150 – 20 - 0
Proband 5	23	männlich	P523	I	0 – 20 – 150 - WEA
Proband 6	25	weiblich	P625	I	0 – 20 – 150 - WEA
Proband 7	25	männlich	P725	II	20 – WEA – 0 - 150
Proband 8	21	weiblich	P821	III	150 – WEA – 20 - 0
Proband 9	28	weiblich	P928	I	0 – 20 – 150 - WEA
Proband 10	34	männlich	P1034	IV	WEA – 150 – 20 - 0
Proband 11	30	männlich	P1130	IV	WEA – 150 – 20 - 0
Proband 12	28	weiblich	P1228	II	20 – WEA – 0 - 150
Proband 13	28	männlich	P1328	III	150 – WEA – 20 - 0
Proband 14	29	männlich	P1429	II	20 – WEA – 0 - 150
Proband 15	49	männlich	P1549	III	150 – WEA – 20 - 0
Proband 16	71	weiblich	P1671	III	150 – WEA – 20 - 0
Proband 17	45	weiblich	P1745	IV	WEA – 150 – 20 - 0
Proband 18	30	männlich	P1830	II	20 – WEA – 0 - 150
Proband 19	29	männlich	P1929	III	150 – WEA – 20 - 0
Proband 20	25	männlich	P2025	IV	WEA – 150 – 20 - 0
Proband 21	32	weiblich	P2132	II	20 – WEA – 0 - 150
Proband 22	29	männlich	P2229	I	0 – 20 – 150 - WEA
Proband 23	27	weiblich	P2327	IV	0 – 20 – 150 - WEA
Proband 24	23	männlich	P2423	I	WEA – 150 – 20 - 0

Anhang H: Auswertung und Ergebnisse Hörtest

H.1 Hörschwellen nach Altersgruppen

Tabelle H.1: Untere und obere Hörschwelle nach Altersgruppe je Frequenz

	untere Grenze	obere Grenze								
Hörschwellen nach Alter in Jahren	125	125	250	250	500	500	750	750	1000	1000
0 - 24	0	0	0	5	0	5	0	5	0	5
25 - 39	0	5	5	10	5	10	5	10	5	10
40 - 49	5	10	10	15	10	15	10	15	10	15
70 - 80	25	30	25	30	25	30	25	35	25	35

H.2 Auswertung Hörschwelle rechtes Ohr

Tabelle H.2: Auswertung der Hörschwelle nach Altersgruppen rechtes Ohr

ID	Geschlecht	Alter	Altersgruppe	rechts 125 Hz	rechts 250 Hz	rechts 500 Hz	rechts 750 Hz	rechts 1000 Hz
P821	weiblich	21	0 - 24	5	0	5	10	5
P523	männlich	23	0 - 24	10	5	10	10	10
P2423	männlich	23	0 - 24	10	0	5	10	5
			MW	8,3	1,7	6,7	10,0	6,7
			STABW	2,9	2,9	2,9	0,0	2,9
P625	weiblich	25	25 - 39	10	5	5	5	0
P725	männlich	25	25 - 39	0	-5	0	10	0
P2025	männlich	25	25 - 39	10	5	5	5	5
P326	männlich	26	25 - 39	15	5	5	0	5
P227	männlich	27	25 - 39	15	5	10	25	25
P2327	weiblich	27	25 - 39	20	5	10	5	5
P928	weiblich	28	25 - 39	5	0	5	5	-5
P1228	weiblich	28	25 - 39	15	15	20	10	10
P1328	männlich	28	25 - 39	10	10	10	10	10
P129	männlich	29	25 - 39	15	5	10	10	10
P1429	männlich	29	25 - 39	5	10	20	15	5
P1929	männlich	29	25 - 39	20	5	0	15	-5
P2229	männlich	29	25 - 39	10	5	15	15	10
P1130	männlich	30	25 - 39	5	5	15	15	5
P1830	männlich	30	25 - 39	15	15	15	15	10
P432	männlich	32	25 - 39	5	10	15	15	10
P2132	weiblich	32	25 - 39	15	10	10	5	10
P1034	männlich	34	25 - 39	5	5	10	20	15
			MW	10,8	6,4	10,0	11,1	6,9
			STABW	5,8	4,8	5,9	6,3	7,1
P1745	weiblich	45	40 - 49	15	15	20	20	20
P1549	männlich	49	40 - 49	10	15	15	15	10
			MW	12,5	15,0	17,5	17,5	15,0

			STABW	3,5	0,0	3,5	3,5	7,1
P1671	weiblich	71	70 - 80	15	15	20	20	25
			MW	15,0	15,0	20,0	20,0	25,0
			STABW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

