

# Förderpreis 2017

## Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit von internet- und app-basierten Hörscreenings

### Bachelor-Abschlussarbeit

Verfasser: Anna Ruhe

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat Jürgen Tchorz,  
Eva Droste,  
Dr. Ulrich Giese

Datum der Abgabe: 28.08.2017

# **E UHA**

Europäische Union der  
Hörakustiker e.V.

Herausgeber: Europäische Union der Hörakustiker e. V.  
Neubrunnenstraße 3, 55116 Mainz, Deutschland  
Tel. +49 (0)6131 28 30-0  
Fax +49 (0)6131 28 30-30  
E-Mail: [info@euha.org](mailto:info@euha.org)  
Internet: [www.euha.org](http://www.euha.org)

Alle hier vorhandenen Daten, Texte und Grafiken sind urheberrechtlich geschützt. Eine Verwertung über den eigenen privaten Bereich hinaus ist grundsätzlich genehmigungspflichtig.

© EUHA 2017

## Zusammenfassung

Diese Bachelor-Abschlussarbeit untersucht die Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit von verschiedenen internet- und app-basierten Hörscreenings. In einem ersten Schritt wurde eine Datenbank mit 58 frei verfügbaren Anwendungen und Webseiten zur Durchführung von Hörscreenings angelegt. Anhand von Kriterien wie Testablauf, Testinhalt, Kalibrierung und Ergebnisdarstellung wurden diese klassifiziert und bewertet. Elf dieser Screenings wurden messtechnisch genauer analysiert, um schließlich fünf Screenings auszuwählen, die in einer Studie mit schwerhörigen Probanden ( $n = 22$ ) ausführlicher bezüglich ihrer Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit untersucht werden sollten. Hierzu sollten die Probanden die Hörscreenings anhand eines Fragebogens in den Kategorien Einweisung, Bedienbarkeit, Resultate der Hörscreenings sowie Gesamteinschätzung und Design bewerten und ihren Favoriten auswählen. Gleichzeitig beobachtete der Versuchsleiter die Probanden bei der Durchführung und protokollierte das Zurechtkommen. Zudem wurde ein Audiogramm von jedem Probanden aufgenommen, welches als Referenz zu den Messergebnissen der Hörscreenings diente. Es zeigte sich, dass für die Probanden vor allem eine gute Bedienbarkeit und eine verständliche Darstellung des Ergebnisses relevant für die Beurteilung des Screenings waren. Dabei stimmte die Einschätzung der Bedienbarkeit allerdings nicht immer mit den Beobachtungen des Versuchsleiters überein, der zum Teil Bedienfehler beobachtete, die von den Probanden nicht bemerkt wurden. Im Vergleich zum Standardaudiogramm wurden zwei gute Hörscreenings gefunden, die das Hörvermögen eines Nutzers mit einer geringen Abweichung von ca. 10 dB widerspiegeln. Allerdings gab es auch unbrauchbare Hörscreenings, die keine Aussagekraft haben und einen unerfahrenen Erstnutzer fehlleiten können.

# Inhaltsverzeichnis

Impressum	i
Zusammenfassung	ii
Inhaltsverzeichnis	iii
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand des Wissens</b>	<b>2</b>
<b>3. Grundlagen</b>	<b>5</b>
3.1 Definition der Hörschwelle	5
3.2 Ton- und Sprachaudiometrie	5
3.3 Hörscreenings	7
<b>4. Voruntersuchung</b>	<b>8</b>
4.1 Recherche zu vorhandenen Online- und app-basierten Hörscreenings	8
4.2 Technische Bewertung der engeren Auswahl	13
4.2.1 Messergebnis	15
4.2.2 Auswahl der finalen Hörscreenings	16
<b>5. Probandenstudie</b>	<b>18</b>
5.1 Ausgewählte Online- und app-basierte Hörscreenings	18
5.1.1 Screening 8	18
5.1.2 Screening 39	18
5.1.3 Screening 28	19
5.1.4 Screening 52	20
5.1.5 Screening 37	20
5.2 Methoden	20
5.2.1 Probandenauswahl	20
5.2.2 Fragebögen	21
5.2.3 Versuchsaufbau und -ablauf	22
5.2.4 Datenauswertung und Statistik	23
5.3 Ergebnisse	24
5.3.1 Subjektive Bewertung der Hörscreenings durch die Probanden	24
5.3.1.1 Gesamteinschätzung	24
5.3.1.2 Einweisung	26
5.3.1.3 Bedienbarkeit	29
5.3.1.4 Resultate der Hörscreenings	29
5.3.1.5 Design	31
5.3.1.6 Grafische Darstellung des Ergebnisses der Hörscreenings	32
5.3.1.7 Gesamtbewertung der Probanden	33
5.3.2 Technische Vorerfahrungen der Probanden	35
5.3.3 Probandenverhalten während der Testdurchführung	36
5.3.3.1 Analyse des Probandenverhaltens	36
5.3.3.2 Gesamtbewertung	38
5.3.4 Messergebnisse der Hörscreenings im Vergleich mit denen der Unity 2	40
5.3.4.1 Screening 8	41
5.3.4.2 Screening 39	42
5.3.4.3 Screening 28	42
5.3.4.4 Screening 52	43
5.3.4.5 Screening 37	44
5.3.5 Dauer der Hörscreenings	46

