

Kollegium Spiritus Sanctus Brig

Maturaarbeit 2023/24

Binaurales Hören

Einfluss verschiedener Faktoren auf das binaurale Hören – Probandenversuch

Von:

**Salzmann Lenja, 5D
Kuonen Gian, 5D**

Eingereicht im Fachbereich Biologie

Betreut durch:

Schmidt-Lagger Susanne

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	1
2	Zusammenfassung.....	2
3	Einleitung.....	3
4	Theorie	4
4.1	Das Ohr und der Gehörvorgang	4
4.1.1	Aussenohr.....	4
4.1.2	Mittelohr	5
4.1.3	Innenohr	5
4.2	Gehör im Alter	5
4.3	Gehör von Mann und Frau	6
4.4	Binaurales Hören	6
4.4.1	Interaurale Zeitdifferenzen	7
4.4.2	Interaurale Schalldruckdifferenzen	7
4.4.3	Klangfarbe	8
4.5	Nebengeräusche	8
4.5.1	Auditive Aufmerksamkeitsausrichtung und Erkennen von relevantem Schall.....	9
4.5.2	Einfluss einer Beeinträchtigung der Hörfähigkeit auf die auditive Aufmerksamkeitsausrichtung	10
5	Material und Methoden.....	11
5.1	Raum	11
5.2	Ton.....	12
5.3	Nebengeräusch	13
5.4	Methoden.....	14
5.4.1	Vorbereitung	14
5.4.1.1	Versuchsaufbau Richtungsgehör ohne Nebengeräusche	14
5.4.1.2	Geplanter Versuchsaufbau mit Nebengeräuschen	15
5.4.1.3	Positionen auswählen ohne Nebengeräusche	16
5.4.1.4	Positionen auswählen mit Nebengeräuschen.....	16
5.4.2	Durchführung ohne Nebengeräusche.....	16
5.4.3	Geplante Durchführung mit Nebengeräuschen.....	17
6	Resultate	19
6.1	Altersunterschied	20
6.1.1	Hörend auf beiden Ohren	21
6.1.2	Gut hörend auf nur einem Ohr	22
6.2	Geschlechtsunterschied	23

7	Diskussion.....	24
7.1	Übersicht aller Resultate	24
7.2	Altersunterschied	24
7.3	Geschlechterunterschied	26
7.4	Ohne und mit Beeinträchtigung auf einem Ohr	26
7.4.1	Auf beiden Ohren gut hörende Probanden	26
7.4.2	Probanden, welche auf einem Ohr eine Beeinträchtigung haben	27
7.5	Diskussion mit Nebengeräuschen	28
7.5.1	Geräusche auf gleichem Feld	29
7.5.2	Geräusche links und rechts vom Kopf.....	29
8	Schlussfolgerung	31
9	Schlusswort	32
10	Danksagung	32
11	Glossar	33
12	Quellenverzeichnis	34
12.1	mündliche Quelle	34
12.2	Literaturverzeichnis.....	34
12.3	Abbildungsverzeichnis.....	36
13	Anhang	38
14	Authentizitätserklärung	52

1 Vorwort

Als wir anfangen, uns mit dem Thema Maturaarbeit zu beschäftigen, war für uns klar, dass wir gerne ein Thema gemeinsam bearbeiten wollen. Da wir beide eine Begeisterung für Biologie spüren und uns das Schwerpunktfach Biologie und Chemie sehr interessiert, stand für uns schnell fest, dass das Fach, in welchem wir unsere Maturaarbeit schreiben wollen, Biologie sein wird. Das Schreiben von Laborjournalen bereitet uns grossen Spass, und somit kennen wir uns mit dem wissenschaftlichen Arbeiten schon ein wenig aus.

Als wir die Biologie Themen gemeinsam anschauten, sprach uns das Thema binaurales Hören direkt an. Wenn man fast oder gar nichts mehr hören kann, stellt das beinahe das ganze Leben auf den Kopf. Wir haben beide Grosseltern, bei welchen das Gehör nicht mehr richtig funktioniert. Somit ist uns das Thema Hören schon länger vertraut.

Anschliessend recherchierten wir ein wenig über die Thematik Richtungshören und erlangten so die Erkenntnis, was das genau ist. Wir stellten fest, dass es ein wichtiger Bestandteil unseres Lebens ist. Es ist nicht nur ein Sinneseindruck, sondern kann auch über Leben und Tod entscheiden. Das binaurale Hören liefert uns Informationen, um Gefahren, wie beispielsweise ein fahrendes Auto, lokalisieren zu können.

Nach dieser Recherche und dem Bewusstsein, wie wichtig dieses Thema für uns Menschen ist, haben wir uns dafür entschieden. Damit war die Grundlage geschaffen, uns mit einem wirklich spannenden Thema zu befassen und auseinanderzusetzen.

2 Zusammenfassung

Binaurales Hören oder auch Richtungshören genannt, ist das Hören mit zwei funktionierenden Ohren. Damit kann der Mensch die Richtung identifizieren, aus welcher der Schall kommt und dessen Entfernung abschätzen. Das Gehirn vergleicht die unterschiedlichen Informationen, welche von den beiden Ohren aufgenommen werden und kann dadurch die Richtung des Schalls erkennen. Verglichen werden dabei die interauralen Zeitdifferenzen, die interauralen Schalldruckdifferenzen und die Klangfarbe.

Um eine Schallquelle lokalisieren zu können, wenn ein Nebengeräusch vorhanden ist, muss der Mensch in der Lage sein, sich auf den relevanten Schallanteil zu fokussieren. Nebengeräusche müssen vom Menschen in den Hintergrund geschoben werden, um sich auf die relevante Schallquelle fokussieren zu können. Dafür muss der gesamte gehörte Schall den verschiedenen Schallquellen zugeordnet werden und dann entschieden werden, welche Schallquelle relevant ist.

Im Rahmen dieser Maturaarbeit wurde ein Versuch mit 26 Probanden durchgeführt, um Erkenntnisse zu den folgenden Fragestellungen zu erlangen. Die Ergebnisse der vierten Fragestellung basieren auf Überlegungen und wurden nicht mit einem Probandenversuch überprüft.

1. Verschlechtert sich die Fähigkeit des binauralen Hörens mit zunehmendem Alter?
2. Gibt es einen Unterschied zwischen Mann und Frau in Bezug auf die Fähigkeit des binauralen Hörens?
3. Welchen Einfluss haben verschiedene Beeinträchtigungsstufen auf einem Ohr auf das binaurale Hören?
4. Verschlechtern Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens?

Die erste Fragestellung wird mit Ja beantwortet, die Ergebnisse des Experimentes zeigen, dass sich das binaurale Hören mit steigendem Alter verschlechtert.

Die zweite Fragestellung wird mit Nein beantwortet, es wird kein Unterschied zwischen Mann und Frau in Bezug aufs binaurale Hören gefunden.

Zur dritten Fragestellung kann gesagt werden, dass ab einem gewissen Grad der Beeinträchtigung nicht mehr binaural gehört werden kann. Schlussfolgernd aufgrund des Probandenversuchs, kann gesagt werden, dass die Grenze zwischen 10 % und 40 % Hörvermögen auf dem beeinträchtigten Ohr liegt, ab welcher man nicht mehr binaural Hören kann.

Die letzte Fragestellung kann wie folgt beantwortet werden. Bei normal hörenden Personen verschlechtern Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens nicht. Bei Personen mit beeinträchtigter Hörfähigkeit kommt es auf die Positionen an, in der Nebengeräusch und zu lokalisierendes Geräusch zueinanderstehen. Sind die Geräusche rechts und links vom Kopf aufgestellt, verschlechtert das Nebengeräusch die Genauigkeit des binauralen Hörens nicht. Kommen die beiden Geräusche aus derselben Richtung, kann nicht gesagt werden, ob die Nebengeräusche das binaurale Hören verschlechtern.

3 Einleitung

In dieser Maturaarbeit geht es um das Thema binaurales Hören. Binaurales Hören ist im Alltag sehr wichtig. Durch das Richtungshören kann man die Richtung von Gefahren identifizieren und so schneller reagieren. Um dieses Thema zu bearbeiten, wurde ein theoretischer Teil verfasst und ein Probandenversuch durchgeführt. Es wurde ein Versuchsaufbau zum Richtungshören entwickelt mit Informationen aus dem Buch Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis und Anweisungen von Herrn Dr. med. Lemke, einem Hals-Nasen-Ohren-Arzt. Nach dem Planen des Versuchsaufbaus wurde ein passender Raum für die Durchführung gesucht. Man entschied, den Probandenversuch im Theatersaal des Kollegium Spiritus Sanctus Brig durchzuführen. Dazu wurden 26 Probanden eingeladen.

In der folgenden Arbeit wird die Theorie dieses Themas erläutert. Anschliessend wird der Versuchsaufbau und die Durchführung beschrieben. Die Ergebnisse des Experiments werden daraufhin diskutiert. Zudem ist ein hypothetischer Teil enthalten, welcher sich mit der Thematik von Nebengeräuschen beschäftigt. Warum dieser Teil nur theoretisch in dieser Maturaarbeit behandelt wurde, wird in der Diskussion (siehe Kapitel 7.5) genauer erläutert.

So entstanden während dieses Prozesses vier Fragestellungen. Aufgrund der theoretischen Vorkenntnisse und des Gesprächs mit Herrn Dr. med. Lemke entwickelte man dazu vier Hypothesen:

1. Verschlechtert sich die Fähigkeit des binauralen Hörens mit zunehmendem Alter?
Hypothese: Nein, das binaurale Hören verschlechtert sich mit zunehmendem Alter nicht.
2. Gibt es einen Unterschied zwischen Mann und Frau in Bezug auf die Fähigkeit des binauralen Hörens?
Hypothese: Nein, das binaurale Hören unterscheidet sich zwischen Mann und Frau nicht.
3. Welchen Einfluss haben verschiedene Beeinträchtigungsstufen auf einem Ohr auf das binaurale Hören?
Hypothese: Ab einem gewissen Grad der Beeinträchtigung des Hörens auf einem Ohr kann man nicht mehr binaural hören.
4. Verschlechtern Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens?
Hypothese: Ja, Nebengeräusche verschlechtern die Genauigkeit des binauralen Hörens.

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Maturaarbeit das generische Maskulinum verwendet. Die verwendeten Personenbezeichnungen in der Arbeit beziehen sich auf alle Geschlechter, sofern es nicht anders kommuniziert wird.

4 Theorie

4.1 Das Ohr und der Gehörvorgang

Das menschliche Ohr kann im Alter von zwei bis fünf Jahren im Frequenzbereich von 16 bis 20000 *Hertz* (*kursiv* geschriebene Wörter werden im Glossar erklärt) hören. Im Alter lässt die Fähigkeit, Töne im hohen Frequenzbereich zu hören, stark nach. Zudem kann der Mensch nur innerhalb eines bestimmten Schalldruckpegelbereichs hören, wobei die untere Grenze als Hörschwelle (0 *dB SPL*) bezeichnet wird und die obere als Schmerzgrenze (130 *dB SPL*) und von der Frequenz abhängig ist. Das Ohr kann in Aussenohr, Mittelohr und Innenohr unterteilt werden (Abb. 1). Im Folgenden werden die drei Teile des Hörens erklärt. (Willig, 2023)

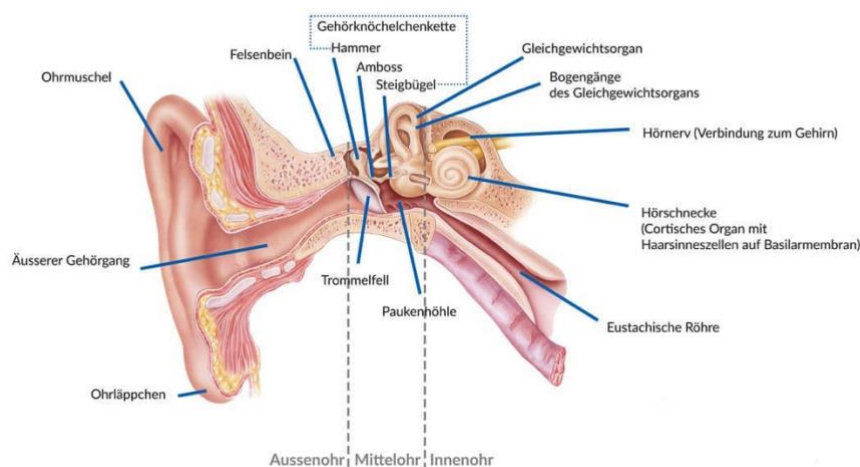


Abbildung 1: Aufbau des Ohres

4.1.1 Aussenohr

Der äusserste Teil des Ohrs umfasst die Ohrmuschel, das Ohrläppchen und den Ohrknorpel, welche den im üblichen Sprachgebrauch als „Ohr“ betitelten Teil des Ohrs ausmachen. Zum Aussenohr gehören zudem auch der äussere Gehörgang (Abb. 1) und die Aussenseite des Trommelfells. Das Aussenohr dient in erster Linie zum Einfangen des Schalls, hat aber durch seine Form auch eine Bedeutung in der Lokalisation von Geräuschen (siehe Kapitel 4.4). Die eingefangenen Schallwellen dringen in den äusseren Gehörgang und bringen dort das Trommelfell in Schwingung. (Willig, 2023) (Schneider, 2023)

4.1.2 Mittelohr

Das Mittelohr kann in die Paukenhöhle und die Ohrtrompete, auch Eustachische Röhre genannt, unterteilt werden (Abb. 1). Die Paukenhöhle besteht aus dem Trommelfell und den drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel. Die Gehörknöchelchen übertragen und verstärken dabei die Schallwellen vom schwingenden Trommelfell auf das Innenohr. Die Ohrtrompete bildet das Verbindungsstück zwischen Paukenhöhle und Nasen-Rachen-Raum und dient dem Druckausgleich der Paukenhöhle. (Willig, 2023) (Schneider, 2023)

4.1.3 Innenohr

Das Innenohr liegt im knöchernen Labyrinth, welches aus Gehörschnecke und dem Gleichgewichtsorgan besteht. Beide sind mit einer Flüssigkeit (*Endolymphe*) gefüllt und besitzen feine Haarzellen. In der Gehörschnecke werden die Schallwellen in Nervenimpulse zum eigentlichen Sinnesorgan geführt, dem Corti-Organ, welches auf der Basilarmembran sitzt. Dort befinden sich die Haarzellen, welche als Rezeptoren des *auditiven Systems* dienen. Die Härchen von den Haarzellen werden durch Bewegen der Flüssigkeit in der Gehörschnecke gebogen und dadurch werden Neurotransmitter ausgeschüttet. Die Frequenz eines Tones wird *neuronal codiert* über die Stelle der Auslenkung auf der Basilarmembran. Dieses Prinzip nennt man Tonotopie. Die Tonotopie befindet sich in den anatomisch und zeitlich nachgelagerten Stufen des auditiven Verarbeitungspfades im Gehirn. (Willig, 2023) (Schneider, 2023) (Müsseler und Rieger, 2016)

4.2 Gehör im Alter

Ältere Menschen hören grundsätzlich weniger gut als junge Menschen (Abb. 2). Die sich in der Gehörschnecke befindenden Haarzellen und deren Härchen, welche durch das Bewegen der Flüssigkeit in der Gehörschnecke gebogen werden und dadurch Neurotransmitter ausschütten, können Schaden nehmen, was das Hörvermögen einschränkt. Zudem vermindert sich im Alter die Anzahl an Neuronen, Neurotransmittern und Rezeptoren im Ohr, was die Informationsübertragung zum Gehirn einschränkt. Auffällig ist, der Hörverlust in den hohen Frequenzen bei zunehmendem Alter (Abb. 2). Bei tieferen Frequenzen haben ältere Menschen weniger Mühe als bei hohen Frequenzen. (Hesse und Laubert, 2005)

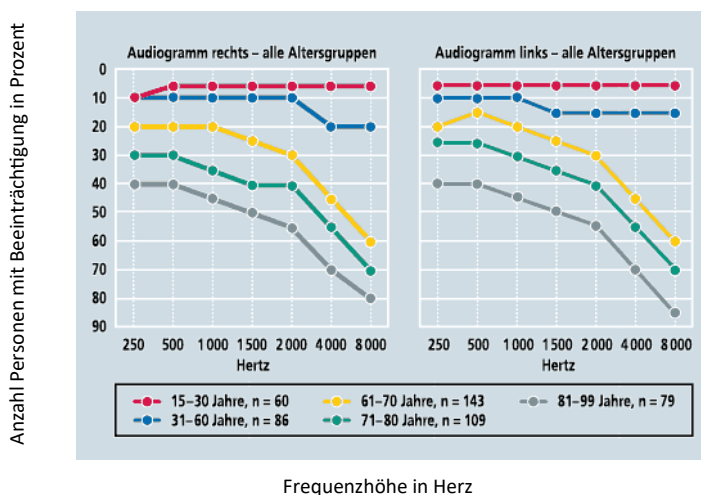


Abbildung 2: Altersbedingte Hochfrequenztaubheit

4.3 Gehör von Mann und Frau

Frauen können höhere Töne besser wahrnehmen als Männer, weshalb sie den emotionalen Unterton besser erkennen. Männer hingegen besitzen ein besseres räumliches Hörvermögen.

Diese Unterschiede werden der Evolution zugeschrieben. Dass Frauen die höheren Töne besser wahrnehmen können, hat mit ihrer mütterlichen Rolle zu tun. Da sie sich früher um die gemeinsamen Kinder sorgten und somit auch viel Zeit mit ihnen verbrachten, gewöhnten sie sich an die hohen Stimmen der Kinder. Für die Männer war es wichtig, während der Jagt Bedrohungen schnell erkennen und lokalisieren zu können, weswegen das räumliche Hörvermögen trainiert wurde. (Zelger, 2023)

Herr Dr. med. Lemke, mit welchem ein Gespräch geführt wurde, ist da anderer Meinung. Laut ihm gibt es keinen Unterschied zwischen Mann und Frau in Bezug auf das binaurale Hören. Dies begründet er dadurch, dass es beim binauralen Hören ausschliesslich um die Fähigkeit geht, auf beiden Ohren hören zu können. Da sich diese Fähigkeit bei Männern und Frauen nicht unterscheiden, dürfte es auch keine Abweichungen bei den Ergebnissen in diesem Teil des Probandenversuchs, welcher bei dieser Maturaarbeit durchgeführt wurde, geben.

Die Theorie von Herrn Dr. med. Lemke erscheint schlüssiger, da man für die erste Theorie ausschliesslich eine Quelle findet und diese nicht mit Studien belegt ist. Zudem stützt die Theorie aus dem Kapitel 4.4 die Aussagen von Herrn Lemke. (Lemke, 2023)

4.4 Binaurales Hören

Der Ort, von welchem eine Sinnesinformation ausgeht, ist beim Hören sehr wichtig. Es wird gebraucht, um unter anderem schnell auf Warnsignale reagieren zu können. Diese Art von Hören nennt sich binaurales Hören oder auch Richtungshören. Dies ist das Hören mit zwei Ohren. Das funktioniert, indem ein Geräusch sowohl vom linken als auch vom rechten Ohr empfangen werden kann. Die Bedingung, dass man binaural hören kann, ist also, dass beide Ohren funktionieren. Zudem muss der Proband *kognitiv* die Stärke haben, die Informationen von den Ohren zu verarbeiten, um so die Richtung, aus der das Geräusch kommt, bestimmen zu können. Dies ist dann der Fall, wenn der Proband fähig ist, ein Gespräch zu führen und dem Gesagten folgen kann. (Lemke, 2023) (Helms, 1994)

Beim Probandenversuch, der im Rahmen dieser Maturaarbeit durchgeführt wurde, wurde sichergestellt, dass alle Probanden das Geräusch mindestens auf einem Ohr hören können.