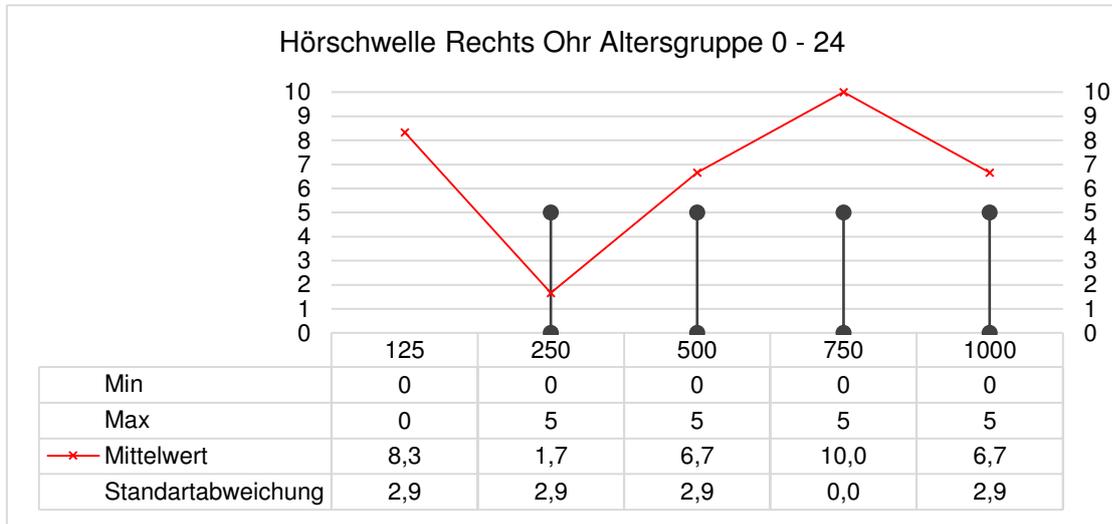


Bild H.1: Auswertung der Hörschwelle rechtes Ohr Altersgruppe 0 – 24

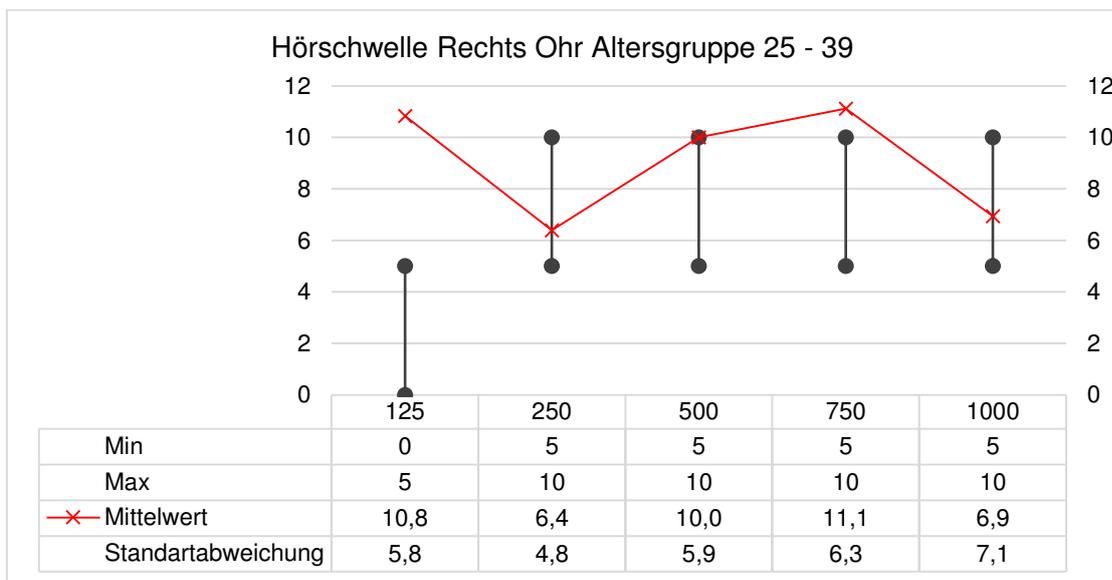


Bild H.2: Auswertung der Hörschwelle rechtes Ohr Altersgruppe 25 - 39

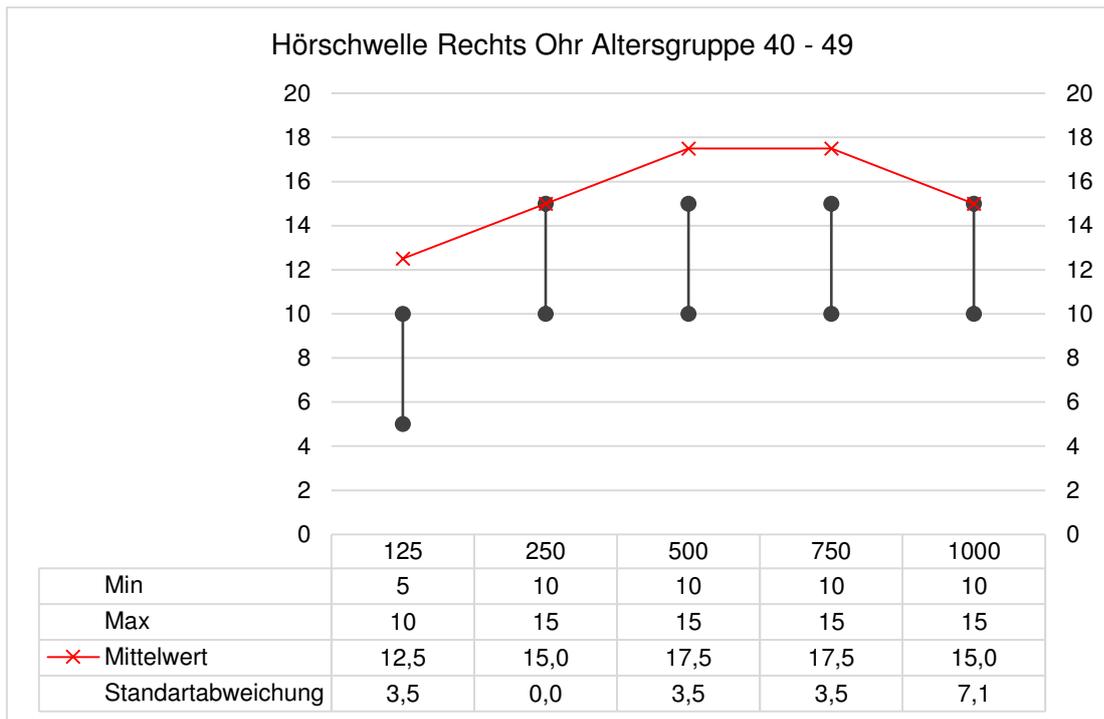


Bild H.3: Auswertung der Hörschwelle rechtes Ohr Altersgruppe 40 - 49

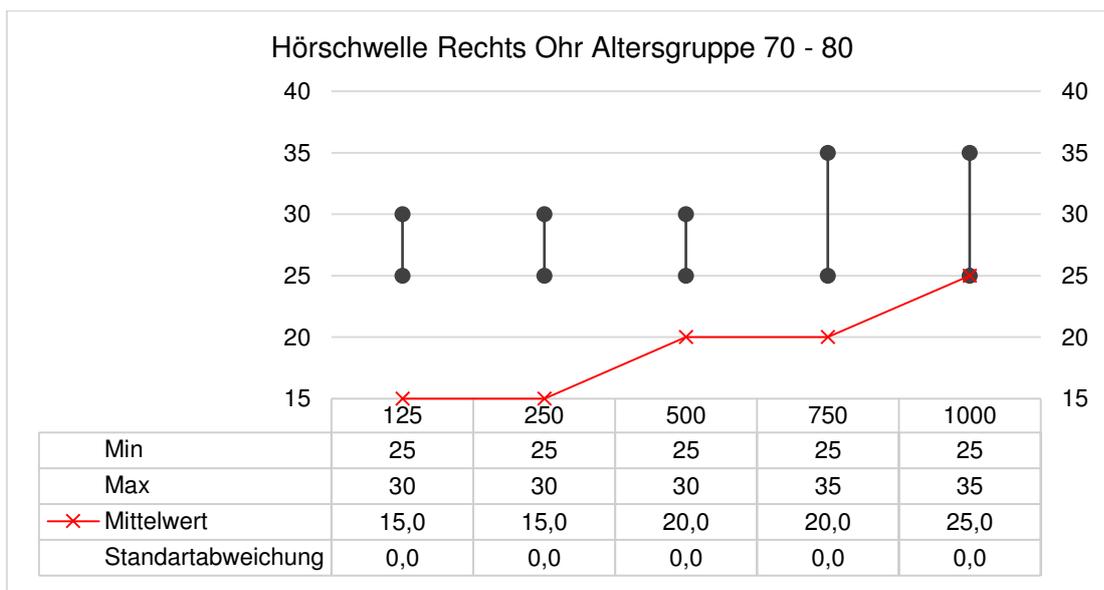


Abbildung H.1: Auswertung der Hörschwelle rechtes Ohr Altersgruppe 70 - 80

I.3 Auswertung Hörschwelle linkes Ohr

Tabelle H.3: Auswertung der Hörschwelle nach Altersgruppen linkes Ohr

ID	Geschlecht	Alter	Gruppe	links 125 Hz	links 250 Hz	links 500 Hz	links 750 Hz	links 1000 Hz
P821	weiblich	21	0 - 24	5	5	5	5	10
P523	männlich	23	0 - 24	10	5	10	15	10
P2423	männlich	23	0 - 24	5	0	10	5	5
			MW	7	3	8	8	8
			STABW	3	3	3	6	3
P625	weiblich	25	25 - 39	10	5	10	10	10

P725	männlich	25	25 - 39	0	0	5	5	5