<b>6. Diskussion</b>	<b>49</b>
6.1 Beurteilung der Hörscreenings	49
6.2 Vergleich der Bewertung der Probanden mit denen des Versuchsleiters	55
6.3 Fazit	56
<b>7. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>59</b>
7.1 Zusammenfassung	59
7.2 Ausblick	60
<b>8. Anhang</b>	<b>61</b>
8.1 Reihenfolge der Hörscreenings	61
8.2 Fragebogen für den Probanden und den Versuchsleiter	62
<b>9. Verzeichnisse</b>	<b>67</b>
9.1 Abbildungsverzeichnis	67
9.2 Tabellenverzeichnis	69
9.3 Literaturverzeichnis	70

## 1. Einleitung

„95 % der Weltbevölkerung besitzen mindestens ein Handy“ heißt es auf der Internetseite von *mobile zeitgeist* [1]. Dabei beruft sich die Autorin Heike Scholz auf eine Studie der Marktforschungsgruppe *SSI (Survey Sampling International)*. Zudem nutzen knapp 46 % der Weltbevölkerung das Internet [2]. Diese Tatsache, dass somit fast jeder Zugriff auf ein Handy und/oder das Internet hat, bietet vielen Unternehmen die Möglichkeit, mit ihren Produkten und Anwendungen (Apps) den Endnutzer zu erreichen. Im Internet und in App Stores gibt es eine Vielzahl von frei zugänglichen Anwendungen, die beispielsweise zur Erleichterung und Unterstützung im Alltag oder der Unterhaltung dienen. Auch im Bereich der Gesundheit und Medizin gibt es viele Apps, die u. a. zur Prävention, Diagnose, Monitoring, Therapie und Nachsorge dienen können [3]. Diese Apps fallen unter den Sammelbegriff der Telemedizin, die im Allgemeinen ein Teilbereich der Telematik ist und dazu dient, Diagnosen und Therapien trotz räumlicher und zeitlicher Distanz stellen zu können. Dabei sind Ärzte, Apotheker und Patienten miteinander verbunden [4]. Der Patient kommuniziert telefonisch oder via Internet mit dem Arzt, der anschließend eine Ferndiagnose stellt und bei Bedarf ein Rezept ausstellt. So heißt es in der Fachzeitschrift *Hörakustik* [5]. Als vorteilhaft wird vor allem bei der Online- und Telemedizin die Zeit- und Geldersparnis angesehen. Der Patient spart sich zudem längere Anfahrts- oder Wartezeiten. Ein Beispiel dafür ist der Hörtest per Telefon der Oldenburger *HörTech gGmbH*. Der Nutzer kann per Anruf die Fähigkeit seines Gehörs mit Hilfe eines Speech-in-Noise-Tests überprüfen lassen [6]. Doch bietet dieser Bereich nicht für alle einen Vorteil. Vor allem ältere Menschen stehen dem neuen Trend skeptisch gegenüber [5].

Hörscreenings verschaffen ihren Nutzern einen ersten Überblick über das Hörvermögen und können zur Selbstdiagnostik dienen. Somit ist es möglich, statt zu einem Fachmann zu gehen, zu Hause in ruhiger Umgebung einen Hörtest zu machen. Es stellt sich die Frage, inwieweit ein solches Hörscreening genaue Messungen durchführt bzw. Ergebnisse liefert, die der Nutzer versteht und nachvollziehen kann. In dieser Arbeit werden die Genauigkeit und die Benutzerfreundlichkeit von einigen ausgewählten internet- und app-basierten Hörscreenings betrachtet. Dazu dienen die frei verfügbaren Internetseiten und Anwendungen, die in dieser Bachelor-Abschlussarbeit mit Hilfe einer angelegten Datenbank und Messtechniken analysiert wurden. Eine Auswahl der getesteten Hörscreenings wurde mit Hilfe eines Probandenkollektivs in einer Studie getestet und bewertet. Die Daten wurden durch einen Fragebogen, welcher unterteilt war in die Kategorien „Einweisung“, „Bedienbarkeit“, „Resultate der Hörscreenings“ sowie „Gesamteinschätzung“ und „Design“, erhoben und ausgewertet. Bisherige Untersuchungen verwendeten meist ein Hörscreening bei ihren Studien. Für die Arbeit interessante Forschungen werden zunächst kurz beleuchtet. Um einen Einstieg in die Thematik zu gewähren, dienen als Grundlage die Definition der Hörschwelle, einige Erläuterungen zur Ton- und Sprachaudiometrie sowie die allgemeine Betrachtung von Hörscreenings.