Wenn man mit einem der Ohren das Geräusch nicht hören kann und mit dem anderen das Geräusch hört, kann man nicht mehr binaural hören. Dies suggeriert, dass das Gehirn die unterschiedlichen Schalldrücke auf den Ohren und die Zeit des Eintreffens des Schalls nicht mehr wahrnehmen kann. Die dritte Komponente, die Klangfarbe, kann zwar mit einem Ohr wahrgenommen werden (siehe Kapitel 4.4.3), diese reicht aber nicht aus, um binaural hören zu können. Demnach ist man in der Lage, durch diese drei Unterschiede, die vom Nervensystem festgestellt werden, die Richtung eines Geräusches zu erkennen. (Genewein, 2017)

4.4.1 Interaurale Zeitdifferenzen

Die interaurale Zeitdifferenz ist ein Teil des binauralen Hörens. Unser Gehirn kann eine zeitliche Differenz von 0,00001 Sekunden zwischen beiden Ohren erkennen, weil Schall, der von links kommt, zuerst das linke Ohr und erst dann das rechte Ohr erreicht. Diese Entfernung vom rechten zum linken Ohr wird Δs genannt, die Zeitdifferenz Δt . Diese beiden Faktoren helfen dabei, einen horizontalen Winkel zu berechnen. Somit ergeben sich aber immer zwei Winkel mit Δt , und man kann nur durch die interaurale Zeitdifferenzen nicht erkennen, ob ein Geräusch von vorne oder hinten beziehungsweise von oben oder unten kommt, wie man in Abb. 3 erkennen kann. Dafür werden die folgend erklärten Mechanismen gebraucht. (Genewein, 2017)

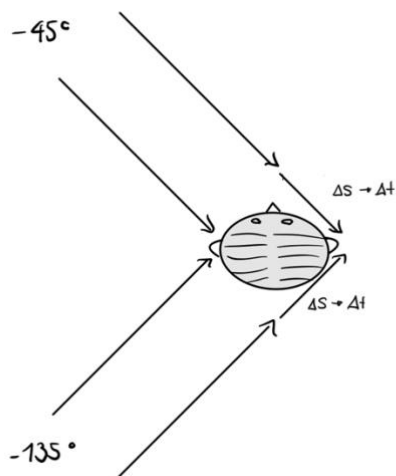


Abbildung 3: Skizze interaurale Zeitdifferenzen

4.4.2 Interaurale Schalldruckdifferenzen

Ein weiterer Mechanismus sind die interauralen Schalldruckdifferenzen. Wenn ein Geräusch von links kommt, hat man auf dem linken Ohr auch einen grösseren Schalldruck. Unser Kopf dient unter anderem auch als Mauer für den Schall (Abb. 4). Dadurch ergeben sich unterschiedliche mittlere Schalldrücke auf den Ohren, wodurch man unterscheiden kann, ob der Schall von links oder rechts kommt. (Genewein, 2017)

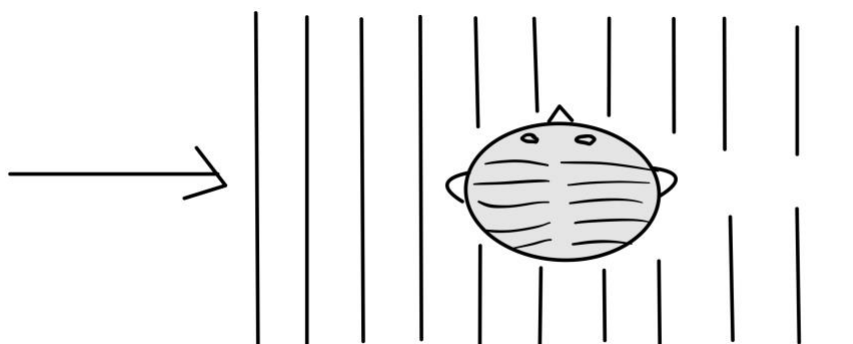


Abbildung 4: Skizze interaurale Schalldruckdifferenzen

4.4.3 Klangfarbe

Um zu unterscheiden, ob ein Geräusch von oben oder unten kommt, beziehungsweise von vorne oder hinten, reichen die zwei oben genannten Punkte (siehe Kapitel 4.4.1 und 4.4.2) nicht aus, da die Zeitdifferenz und die Schalldruckdifferenz dabei auf beiden Ohren gleich sind. Das heisst, um ein Geräusch, welches direkt über oder unter uns beziehungsweise hinter oder vor uns liegt, lokalisieren zu können, wird die Klangfarbe verwendet. Der Schall, der von einer bestimmten Richtung kommt, wird immer mit einer unterschiedlichen Filterkurve bearbeitet. Die Filterkurve heisst auch HRTF (Head-related Transfer Function). Dadurch werden bestimmte Frequenzen abgesenkt und andere verstärkt. Dafür verantwortlich sind Abschattungseffekte, wie unser Schädel oder das Aussenohr. Damit man mithilfe der Klangfarbe die Richtung eines Geräusches erkennen kann, muss man bereits wissen, wie eine Schallquelle aus einer bestimmten Richtung klingt (Abb. 5). Damit erschliesst sich, dass das Richtungsgehör ein Lernprozess ist. Man muss im Verlaufe des Lebens lernen, wie Schallquellen aus einer bestimmten Richtung tönen. Deswegen nimmt die Genauigkeit des Richtungsgehörs vor allem in den ersten Lebensjahren zu. Kleine Kinder können oft nicht einschätzen, ob sich ein Auto von ihnen entfernt oder es auf sie zukommt. Da der Mechanismus der Klangfarbe nicht auf Unterschiede zwischen den beiden Ohren basiert, reicht für diesen Mechanismus ein funktionierendes Ohr aus.

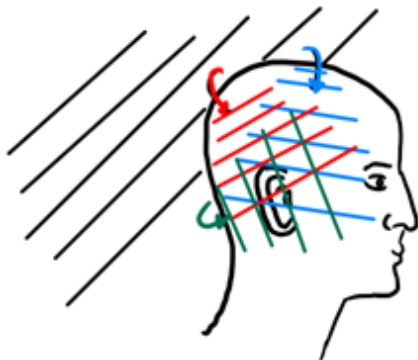


Abbildung 5: Skizze Klangfarbe

Durch das Zusammenspiel der Ortungsmechanismen ist es möglich, eine Richtungsbestimmung von 2° - 3° zu erreichen. So entwickelt sich ein gesamter Höreindruck, wodurch die Quelle des Schalls lokalisiert werden kann. (Genewein, 2017) (Müsseler und Rieger, 2016)

4.5 Nebengeräusche

Um ein Geräusch lokalisieren zu können, wenn Nebengeräusche zu hören sind, muss der Mensch seine Aufmerksamkeit auf das zu lokalisierende Geräusch richten. Die Mechanismen der Lokalisation sind identisch mit denen ohne Nebengeräusche (siehe Kapitel 4.4), daher wird in diesem Kapitel auf diese Mechanismen nicht eingegangen. In der Folge wird die Aufmerksamkeitsausrichtung in der auditiven Wahrnehmung erklärt. Zudem wird erläutert, wie der Mensch relevanten Schall erkennt. (Müsseler und Rieger, 2016)

4.5.1 Auditive Aufmerksamkeitsausrichtung und Erkennen von relevantem Schall

Wenn ein Mensch mehrere Schallquellen hört, kann er eine in den Fokus stellen, das heisst, seine Aufmerksamkeit auf diese eine Schallquelle richten. Dies wird in der Literatur als Cocktailparty-Phänomen bezeichnet. Auf einer Party oder auch im Restaurant gibt es viele verschiedene Gespräche und damit Schallquellen, die auf einen Menschen treffen. Trotzdem ist es für die meisten Menschen gut möglich, sich auf eines der Gespräche und damit Schallquellen zu fokussieren. (Müsseler und Rieger, 2016)

Wie der Mensch dies genau macht, ist nicht ganz klar. Es ist jedoch bekannt, dass entweder die Zielschallquelle verstärkt wird oder die Störungsschallquelle abgeschwächt wird. Aber auch eine Kombination aus den beiden Vorgängen ist denkbar. Eine komplette Unterdrückung der Störungsschallquelle hingegen wäre für den Menschen ein Nachteil. Gefahren, aber auch andere interessante Gespräche würden so einfach an ihm vorbeigehen. Im Alltag ist es also für den Menschen wichtig, einen guten Mittelweg zu finden, um sich auf eine Schallquelle fokussieren zu können und dennoch nicht alle anderen Schallquellen auszublenden. (Müsseler und Rieger, 2016)

Der Mensch muss zuerst entscheiden, welcher Schall zu welcher Schallquelle gehört, und kann sich danach erst auf eine konzentrieren. Das Gelingen dieser Einteilung des Schalls auf die Schallquellen hängt davon ab, wie die Geräusche sind und in welcher Position im Raum sie zueinander stehen. (Müsseler und Rieger, 2016)

Einerseits ist die Ähnlichkeit zweier oder mehrerer Geräusche zueinander entscheidend, andererseits spielt auch die Position der Geräusche eine wichtige Rolle. Je ähnlicher sich zwei Geräusche sind, desto schwerer ist es für den Menschen, diese beide zu trennen und sich auf das eine zu fokussieren und das andere in den Hintergrund zu schieben. Die Ähnlichkeit bezieht sich beispielsweise bei Gesprochenem auf Sprache, Dialekt, Stimmlage, Klangfarbe oder auch Geschwindigkeit. Je unterschiedlicher der Schall von zwei oder mehreren Quellen ist, desto einfacher kann das Gehirn entscheiden, welcher Schall zu welcher Quelle gehört und sich so auf eine fokussieren. (Müsseler und Rieger, 2016)

Sind zwei oder mehrere Schallquellen in einem Raum so aufgestellt, dass die eine links und die andere rechts vom Kopf steht, kann der Mensch diese einfacher unterscheiden und eine in den Fokus stellen. Der Mensch nimmt über beide Ohren in einer solchen Situation nicht das Gleiche auf. Die unterschiedlichen Informationen kann der Mensch nun verarbeiten und so besser den Schall den Schallquellen zuordnen und diese voneinander trennen. (Müsseler und Rieger, 2016)

Um als Mensch seinen Fokus auf eine Schallquelle richten zu können, muss er noch herausfinden, welcher Schall überhaupt relevant ist. Dies tut er wie folgt. Der Mensch macht eine willkürliche *Repräsentation* der Merkmale, welche erfahrungsgemäss in wichtigem, für ihn relevantem Schall vorkommen. Der Schall, welcher dann aufs Ohr des Menschen trifft, wird mit der willkürlichen Repräsentation verglichen. Falls genügend Ähnlichkeit gefunden wird, kann der Schall als wichtig eingestuft werden, und der Fokus willentlich auf diesen Schall oder deren Quelle gerichtet werden. (Müsseler und Rieger, 2016)

4.5.2 Einfluss einer Beeinträchtigung der Hörfähigkeit auf die auditive Aufmerksamkeitsausrichtung

Menschen, welche eine Beeinträchtigung der Hörfähigkeit haben, haben oftmals Mühe, sich auf eine Schallquelle zu fokussieren. Viele Menschen haben im Alter eine beeinträchtigte Hörfähigkeit (siehe Kapitel 4.2). Daher haben ältere Menschen auch oftmals Mühe, sich beispielsweise im Restaurant auf eine Schallquelle zu fokussieren und so an Gesprächen teilzunehmen. (Müsseler und Rieger, 2016) (Shinn-Cunningham und Best, 2008)

Der Grund dafür ist die Tatsache, dass Menschen mit Beeinträchtigung der Hörfähigkeit Schwierigkeiten haben, den Schall den verschiedenen Schallquellen zuzuordnen. Dies ist ein wichtiger Bestandteil der auditiven Aufmerksamkeitsausrichtung. Der Grund für die Schwierigkeiten, den Schall den Schallquellen zuzuordnen, ist in der Tatsache begründet, dass wichtige Informationen zu dem Schall und deren Quelle von Menschen mit beeinträchtigter Hörfähigkeit nicht aufgenommen werden. Diese Informationen sind Klangmerkmale wie die Tonhöhe oder Lautstärke, welche dem Menschen helfen, die verschiedenen Schallquellen zu identifizieren. Die Mechanismen des peripheren Hörens, also die Vorgänge im Aussenohr und Mittelohr sind so weit beeinträchtigt, dass diese Informationen nicht mehr aufgenommen und weitergeleitet werden können. (Müsseler und Rieger, 2016) (Shinn-Cunningham und Best, 2008)

5 Material und Methoden

5.1 Raum

Der Raum für Experimente, welche das Richtungsgehör untersuchen, sollte möglichst gut von aussen abgeschirmt sein. Dadurch dringen keine Nebengeräusche in den Raum ein, welche das Experiment verfälschen könnten. Durch laute Nebengeräusche wird der Proband abgelenkt und es kann sein, dass der Testton nicht mehr gehört wird. Zudem muss sichergestellt werden, dass alle Probanden den exakt gleichen Voraussetzungen ausgesetzt sind, was bei ungewollten, unkontrollierbaren Nebengeräuschen nicht der Fall ist.

Die zweite Voraussetzung, die ein Raum für Hörtests haben muss, ist eine möglichst kurze *Nachhallzeit*. Eine lange Nachhallzeit erzeugt ein Echo im Raum, das bedeutet, dass Gesprochenes oder andere Geräusche mit einer Verzögerung nochmals aufs Ohr treffen. Es entstehen sogenannte Reflexionen des Schalls an den Wänden oder der Decke, die dann nach dem Direktschall aufs Ohr treffen, da der Direktschall den kürzesten und damit schnellsten Weg zurücklegt (Abb. 6). Diese Reflexionen treffen aus anderen Richtungen auf das Ohr als der Direktschall, was den Probanden, welcher die Richtung eines Geräusches ermitteln soll, verwirren kann.

Die Nachhallzeit wird von zwei Faktoren in einem Raum beeinflusst. Der erste Einflussfaktor ist das Volumen des Raums, wobei ein grosser Raum eine längere Nachhallzeit hat als ein kleiner Raum, da die Schallwellen eine längere Strecke zu Wänden und Decke zurücklegen müssen, um dort reflektiert zu werden und als Nachhall auf die Ohren zu treffen. Zudem wird die Nachhallzeit von der Beschaffenheit der Oberflächen des Raums beeinflusst und dessen Einrichtung. Je glatter die Wände sind, desto mehr wird der Schall reflektiert. Materialien, welche den Schall absorbieren, können die Reflexion vermindern und daher den Nachhall verkleinern. Spezielle bauliche Elemente, wie Schaumstoff oder Vorhänge können ebenfalls den Schall absorbieren. (Lemke, 2023) (Marti 1, 2023) (Marti 2, 2023)

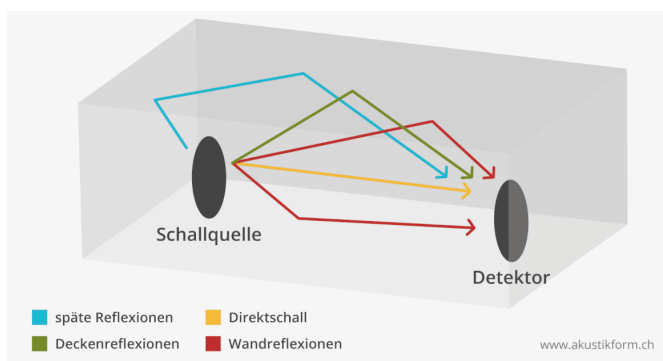


Abbildung 6: Entstehung von Nachhall in einem Raum

Für das Experiment wurde der Theatersaal am Kollegium Spiritus Sanctus in Brig gewählt. Das Experiment wurde am 1. Juli 2023 und am 8. Juli 2023 durchgeführt. Da es bei dem Probandenversuch, welcher im Rahmen dieser Maturaarbeit durchgeführt wurde, wichtig war, dass möglichst keine Nebengeräusche in dem Raum zu hören sind, wählte man die Daten für den Versuch in den Sommerferien. So wurde sichergestellt, dass es möglichst leise war. Die dicken Wände des Theatersaals halfen zudem, allfällige Nebengeräusche abzuschirmen. Das Experiment wurde mittig auf der Bühne des Theatersaals durchgeführt (Abb. 7). Der Theatersaal, speziell die Bühne, eignet sich sehr gut für einen Hörtest, da die Nachhallzeit sehr

kurz ist. Durch den Vorhang, der während des Versuchs geschlossen wurde, wurde das Volumen der Bühne stark verkleinert. Zudem sind an allen Wänden der Bühne Vorhänge montiert (Abb. 7), welche den Schall absorbieren und dadurch die Reflexion des Schalls vermindern, was zu einer kurzen Nachhallzeit führt. (Lemke, 2023) (Marti 1, 2023) (Marti 2, 2023)



Abbildung 7: Versuchsaufbau im Theatersaal

5.2 Ton

Der Ton muss von allen Probanden gehört werden können. Da im Alter die sehr hohen Töne nicht mehr gehört werden können (siehe Kapitel 4.2), sollte ein Geräusch im mittleren Frequenzbereich gewählt werden. Der Ton sollte zudem laut genug sein, dass auch Probanden mit eingeschränkter Hörfähigkeit den Ton hören können und allfällige ungewollte Nebengeräusche überstimmt werden.

Für das Experiment wurde eine Tonaufnahme einer Rassel gewählt, welche dann über einen Lautsprecher an den jeweiligen Punkten (Abb. 12) im Raum abgespielt wurde. Als Tonaufnahme wurde ein YouTube Video gewählt, wodurch alle Probanden die gleichen *Frequenzen*, die gleiche Lautstärke und dieselbe Länge, also die gleichen Gegebenheiten vorfinden. Als Lautsprecher wurde der Bluetooth-Lautsprecher Boom 3 der Firma Ultimate Ears gewählt, welcher auf voller Lautstärke abgespielt wurde. Dadurch wird gewährleistet, dass der Ton bei allen Probanden gleich laut und lange ertönt. Die Rassel macht Töne im mittleren Frequenzbereich (Abb. 8) und kann durch den Lautsprecher so laut eingestellt werden, dass alle Probanden diese hören können. (Lemke, 2023)

Da das benutzte YouTube Video keine Angaben zur Frequenz des Geräusches gemacht hat, wurde die Frequenz mittels der Handy-App Phyphox gemessen. Dazu wurde der im Probandenversuch gebrauchte Lautsprecher und ein iPhone 11 Pro benutzt. Das Handy positionierte man im selben Abstand zum Lautsprecher, wie der Proband im Experiment positioniert wurde. Danach wurde die Messung auf dem Handy begonnen, und der Ton auf dem Lautsprecher abgespielt. Mit dem im Handy integrierten Mikrophon hat die App Phyphox Audioblöcke gemessen. Die App berechnet danach das Frequenzspektrum mittels einer Fourier-Transformation. Die Fourier-Transformation sucht trigonometrische Funktionen (Sinus und Cosinus Funktionen). Diese Funktionen sollen in der Summe eine nicht *periodische*

Funktion möglichst gut annähern. Als Resultat gibt die App ein Diagramm, in der die Frequenz gegen die Zeit zu sehen ist (Abb. 8). Der zu sehende Graf ist die Summe der gesuchten trigonometrischen Funktionen. In diesem ist zu erkennen, dass die Rassel Geräusche im mittleren Frequenzbereich macht, zwischen 3500 Hz und knapp über 4000 Hz. (Lemke, 2023) (Kuhlen, 2017)

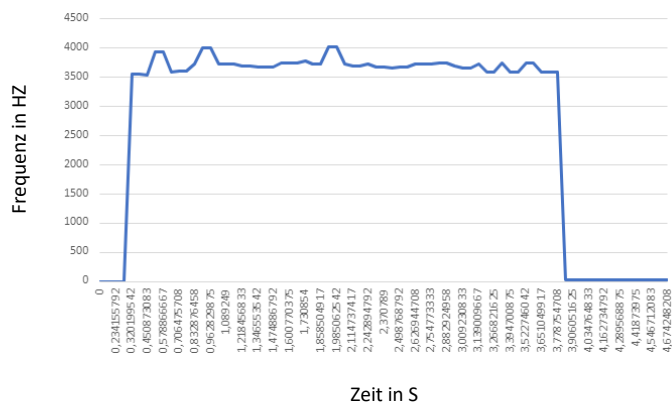


Abbildung 8: Frequenz der Tonaufnahme der Rassel, gemessen mit der App Phyphox

5.3 Nebengeräusch

Die Art des Nebengeräusches ist entscheidend in der Frage, ob es dem Probanden gelingt, die beiden Geräusche voneinander zu trennen und das richtige Geräusch lokalisieren zu können.

In diesem Versuch geht es darum, ob man Geräusche lokalisieren kann, auch wenn Nebengeräusche zu hören sind und nicht primär, um die Fähigkeit sich auf ein Geräusch fokussieren zu können. Daher wird ein Geräusch gewählt, das sich wesentlich von dem zu lokalisierenden Geräusch unterscheidet und so von den Probanden gut unterschieden werden kann. Im geplanten Probandenversuch wird eine Aufnahme von verschiedenen Stimmen als Nebengeräusch gebraucht. Diese können beispielsweise aus einem Restaurant mit vielen Gesprächen stammen. Als zu lokalisierendes Geräusch wird die gleiche Aufnahme der Rassel aus dem Versuch ohne Nebengeräusche gewählt. Dies aus denselben Gründen, welche im Kapitel 5.2 erläutert wurden. (Müsseler und Rieger, 2016)

5.4 Methoden

5.4.1 Vorbereitung

Der Probandenversuch dieser Maturaarbeit wurde auf der Bühne des Theatersaals des Kollegium Spiritus Sanctus in Brig durchgeführt. Es wurden insgesamt 26 Probanden untersucht, welche nach den Kategorien Alter und Geschlecht aufgeteilt wurden. Die Altersgruppen wurden von 0-20, 20-40, 40-60 und 60 plus Jahre gewählt (Abb. 9).