P2025	männlich	25	25 - 39	10	5	5	0	0
P326	männlich	26	25 - 39	5	5	5	10	5
P227	männlich	27	25 - 39	10	5	10	20	20
P2327	weiblich	27	25 - 39	10	10	5	0	5
P928	weiblich	28	25 - 39	5	5	5	5	0
P1228	weiblich	28	25 - 39	25	25	30	25	20
P1328	männlich	28	25 - 39	5	5	5	10	10
P129	männlich	29	25 - 39	5	10	10	10	15
P1429	männlich	29	25 - 39	5	5	10	5	5
P1929	männlich	29	25 - 39	15	10	10	15	5
P2229	männlich	29	25 - 39	5	5	10	10	10
P1130	männlich	30	25 - 39	5	0	10	10	10
P1830	männlich	30	25 - 39	10	10	15	10	10
P432	männlich	32	25 - 39	0	0	5	5	5
P2132	weiblich	32	25 - 39	10	5	10	5	5
P1034	männlich	34	25 - 39	-5	10	15	20	20
			MW	7	7	10	10	9
			STABW	6	6	6	7	6
P1745	weiblich	45	40 - 49	15	15	15	15	15
P1549	männlich	49	40 - 49	5	10	5	10	5
			MW	10	13	10	13	10
			STABW	7	4	7	4	7
P1671	weiblich	71	70 - 80	20	20	20	20	25
			MW	20	20	20	20	25
			STABW	0	0	0	0	0