## 2. Stand des Wissens

Das individuelle Hörvermögen wird zu einem immer größer werdenden Thema in unserer Gesellschaft [7], [8], weswegen sich immer mehr Personen für die Fähigkeiten ihres Gehörs interessieren. Anstelle des Ganges zum Arzt oder Akustiker wird jedoch oft zuerst das Internet zurate gezogen, in dem immer mehr Möglichkeiten angeboten werden, das Gehör selbstständig zu überprüfen. Online- und app-basierte Hörscreenings bieten ihren Nutzern einen Einblick in ihr Hörvermögen und nutzen dafür unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung. Vor allem eine Art der Tonaudiometrie wird von vielen Anbietern verwendet, in welcher die individuelle Hörschwelle mit reinen Sinustönen oder pulsierenden Tönen gemessen werden soll. Neben der Tonaudiometrie verwenden einige Anbieter auch weitere Messverfahren, wie z. B. Fragebögen (Fragen über das akustische Umfeld) oder unterschiedliche Sprachtests (Sprachverstehen im Störgeräusch, Zahlwörter verstehen und eingeben, Sprachverstehen in Alltagssituationen mit Abfrage).

Die Kalibrierung von internet- und app-basierten Hörscreenings ist ein wichtiger Bestandteil und sollte vom Entwickler klar definiert sein, wenn ein Screening auf den Markt kommt. Im besten Fall prüft der Nutzer sein Gehör an einem für den Entwickler definierten System. Er weiß bei einer App, die für *Apple*-Geräte herunterladbar ist, welches Smartphone und gegebenenfalls auch welche Kopfhörer verwendet werden, z. B. die vom Hersteller mitgelieferten Kopfhörer (bei *Apple* die Einsteckkopfhörer *EarPods*). Schwierigkeiten kann es bei undefinierten Systemen geben, wie es häufig bei *Android*-Systemen oder Online-Hörscreenings vorkommt. Hier muss der Nutzer das System selbst kalibrieren, was bei einem Schwerhörigen, der zuvor den von ihm genutzten Test einstellen soll, zu Problemen und möglicherweise falschen Ergebnissen führt. Abhilfe kann dabei die Kalibrierung durch eine normalhörende Person schaffen. Bei diesem Verfahren wird allerdings die Normalhörigkeit nicht überprüft. Häufig muss das Alter der Person, die die Kalibrierung durchführt, angegeben werden. Eine andere häufig verwendete Möglichkeit ist eine Kalibrierung über das Einstellen eines vorgegebenen Soundbeispiels z. B. auf eine „angenehme“ oder „gerade so zu hörende“ Lautstärke [9], [10], [11]. Auch andere Kalibrierungsarten sind möglich. Darunter fällt z. B. das Reiben der Hände aneinander, wie es Pigeon in seinem *Hearing Test* nutzt [12]. Dabei soll der Nutzer die Lautstärke des PCs so einstellen, dass das Referenzsignal (Geräusch von Hände aneinander reiben) und das Geräusch, welches der Nutzer erzeugt, wenn er seine Hände aneinander reibt, gleich laut sind. Bereits Eysbach et al. (2014) [13] führten erste Studien über die Kalibrierung von web-basierten Hörtests durch. Dabei wurden mit Hilfe von normalhörenden Testpersonen verschiedene Methoden zur Kalibrierung untersucht, die den „Fehler der vorgeschlagenen Methode, die Dauer und die subjektiven Schwierigkeiten bei der Durchführung dieser Tests identifizieren“ [13] sollten. In einer der Methoden wurde die Messmethode nach Békésy [14] genutzt, um einen Kalibrierungs-Koeffizienten zu ermitteln. Diese Kalibrierungs-Koeffizienten gaben Rückschlüsse auf die Schallintensität, bei der das Signal einer bestimmten