Von den 0–20-Jährigen wurden mit zehn Probanden am meisten untersucht. Am wenigsten Probanden wurden mit vier Probanden in der Altersgruppe 60 plus untersucht. Die Altersgruppen wurden nach der Durchführung des Experiments gewählt. Nach welchen Überlegungen dies geschah, wird im Kapitel 7.2 erläutert. Es wurden zudem jeweils dreizehn Frauen und Männer untersucht. (Lemke, 2023)

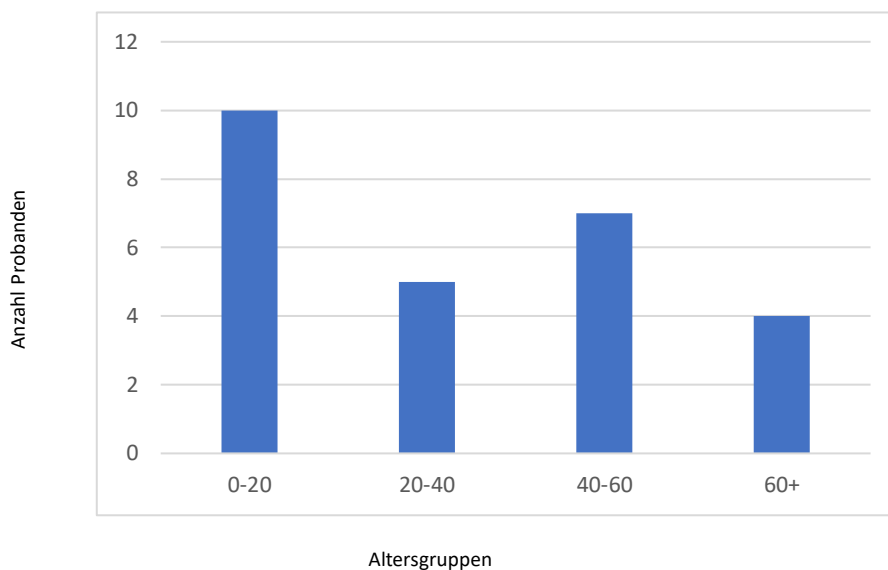


Abbildung 9: Anzahl Probanden in den jeweiligen Altersgruppen

5.4.1.1 Versuchsaufbau Richtungsgehör ohne Nebengeräusche

Um das Experiment durchzuführen, wird zuerst der Vorhang der Bühne geschlossen, sodass optimale Bedingungen herrschen in Bezug auf die Nebengeräusche und die möglichst kurze Nachhallzeit (siehe Kapitel 5.1). Anschliessend wird ein Stuhl in die Mitte des Raums gestellt, sodass allfällige Schallreflexionen von den Wänden möglichst von allen Richtungen zu gleicher Zeit auf den Probanden treffen.

Die 180°, welche vom Stuhl gerade aus weg zeigen, werden in acht Abschnitte eingeteilt. Diese werden wie folgt auf dem Boden mit Malertape markiert: Zuerst wird rechts und links vom Stuhl jeweils zwei Meter abgemessen und mit dem Malertape abgeklebt (Nr. 1 in Abb. 10). Danach wird senkrecht auf diesen Strich mithilfe eines grossen Geodreiecks, um möglichst genau die Winkel messen zu können, ein weiterer zwei Meter Strich mit Klebeband abgeklebt (Nr. 2 in Abb. 10). Nun können die weiteren Striche abgeklebt werden, diese sind auch jeweils zwei Meter lang und haben dazwischen jeweils einen Winkel von 22.5 Grad (Nr. 3 in Abb. 10). Zum Schluss wird in der Mitte von jedem der acht entstandenen Segmente mit Malertape ein Punkt markiert, als Punkt für den Lautsprecher (Nr. 4 in Abb. 10). So kann sichergestellt werden, dass der Lautsprecher bei jedem Probanden genau in der Mitte des Segmentes liegt.

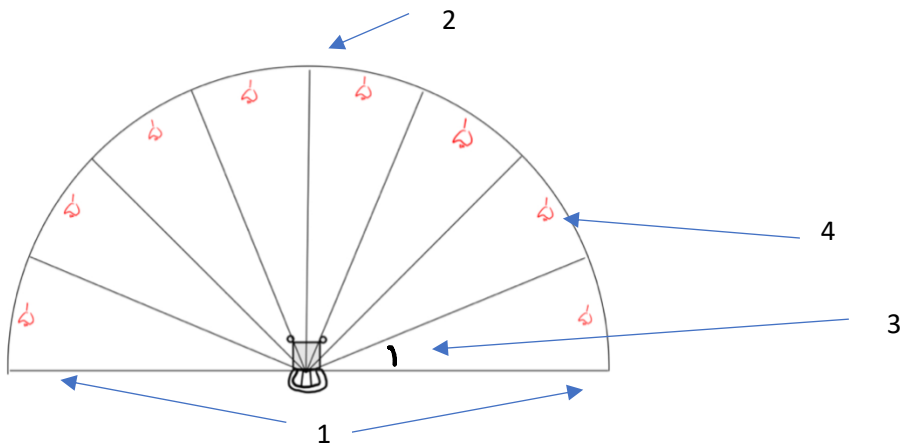


Abbildung 10: Skizze des Versuchsaufbaus

5.4.1.2 Geplanter Versuchsaufbau mit Nebengeräuschen

Um das folgende Experiment durchzuführen, wird derselbe Raum gewählt, wie im vorherigen Experiment. Der Grund dafür sind die bestmöglichen Voraussetzungen in dem Theatersaal (siehe Kapitel 5.1). Ebenfalls wird der Stuhl in der Mitte des Raumes positioniert, wo sich die Probanden hinsetzen werden. Was anders ist, sind die Positionen der Lautsprecher. Es gibt zwei verschiedene Durchführungen. Einmal werden die Lautsprecher mit dem Geräusch und dem Nebengeräusch nahe beieinander positioniert. Dazu wird die Position eins gewählt (Abb. 11). Der rote Lautsprecher steht für das Hauptgeräusch und der blaue für das Nebengeräusch. Beim zweiten Durchgang werden die Positionen der Lautsprecher dann gewechselt. Dazu wird der Lautsprecher mit dem Hauptgeräusch zu Position zwei hin verschoben und der Lautsprecher mit dem Nebengeräusch zu Position drei (Abb. 11).

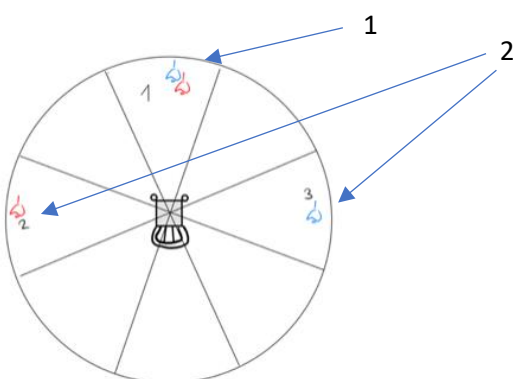


Abbildung 11: Skizze Versuchsaufbau mit Nebengeräuschen

5.4.1.3 Positionen auswählen ohne Nebengeräusche

Es wurden fünf Positionen ausgewählt, wo der Lautsprecher während des Experiments hingestellt wurde (Abb. 12). Es wurden diese fünf Positionen gewählt, da so die ganze Breite der Segmente abgedeckt ist. Position eins ist vom Probanden aus gesehen genau vor ihm auf der linken Seite. Damit wird der Bereich senkrecht (Nr. 1 in Abb. 12) zur Linie auf der, welcher der Proband sitzt (Nr. 2 in Abb. 12) abgedeckt. Mit den Positionen zwei und vier sind beide Segmente abgedeckt, welche auf der gleichen Linie horizontal sind, wie der Proband (Nr. 2 in Abb. 12). Die Positionen drei und fünf sind zwischen den Positionen eins und zwei beziehungsweise vier angebracht. Mit den Positionen drei und fünf ist auch der Bereich zwischen der senkrechten Linie und der, auf welcher der Proband ist, abgedeckt. Die Reihenfolge der Positionen wurde so gewählt, dass kein Muster zu erkennen ist und der Proband durch das Muster die Position erraten könnte.

5.4.1.4 Positionen auswählen mit Nebengeräuschen

Wie in der Theorie unter dem Kapitel 4.5.1 erklärt, kann der Mensch zwei Töne besser unterscheiden, wenn sie links und rechts vom Kopf ertönen. In diesem Probandenversuch wurden die Positionen bewusst einmal direkt nebeneinander (Nr. 1 in Abb. 11) und einmal links und rechts vom Kopf ausgewählt (Nr. 2 in Abb. 11). So kann untersucht werden, ob der Proband in der Lage ist, in einer einfachen und einer schwierigeren Situation das Geräusch zu lokalisieren (siehe Kapitel 4.5.1).

5.4.2 Durchführung ohne Nebengeräusche

Für die Durchführung werden zwei Personen, welche das Experiment leiten und jeweils ein Proband gebraucht. Von dem Probanden werden das Alter und Geschlecht notiert, da diese Daten wichtig für die Auswertung sind. Der Proband setzt sich auf den Stuhl in der Mitte des Raums hin. Anschliessend wird ihm der Ablauf des Experiments erläutert und seine Aufgabe erklärt. Hier ist sicherzustellen, dass der Proband den Ablauf auch wirklich verstanden hat, da möglichst nur ein Durchgang pro Probanden gemacht werden soll, ansonsten haben nicht alle Probanden dieselben Voraussetzungen. Zudem wird der Proband angehalten, seinen Kopf möglichst gerade nach vorne zu halten und diesen nicht zu bewegen, da der Kopf nicht fixiert werden konnte, wie es bei Test fürs Richtungsgehör üblich ist. Im Buch Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis beispielsweise, wird beschrieben, dass ein Kopf bei Versuchen, welche das Richtungsgehör untersuchen, fixiert werden soll.

Danach wird dem Probanden mit einer Augenbinde die Augen bedeckt, damit er nicht sehen kann, wo der Lautsprecher platziert wird, denn es geht um die Lokalisation nur über das Gehör. Zudem bekommen die Probanden Kopfhörer aufgesetzt, damit sie nicht hören können, in welchem Abschnitt der Lautsprecher platziert wird. So kann sichergestellt werden, dass alle Probanden die Lokalisation nur anhand des gleichen Geräusches wahrnehmen. Sobald der Lautsprecher durch die erste Person an der Position eins gesetzt wurde, wird der Proband von der anderen Person berührt, sodass er weiss, dass er die Kopfhörer absetzen kann und es nun losgehen wird.

Sobald der Proband die Kopfhörer abgesetzt hat, wird das Geräusch der Rassel mit dem Lautsprecher in der Mitte des Segments in der Position eins abgespielt. Wenn der Proband

dieses Geräusch wahrgenommen hat, welches man 10 Sekunden abspielen liess, zeigt er mit dem Finger in die Richtung, von welcher er glaubt, das Geräusch gehört zu haben.

Falls diese Richtung im Raum des Segments liegt, wird der Versuch als richtig gewertet. Dieses Resultat wird in einer Tabelle festgehalten. Ist dies nicht der Fall, so hält man fest, um wie viele Abschnitte sich der Proband vertan hat (siehe Anhang). Dies wird auch in der Tabelle notiert. Nun setzt der Proband die Kopfhörer wieder auf, und der Lautsprecher wird auf Position zwei verschoben. Nun wird gleich vorgegangen wie bei Position eins. Dies führt man an allen fünf zuvor ausgewählten Positionen durch, welche in Abb. 12 zu sehen sind. (Helms, 1994) (Genewein, 2017)

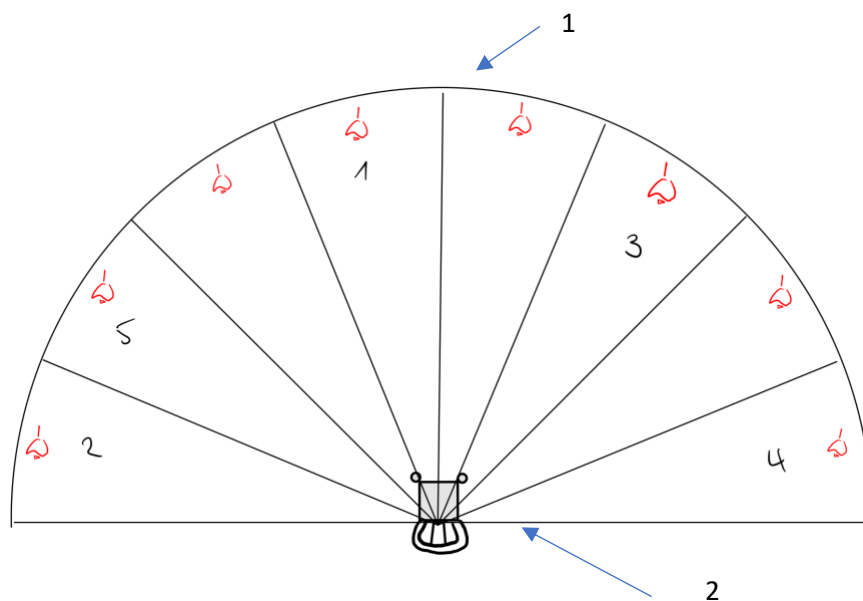


Abbildung 12: Reihenfolge des zu abspielenden Geräusches

5.4.3 Geplante Durchführung mit Nebengeräuschen

Der Proband kommt in den Raum und setzt sich auf den Stuhl hin. Danach wird sein Alter aufgenommen und anschliessend das Vorgehen erklärt. Sobald er dies verstanden hat, wird dem Probanden nun kurz die Aufnahme der Rassel (siehe Kapitel 5.2) abgespielt, damit er weiss, welches Geräusch er lokalisieren muss. Anschliessend werden ihm mithilfe einer Augenbinde die Augen verbunden und Kopfhörer aufgesetzt, damit er nicht hören kann, wo die Lautsprecher platziert werden.

Beim ersten Durchgang werden beide Lautsprecher auf Position eins (Abb. 11) gestellt. Sobald die Lautsprecher stehen, wird dem Probanden vermittelt, dass er seine Kopfhörer abnehmen kann und die beiden Geräusche werden abgespielt. Die Geräusche werden für zehn Sekunden laufen gelassen. Nach diesen zehn Sekunden werden beide Geräusche zur gleichen Zeit abgestellt.

Anschliessend muss der Proband, wie auch schon beim vorherigen Experiment, das Hauptgeräusch mit dem Finger lokalisieren. Wenn der Finger auf den richtigen Abschnitt, also auf die Position eins zeigt, wird der Durchgang als richtig gewertet. Zeigt der Proband in die falsche Richtung, wird notiert, wie viele Abschnitte er daneben lag.

Nach diesem Durchgang werden die Positionen der Lautsprecher gewechselt. Sobald der Lautsprecher mit dem Hauptgeräusch auf Position zwei und der Lautsprecher mit dem Nebengeräusch auf Position drei steht, werden wiederum das Nebengeräusch und das Hauptgeräusch für zehn Sekunden gleichzeitig abgespielt. Anschliessend folgt wieder die Lokalisation mit dem Finger und die Aufnahme der Anzahl Fehler.

6 Resultate

Im folgenden Abschnitt wird eine Übersicht kommentiert, in welcher der Durchschnitt der Anzahl Fehler aller Probanden zu sehen ist.

In der Abbildung 13 ist ein Boxplot mit der Übersicht von allen 26 Probanden zu sehen. Die Zahlen auf der x-Achse stehen für die Anzahl Felder, die falsch identifiziert wurden. Das heisst, wenn ein Proband beispielsweise zwei Felder daneben lag, werden dafür zwei Fehler berechnet. Auf der Abbildung 13 wurden alle Resultate in einem Boxplot festgehalten. Der Boxplot ist in drei Teile unterteilt. Rechts und links vom rot gefärbten Rechteck befinden sich jeweils 25 % der Probandenanzahl. Das rote Quadrat beinhaltet somit noch 50 %. Wie man also nun erkennen kann, haben 75 % der Probanden zwischen null und einem Fehler gemacht. Die restlichen 25 % der Probanden haben zwischen einem und acht Fehler gemacht. Drei Probanden wurden als sogenannte Ausreisser gekennzeichnet. Ausreisser sind Probanden, welche überdurchschnittlich oder unterdurchschnittlich viele Fehler gemacht haben. Mit drei, sechs und sieben Fehlern gehören somit diese Probanden zu den sogenannten Ausreissern, welche überdurchschnittlich viele Fehler gemacht haben.

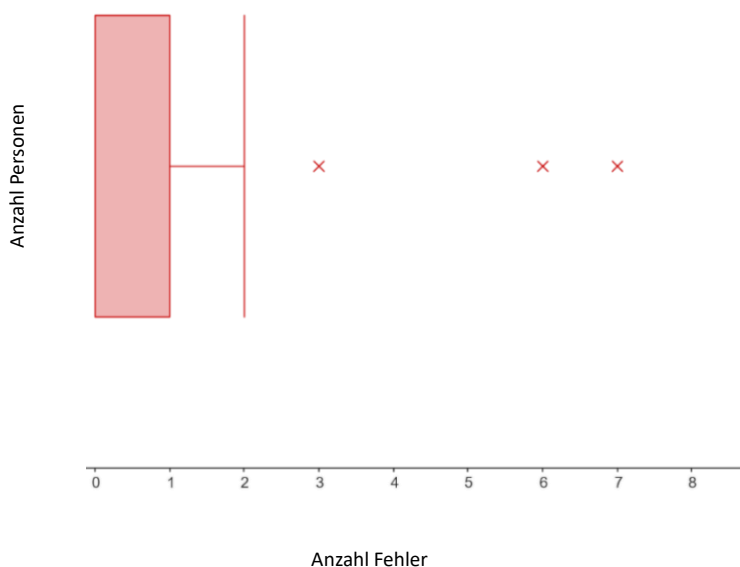


Abbildung 13: Übersicht aller Probanden mit deren durchschnittlichen Fehleranzahl

6.1 Altersunterschied

Während dieses Probandenversuches wurden die Probanden in unterschiedliche Altersgruppen eingeteilt. Diese Ergebnisse folgen nun.

Auf der Abbildung 14 werden die Altersgruppen auf der x-Achse aufgelistet. Es gibt vier Gruppen, welche im Alter von 0-20, 20-40, 40-60 und über 60 liegen. Wenn in den folgenden Abschnitten von blau, orange, grau und gelb die Rede ist, sind damit die jeweiligen Gruppen, wie auf der Abbildung 14 zu sehen sind, gemeint. Auf der y-Achse sind die Anzahl Fehler zu sehen. Wenn im folgenden Text von Fehlern gesprochen wird, ist damit gemeint, um wie viele Felder sich die Probanden vertan haben. Wie man nun auf der Abbildung 14 erkennen kann, unterscheiden sich die Leute zwischen 0 und 60 Jahren von den Anzahl Fehlern kaum. Die blaue Gruppe hat im Durchschnitt 0.8 Fehler gemacht. Dies ist ein wenig mehr als die orange mit 0.6 und graue Gruppe mit 0.72 Fehlern. Somit hat die Gruppe zwischen 20 und 40 Jahren mit 0.6 Fehlern am wenigsten Fehler gemacht. Die graue Gruppe liegt auf dem zweiten Platz und damit vor der blauen Gruppe, welche sich auf dem dritten Platz befindet. Die gelbe Gruppe mit dem Alter 60+ sticht ganz klar heraus. Sie haben im Durchschnitt 4.25 Fehler gemacht und liegen damit deutlich über der Fehleranzahl der anderen Gruppen.

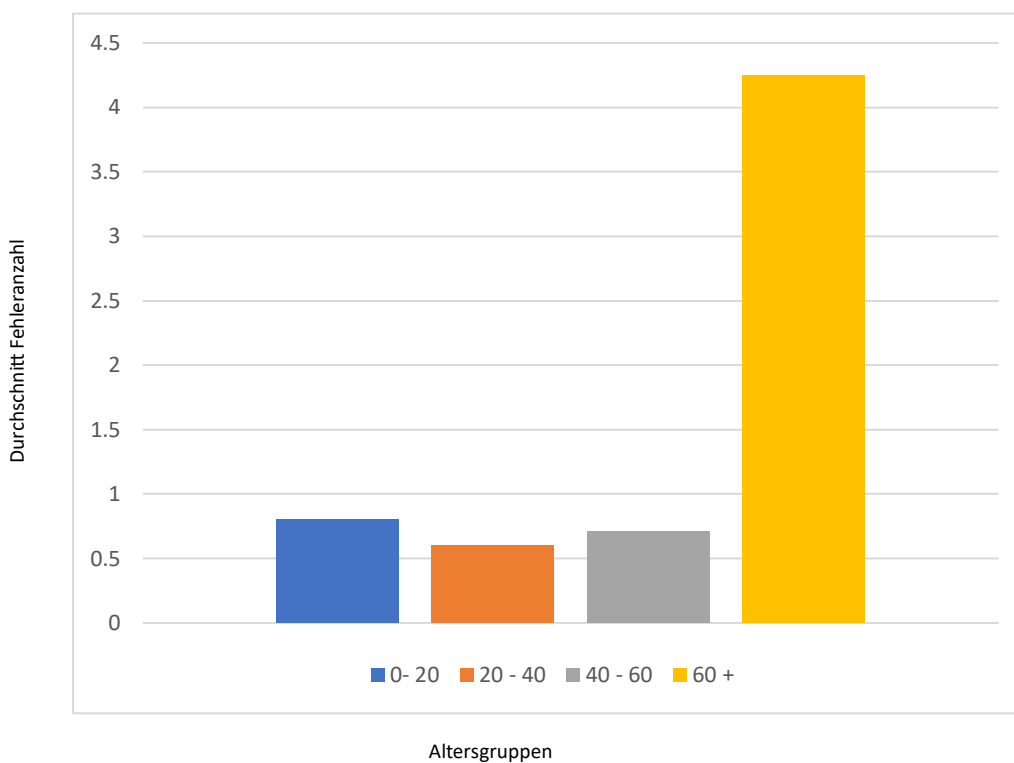


Abbildung 14: Anzahl Fehler der verschiedenen Altersgruppen

6.1.1 Hörend auf beiden Ohren

Nun folgen die Ergebnisse und die dazugehörige Abbildung (Abb. 15), auf welcher nur die Personen aufgelistet sind, welche auf beiden Ohren gut hören können.