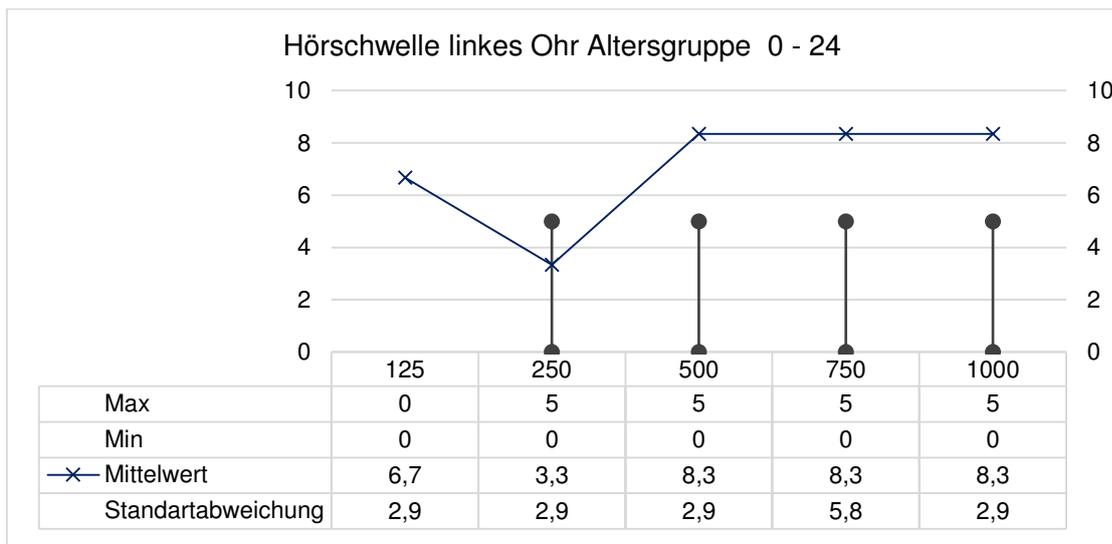


Bild H.5: Auswertung der Hörschwelle linkes Ohr Altersgruppe 0 - 24

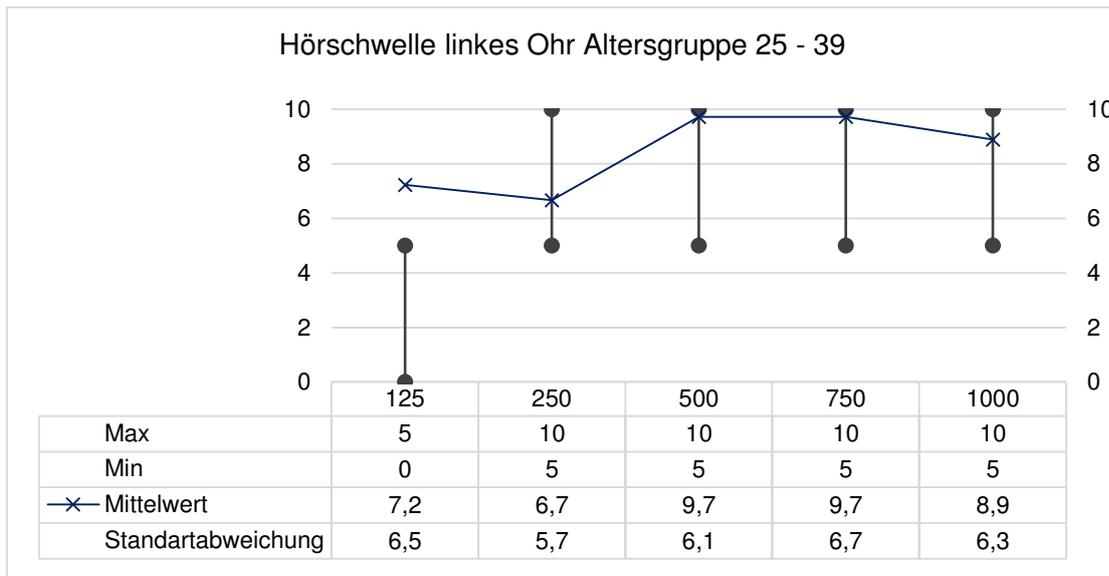


Bild H.6: Auswertung der Hörschwelle linkes Ohr Altersgruppe 25 - 39

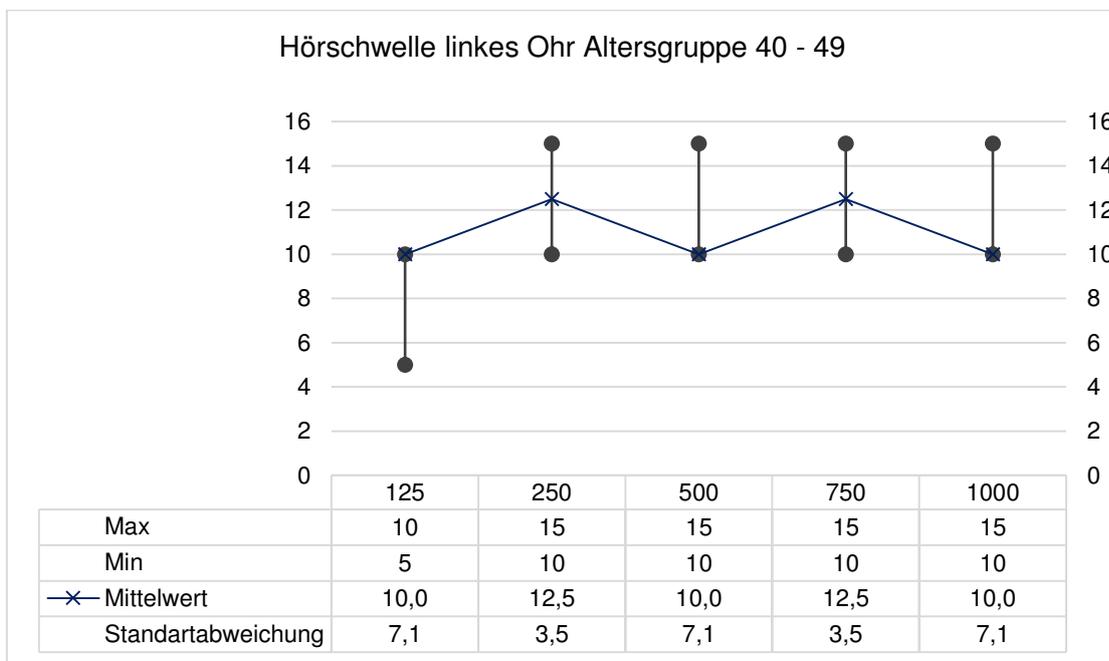


Bild H.7: Auswertung der Hörschwelle linkes Ohr Altersgruppe 40 - 49

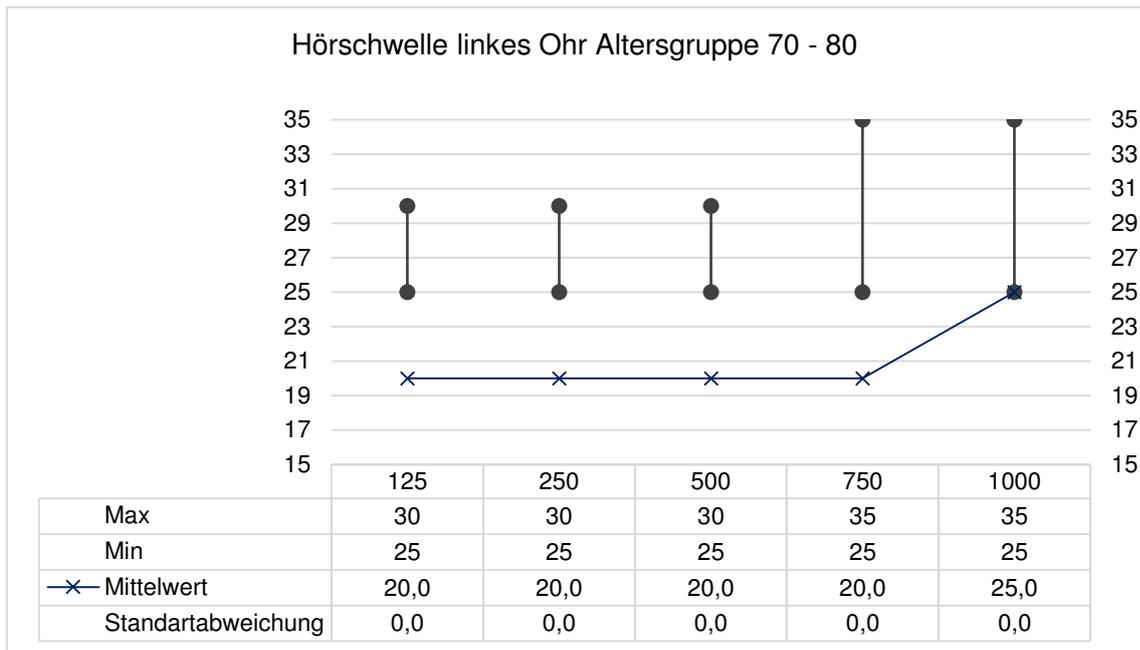


Bild H.8: Auswertung der Hörschwelle linkes Ohr Altersgruppe 70 - 80

Anhang I: Auswertung und Ergebnisse Bf-SR

Tabelle I.1: Auswertung der BF-SR

ID	Geschlecht	Alter	Setup	Szenario	Uhrzeit	Test	RW	T-Wert
P129	männlich	29	Setup I	Ohne	16:58	Bf-SR	14	57
P129	männlich	29	Setup I	Stille	17:19	Bf-SR	14	57
P129	männlich	29	Setup I	20	17:29	Bf-SR	25	64
P129	männlich	29	Setup I	150	17:51	Bf-SR	16	58
P129	männlich	29	Setup I	WEA	18:01	Bf-SR	22	61
P227	männlich	27	Setup II	Ohne	20:29	Bf-SR'	14	57
P227	männlich	27	Setup II	20	20:40	Bf-SR'	10	52
P227	männlich	27	Setup II	Stille	20:48	Bf-SR'	12	55
P227	männlich	27	Setup II	WEA	21:01	Bf-SR'	9	51
P227	männlich	27	Setup II	150	21:10	Bf-SR'	9	51
P326	männlich	26	Setup III	Ohne	19:40	Bf-SR'	10	52
P326	männlich	26	Setup III	150	19:57	Bf-SR	19	60
P326	männlich	26	Setup III	Stille	20:03	Bf-SR'	26	65
P326	männlich	26	Setup III	WEA	20:07	Bf-SR'	20	62
P326	männlich	26	Setup III	20	20:26	Bf-SR'	22	62