Frequenz von der normalhörenden Versuchsperson wahrgenommen wurde. Weitere Methoden zur Ermittlung von Kalibrierungs-Koeffizienten umfassten das Abspielen von amplitudenmodulierten Signalen von zwei Tönen mit unterschiedlicher Intensität und von Frequenzen mit ansteigender Lautstärke und größeren dB-Sprüngen. Eine letzte Methode sah vor, einen Referenzschallpegel zu verwenden, bei dem ein Kalibrierungskoeffizient hinzugezogen wurde. Gegenüber den anderen betrachteten Methoden konnte mit der Békésy-Methode in angemessener Zeit eine vernünftige Kalibrierung stattfinden, jedoch hing die endgültige Wahl der Kalibrierungsmethode von der gewünschten Genauigkeit und dem zeitlichen Aufwand, der aufgebracht werden kann, ab.

In der Arbeit von Bexelius et al. (2008) [15] werden ein internet-basierter Hörtest und ein Fragebogen zur Selbsteinschätzung des Hörvermögens untersucht, um über eine möglichst große Population ( $n = 560$ ) Aussagen zum Hörvermögen treffen zu können. Die Ermittlung der Hörschwelle erfolgte über einen Tontest mit sechs Tönen und einen Fragebogen. Es wurden Töne in dem Frequenzbereich von 500 bis 8000 Hz bei Pegeln von 0 bis 60 dB abgespielt. Die Kalibrierung vor dem Test sollte von einer normalhörenden Person durchgeführt werden. Aus der Gruppe von 560 angeschriebenen Personen haben 162 den Fragebogen beantwortet und nur 88 von diesen auch den Hörtest durchgeführt. Doppelte Ergebnisse und jene mit nicht reliablen Kalibrierungsdaten wurden ausgeschlossen, sodass 61 Datensätze ausgewertet werden konnten. Es hat sich gezeigt, dass die Prävalenz für einen Hörverlust in den brauchbaren Datensätzen laut Fragebogen 52 % und laut Hörtest 20 % betrug. Dies lässt die Autoren darauf schließen, dass ein klinisches Tonaudiogramm durch geschultes Personal nicht durch einen internet-basierten Hörtest ersetzt werden kann. Letzterer kann jedoch als nützliches und günstiges Screening-Tool für große Populationen verwendet werden. Die Untersuchung von Bexelius et al. [15] zeigt, dass eine Kalibrierung mit möglichst präzisen Angaben zur Referenzmessung schwierig ist. 27 der Datensätze mussten ausgeschlossen werden, um fehlerhafte Kalibrierung auszuschließen. In dieser Untersuchung wurde kein direkter Vergleich mit einer klinischen Audiometrie durchgeführt, um das Fazit zu unterstützen.

Nicht nur das Internet bietet verschiedene Hörtests bzw. Hörscreenings an, auch App Stores wie *Google Play Store* oder der *App Store* von *Apple* enthalten eine Vielzahl ähnlicher Screening-Tests. Foulad et al. (2013) [16] untersuchten eine von ihnen entwickelten Apps mit dem Namen „EarTrumpet“, die frei zugänglich aus dem *App Store* heruntergeladen werden kann und als eine automatisch ablaufende Audiometrie fungieren soll. Mittels dieser App wurde untersucht, inwieweit sich Machbarkeit und Genauigkeit solcher Tests gegenüber einer klinischen Prüfung unterscheiden. Die Probanden testeten diese App auf den für die Studie vorgesehenen *Apple*-Produkten in Kombination mit verschiedenen Kopfhörern. Es hat sich gezeigt, dass die App ähnliche Ergebnisse lieferte wie ein übliches Audiometer bei einer klinischen Untersuchung. 96,5 % der Messungen mit App wichen nur um 0 bis 10 dB von der manuellen Audiometrie ab.



Auch Corry et al. (2017) [17] untersuchten die Genauigkeit und Zuverlässigkeit eines app-basierten Hörtests mit normalhörenden Probanden. Mit Hilfe einer App aus dem *App Store* mit dem Namen „Audiogram Mobile App“ (*Apple*) und einem klinischen Audiometer wurde die Hörschwelle der Probanden überprüft. Im Gegensatz zu der Studie von Fould et al. (2013) [16] hat sich hier gezeigt, dass die App gegenüber dem Audiometer unterschiedliche Ergebnisse lieferte. Während der Testdurchläufe unterbrach die App zudem die Messungen, was den Ablauf zunehmend gestört hat. Ein Test-Retest ergab, dass die Zuverlässigkeit der gelieferten Ergebnisse sowohl beim Audiometer als auch bei der App gleich waren. Während Fould et al. (2013) aufgezeigt haben, dass bei aufeinander abgestimmtem Equipment auch eine App zur ungefähren Bestimmung der Hörschwelle verwendet werden kann, wird dies bei Corry et al. (2017) nicht deutlich. Sie sehen eine App nicht als Ersatz für eine klinische Prüfung an, da sie häufig Fehlfunktionen aufweist und Unterschiede bei den Ergebnissen der Hörschwellen gegenüber einem standardisierten Audiometer gefunden wurden. Die Genauigkeit der Hörschwelle konnte nicht gewährleistet werden.