Diese Probanden erfüllen die Kriterien, welche im Kapitel 4.4 erwähnt wurden, um das Experiment optimal durchführen zu können, da sie die Geräusche gut wahrnehmen können. In den ersten zwei Gruppen hat sich zwischen der Abbildung 14 und der Abbildung 15 nichts geändert, da alle Probanden auf beiden Ohren hören können. Bei der Gruppe 40-60 wurde eine Person aus der Wertung genommen, die nur auf einem Ohr gut hören kann. Wie man sehen kann, verschlechtert sich die Wertung in Bezug auf die Anzahl Fehler auf 0.83. Warum dies so ist, wird im Kapitel 7.4.2 erwähnt. Bei der Gruppe von 60+ waren es zwei Personen, welche auf einem Ohr nicht mehr gut hören konnten. Somit sind in dieser Gruppe aber auch nur noch zwei Personen enthalten, welche im Durchschnitt noch zwei Fehler gemacht haben. Die Reihenfolge der Gruppen anhand der Anzahl Fehler bleibt gleich.

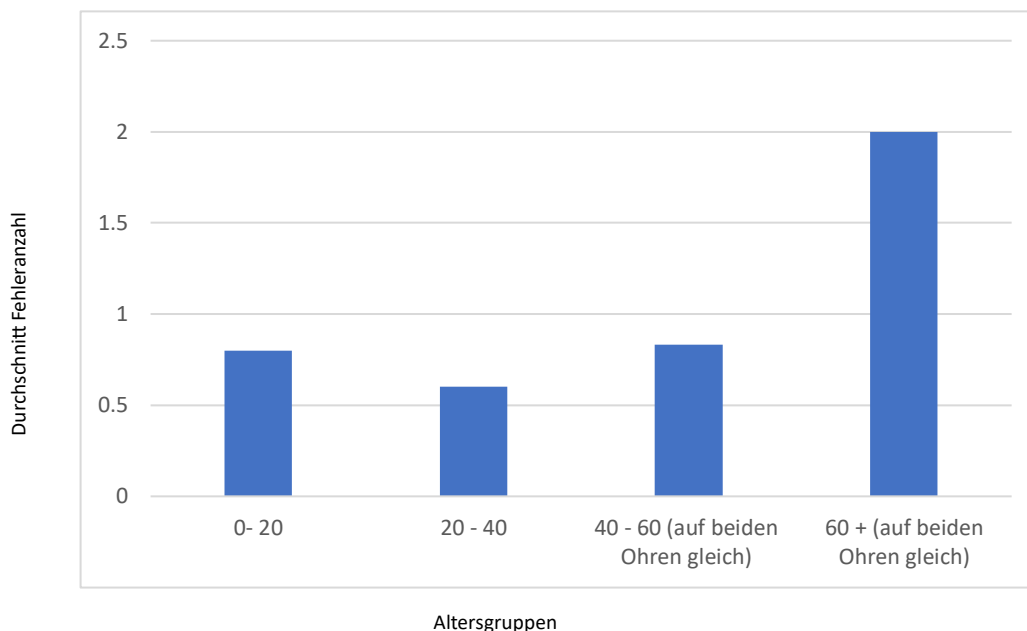


Abbildung 15: Anzahl Fehler der auf beiden Ohren hörenden Probanden

6.1.2 Gut hörend auf nur einem Ohr

Es folgen nun die Ergebnisse der Personen, welche nur auf einem Ohr gut hören können.

Es ist eine Abbildung zu sehen, in welcher die Personen vorkommen, die angegeben haben, nur auf einem Ohr gut hören zu können (Abb. 16). Allerdings gab es nur in zwei Gruppen Personen, die nicht auf beiden Ohren gut hören können. In der Gruppe von den 40-60-Jährigen gab es eine Person, die trotz ihrer „Beeinträchtigung“ alle Geräusche dem richtigen Ort zugeordnet hat. Warum dies so ist, wird im Kapitel 7.4.2 besprochen. Bei der Gruppe 60+ sind die zwei Personen, die nicht auf beiden Ohren gut hören können, auch die sogenannten Ausreisser (Abb. 13). Diese zwei Personen hatten im Durchschnitt 6.5 Fehler. Die Personen in derselben Gruppe, die gut hören konnten, hatten im Durchschnitt nur zwei Fehler gemacht (Abb. 15).

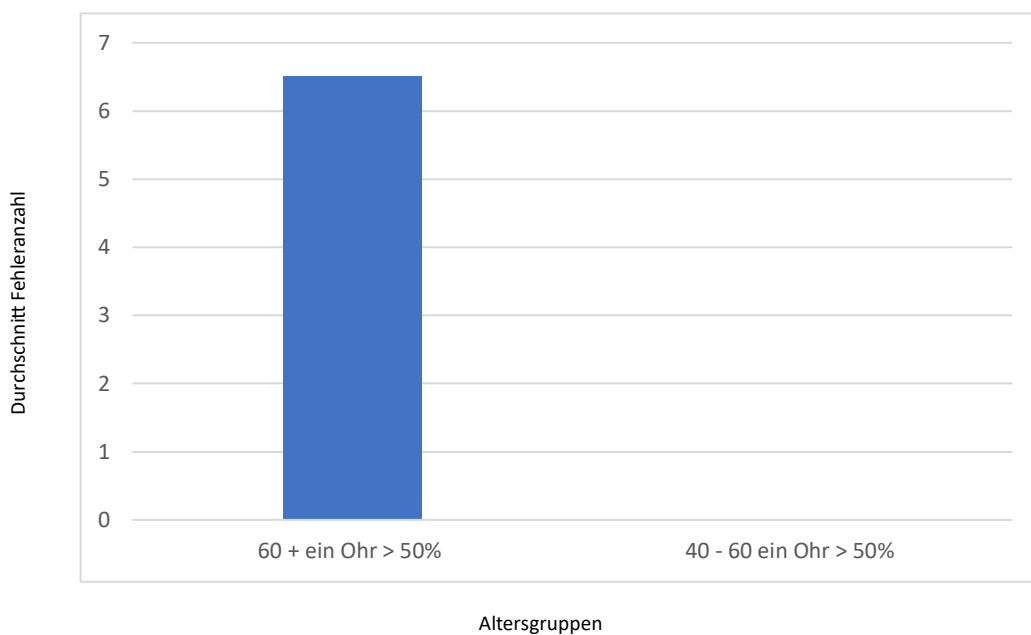


Abbildung 16: Anzahl Fehler der auf einem Ohr gut hörenden Probanden

6.2 Geschlechtsunterschied

In der Abbildung 17 sind die Unterschiede der Geschlechter zu sehen. Die blaue Gruppe ist diejenige, in der die Männer und die orange Gruppe dort, wo die Frauen aufgelistet sind. Bei den beiden Gruppen ist kaum ein Unterschied zu erkennen. Die Männer hatten im Durchschnitt 1.30 Fehler gemacht. Die Frauen hingegen nur 1.23. Dies ist ein Unterschied von 0.07 Fehler.

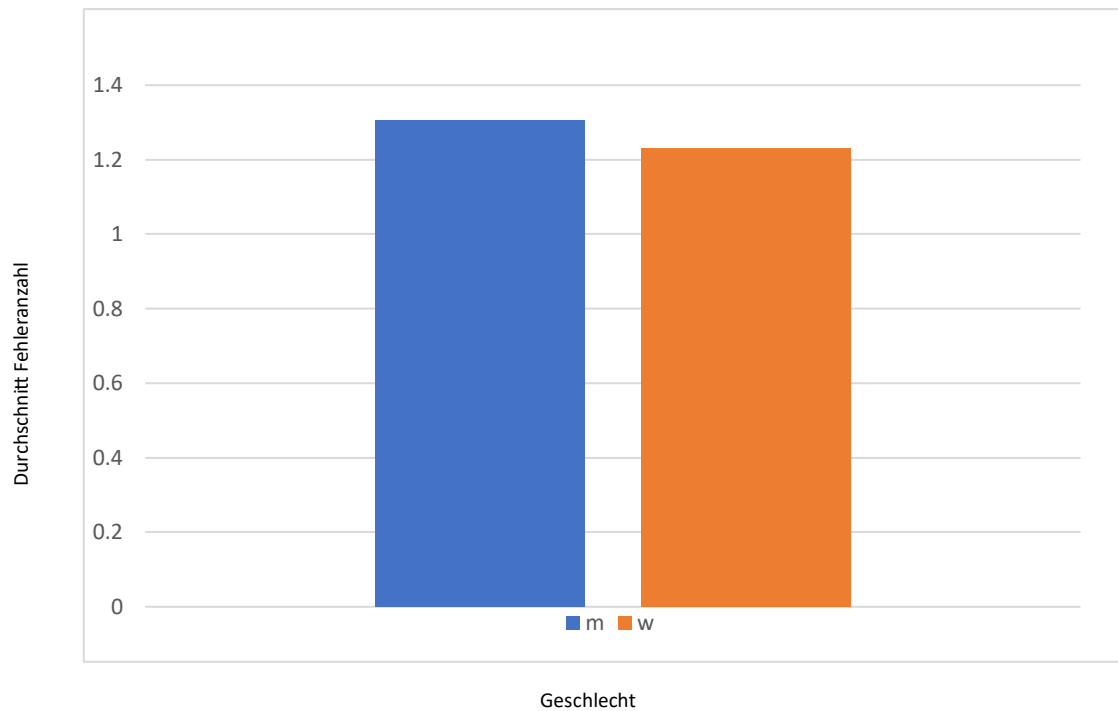


Abbildung 17: Unterschied zwischen Mann und Frau

7 Diskussion

7.1 Übersicht aller Resultate

Bei dem Boxplot in Abbildung 13 sind drei Ausreisser zu sehen. Zwei davon sind Probanden, welche nicht mehr auf beiden Ohren hören können und der Gruppe 60+ angehören, in der insgesamt vier Probanden zugeteilt wurden. Diese Resultate belegen die These, welche besagt, dass die Leute, welche nur auf einem Ohr hören können, weniger gut die Richtung des Geräusches wahrnehmen können (siehe Kapitel 4.4). Diese Probanden, welche nur noch auf einem Ohr gut hören können, hatten im Durchschnitt 6.5 Fehler gemacht. Die dritte Person, welche ebenfalls als Ausreisser identifiziert wurde, ist ebenfalls in der Gruppe 60+. Sie kann allerdings auf beiden Ohren hören. Somit widerspricht dies zwar der Theorie (siehe Kapitel 4.4). Dennoch ist nur eine Person, die gut hören kann, bei diesen Ausreissern dabei, weshalb dies nicht aussagekräftig ist und somit vernachlässigt werden kann.

7.2 Altersunterschied

Verschlechtert sich die Fähigkeit des binauralen Hörens mit zunehmendem Alter?

Im folgenden Abschnitt wird zuerst erläutert, nach welchen Überlegungen die Altersgruppen festgelegt wurden, bevor auf die Ergebnisse eingegangen wird.

Laut Herrn Dr. med. Lemke funktioniert das Richtungshören auch noch im hohen Alter, wenn der Proband kognitiv die Stärke hat, die Informationen von den Ohren zu verarbeiten und so die Richtung, aus der das Geräusch kommt, bestimmen zu können. Dies ist dann der Fall, wenn der Proband fähig ist, ein Gespräch zu führen und dem Gesagten folgen kann (siehe Kapitel 4.4). Alle Probanden waren in der Lage ein Gespräch zu führen, dennoch gab es in Bezug auf das Alter Unterschiede bei den kognitiven Fähigkeiten, welche während des Probandenversuchs beobachtet werden konnten.

Den Probanden über sechzig musste das Experiment allen mehrmals erklärt werden, während die 0–20-Jährigen die Durchführung nach einmaligem Erklären verstanden haben. Die meisten 20–40-Jährigen verstanden den Ablauf des Experimentes auch direkt. Bei den 40–60-Jährigen gab es diesbezüglich die grössten Unterschiede, denn in dieser Gruppe gab es Probanden, welche eine Erklärung brauchten, aber auch solche, welche mehrere Erklärungen brauchten. Wegen dieser Auffälligkeit wurden die Gruppen in zwanziger Schritten eingeteilt bis sechzig. Unter sechzig Jahren wurde beobachtet, dass die kognitiven Fähigkeiten in Bezug auf das Verstehen des Ablaufs des Experimentes in zwanzig Jahren Schritten bei den untersuchten Probanden stetig leicht abnahm. Bei den über sechzigjährigen Probanden war zu beobachten, dass die kognitiven Fähigkeiten insgesamt zwar schlechter sind, aber es war kein Unterschied in zwanzig Jahren Schritten zu erkennen, daher wurde die Gruppe der über sechzigjährigen nicht weiter unterteilt.

In der Abbildung 14 kann man sehen, dass die Gruppe der 0–20-Jährigen am zweitmeisten Fehler gemacht hat. Jene Ergebnisse kann man dadurch erklären, dass das Richtungshören erlernt werden muss (siehe Kapitel 4.4.3). Vielleicht ist dies somit noch nicht bei allen Probanden in der Gruppe ganz ausgebildet (siehe Anhang).

Zwischen den zwei Gruppen der 20-40-Jährigen und 40-60-Jährigen sind kaum signifikante Unterschiede aufgetreten. Die Gruppe der 40-60-Jährigen hat 0.12 Fehler mehr gemacht als die 20-40-Jährigen. Dies deutet darauf hin, dass bei ihnen das Richtungsgehör vollumfänglich funktioniert. Man geht allerdings davon aus, dass dies nicht statistisch relevant ist, da man dafür eine zu kleine Stichprobe zur Verfügung hatte. In diesem Probandenversuch konnte aber festgestellt werden, dass die 20-60-Jährigen relativ zu anderen Altersgruppen gut binaural hören können.

Die Gruppe 60+ hat mit einem Durchschnitt von 4.25 Fehlern sehr viel mehr Fehler gemacht als die anderen Gruppen. Warum dies so ist, wird damit erklärt, dass zwei der vier Probanden auf einem Ohr eine Beeinträchtigung beim Hören haben. Dennoch wurde in diesem Experiment eine kleine Gruppe 60+ gewählt, welche diese Altersgruppe auch in der Gesellschaft repräsentiert.

Wie in Abb. 2 zu sehen ist, haben Personen über sechzig Jahren häufig eine Beeinträchtigung beim Hören. Dies ist über alle Frequenzhöhen zu beobachten. In der gewählten Frequenzhöhe von 3500 bis 4000 Hertz (Abb. 8) für den zu lokalisierenden Ton haben, wie in Abb. 2 zu sehen etwa 50 % der über sechzig Jährigen eine Beeinträchtigung der Hörfähigkeit. Dies bezieht sich zwar auf die Beeinträchtigung des gesamten Hörsystems und nicht spezifisch auf ein Ohr, dennoch kann gesagt werden, dass Menschen über sechzig Jahre häufig eine Beeinträchtigung der Hörfähigkeit haben. Demnach widerspiegeln die vier Probanden die Gesellschaft recht gut. Dennoch sind vier Probanden für eine aussagekräftige Untersuchung zu wenig.

Wenn man sich diese Ergebnisse anschaut, kommt man zum Schluss, dass das Richtungsgehör ab sechzig Jahren rapide abnimmt. Dies widerspricht allerdings der Theorie (siehe Kapitel 4.4), welche besagt, dass alle Menschen, welche auf beiden Ohren hören, binaural hören können, egal welchen Alters sie sind.

Damit kann man die Fragestellung mit einem Ja beantworten. Die Fähigkeit des binauralen Hörens nimmt im durchgeführten Probandenversuch mit zunehmendem Alter ab 60 Jahren, ab. Dies widerspricht der Hypothese, welche diese Frage mit einem Nein beantwortet.

7.3 Geschlechterunterschied

Gibt es einen Unterschied zwischen Mann und Frau in Bezug auf die Fähigkeit des binauralen Hörens?

Bei den Geschlechtern kann man kaum einen Unterschied erkennen. Die Frauen haben im Durchschnitt 0.07 Fehler weniger gemacht als die Männer. Wenn man der ersten Theorie Glauben schenkt (siehe Kapitel 4.3) stimmen die Ergebnisse mit ihr nicht überein. Die Theorie besagt, dass Männer vermeintlich weniger Fehler machen würden. In diesem Experiment haben allerdings die Frauen weniger Fehler gemacht. Wie auch schon im Kapitel 4.3 erwähnt, wird die Glaubhaftigkeit der Quelle in Frage gestellt. Diese Ergebnisse unterstreichen die Zweifel hinsichtlich der Richtigkeit der Quelle.

Vielmehr schenkt man der zweiten Theorie Glauben (siehe Kapitel 4.3). Wenn man nämlich den Unterschied an Fehlern von 0.07 für zu klein hält und somit für nichtig erklärt, belegt die zweite Theorie, dass es keinen Unterschied zwischen Mann und Frau gibt.

Um die Fragestellung zu beantworten, kann man sagen, dass es beim binauralen Hören keinen Unterschied zwischen Mann und Frau gibt. Dies stimmt mit der Hypothese überein, welche besagt, dass es keinen Unterschied zwischen Mann und Frau gibt beim binauralen Hören.

7.4 Ohne und mit Beeinträchtigung auf einem Ohr

Welchen Einfluss haben verschiedene Beeinträchtigungsstufen auf einem Ohr auf das binaurale Hören?

Um diese Frage beantworten zu können, wird in dieser Diskussion darauf eingegangen, wie sich der Durchschnitt von den Fehlern der Probanden mit und ohne Beeinträchtigung verändert. Somit wird die Gruppe, der auf beiden Ohren gut hörenden Probanden als positiv Beispiel gewertet. Das heisst, diese Gruppe wurde getestet, um zu zeigen, dass jene Probanden, welche auf beiden Ohren gut hören können, das Experiment erfolgreich durchführen können.

7.4.1 Auf beiden Ohren gut hörende Probanden

Alle Gruppen ausser die 60+ Gruppe haben sich im Vergleich zu dem Durchschnitt aller Probanden kaum verändert (Abb. 16 und 15). Das heisst, dass die Leute, welche auf einem Ohr nicht mehr gut hören können, den Durchschnitt bei den Anzahl Fehlern bei diesen Gruppen nicht stark veränderten. Die Gruppen der 0-20-Jährigen und der 20-40-Jährigen haben sich gar nicht geändert, da dort niemand dabei war, der auf einem Ohr nicht gut hören konnte.

In der Gruppe der 40-60-Jährigen sieht dies schon anders aus. Hier ist der Durchschnitt gegen alle Erwartungen von 0.72 auf 0.83 angestiegen, im Vergleich zu den im Durchschnitt

gemachten Fehlern bei allen Probanden der Gruppe. Der Grund, weshalb hier der Durchschnitt gestiegen ist, wird im nachfolgenden Kapitel genauer beschrieben (siehe Kapitel 7.4.2).

Die Probanden der Gruppe 60+, die gut hören können, haben im Allgemeinen trotzdem mehr Fehler gemacht als die anderen Gruppen. Wenn man nach der Theorie (siehe Kapitel 4.4) geht, sollten diese zwei Personen im Durchschnitt gleich viele Fehler gemacht haben, wie die anderen Probanden. Wie in der Theorie beschrieben, sollten Menschen, welche auf beiden Ohren hören können, binaural hören können, egal welchen Alters sie sind. Da, wie in der Theorie beschrieben, sichergestellt wurde, dass auch diese Personen den Ton gut hören können (siehe Kapitel 5.2), kann man nicht sagen, dass die Probanden den Ton nicht hören konnten und daher viele Fehler gemacht haben.

Ein Grund, warum die Ergebnisse nicht wie erwartet ausfallen, könnte sein, dass diese zwei Personen nicht ausreichen, um repräsentative Ergebnisse erhalten zu können. Man müsste mehr Personen testen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Es könnte aber auch sein, dass diese Probanden zwar kognitiv in der Lage sind, Gespräche zu führen und sie somit eigentlich binaural hören können müssten (siehe Kapitel 4.4), aber ihre kognitive Leistung im Alter dennoch nachgelassen hat, sodass auch ihre Fähigkeit binaural hören zu können, nachgelassen hat.

7.4.2 Probanden, welche auf einem Ohr eine Beeinträchtigung haben

Die Person der Gruppe der 40-60-Jährigen, welche nicht auf beiden Ohren gut hören kann, hat keine Fehler gemacht. Dies ist verwunderlich, da die Person laut Kapitel 4.4 eigentlich kein vollumfängliches Richtungsgehör haben sollte. Demnach scheint diese Person trotz einer Hörstärke von nur noch 40 % auf einem Ohr, noch gut genug hören zu können, um die Richtung eines Geräusches identifizieren zu können.