P432	männlich	32	Setup IV	Ohne	10:15	Bf-SR'	2	43
P432	männlich	32	Setup IV	WEA	10:29	Bf-SR'	4	46
P432	männlich	32	Setup IV	150	10:36	Bf-SR'	6	48
P432	männlich	32	Setup IV	20	10:58	Bf-SR	6	49
P432	männlich	32	Setup IV	Stille	11:05	Bf-SR	28	66
P523	männlich	23	Setup I	Ohne	19:21	Bf-SR'	16	59
P523	männlich	23	Setup I	Stille	19:42	Bf-SR'	10	52
P523	männlich	23	Setup I	20	19:51	Bf-SR	10	53
P523	männlich	23	Setup I	150	20:12	Bf-SR'	8	51
P523	männlich	23	Setup I	WEA	20:21	Bf-SR	8	51
P625	weiblich	25	Setup I	Ohne	18:05	Bf-SR'	20	59
P625	weiblich	25	Setup I	Stille	18:20	Bf-SR	18	57
P625	weiblich	25	Setup I	20	18:30	Bf-SR'	22	60
P625	weiblich	25	Setup I	150	18:52	Bf-SR'	7	48
P625	weiblich	25	Setup I	WEA	19:02	Bf-SR	21	58
P725	männlich	25	Setup II	Ohne	16:29	Bf-SR	11	54
P725	männlich	25	Setup II	20	16:45	Bf-SR'	12	48
P725	männlich	25	Setup II	WEA	16:55	Bf-SR'	8	51
P725	männlich	25	Setup II	Stille	17:19	Bf-SR	5	47
P725	männlich	25	Setup II	150	17:30	Bf-SR'	6	48
P821	weiblich	21	Setup III	Ohne	18:12	Bf-SR	12	53
P821	weiblich	21	Setup III	150	18:26	Bf-SR'	17	57
P821	weiblich	21	Setup III	WEA	18:34	Bf-SR	14	55
P821	weiblich	21	Setup III	20	18:53	Bf-SR'	15	56
P821	weiblich	21	Setup III	Stille	19:01	Bf-SR	9	50
P928	weiblich	28	Setup I	Ohne	11:33	Bf-SR	4	44
P928	weiblich	28	Setup I	Stille	11:52	Bf-SR'	6	47