Alle bisherigen Methoden verglichen jeweils nur eine automatisch ablaufende Audiometrie mit der standardisierten Audiometrie. Es fehlt ein Vergleich verschiedener internet- und app-basierter Hörscreenings untereinander. Diese unterscheiden sich erheblich in mehreren Dimensionen, z. B. bezüglich der Testinhalte, der Darstellung und Qualität des Ergebnisses, der Messsignale, des benötigten Equipments, der optischen Gestaltung und Kalibrierung. Es ist herauszufinden, ob und gegebenenfalls welche der internet- und app-basierten Hörscreenings sich für eine generelle erste Untersuchung eignen bzw. dem Nutzer einen ersten guten Einblick in sein Hörvermögen bieten können oder zu ungenau sind, um sie als Ausgangspunkt für die nächsten Schritte in Richtung Hörverbesserung zu nutzen. In dieser Studie soll herausgefunden werden, inwieweit eine Aussage zur Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit von internet- und app-basierten Hörscreenings getroffen werden kann.

### 3. Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen für die vorliegende Arbeit erläutert. Diese umfassen die Definition der Hörschwelle sowie die Ton- und Sprachaudiometrie.

#### 3.1 Definition der Hörschwelle

Die Hörschwelle wird als „geringster Schalldruckpegel [...], bei dem eine Person bei wiederholten Darbietungen unter festgelegten Bedingungen in der Hälfte der Fälle die Wahrnehmung des dargebotenen Schallsignals richtig angibt“, bezeichnet (DIN ISO 8253-1:2010 [18] [S. 7]). Die Norm legt zudem fest, dass der dargebotene Pegel über einen Kopfhörer abgespielt werden muss. Dabei kann es sich um einen Knochenleitungshörer für die Ermittlung der Knochenleitungs-Hörschwelle oder einen Luftleitungs-Kopfhörer für die Ermittlung der Luftleitungs-Hörschwelle handeln. Für diese Studie ist nur die Luftleitung relevant, da sich alle Hör screenings darauf beziehen. Zur Bestimmung jeder Art von Hörschwelle müssen laut Norm bestimmte Umgebungsbedingungen eingehalten werden. Darunter fallen ein fachkundiger Untersucher, der die Messungen durchführt, wie auch ein Störschallpegel im Hörprüfraum, der nicht überschritten werden darf. Die genauen Störschallgrenzwerte für die einzelnen Terzbänder sind in der DIN 8253-1:2011-04 [18], Abschnitt 11, aufgeführt. Des Weiteren sollen der Proband und der Untersucher eine bequeme Haltung einnehmen, die Lufttemperatur im zulässigen Bereich für Büroräume liegen und eine akustische Überwachung des Probanden durch den Untersucher vorgenommen werden. Außerdem soll auf eine festgelegte Einweisung geachtet werden.

#### 3.2 Ton- und Sprachaudiometrie

Eine Audiometrie dient zur Bestimmung der Hörfähigkeit des Menschen. Sie wird mit einem Audiometer durchgeführt, bei dem es sich um ein speziell kalibriertes medizinisches Gerät handelt, welches eine definierte Messgenauigkeit aufweist [19], [20], [21]. Zu den bekanntesten Audiometern zählen „Acam“, „Aurical“ und „Unity“. Damit lassen sich eine Vielzahl von audiometrischen Messverfahren durchführen, zu denen unter anderem sowohl die Bestimmung der Hörschwelle über eine Tonaudiometrie als auch die Bestimmung der Sprachverständlichkeit mittels Sprachtest gehören. Die genauen Anforderungen für die Audiometrie sind in der ANSI S3.6-1996 [22] festgelegt. Spezialisten diagnostizieren anhand der gemessenen Daten (Audiogramm) Krankheiten des Gehörs oder verwenden die Daten zur Anpassung von Hörsystemen.