Nun gibt es noch zwei weitere Probanden, welche auf einem Ohr eine Beeinträchtigung haben. Beide befinden sich in der Gruppe 60+ und sind die zwei Ausreisser im Boxplot (Abb. 13). Ausreisser werden die Personen genannt, welche überdurchschnittlich oder unterdurchschnittlich viele Fehler gemacht haben.

Der erste Proband hat auf einem Ohr eine Hörstärke von noch 10 %. Dieser Proband hat sechs Fehler im Experiment gemacht. Dies deutet darauf hin, dass eine Hörstärke von 10 % nicht mehr ausreicht, um gut binaural hören zu können.

Die zweite Person ist auf einem Ohr taub. Dieser Proband hat mit sieben Fehlern am meisten Fehler von allen Testpersonen gemacht. Dies zeigt, dass man mit nur noch einem funktionierenden Ohr nicht mehr binaural hören kann.

Hinzu ist zu erwähnen, dass man während des Experiments auch die Unsicherheiten und das teilweise Raten der beiden Probanden bemerkt hat.

Um die Fragestellung zu beantworten, kann man sagen, dass man ab einem gewissen Grad der Beeinträchtigung nicht mehr binaural hören kann. Es ist schwierig zu sagen, ab welcher Stufe der Beeinträchtigung dies nicht mehr funktioniert, da man nur drei Probanden zum Testen zur Verfügung hatte. Dennoch vermutet man, dass die Grenze zwischen 10 % und 40 % des Hörvermögens auf dem beeinträchtigten Ohr liegt, da der Proband mit 40 % Hörvermögen noch binaural hören konnte, der mit 10 % Hörvermögen aber nicht mehr. Dies stimmt mit der

Hypothese überein, welche besagt, dass mit einer Beeinträchtigung auf einem Ohr das binaurale Hören ab einem gewissen Grad nicht mehr möglich ist.

Hinzu kommt, dass es auch interessant gewesen wäre, zu testen, ob diese zwei Probanden, welche nicht mehr binaural hören können, nur mithilfe der Klangfarbe wirklich ein Geräusch von oben und unten beziehungsweise von hinten und vorne unterscheiden hätten können. Die Theorie geht nämlich davon aus, dass Probanden, welche nicht binaural hören, die Klangfarbe trotzdem wahrnehmen können (siehe Kapitel 4.4.3) und somit die Geräusche von oben und unten beziehungsweise von hinten und vorne identifizieren können müssten. Um dieses Experiment durchzuführen, fehlten allerdings die technischen Hilfsmittel, um oben und unten den Ton gleichmässig und immer gleich abspielen zu können.

7.5 Diskussion mit Nebengeräuschen

Verschlechtern Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens?
--

Man hat sich dazu entschieden kein Experiment zum Richtungsgehör mit Nebengeräuschen zu machen. Der HNO-Arzt Dr. med. Lemke zeigte auf, wie er ein Versuch mit Nebengeräuschen aufstellen würde. Die Nebengeräusche müssten dabei aus mindestens acht Lautsprechern gleichzeitig ertönen. Dies war technisch nicht umsetzbar, daher entschied man sich gegen einen Versuch mit Nebengeräuschen. Der im Kapitel 5.4.1.2 beschriebene Versuchsaufbau stellt eine Variante dar, welche technisch realisierbar gewesen wäre.

Da dieses Experiment nicht durchgeführt wurde, sind die hier aufgestellten Vermutungen und die daraus gezogenen Schlüsse reine Gedankenüberlegungen ohne Resultate im Hintergrund. Folgend wird zuerst diskutiert, was die Art des Nebengeräusches in diesem Versuch für einen Einfluss auf die Genauigkeit des binauralen Hörens hat. Anschliessend wird der Einfluss der Positionen des Nebengeräusches und des Hauptgeräusches zueinander auf das binaurale Hören beschrieben.

Um die Rassel, also das Hauptgeräusch, lokalisieren zu können, muss der Proband es schaffen, das Nebengeräusch, von dem der Rassel, trennen zu können und sich auf die Rassel zu fokussieren. Daher wird folgend darüber diskutiert, ob Probanden in der Lage sind, diese zwei Geräusche voneinander zu trennen und sich auf das eine fokussieren zu können. Bei dem Versuch wurde, wie in Kapitel 5.3 beschrieben, eine Aufnahme von verschiedenen Stimmen als Nebengeräusch gewählt, welches sich wesentlich von der Rassel unterscheidet. Dies aus den im Kapitel 5.3 aufgeführten Gründen. Die Probanden sollten daher in der Lage sein, sich gut auf die Rassel zu fokussieren (siehe Kapitel 4.5.1). Personen mit eingeschränkter Hörfähigkeit haben, wie im Kapitel 4.5.2 erläutert, oftmals Mühe, Schall den Schallquellen zuzuordnen und können daher wahrscheinlich Nebengeräusch und Rassel nicht gut voneinander trennen.

Der Proband sollte nach dem Ertönen des Nebengeräusches und der Rassel schnell erkennen, dass er die Rassel lokalisieren muss und sich auf diese fokussieren muss. Wie im Kapitel 4.5.1 erklärt, muss der Proband in der Lage sein, zu erkennen, welcher Schall wichtig ist. Da dem Probanden die Rassel vor dem Versuch einmal vorgespielt wurde (siehe Kapitel 5.4.3), kann er im Kopf eine Repräsentation der Merkmale des Rasselgeräusches machen und diese später

mit dem zu hörenden Schall (Rassel und Nebengeräusch) abgleichen (siehe Kapitel 4.5.1). Der Proband kann nun erkennen, welcher Teil des Schalls zum wichtigen Teil, hier die Rassel, gehört und sich auf diesen zu fokussieren.

7.5.1 Geräusche auf gleichem Feld

Die Schwierigkeit liegt hier bei der Unterscheidung der beiden Geräusche, da beide Ohren das Gleiche aufnehmen (siehe Kapitel 4.5.1). Da das Nebengeräusch und die Rassel aber sehr unterschiedlich sind, sollte die Unterscheidung der beiden Geräusche dennoch für viele der Probanden möglich sein. Die Begebenheit, dass beide Geräusche aus der gleichen Richtung kommen, können sich die Probanden auch zu nutzen machen, da sie beide Geräusche nicht getrennt voneinander betrachten müssen. Sie können hingegen versuchen, die Richtung, aus der die beiden Geräusche kommen, herauszufinden. Die Schwierigkeit der Unterscheidung würde dabei wegfallen.

Wenn man davon ausgeht, dass die Probanden die Rassel und das Nebengeräusch zusammen lokalisieren und sich nicht auf die Rassel allein fokussieren, werden die meisten Probanden in der Lage sein, die Rassel richtig zu lokalisieren. Die Personen mit beeinträchtigter Hörfähigkeit würden dabei ihre Schwierigkeit der Unterscheidung mehrerer Schallquellen umgehen können. Wenn sie die Geräusche nicht zusammen betrachten, ist davon auszugehen, dass Personen mit eingeschränkter Hörfähigkeit nicht in der Lage sind, die Rassel zu lokalisieren.

Die normal hörenden Personen sollten in der Lage sein, die Schallquellen zu unterscheiden. Daher können die normal hörenden Personen die Rassel in diesem Teil des Versuchs gut lokalisieren, unabhängig davon, ob die Schallquellen getrennt betrachtet werden oder nicht.

7.5.2 Geräusche links und rechts vom Kopf

Den Probanden sollte es gut gelingen, die Rassel zu lokalisieren. Da in diesem Teil des Versuchs nicht die gleiche Information auf beide Ohren trifft, sollte es den Probanden leichtfallen, die Schallquellen zu trennen (siehe Kapitel 4.5.1). Die Personen, welche aufgrund einer Beeinträchtigung der Hörfähigkeit Mühe haben, Schallquellen voneinander zu trennen, werden in diesem Teil des Versuchs wahrscheinlich dennoch in der Lage sein, das Nebengeräusch von der Rassel zu trennen. Dies ist der Fall, da hier die Trennung der Schallquellen über die unterschiedlichen Informationen, welche auf die Ohren treffen, funktioniert. Im Gegensatz zu einer Situation, in welcher die Schallquellen nicht links und rechts vom Kopf sind und diese dadurch durch andere Merkmale des Klangs getrennt werden müssten. Wie im Kapitel 4.5.2 erklärt, sind es diese Klangmerkmale, welche eine Schwierigkeit für die Unterscheidung der Schallquellen darstellen. Solange die Rassel und das Nebengeräusch gehört werden, was der Fall sein sollte, da beide laut abgespielt werden, sollte es für die meisten Personen möglich sein, die Unterscheidung zu machen.

Man kann davon ausgehen, dass Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens bei normal hörenden Personen nicht beeinflusst. Die Hypothese kann somit in Bezug auf normal hörende Personen nicht verifiziert werden, welche besagt, dass Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens verschlechtert.

Bei Personen mit eingeschränkter Hörfähigkeit verschlechtern Nebengeräusche die Genauigkeit des binauralen Hörens. Die Hypothese kann somit verifiziert werden, wenn

Personen mit eingeschränkter Hörfähigkeit betrachtet werden. Je nach Lage von Nebengeräusch und Rassel und Strategie der Personen (Betrachtung getrennt oder zusammen), sind Personen mit eingeschränkter Hörfähigkeit dennoch in der Lage die Rassel zu lokalisieren.

8 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit konnte mittels eines Probandenversuchs gezeigt werden, dass mit zunehmendem Alter die Fähigkeit, binaural zu hören, abnimmt.

Ein Unterschied zwischen den Geschlechtern in Bezug auf das binaurale Hören konnte mittels des Probandenversuchs nicht festgestellt werden.

Es wurde aufgezeigt, dass eine Restleistung der Hörfähigkeit auf einem Ohr von zehn bis vierzig Prozent dazu führen kann, dass man nicht mehr binaural hören kann. Mit einer geringeren Restleistung der Hörfähigkeit auf einem Ohr ist binaurales Hören nicht möglich, mit einer höheren Restleistung ist binaurales Hören möglich.

Die Überlegungen zu den Nebengeräuschen, welche nicht durch einen Probandenversuch verifiziert werden konnten, ergaben, dass Nebengeräusche bei normal hörenden Menschen keinen Einfluss auf die Fähigkeit, binaural zu hören, haben. Bei Menschen mit eingeschränkter Hörfähigkeit verschlechtern die Nebengeräusche die Fähigkeit des binauralen Hörens.

9 Schlusswort

Zum Schluss dieser Maturaarbeit wollen wir, unsere Erfahrungen beim Verfassen dieser Arbeit anbringen.

Während dieser Arbeit konnten wir uns erstmals mit der Thematik «Gehör» beschäftigen. Es war eine interessante Erfahrung, ein Probandenversuch selbst zu planen und durchzuführen. Die Planung des Experiments war nicht ganz einfach. Wir hatten zwar viele verschiedene Ideen, welche aber technisch gesehen, so nicht immer umsetzbar waren. Dennoch haben wir nicht aufgegeben, sondern versucht, eine Lösung zu finden, sodass wir das Experiment so professionell wie möglich umsetzen konnten.

Hinzu kamen Probleme, die passende Literatur zu finden. Herr Lemke sagte uns während des Gesprächs, dass dieses Thema nicht wirklich relevant für die Wissenschaft ist und dass es deswegen auch nur sehr wenig Literatur dazu gibt. Dies haben wir bei unserer eigenen Recherche schnell bemerkt. Dennoch haben wir versucht das Beste daraus zu machen und haben unsere Fragestellungen und damit auch die ganze Thematik erweitert.

Dass wir diese Maturaarbeit zu zweit geschrieben haben, war für uns beide eine Bereicherung. Wir haben gelernt, was es heisst im Team, zu arbeiten. Man konnte Diskussionen führen, welche dazu beitrugen, dass man eine andere Sicht auf die Dinge bekam. So gaben wir uns gegenseitig neue Ideen und schlossen Kompromisse, welche dazu führten, eine gute Lösung zu finden.

Wir hatten einige Herausforderungen beim Schreiben dieser Arbeit zu bewältigen. Und wir haben festgestellt, dass nicht immer alles so läuft, wie man sich das vorstellt. So haben wir gelernt, unser Durchhaltevermögen zu stärken und uns gegenseitig zu motivieren.

Abschliessend können wir sagen, sehr viel während dieses Entstehungsprozesses gelernt zu haben. Wir konnten uns neues Wissen aneignen und haben unsere wissenschaftliche Schreibweise verbessert. Insgesamt konnten wir also viele wertvolle Erfahrungen sammeln.

10 Danksagung

Zunächst möchten wir uns bei Herrn Dr. med. Thomas Lemke bedanken. Er hat uns zu Beginn unserer Maturaarbeit viele hilfreiche Tipps gegeben und stand uns auch während des Verfassens der Arbeit bei Fragen immer zur Verfügung.

Des Weiteren möchten wir uns bei unserer Betreuerin Frau Susanne Schmidt-Lagger bedanken. Bei Fragen oder Zweifeln unterstützte sie uns jeweils mit nützlichen Ratschlägen.

Ausserdem möchten wir unseren 26 Probanden danken. Ohne sie wäre diese Maturaarbeit nicht umsetzbar gewesen.

Zuletzt gilt unser Dank den Korrekturlesern, welche uns unterstützt haben. Ihre formalen Korrekturen und Anregungen zum Verständnis des Textes waren beim Verfassen unserer Maturaarbeit sehr hilfreich.

11 Glossar

Hertz	«Hertz (Kurzzeichen Hz) ist die SI-Einheit für die Frequenz.» (Chemie.de, 2002)
dB SPL	«Definition des Schalldruckpegels (SPL). Der Schalldruckpegel ist ein logarithmisches Maß für den effektiven Schalldruck relativ zu einem Referenzwert, definiert in dB (Dezibel).» (Svantek Akademie, 2023)
Endolymph	«[...]wässrige Körperflüssigkeit, die sich unter anderem im Ductus cochlearis, im Sacculus und Utriculus, sowie in den Bogengängen des Innenohrs befindet.» (Antwerpes, et al, 2009)
Auditives System	«[...]bezeichnet man die Sinnesempfindung, die akustische Reize bzw. den Schall wahrnimmt.» (Antwerpes, et al, 2022)
Neuronal codiert	«[...]Darstellung physikalischer Reizparameter durch neuronale Antworteigenschaften» (Kretzberg, 2008)
Kognitiv	«[...]“das Denken betreffend" bzw. "die mentalen Prozesse betreffend".» (Antwerpes, Freyer, 2006)
Repräsentation	«[...]Mentales Modell[...]» (Wikipedia, 2022)
Nachhallzeit	«[...]bezeichnet man das Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf einen festgelegten Bruchteil seines Anfangswerts abfällt.» (Wikipedia, 2023)
Frequenzen	«[...]bezeichnet die Anzahl der Schwingungen je Sekunde, die bei einem Ton vorhanden sind.» (Schalk, 2023)
Periodische Funktion	«[...] handelt sich in der Mathematik um Funktionen, deren Funktionswerte sich regelmäßig wiederholen.» (Study Smarter, 2023)

12 Quellenverzeichnis

12.1 mündliche Quelle

Gespräch mit Dr. med. Thomas Lemke. Brig, 23. Juni 2023, 90 Minuten

12.2 Literaturverzeichnis

Antwerpes, Frank. Nicolay, Nils. Michel, O. DocCheck Flexikon, *Endolymph* [Online] 15. Dezember 2009

<https://flexikon.doccheck.com/de/Endolymph#:~:text=Als%20Endolymph%20bezeichnet%20man%20die,geringen%20Natriumgehalt%20der%20intrazellulären%20Flüssigkeit.>

Antwerpes, Frank. Christof, Anton-Martin. Fink, Bijan. Merz, Sebastian. Michel, O. Nicolay, Nils. Walter, Fiona. DocCheck Flexikon, *Gehör* [Online] 22. September 2022

<https://flexikon.doccheck.com/de/Gehör>

Antwerpes, Frank. Freyer, Timo. DocCheck Flexikon, *kognitiv* [Online] 06. Juni 2006

https://flexikon.doccheck.com/de/Kognitiv?utm_source=www.doccheck.com&utm_medium=DC%2520Search&utm_campaign=DC%2520Search%2520content_type%253Aall&utm_content=DC%2520Search%2520Kognitiv

Genewein, Roland. Sonic-vision.Tv, 8.2 Richtungshören [Video] 28. Dezember 2017

<https://youtu.be/HG-qSS2wIQ8?si=El4YDZpYNzYcOXsL>

Helms, Jan. Herberhold, Claus. Kastenbauer, Ernst. Naumann, Hans Heinz. Oto-Rhinolaryngologie in Klinik und Praxis, *Band 1 Ohr*, Stuttgart – New York, 1994

Hesse, Gerhard; Laubert, Armin. Aerzteblatt, *Hörminderung im Alter – Ausprägung und Lokalisation* [Online] 21. Oktober 2005

<https://www.aerzteblatt.de/archiv/48807/Hoerminderung-im-Alter-Auspraegung-und-Lokalisation>

Kretzberg, Jutta. Uni-Oldenburg, *Neuronale Codierung* [Online] 02. Oktober 2008

<https://uol.de/f/6/dept/neuro/ag/compneuro/download/lehrprobe.pdf>

Kuhlen, Sebastian. Phyphox, *Experiment: Audio Spectrum* [Online] 15. Juni 2017

https://phyphox.org/wiki/index.php?title=Experiment:_Audio_Spectrum&action=history

Lumitos. Chemie.de, *Hertz Einheit* [Online] 02. November 2002

[https://www.chemie.de/lexikon/Hertz_%28Einheit%29.html#:~:text=Hertz%20\(Kurzz%20eichen%20Hz\)%20ist%20die,sich%20wiederholenden%20Vorgängen%20pro%20Sekunde](https://www.chemie.de/lexikon/Hertz_%28Einheit%29.html#:~:text=Hertz%20(Kurzz%20eichen%20Hz)%20ist%20die,sich%20wiederholenden%20Vorgängen%20pro%20Sekunde)

Marti, Christoph 1. Akustikform, *Nachhallzeit* [Online] abgerufen am 07. Juli 2023

<https://www.akustikform.ch/blog/nachhallzeit>

Marti, Christoph 2. Akustikform, *Akustikvorhang* [Online] abgerufen am 07. Juli 2023

<https://www.akustikform.ch/produkte/akustikvorhang>

Müsseler, Jochen; Rieger, Martina. Allgemeine Psychologie, *auditive Informationsverarbeitung*, Berlin, 3. Auflage 2016

Schalk, Klaus. Preform, *Frequenz* [Online] abgerufen am 21. Oktober 2023

<https://www.preform.de/frequenz/>

Schneider, René. Hoersysteme, *Ohr-Anatomie* [Online] abgerufen am 11. Juli 2023

<https://www.hoersysteme.ch/wissen-rund-ums-hoeren/das-ohr-ohr-anatomie/>

Shinn-Cunningham, Barbara; Best, Virginia. Pubmed, *Selective attention in normal and impaired hearing* [Online] 30. Oktober 2008

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18974202/>

Study Smarter, *Periodische Funktion* [Online] abgerufen am 21. Oktober 2023

<https://www.studysmarter.de/schule/mathe/analysis/periodizitaet/>

Svantek Akademie, *Schalldruckpegel SPL* [Online] abgerufen am 21. Oktober 2023

[https://svantek.com/de/akademie/schalldruckpegel-spl/#:~:text=Definition%20des%20Schalldruckpegels%20\(SPL\),des%20menschlichen%20Gehörs%20angesehen%20wird.](https://svantek.com/de/akademie/schalldruckpegel-spl/#:~:text=Definition%20des%20Schalldruckpegels%20(SPL),des%20menschlichen%20Gehörs%20angesehen%20wird.)