P928	weiblich	28	Setup I	20	12:00	Bf-SR	10	51
P928	weiblich	28	Setup I	150	12:19	Bf-SR'	4	45
P928	weiblich	28	Setup I	WEA	12:26	Bf-SR	6	47
P1034	männlich	34	Setup IV	Ohne	14:47	Bf-SR	2	43
P1034	männlich	34	Setup IV	WEA	15:00	Bf-SR'	0	38
P1034	männlich	34	Setup IV	Stille	15:09	Bf-SR	4	47
P1034	männlich	34	Setup IV	150	15:27	Bf-SR'	0	38
P1034	männlich	34	Setup IV	20	15:35	Bf-SR	2	43
P1130	männlich	30	Setup IV	Ohne	16:18	Bf-SR'	10	52
P1130	männlich	30	Setup IV	WEA	16:33	Bf-SR	8	51
P1130	männlich	30	Setup IV	Stille	16:41	Bf-SR	2	43
P1130	männlich	30	Setup IV	150	17:02	Bf-SR'	2	43
P1130	männlich	30	Setup IV	20	17:10	Bf-SR	4	47
P1228	weiblich	28	Setup II	Ohne	18:23	Bf-SR	21	58
P1228	weiblich	28	Setup II	20	18:40	Bf-SR	22	59
P1228	weiblich	28	Setup II	WEA	18:48	Bf-SR'	6	47
P1228	weiblich	28	Setup II	Stille	19:06	Bf-SR	18	57
P1228	weiblich	28	Setup II	150	19:14	Bf-SR	14	55
P1328	männlich	28	Setup III	Ohne	19:12	Bf-SR'	3	44
P1328	männlich	28	Setup III	150	19:29	Bf-SR	8	51
P1328	männlich	28	Setup III	WEA	19:39	Bf-SR'	11	54
P1328	männlich	28	Setup III	20	19:53	Bf-SR'	10	52
P1328	männlich	28	Setup III	Stille	20:02	Bf-SR	11	54
P1429	männlich	29	Setup II	Ohne	20:27	Bf-SR'	8	51
P1429	männlich	29	Setup II	20	20:41	Bf-SR'	6	48
P1429	männlich	29	Setup II	WEA	20:49	Bf-SR	9	52
P1429	männlich	29	Setup II	Stille	21:10	Bf-SR'	1	39
P1429	männlich	29	Setup II	150	21:18	Bf-SR	9	52
P1549	männlich	49	Setup III	Ohne	13:12	Bf-SR'	6	48
P1549	männlich	49	Setup III	150	13:32	Bf-SR'	4	46
P1549	männlich	49	Setup III	WEA	13:40	Bf-SR'	5	47
P1549	männlich	49	Setup III	20	13:57	Bf-SR'	4	46
P1549	männlich	49	Setup III	Stille	14:05	Bf-SR'	7	49
P1671	weiblich	71	Setup III	Ohne	13:18	Bf-SR'	6	47
P1671	weiblich	71	Setup III	150	14:20	Bf-SR	4	44
P1671	weiblich	71	Setup III	WEA	14:25	Bf-SR'	5	45
P1671	weiblich	71	Setup III	20	14:38	Bf-SR	5	46
P1671	weiblich	71	Setup III	Stille	14:53	Bf-SR'	6	47
P1745	weiblich	45	Setup IV	Ohne	13:26	Bf-SR	21	58
P1745	weiblich	45	Setup IV	WEA	15:08	Bf-SR'	12	53
P1745	weiblich	45	Setup IV	Stille	15:17	Bf-SR'	15	56
P1745	weiblich	45	Setup IV	150	15:33	Bf-SR	14	55
P1745	weiblich	45	Setup IV	20	15:42	Bf-SR	18	57
P1830	männlich	30	Setup II	Ohne	18:39	Bf-SR'	12	48
P1830	männlich	30	Setup II	20	18:56	Bf-SR	12	55
P1830	männlich	30	Setup II	WEA	19:04	Bf-SR'	12	48
P1830	männlich	30	Setup II	Stille	19:28	Bf-SR'	12	48

P1830	männlich	30	Setup II	150	19:36	Bf-SR'	12	48
P1929	männlich	29	Setup III	Ohne	20:19	Bf-SR'	0	38
P1929	männlich	29	Setup III	150	20:34	Bf-SR'	8	51
P1929	männlich	29	Setup III	WEA	20:43	Bf-SR	8	51
P1929	männlich	29	Setup III	20	21:05	Bf-SR'	7	49
P1929	männlich	29	Setup III	Stille	21:13	Bf-SR'	3	44
P2025	männlich	25	Setup IV	Ohne	09:43	Bf-SR'	5	47
P2025	männlich	25	Setup IV	WEA	09:58	Bf-SR	5	47
P2025	männlich	25	Setup IV	Stille	10:06	Bf-SR	5	47
P2025	männlich	25	Setup IV	150	10:32	Bf-SR'	4	46
P2025	männlich	25	Setup IV	20	10:40	Bf-SR'	6	48
P2132	weiblich	32	Setup II	Ohne	11:24	Bf-SR	5	46
P2132	weiblich	32	Setup II	20	11:43	Bf-SR'	9	51
P2132	weiblich	32	Setup II	WEA	11:50	Bf-SR	6	47
P2132	weiblich	32	Setup II	Stille	12:14	Bf-SR'	4	45
P2132	weiblich	32	Setup II	150	12:21	Bf-SR	22	59
P2229	männlich	29	Setup I	Ohne	18:17	Bf-SR	7	50
P2229	männlich	29	Setup I	Stille	18:36	Bf-SR	8	51
P2229	männlich	29	Setup I	20	18:44	Bf-SR	22	61
P2229	männlich	29	Setup I	150	19:07	Bf-SR'	4	46
P2229	männlich	29	Setup I	WEA	19:14	Bf-SR'	25	64
P2327	weiblich	27	Setup IV	Ohne	19:42	Bf-SR'	11	54
P2327	weiblich	27	Setup IV	WEA	19:58	Bf-SR	6	47
P2327	weiblich	27	Setup IV	Stille	20:09	Bf-SR'	9	51
P2327	weiblich	27	Setup IV	150	20:28	Bf-SR'	9	51
P2327	weiblich	27	Setup IV	20	20:35	Bf-SR	11	52
P2423	männlich	23	Setup I	Ohne	19:41	Bf-SR	12	55
P2423	männlich	23	Setup I	Stille	20:49	Bf-SR	6	49
P2423	männlich	23	Setup I	20	20:58	Bf-SR	12	55
P2423	männlich	23	Setup I	150	21:13	Bf-SR	10	53
P2423	männlich	23	Setup I	WEA	21:21	Bf-SR	6	49