Ein Audiometer kann mit verschiedenen Kopfhörern verwendet werden. Zu diesen gehören Einsteckhörer, circumaurale Hörer, Flachhörer und Knochenleitungshörer. Ein wichtiger Bestandteil für die Messung der Hörschwelle ist die Kalibrierung der zu verwendenden Geräte. Für das Audiometer ist diese für supra-aurale, circumaurale und Einsteckkopfhörer in der DIN EN ISO 389 [19] festgeschrieben. Über die Kopfhörer können bei der Tonaudiometrie verschiedene Stimuli gegeben werden. Zu diesen gehören unter anderem reine

Sinustöne, Wobbel- und pulsierende Töne, aber auch diverse Rauschsignale (weißes, rosa und Schmalband-Rauschen). Einen Überblick über die wichtigsten Normen der Audiometrie mit unterschiedlichen Testsignalen geben Schmidt et al. (2012) [23] in ihrem Tutorial zur „Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Testsignalen: Kalibrierung und Messunsicherheiten“. Die Ergebnisse einer Tonaudiometrie werden in einem Tonaudiogramm nicht in Schalldruckpegel (engl. *sound pressure level*, SPL), sondern in Hörpegel (engl. *hearing level*, HL) angegeben. Dies basiert auf den Isophonkurven und einer Normierung mit normalhörenden Probanden zur Vereinfachung der Angabe der Hörschwellen (DIN 45630 [24], Oey und Mellert (1999-2008) [25]). Anders als bei der Tonaudiometrie werden bei einem Sprachtest Sprachsignale genutzt, um die Diskrimination von Sprache zu ermitteln. Dafür können unter anderem einfache Wörter verwendet werden, z. B. „Stein“, „Fisch“ oder „Moor“.

Eine Audiometrie kann personengeführt (von einem Testleiter) oder automatisch ablaufend sein. Für die personengeführten Hörtests gibt es Richtlinien zur Durchführung und Bedienung sowie weitere Vorschriften, die unter anderem in der DIN EN ISO 8253 [18] in Teil 1 (2011) und im American National Standard [22] festgelegt und aufgeführt sind. Des Weiteren dienen z. B. Bücher wie *Praxis der Audiometrie* von Lehnhardt (2009) [14] und *Hearing Aids* von Dillon (2012) [26] zur Einweisung in die praktische Anwendung. Die personengeführte Art der Audiometrie wird meist von geschultem Personal mit kalibrierten Messanlagen durchgeführt. Dabei werden z. B. die zu messenden Frequenzen einzeln angefahren, und es wird auf die Rückmeldung der Probanden reagiert. Meist wird der Pegel bei der jeweiligen Frequenz so lange erhöht, bis der Proband das Testsignal gerade so wahrnimmt und reagiert. Zur Kontrolle werden die jeweiligen Frequenzen erneut vorgespielt und geprüft, ob das Testsignal bei dem gleichen Pegel wie zuvor vom Probanden wahrgenommen wird. Hauptsächlich werden die Frequenzen im Bereich von 125 Hz bis 8 kHz bei einer stufenweisen Erhöhung des Pegels um 5 dB gemessen.

Die automatisch ablaufende Audiometrie erfolgt ohne einen Testleiter und wird vom Nutzer selbst durchgeführt, indem z. B. die Anweisungen einer App befolgt werden. Den Anfang automatisierter Hörtests machte bereits 1947 der Nobelpreisträger Georg von Békésy [27]. Er entwickelte einen automatisch ablaufenden Test zur Messung einer Reintonhörschwelle. In dieser wird der Proband aufgefordert, seine Hörschwelle selbst zu bestimmen, indem er einen Taster so lange drückt, wie er einen Ton über den verwendeten Kopfhörer hört, und loslässt, sobald dieser nicht mehr hörbar ist. Dabei wird der Pegel des Prüfsignals kontinuierlich erhöht, wenn der Taster nicht gedrückt wird, und kontinuierlich reduziert, wenn der Taster gedrückt wird.

Margolis und Morgan analysierten bereits 2008 die Kapazität, die Notwendigkeit und den Nutzen automatischer Reintonaudiometrie. Sie erwähnen einen großen Unterschied zwischen dem verfügbaren Fachpersonal, welches Hörverluste aufdecken kann, und der Anzahl an Personen, deren Hörvermögen jährlich überprüft werden sollte [28]. Selbst die bis

2008 verfügbaren automatischen Tests waren nicht in der Lage, diese Lücke zu schließen. Das Ziel der Untersuchung war es, eine Empfehlung darüber zu geben, wie mehr Personen einen Zugang zu Hörtests erlangen können. Die aufgezeigten Vorteile der automatischen Tests sind unter anderem eine Zeitersparnis beim Akustiker sowie dessen Entlastung. Somit kann der Fokus der Fachkräfte mehr auf andere wichtige Bereiche ihrer Tätigkeit gelegt werden. Als Nachteil gaben die Autoren eine mögliche Bedrohung von Arbeitsplätzen an und warnten zudem vor ungenaueren Ergebnissen bei automatisierten Hörtests. Laut Margolis und Morgan könnten die Fachkräfte mit einer höheren Effizienz arbeiten und mehr Patienten behandeln, wenn die automatisierten Tests die gleiche Genauigkeit lieferten wie die manuellen.