Wikipedia, *Nachhallzeit* [Online] 13. September 2023

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhallzeit>

Wikipedia, *Repräsentation* [Online] 10. November 2022

[https://de.wikipedia.org/wiki/Repräsentation_\(Psychologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Repräsentation_(Psychologie))

Willig, Hans-Peter. Biologie-seite, *Ohr* [Online] abgerufen am 11. Juli 2023

<https://www.biologie-seite.de/Biologie/Ohr>

Zelger Ihre Hörexperten, *Männer hören anders als Frauen* [Online] abgerufen am 11. Juli 2023

<https://www.zelger.it/de/manner-horen-anders-als-frauen/>

12.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Ohres.....	4
Gerhard, Niklaus. Pro Surdis, <i>Unser Ohr Anatomie Physiologie</i> [Online] abgerufen am 20. Oktober 2023 https://www.prosurdis.ch/gut-zu-wissen/unser-ohr-anatomie-physiologie/#open-menue	
Abbildung 2: Altersbedingte Hochfrequenztaubheit	5
Hesse, Gerhard. Laubert, Armin. Aertzteblatt, <i>Hoerminderung im Alter Auspraegungen und Lokalisation</i> [Online] 2005 https://www.aertzteblatt.de/archiv/48807/Hoerminderung-im-Alter-Auspraegung-und-Lokalisation	
Abbildung 3: Skizze interaurale Zeitdifferenzen	7
Salzmann, Lenja. Eigene Darstellung. Naters, 2023.	
Abbildung 4: Skizze interaurale Schalldruckdifferenzen.....	7
Salzmann, Lenja. Eigene Darstellung. Naters, 2023.	
Abbildung 5: Skizze Klangfarbe	8
Salzmann, Lenja. Eigene Darstellung. Naters, 2023.	
Abbildung 6: Entstehung von Nachhall in einem Raum	11
Marti, Christoph. Akustikforum, <i>Nachhallzeit</i> [Online] abgerufen am 07. Juli 2023 https://www.akustikform.ch/blog/nachhallzeit	
Abbildung 7: Versuchsaufbau im Theatersaal	12
Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Brig, 2023.	
Abbildung 8: Frequenz der Tonaufnahme der Rassel, gemessen mit der App Phyphox	13
Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.	
Abbildung 9: Anzahl Probanden in den jeweiligen Altersgruppen	14
Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.	
Abbildung 10: Skizze des Versuchsaufbaus	15
Salzmann, Lenja. Eigene Darstellung. Naters, 2023.	
Abbildung 11: Skizze Versuchsaufbau mit Nebengeräuschen	15
Salzmann, Lenja. Eigene Darstellung. Naters, 2023.	
Abbildung 12: Reihenfolge des zu abspielenden Geräusches.....	17
Salzmann, Lenja. Eigene Darstellung. Naters, 2023.	
Abbildung 13: Übersicht aller Probanden mit deren durchschnittlichen Fehleranzahl	19
Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.	
Abbildung 14: Anzahl Fehler der verschiedenen Altersgruppen.....	20
Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.	
Abbildung 15: Anzahl Fehler der auf beiden Ohren hörenden Probanden	21
Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.	
Abbildung 16: Anzahl Fehler der auf einem Ohr gut hörenden Probanden	22

Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.

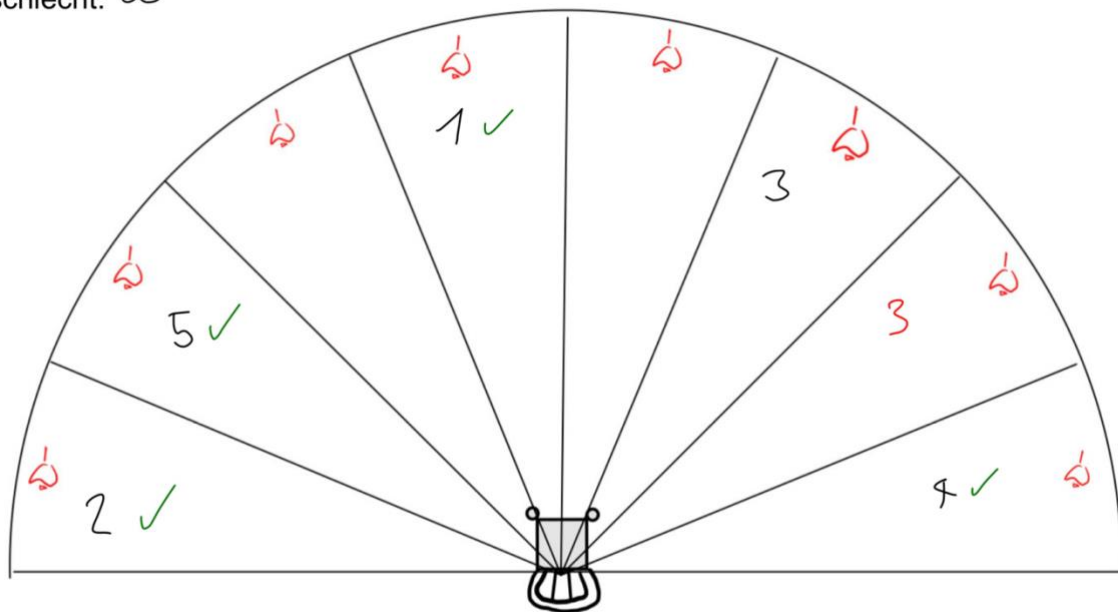
Abbildung 17: Unterschied zwischen Mann und Frau23

Kuonen, Gian. Eigene Darstellung. Bitsch, 2023.

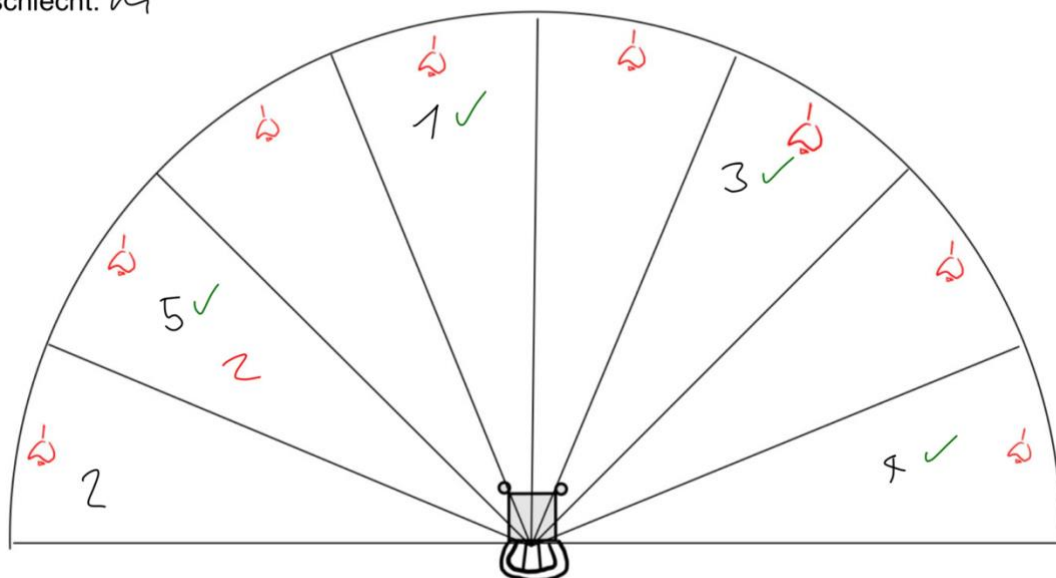
13 Anhang

Versuch Richtungsgehör		Abweichung als Zahl -> richtig = 0					Kein Eintrag -> normal hörend				
Nr.	Alter	Geschlecht (w/m)	P: 1	P: 2	P: 3	P: 4	P: 5	Total Abweic	Hörvermögen (rechts/ links)	Hörgerät	Bemerkungen
22	18 m			0	0	0	0	0	0		
5	19 w			0	0	0	0	0	0		
6	19 m			1	1	0	0	0	2		
12	19 m			0	1	0	0	0	1		
13	19 w			0	0	0	0	0	0		
14	19 w			0	0	0	0	0	0		
15	19 m			0	1	0	0	0	1		
20	19 w			0	1	0	0	1	2		
21	19 m			0	0	0	0	0	0		
25	19 w			0	1	0	1	0	2		
23	20 m			0	0	0	1	0	1		
16	21 m			0	1	0	0	0	1		
17	21 w			0	0	0	0	1	1		
19	21 w			0	0	0	0	0	0		
24	21 m			0	0	0	0	0	0		
1	48 w			0	0	0	0	0	0		
26	48 w			0	1	0	0	0	1		
10	52 w			0	1	0	0	0	1		
9	54 w			0	0	0	0	1	1		
7	55 m			0	0	0	0	0	0 R: 40% / L: normal		
18	57 m			0	0	1	0	0	1		
2	59 m			0	1	0	0	0	1		
3	73 w			0	0	0	1	0	1		
4	75 m			1	0	2	2	1	6 R: 10% / L: 30%	x	
11	77 m			2	0	1	0	0	3	x	
8	85 w			0	0	4	3	0	7 R: 0% / L: normal		
Gesamt pro Position				4	9	8	8	4			