Anhang J: Auswertung und Ergebnisse d2-R

Tabelle J.1: Auswertung der Tests d2-R

ID	Geschlecht	Alter	Setup	Szenario	Uhrzeit	KL	BZO	F	SW
P129	männlich	29	Setup I	Stille	17:13	106	110	3,6	87
P129	männlich	29	Setup I	20	17:23	110	119	7,6	88
P129	männlich	29	Setup I	150	17:46	119	131	9,2	90
P129	männlich	29	Setup I	WEA	17:55	112	122	8,2	88
P227	männlich	27	Setup II	20	20:36	178	197	9,4	105
P227	männlich	27	Setup II	Stille	20:43	182	206	11,7	106
P227	männlich	27	Setup II	WEA	20:56	216	229	5,7	114
P227	männlich	27	Setup II	150	21:04	210	220	4,5	113
P326	männlich	26	Setup III	150	19:51	151	171	11,7	98
P326	männlich	26	Setup III	WEA	20:01	164	181	9,4	101
P326	männlich	26	Setup III	Stille	20:28	174	184	5,4	104
P326	männlich	26	Setup III	20	20:20	183	203	9,9	106
P432	männlich	32	Setup IV	WEA	10:23	163	191	14,7	101
P432	männlich	32	Setup IV	150	10:31	180	192	6,3	105
P432	männlich	32	Setup IV	20	10:53	223	235	5,1	116
P432	männlich	32	Setup IV	Stille	11:00	203	207	1,9	111
P523	männlich	23	Setup I	Stille	19:37	187	203	7,9	107
P523	männlich	23	Setup I	20	19:46	192	209	8,1	108
P523	männlich	23	Setup I	150	20:07	246	252	2,4	124
P523	männlich	23	Setup I	WEA	20:15	242	254	4,7	122
P625	weiblich	25	Setup I	Stille	18:16	150	162	7,4	98
P625	weiblich	25	Setup I	20	18:24	170	176	3,4	103
P625	weiblich	25	Setup I	150	18:47	175	179	2,2	104
P625	weiblich	25	Setup I	WEA	18:57	187	196	4,6	107
P725	männlich	25	Setup II	20	16:41	152	162	6,2	98
P725	männlich	25	Setup II	WEA	16:50	196	203	3,4	109
P725	männlich	25	Setup II	Stille	17:14	200	218	8,3	110
P725	männlich	25	Setup II	150	17:26	207	231	10,4	112
P821	weiblich	21	Setup III	150	18:21	175	184	4,9	104
P821	weiblich	21	Setup III	WEA	18:29	191	206	7,2	108
P821	weiblich	21	Setup III	20	18:47	219	230	4,8	115
P821	weiblich	21	Setup III	Stille	18:56	206	208	0,96	112
P928	weiblich	28	Setup I	Stille	11:45	217	303	28,4	114
P928	weiblich	28	Setup I	20	11:55	238	278	14,4	121
P928	weiblich	28	Setup I	150	12:14	286	301	4,9	130
P928	weiblich	28	Setup I	WEA	12:21	273	293	6,8	130
P1034	männlich	34	Setup IV	WEA	14:55	156	164	4,9	99
P1034	männlich	34	Setup IV	Stille	15:04	200	206	2,9	110
P1034	männlich	34	Setup IV	150	15:22	205	209	1,9	111
P1034	männlich	34	Setup IV	20	15:31	198	208	4,8	110
P1130	männlich	30	Setup IV	WEA	16:28	130	146	11	93

P1130	männlich	30	Setup IV	Stille	16:35	150	182	17,6	98
P1130	männlich	30	Setup IV	150	16:57	173	194	11	103
P1130	männlich	30	Setup IV	20	17:05	176	190	7,4	104
P1228	weiblich	28	Setup II	20	18:36	140	185	24,3	95
P1228	weiblich	28	Setup II	WEA	18:43	159	188	15,4	100
P1228	weiblich	28	Setup II	Stille	19:01	185	208	11	106
P1228	weiblich	28	Setup II	150	19:11	183	205	10,3	106
P1328	männlich	28	Setup III	150	19:24	139	155	10,3	95
P1328	männlich	28	Setup III	WEA	19:33	154	169	8,9	99
P1328	männlich	28	Setup III	20	19:48	180	190	5,2	105
P1328	männlich	28	Setup III	Stille	19:57	184	193	4,7	106
P1429	männlich	29	Setup II	20	20:36	247	249	0,8	124
P1429	männlich	29	Setup II	WEA	20:44	262	264	0,8	129
P1429	männlich	29	Setup II	Stille	21:05	276	277	0,4	130
P1429	männlich	29	Setup II	150	21:13	273	275	0,7	130
P1549	männlich	49	Setup III	150	13:26	153	162	5,6	102
P1549	männlich	49	Setup III	WEA	13:35	169	175	3,4	106
P1549	männlich	49	Setup III	20	13:52	191	201	5	108
P1549	männlich	49	Setup III	Stille	14:01	187	194	3,6	112
P1671	weiblich	71	Setup III	150	14:15	115	124	7,3	91
P1671	weiblich	71	Setup III	WEA	14:23	127	139	8,6	95
P1671	weiblich	71	Setup III	20	14:33	135	150	10	97
P1671	weiblich	71	Setup III	Stille	14:48	140	166	16	98
P1745	weiblich	45	Setup IV	WEA	15:04	83	157	47	81
P1745	weiblich	45	Setup IV	Stille	15:11	120	144	17	93
P1745	weiblich	45	Setup IV	150	15:28	130	145	10	96
P1745	weiblich	45	Setup IV	20	15:37	138	148	6,8	98
P1830	männlich	30	Setup II	20	18:52	172	172	0	103
P1830	männlich	30	Setup II	WEA	19:00	200	202	0,99	110
P1830	männlich	30	Setup II	Stille	19:24	223	223	0	116
P1830	männlich	30	Setup II	150	19:32	204	205	0,49	111
P1929	männlich	29	Setup III	150	20:30	189	231	18,2	107
P1929	männlich	29	Setup III	WEA	20:39	197	230	14,3	109
P1929	männlich	29	Setup III	20	21:01	230	250	8	118
P1929	männlich	29	Setup III	Stille	21:09	209	221	5,4	112
P2025	männlich	25	Setup IV	WEA	09:55	128	131	2,3	92
P2025	männlich	25	Setup IV	Stille	10:02	166	170	2,35	102
P2025	männlich	25	Setup IV	150	10:28	199	205	2,9	110
P2025	männlich	25	Setup IV	20	10:36	196	201	2,48	109
P2132	weiblich	32	Setup II	20	11:39	266	288	7,6	130
P2132	weiblich	32	Setup II	WEA	11:44	290	302	3,9	130
P2132	weiblich	32	Setup II	Stille	12:10	307	307	0	130
P2132	weiblich	32	Setup II	150	12:18	283	288	1,7	130
P2229	männlich	29	Setup I	Stille	18:32	152	165	7,3	98
P2229	männlich	29	Setup I	20	18:39	172	189	8,9	103
P2229	männlich	29	Setup I	150	19:02	184	190	3,2	106
P2229	männlich	29	Setup I	WEA	19:09	183	194	5,7	106