### 3.3 Hörscreenings

Ein Screening, auch „Vorsorge“ oder „Früherkennung“ genannt, dient der frühen Erkennung einer bestehenden Krankheit. Dabei kann vor allem eine große Gruppe von betroffenen Personen untersucht werden. Somit können die „Gesunden“ von den „Kranken“ getrennt und für Letztere erste Diagnosen erstellt werden, wodurch die Erfolgsaussichten bei der Behandlung von Krankheiten größer sein können [29]. Ein Hörscreening verschafft einen ersten Überblick über das Hörvermögen des Nutzers und kann der Selbstdiagnostik dienen. Durch diese Screenings kann eine mögliche Minderung des Hörvermögens erkannt werden und eine zusätzliche Kontrolle durch einen Facharzt oder Akustiker erfolgen. Audiometer sind sehr teuer und müssen regelmäßig von einem Fachmann kalibriert werden. Dagegen bieten Anwendungen für das Smartphone oder Internetseiten eine günstige Alternative. Somit ist es möglich, zu Hause in ruhiger Umgebung einen Hörtest zu machen und je nach Ergebnis des Screenings die notwendigen Wege in Richtung Hörverbesserung einzuleiten. Dadurch kann der vermutlich auftretenden Hemmschwelle, über einen Hörverlust zu sprechen bzw. den Hörverlust anzunehmen, entgegengewirkt werden.

## 4. Voruntersuchung

Dieses Kapitel gibt ein Überblick darüber, wie frei verfügbare Hör screenings für diese Arbeit ausgesucht wurden und nach welchen Kriterien diese Auswahl immer weiter eingegrenzt wurde. Dafür wurde zunächst eine Datenbank mit verschiedenen Screenings angelegt; dabei wurden diese analysiert. Screenings, die hierbei z. B. aufgrund ihrer Messmethode oder ihres Bekanntheitsgrades als besonders interessant eingestuft wurden, wurden am Kemar messtechnisch untersucht. Am Ende erfolgte die finale Auswahl der Hör screenings, die in einer Probandenstudie genauer betrachtet und bewertet werden sollten.

### 4.1 Recherche zu vorhandenen Online- und app-basierten Hör screenings

Basis dieser Bachelorarbeit sind Online- und app-basierte Hör screenings, die für jeden Nutzer über das Internet und von Smartphones über den App Store frei verfügbar sind. Da es eine Vielzahl an Hör tests bzw. Hör screenings gibt und ständig neue hinzukommen, konnte nur eine Auswahl näher betrachtet werden. Diese wurden meistens nach ihrer Bekanntheit und andere wiederum beliebig ausgewählt.

Der Fokus der Voruntersuchung lag auf einer ersten Prüfung der Hör screening-Abläufe. Zu diesem Zweck wurden die ausgewählten Hör screenings zunächst von einem Normalhörenden ausgeführt. Eine zweite Messung wurde mit eingesetztem Gehörschutz durchlaufen, um einen Hörverlust zu simulieren. Nach jeweils zwei Messdurchläufen erfolgte eine erste Bewertung der Tests unter folgenden Kriterien:

- Benötigte Hardware
- Kalibrierung
- Testart (Tontest, Sprachtest, Fragebogen), Ablauf und Dauer
- Benutzerfreundlichkeit
- Ergebnisdarstellung
- Beurteilung von Usern
- Interessengruppe

Nach der Durchführung wurde eine subjektive Beurteilung durch den Nutzer abgegeben. Grundlage für die Bewertung waren folgende Fragen: Ergibt sich ein eindeutiges Ergebnis? Wenn ja, sind die Ergebnisse brauchbar bzw. für einen unwissenden Nutzer einfach zu verstehen? Welche Aussagen gibt der Test dem Nutzer? Des Weiteren wurde betrachtet, ob es Schwierigkeiten bei der Bedienung der Screenings gibt oder Fehlfunktionen auftreten können.