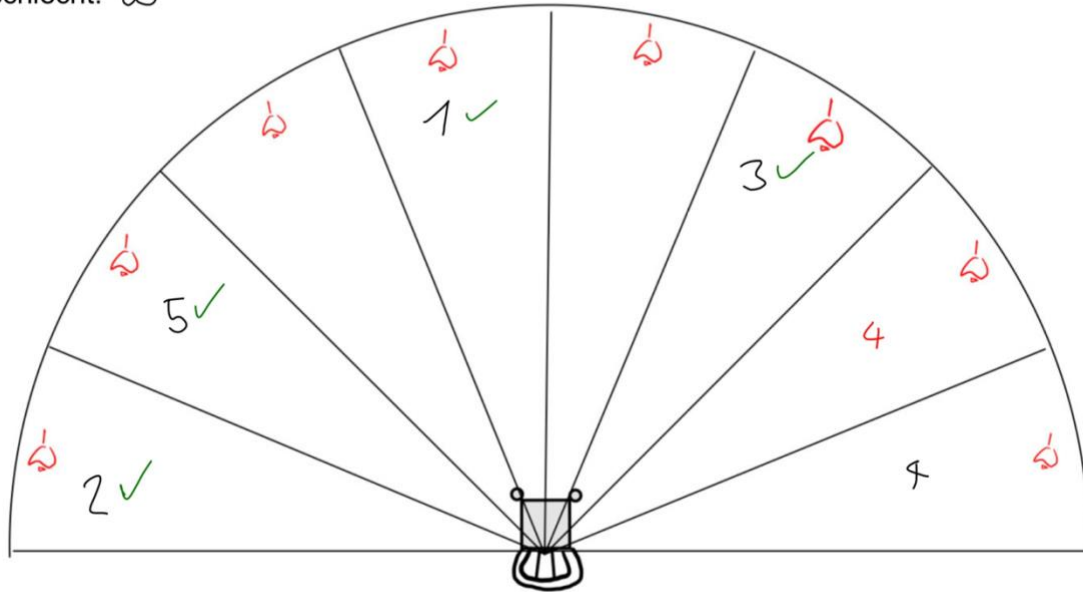
Alter: 47
Geschlecht: ♂



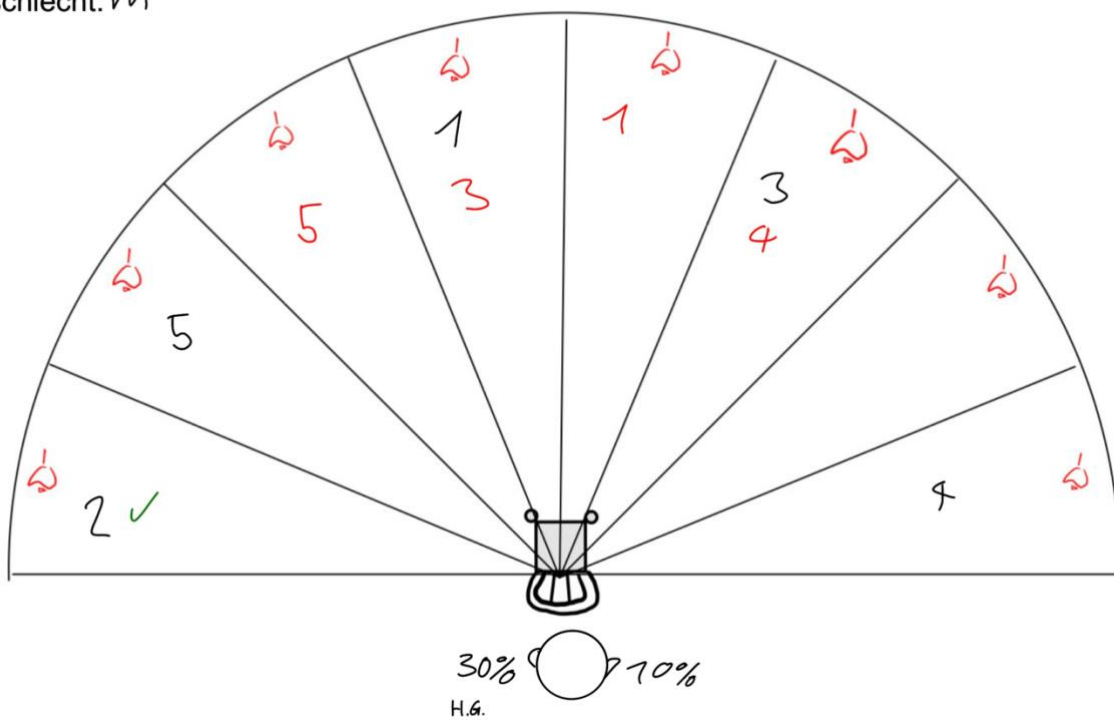
Alter: 59
Geschlecht: ♀



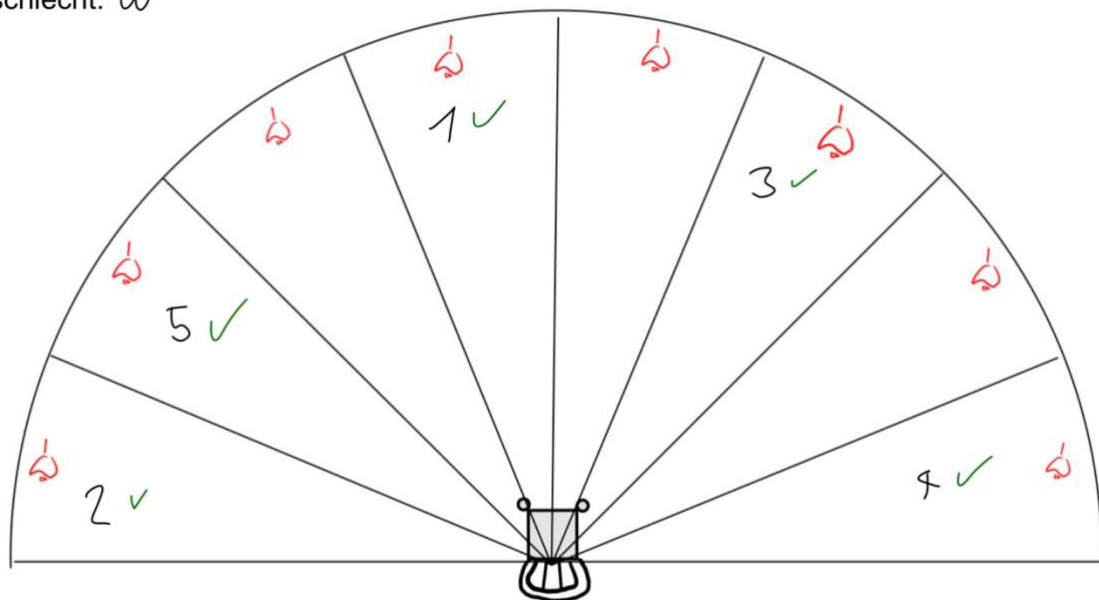
Alter: 73
Geschlecht: ♂



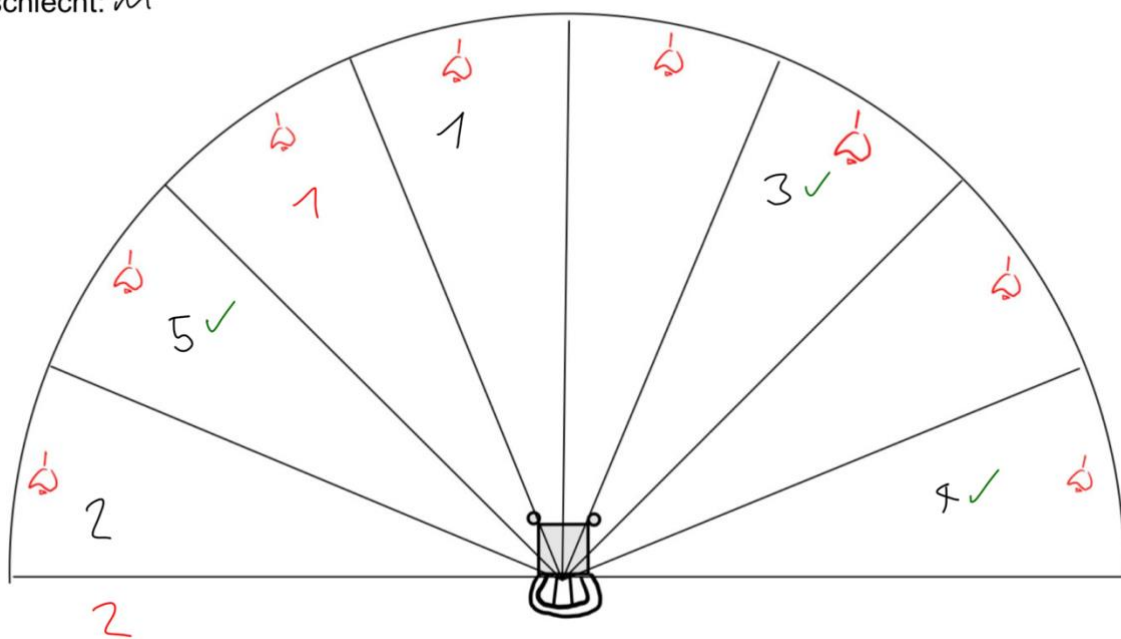
Alter: 75
Geschlecht: ♀



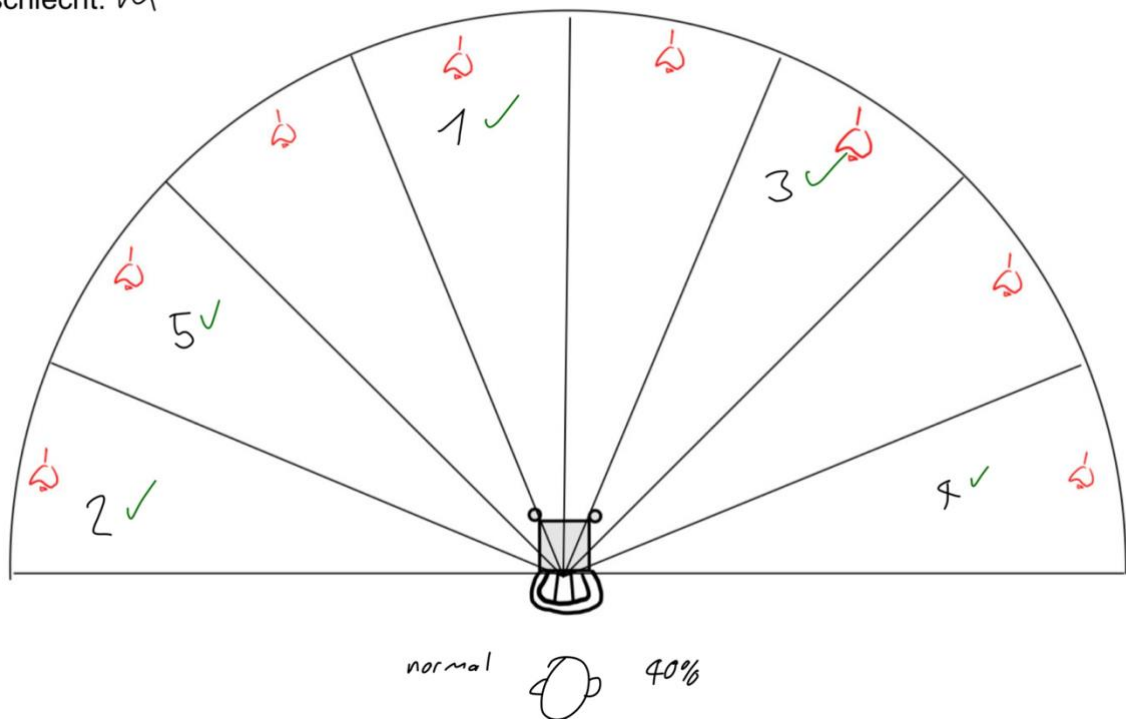
Alter: 19
Geschlecht: w



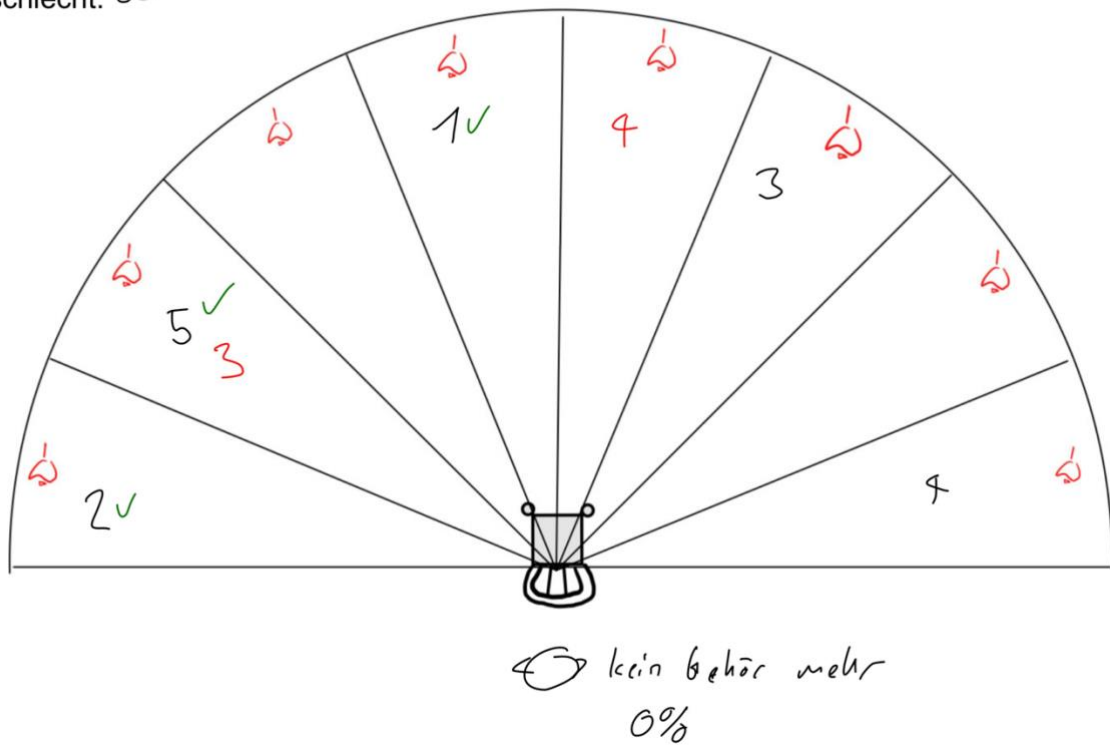
Alter: 19
Geschlecht: m



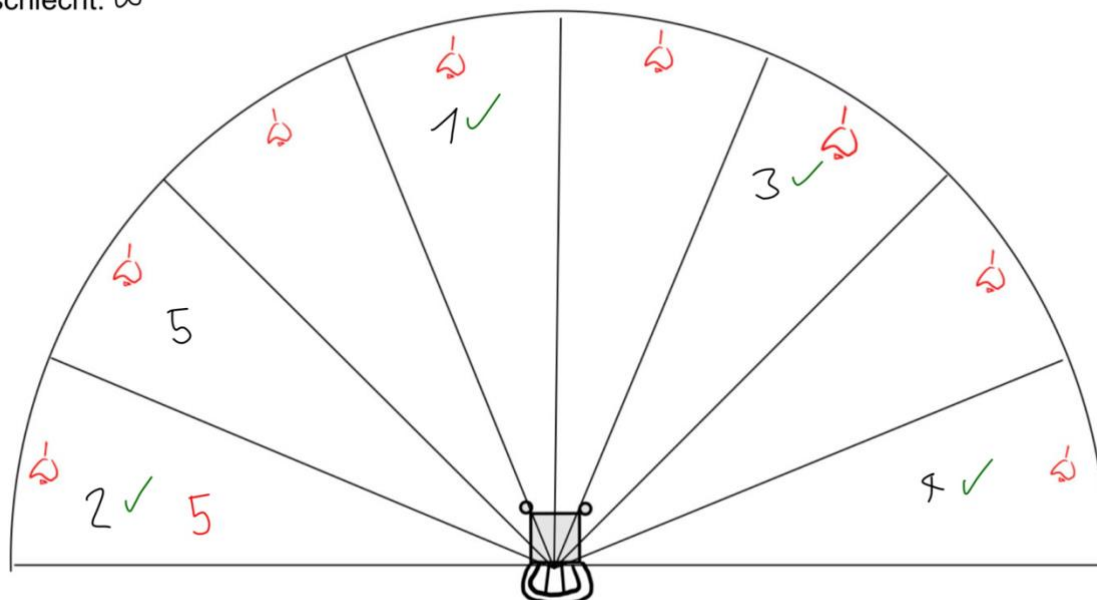
Alter: 55
Geschlecht: m



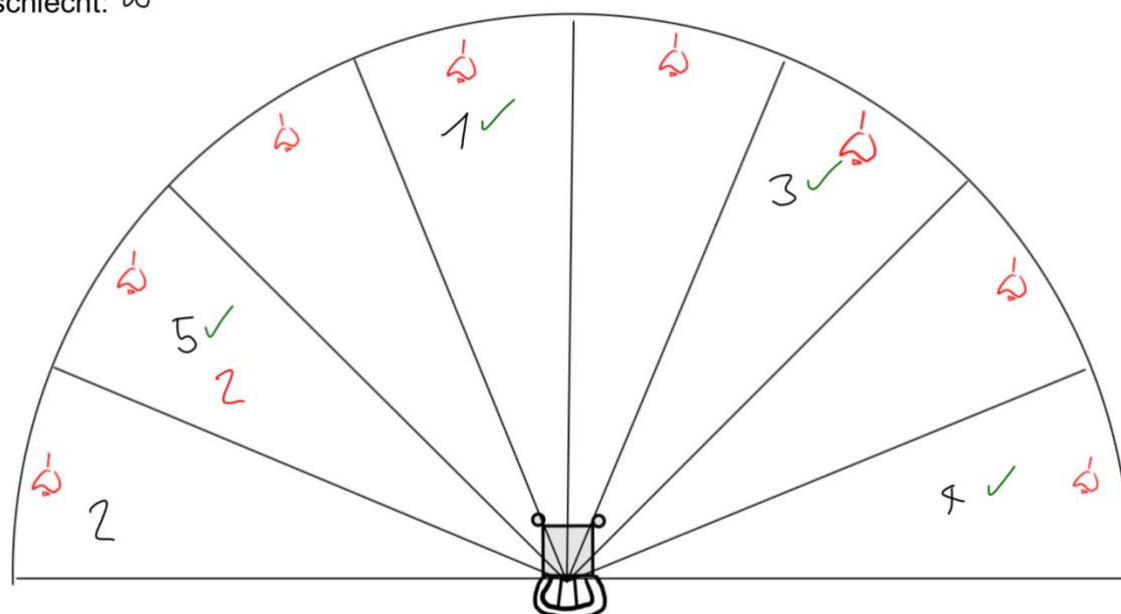
Alter: 85
Geschlecht: w



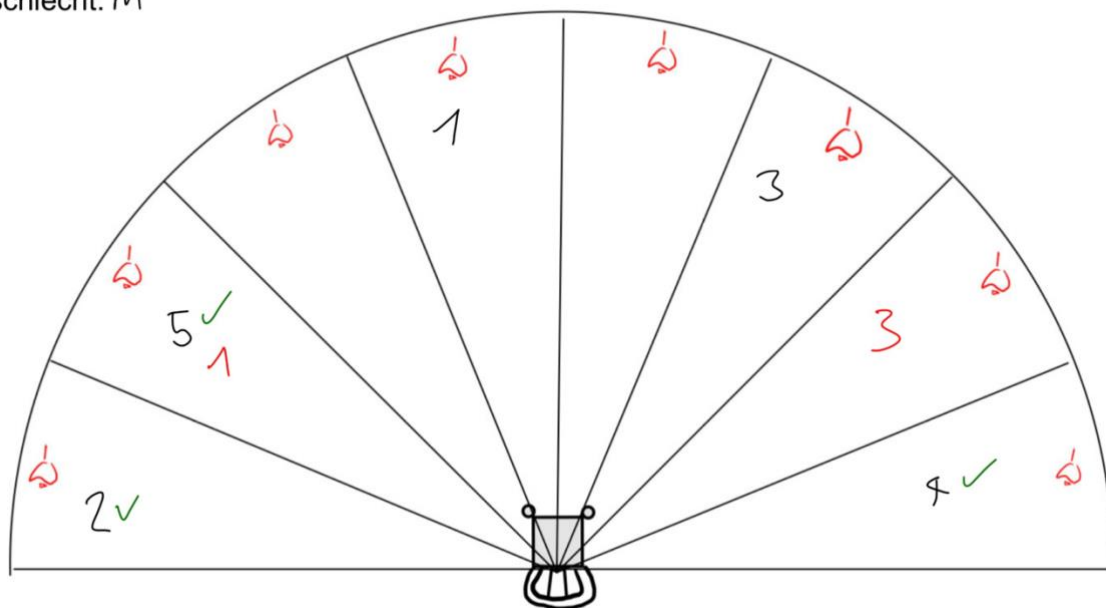
Alter: 59
Geschlecht: ♂



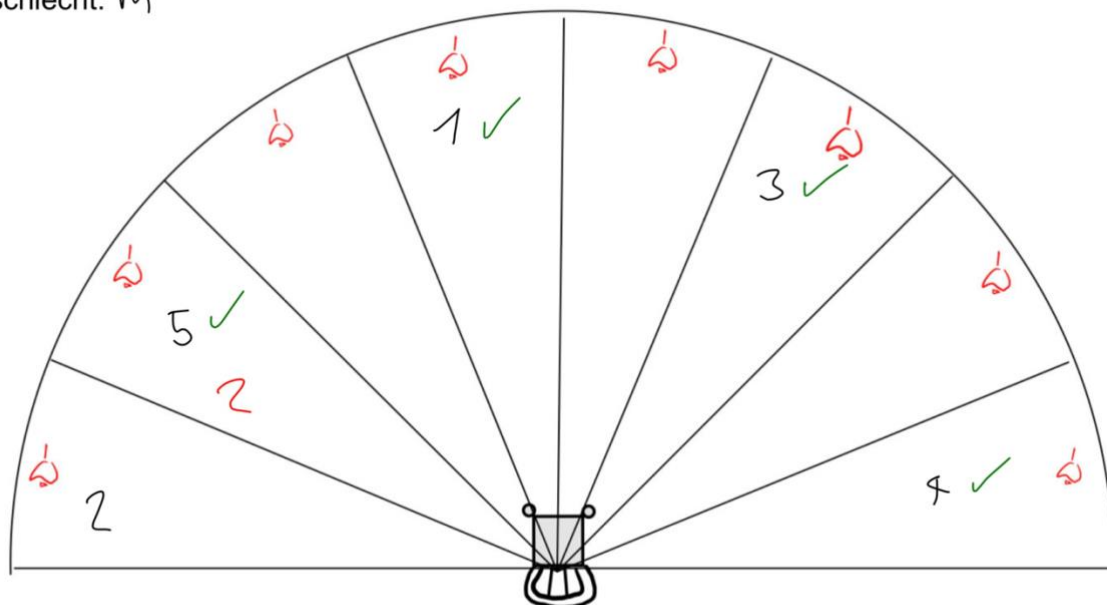
Alter: 52
Geschlecht: ♂



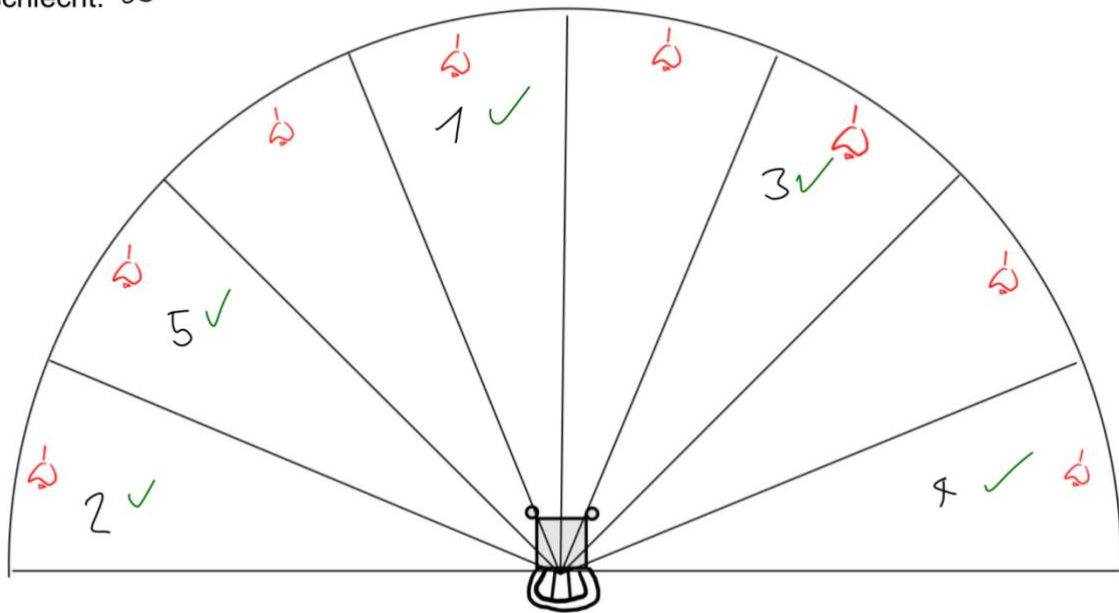
Alter: 77
Geschlecht: M



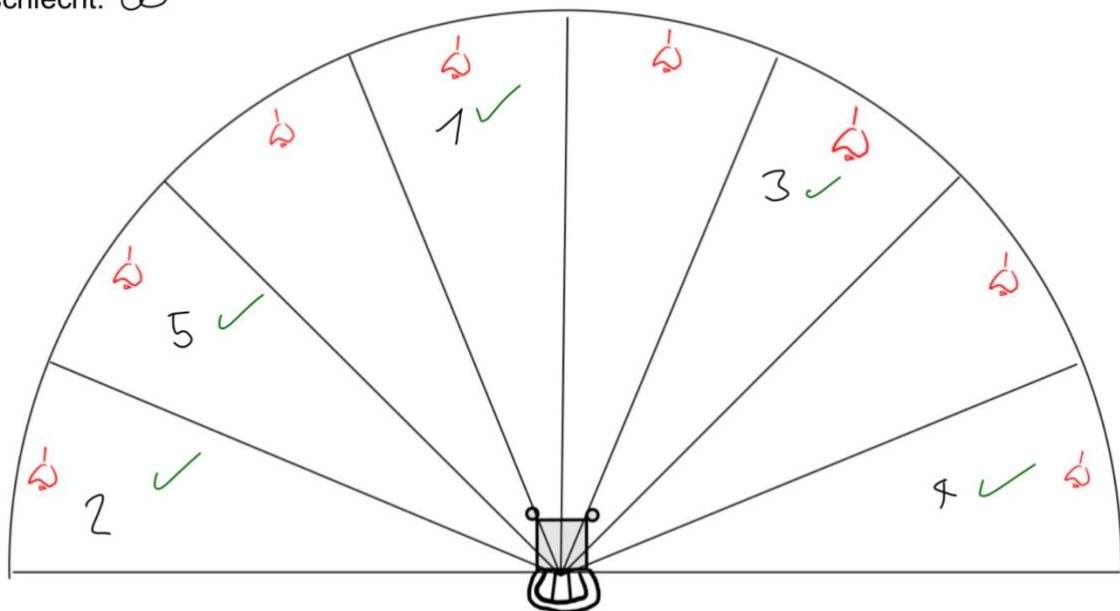
Alter: 79
Geschlecht: M



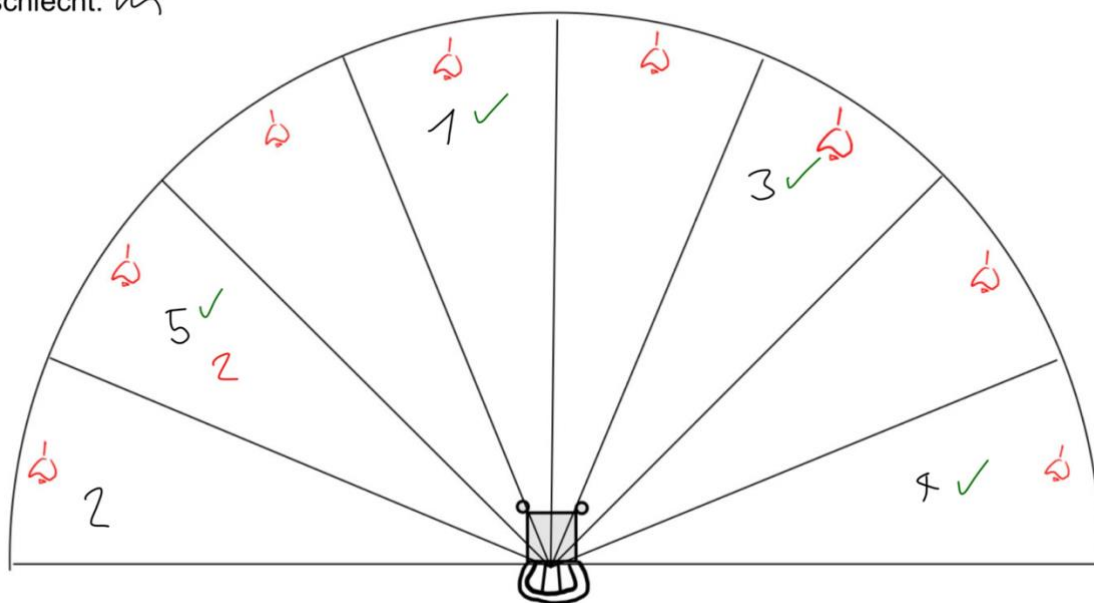
Alter: 19
Geschlecht: w



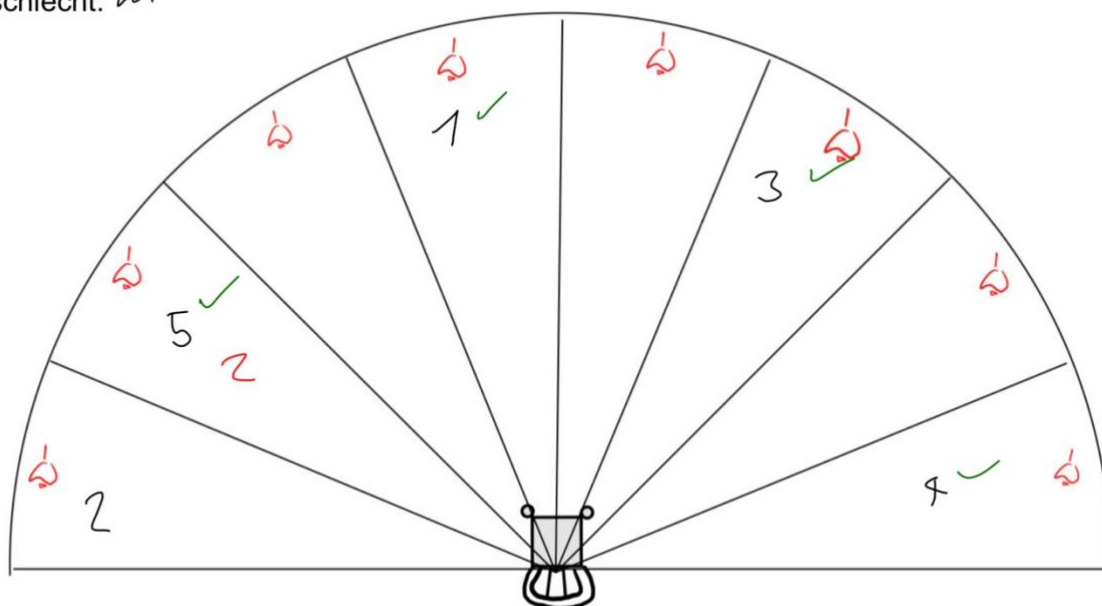
Alter: 19
Geschlecht: w



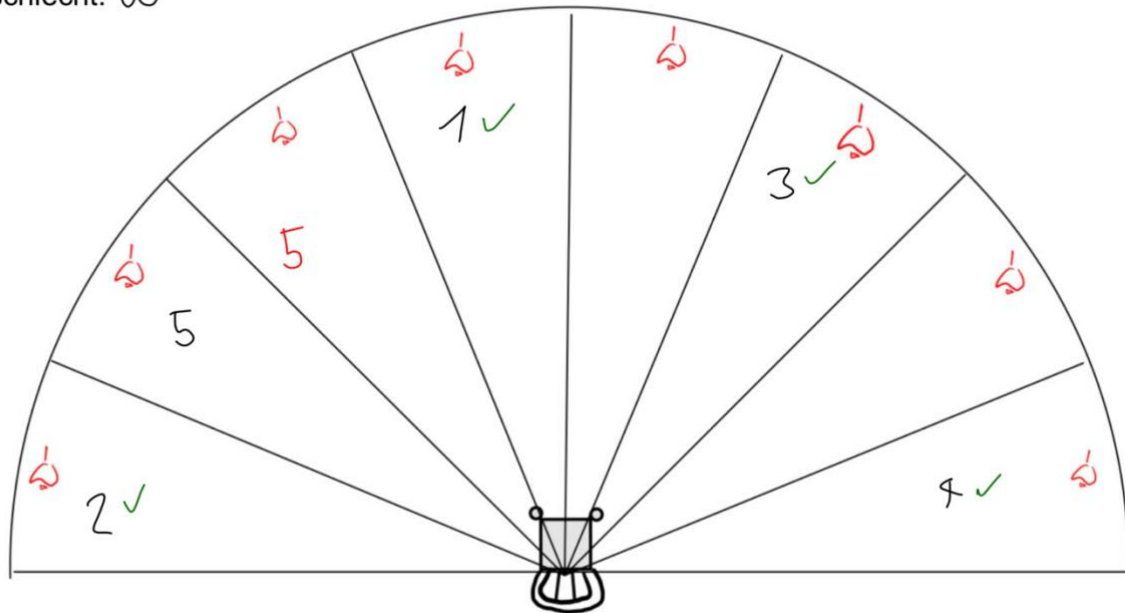
Alter: 21
Geschlecht: m



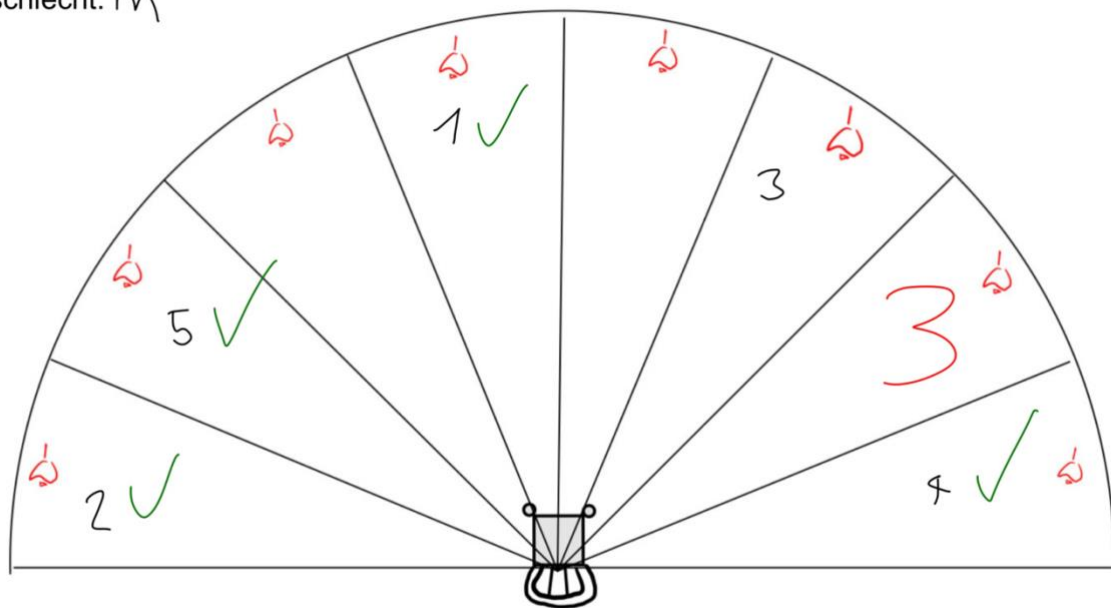
Alter: 11
Geschlecht: m



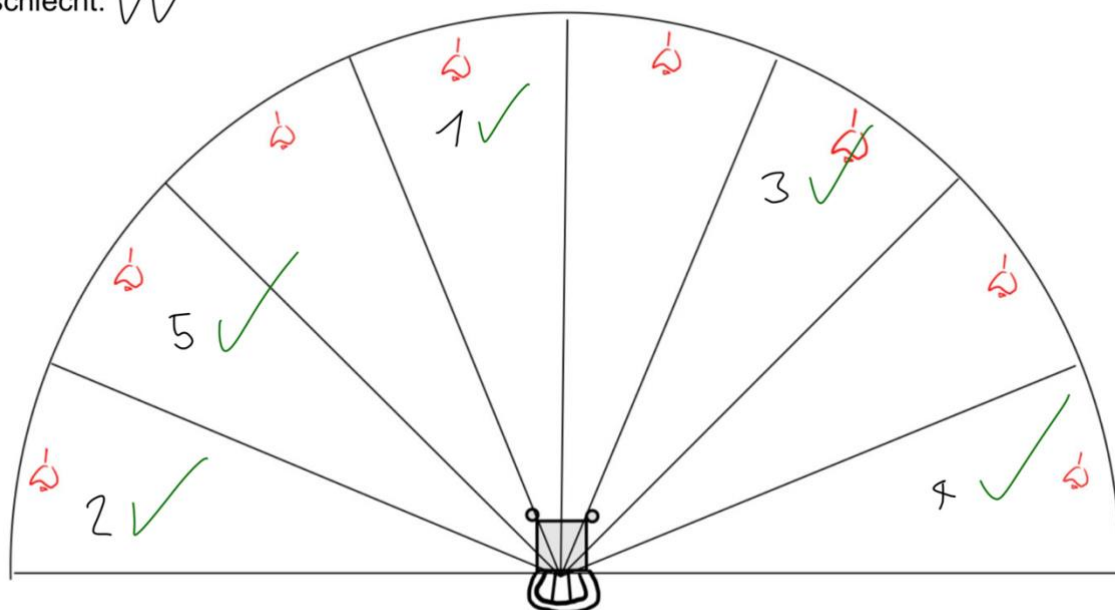
Alter: 21
Geschlecht: W



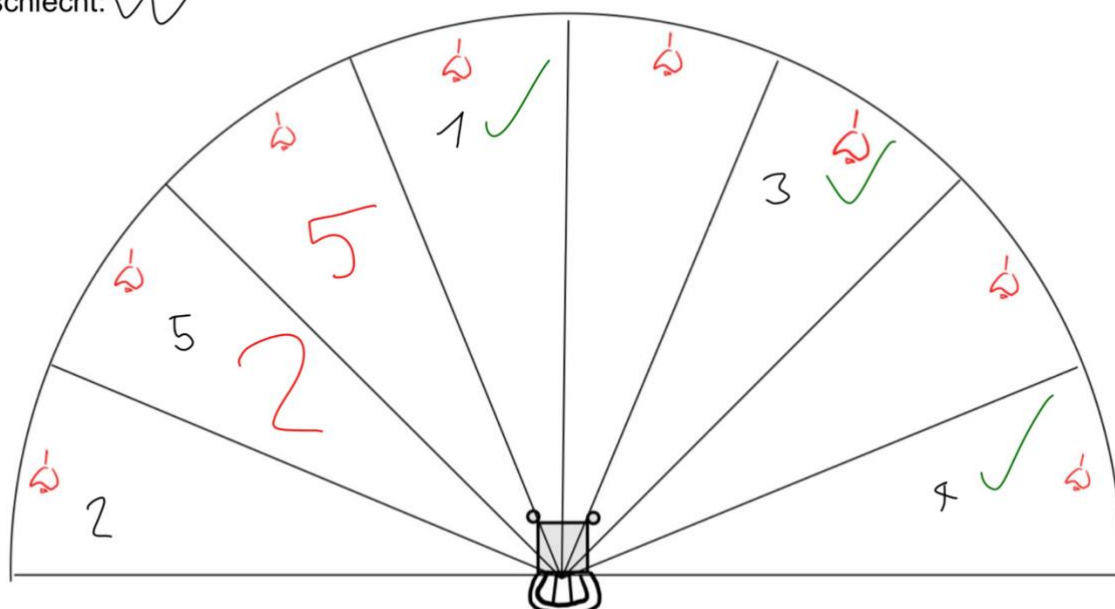
Alter: 57
Geschlecht: M



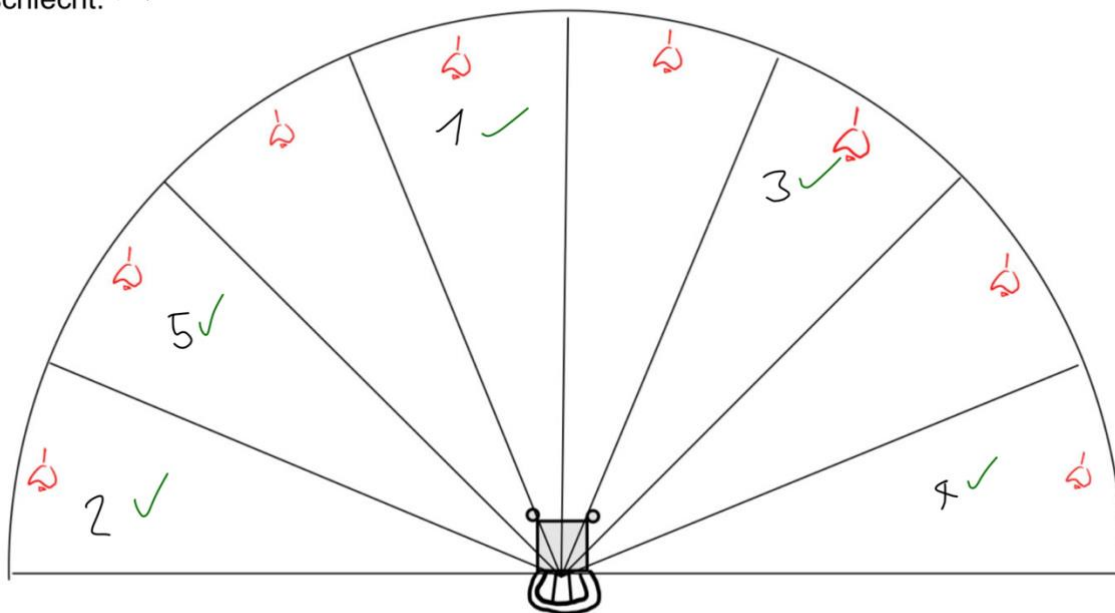
Alter: 21
Geschlecht: W



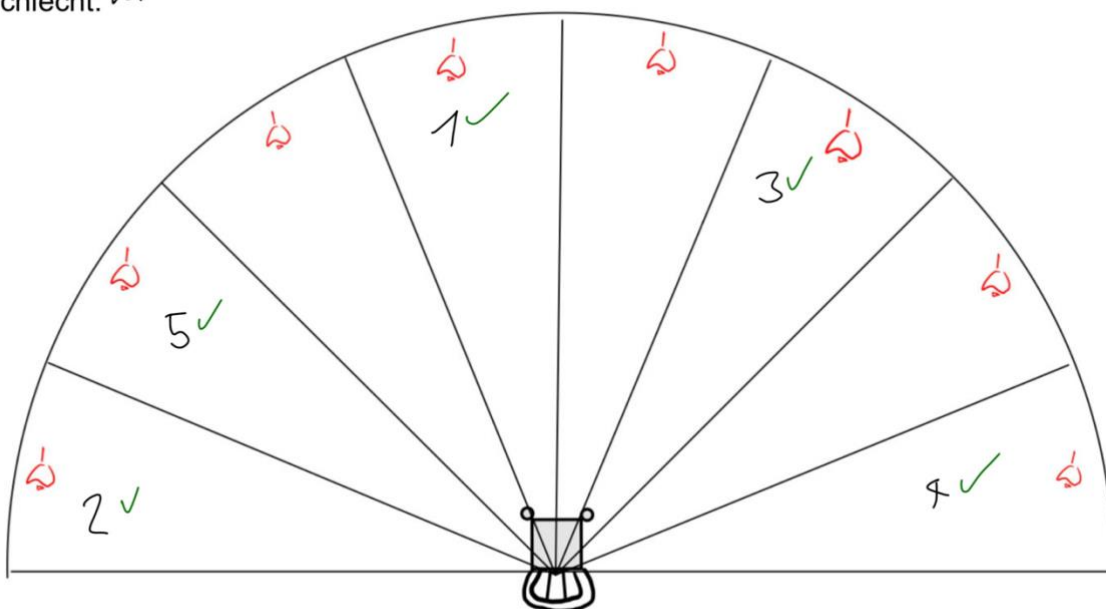
Alter: 19
Geschlecht: W



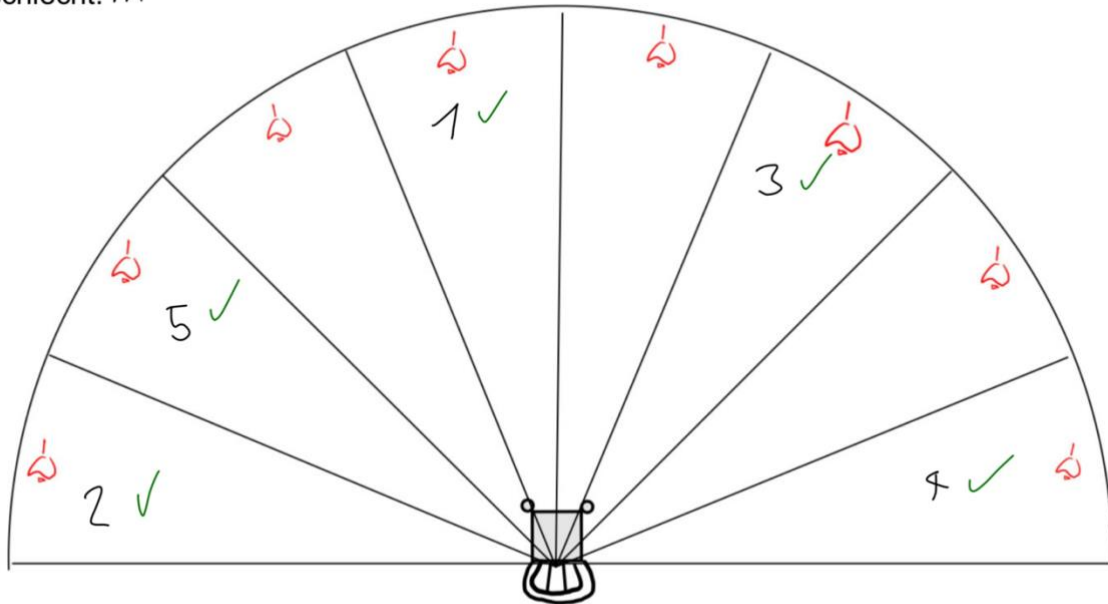
Alter: 19
Geschlecht: m



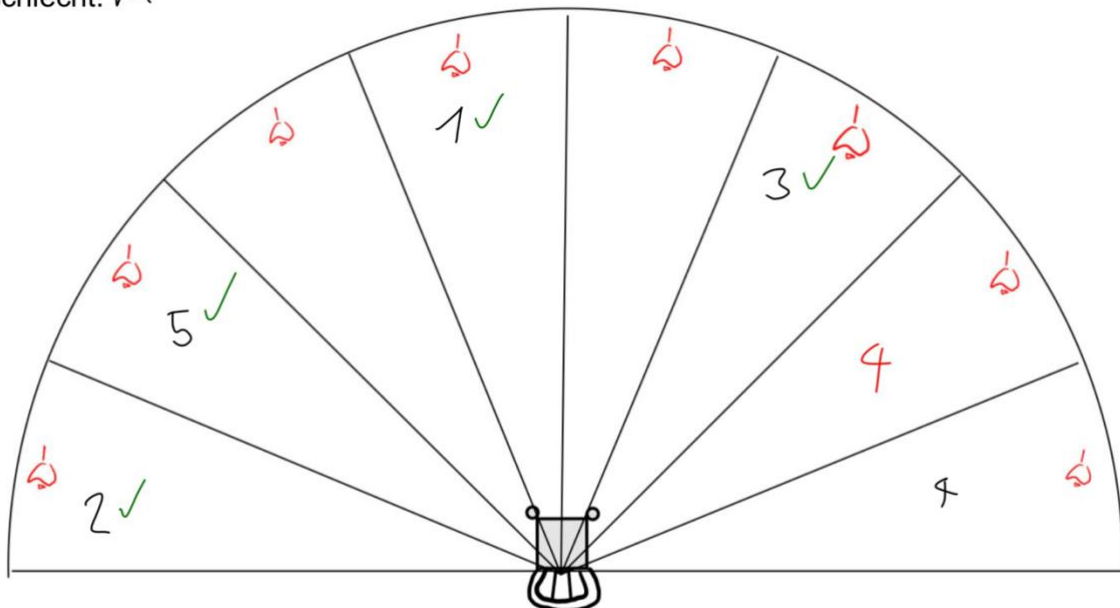
Alter: 18
Geschlecht: m



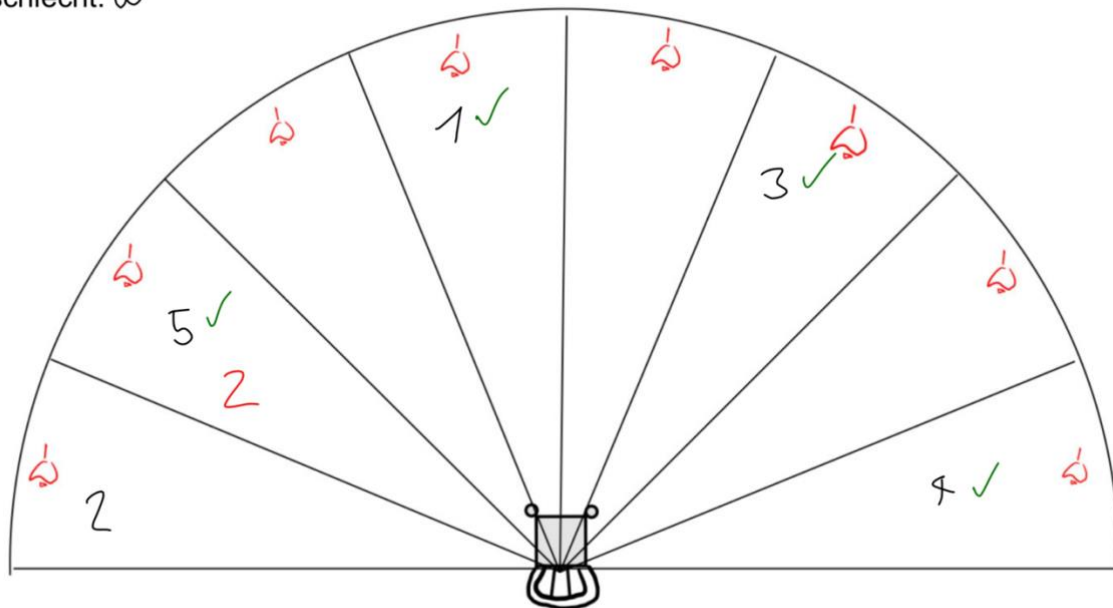
Alter: 21
Geschlecht: m



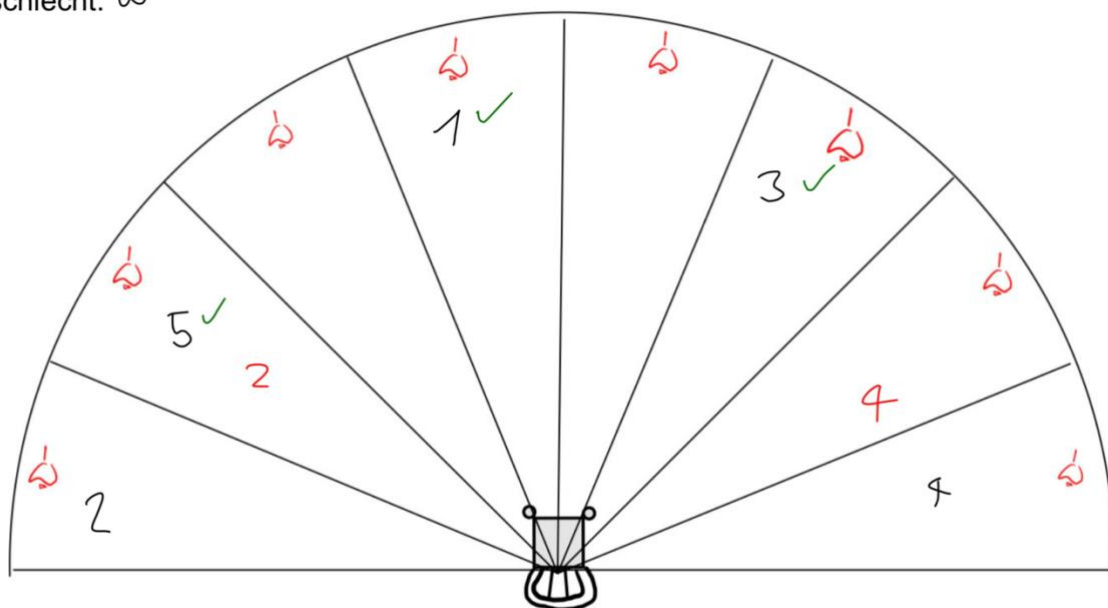