P2327	weiblich	27	Setup IV	WEA	19:53	183	231	20,8	106
P2327	weiblich	27	Setup IV	Stille	20:02	210	222	5,4	113
P2327	weiblich	27	Setup IV	150	20:23	234	255	8,2	120
P2327	weiblich	27	Setup IV	20	20:31	211	229	7,9	113
P2423	männlich	23	Setup I	Stille	20:45	143	148	3,4	96
P2423	männlich	23	Setup I	20	20:53	164	169	2,9	101
P2423	männlich	23	Setup I	150	21:09	172	175	1,7	103
P2423	männlich	23	Setup I	WEA	21:17	169	171	1,2	102

Anhang K: Ergebnisse EDA

Tabelle K.1: Auswertung der EDA

ID	Geschlecht	Alter	Setup	Szenario	EDA
P432	männlich	32	Setup IV	WEA	0,034576769
P432	männlich	32	Setup IV	150	0,026240375
P432	männlich	32	Setup IV	20	0,062486756
P432	männlich	32	Setup IV	Stille	0,083300988
P523	männlich	23	Setup I	Stille	0,073475869
P523	männlich	23	Setup I	20	0,078483137
P523	männlich	23	Setup I	150	0,08597741
P523	männlich	23	Setup I	WEA	0,073593041
P625	weiblich	25	Setup I	Stille	0,000532048
P625	weiblich	25	Setup I	20	0,088145499
P625	weiblich	25	Setup I	150	0,109573995
P625	weiblich	25	Setup I	WEA	0,057084624
P725	männlich	25	Setup II	20	0,043958864
P725	männlich	25	Setup II	WEA	0,061404134
P725	männlich	25	Setup II	Stille	0,126001766
P725	männlich	25	Setup II	150	0,048567943
P821	weiblich	21	Setup III	150	0,078730886
P821	weiblich	21	Setup III	WEA	0,04673082
P821	weiblich	21	Setup III	20	0,046716397
P821	weiblich	21	Setup III	Stille	0,03514367
P928	weiblich	28	Setup I	Stille	0,034575622
P928	weiblich	28	Setup I	20	0,337219
P928	weiblich	28	Setup I	150	0,062418625
P928	weiblich	28	Setup I	WEA	0,083300988
P1034	männlich	34	Setup IV	WEA	0,50152588
P1034	männlich	34	Setup IV	Stille	0,063353773
P1034	männlich	34	Setup IV	150	0,050057417
P1034	männlich	34	Setup IV	20	0,037268389
P1130	männlich	30	Setup IV	WEA	0,233341194
P1130	männlich	30	Setup IV	Stille	0,186770648
P1130	männlich	30	Setup IV	150	0,174582242
P1130	männlich	30	Setup IV	20	0,159604468
P1228	weiblich	28	Setup II	20	0,108426999
P1228	weiblich	28	Setup II	WEA	0,123132779
P1228	weiblich	28	Setup II	Stille	0,092671213
P1228	weiblich	28	Setup II	150	0,101610067
P1328	männlich	28	Setup III	150	0,055335915
P1328	männlich	28	Setup III	WEA	0,122069533
P1328	männlich	28	Setup III	20	0,191174605
P1328	männlich	28	Setup III	Stille	0,171782241
P1429	männlich	29	Setup II	20	0,20112881

P1429	männlich	29	Setup II	WEA	0,131528599
P1429	männlich	29	Setup II	Stille	0,207896479
P1429	männlich	29	Setup II	150	0,150345077
P1549	männlich	49	Setup III	150	0,020554183
P1549	männlich	49	Setup III	WEA	0,019555224
P1549	männlich	49	Setup III	20	0,016146961
P1549	männlich	49	Setup III	Stille	0,027827107
P1671	weiblich	71	Setup III	150	0,039683934
P1671	weiblich	71	Setup III	WEA	0,064021157
P1671	weiblich	71	Setup III	20	0,080288937
P1671	weiblich	71	Setup III	Stille	0,105706002
P1745	weiblich	45	Setup IV	WEA	0,093440089
P1745	weiblich	45	Setup IV	Stille	0,152520217
P1745	weiblich	45	Setup IV	150	0,129900615
P1745	weiblich	45	Setup IV	20	0,153711024
P1830	männlich	30	Setup II	20	0,011980004
P1830	männlich	30	Setup II	WEA	0,016091066
P1830	männlich	30	Setup II	Stille	0,004615832
P1830	männlich	30	Setup II	150	0,015096005
P1929	männlich	29	Setup III	150	0,009174177
P1929	männlich	29	Setup III	WEA	0,018620209
P1929	männlich	29	Setup III	20	0,007509963
P1929	männlich	29	Setup III	Stille	0,005709528
P2025	männlich	25	Setup IV	WEA	0,015831764
P2025	männlich	25	Setup IV	Stille	0,013147574
P2025	männlich	25	Setup IV	150	0,010038209
P2025	männlich	25	Setup IV	20	0,010073136
P2132	weiblich	32	Setup II	20	0,018515924
P2132	weiblich	32	Setup II	WEA	0,016090364
P2132	weiblich	32	Setup II	Stille	0,007556626
P2132	weiblich	32	Setup II	150	0,008537037
P2229	männlich	29	Setup I	Stille	0,143884466
P2229	männlich	29	Setup I	20	0,175038361
P2229	männlich	29	Setup I	150	0,16185274
P2229	männlich	29	Setup I	WEA	0,137775929
P2327	weiblich	27	Setup IV	WEA	0,032135516
P2327	weiblich	27	Setup IV	Stille	0,019481306
P2327	weiblich	27	Setup IV	150	0,020944276
P2327	weiblich	27	Setup IV	20	0,010627024
P2423	männlich	23	Setup I	Stille	0,021224617
P2423	männlich	23	Setup I	20	0,010006535
P2423	männlich	23	Setup I	150	0,02090875
P2423	männlich	23	Setup I	WEA	0,012744954