Alter: 20
Geschlecht: m



Alter: 48
Geschlecht: w



Alter: 19
Geschlecht: w



14 Authentizitätserklärung

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und erlaubte Hilfen von Drittpersonen korrekt veranschaulicht habe. Informationen, die ich wörtlich oder sinngemäss von anderen Publikationen oder Quellen, unter anderem aus dem Internet oder mithilfe künstlicher Intelligenz (KI), verfasst habe, sind klar, wiederauffindbar zitiert und machen nur einen geringen Anteil der Arbeit aus. Die in meiner Arbeit benützten Hilfsmittel entsprechen der Wahrheit, sind vollständig aufgelistet und auf diese Weise noch nicht veröffentlicht worden. Mir ist bewusst, dass ich unter Umständen zu den von mir gebrauchten Hilfsmitteln Stellung nehmen muss.

Ort und Datum: Brig, den 30.11.2023.....

Unterschrift der Schülerin/des Schülers:Sulgan.....

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und erlaubte Hilfen von Drittpersonen korrekt veranschaulicht habe. Informationen, die ich wörtlich oder sinngemäss von anderen Publikationen oder Quellen, unter anderem aus dem Internet oder mithilfe künstlicher Intelligenz (KI), verfasst habe, sind klar, wiederauffindbar zitiert und machen nur einen geringen Anteil der Arbeit aus. Die in meiner Arbeit benützten Hilfsmittel entsprechen der Wahrheit, sind vollständig aufgelistet und auf diese Weise noch nicht veröffentlicht worden. Mir ist bewusst, dass ich unter Umständen zu den von mir gebrauchten Hilfsmitteln Stellung nehmen muss.

Ort und Datum: Brig, den 30.11.2023.....

Unterschrift der Schülerin/des Schülers:Jen Kuan.....