Die für die Voruntersuchung verwendete Hardware bestand aus:

- Laptop Fujitsu Lifebook S Series
- Apple iPhone 6 S
- Samsung Galaxy S5
- handelsüblicher circumauraler Kopfhörer (Sennheiser HD201)
- Einsteckkopfhörer (Apple EarPods MD827ZM)

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 4.1, 4.2 und 4.3 dargestellt. Insgesamt nutzen die meisten Hörscreenings einen Tontest, um die Hörschwelle des Nutzers zu bestimmen. Sprachtests finden lediglich bei Online-Hörscreenings Verwendung. Bei vielen Hörscreenings muss der Nutzer den Ausgang seiner Kopfhörer auf einen definierten Wert einstellen und selten auf sein subjektives Empfinden anhand eines vorgegebenen Kalibrierungssignals. Die häufigste Art der Ergebnisdarstellung für den Nutzer ist in Form eines Textes. Selten wird ein Audiogramm geliefert, welches zur Vorlage bei einem Fachmann nützlich sein könnte. Zusätzlich boten aber nur wenige Hörscreenings die Möglichkeit, das Ergebnis auszudrucken oder per E-Mail zuschicken zu lassen.

Aus der Vielzahl an getesteten Hörscreenings (siehe Tabellen 4.1, 4.2 und 4.3) wurden elf für eine genauere Untersuchung ausgewählt (siehe Tabelle 4.1). Für diese Auswahl waren vor allem die differenzierte Darstellung der Ergebnisse sowie unterschiedlichen Messprozeduren der einzelnen Screenings ausschlaggebend. Dabei sollte vermieden werden, dass eine Dopplung der Prozeduren zur Bestimmung der Hörschwelle vorkommt. Der Inhalt des Ergebnisses sollte eine gewisse Aussagekraft aufweisen. Des Weiteren war die Bekanntheit bzw. Bewertung des Screenings ein Argument für die Auswahl.

Internet-basiert	App-basiert: <i>Apple</i>	App-basiert: <i>Android</i>
Screening 8	Screening 39	Screening 52
Screening 9	Screening 28	Screening 36
Screening 24	Screening 37	Screening 45
Screening 5	Screening 40	

Tabelle 4.1: Hörscreenings, die am Kemar gemessen wurden

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Internet-basiert	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
App-basiert								X	X		X	X															
Wandler	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tontest	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Anzahl der Frequenzen	3			4	4	4	4	4	4	3	3	5	5	6	6	6	6	5	5	19	19			1			
Sprachtest	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fragebogen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Messung der Ohren	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kalibrierung nach	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kalibrierungssignal		X		X	X		X		X	X			X	X	X								X	X	X	X	X
Ergebnis	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ergebnissicherung				X					X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quelle	[30]	[31]	[32]	[33]	[34]	[35]	[36]	[9]	[38]	[10]	[40]	[41]	[43]	[44]	[45]	[12]	[46]	[47]	[48]	[49]	[50]	[51]	[52]	[11]	[53]	[54]	[55]

Tabelle 4.2.: Betrachtete Online-Hörscreenings

	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Internet-basiert																
App-basiert	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
													X			
Wandler		X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tontest	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Anzahl der Frequenzen	k.A.	11	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	5	7	6	12	11	5	10	k.A.	k.A.
Sprachtest													X		X	
Fragebogen													X		X	
Messung der Ohren	X	X					X	X	X	X		X	X	X	X	
			X		X	X			X		X		X		X	X
Kalibrierung nach											X					
	X		X					X	X	X		X	X	X	X	
Kalibrierungs-signal																
											X					
			X							X						
Ergebnis	X	X	X						X	X	X	X	X	X		
	X	X	X			X	X						X			
	X					X	X									
Ergebnissicherung	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quelle	[56]	[57]	[58]	[59]	[60]	[61]	[62]	[63]	[64]	[65]	[66]	[67]	[68]	[69]	[70]	[71]

Tabelle 4.3: Betrachtete App-Hörscreenings (iOS)



		44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
Internet-basiert														
App-basiert	Apple													
	Android	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Wandler	Kopfhörer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Einsteckkopfhörer	X			X	X								
	Lautsprecher													
Tontest		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Anzahl der Frequenzen			7		k.A.	k.A.	11	5	7	7	k.A.	k.A.	10	7
Sprachtest				X										
Fragebogen														
Messung der Ohren	getrennt		X				X	X	X	X			X	X
	beidseitig	X		X	X	X					X			
Kalibrierung nach	subjektivem Empfinden des Nutzers			X				X	X					
	definiertem Wert						X			X			X	
Kalibrierungssignal	Rauschen								X					
	Sprache			X										
	Ton		X					X						
	Musik													
Ergebnis	Audiogramm		X				X			X			X	
	Text	X		X										
	Zahlen-/Prozentwerte	X	X	X	X				X		X			X
Ergebnissicherung														
Quelle		[72]	[73]	[74]	[75]	[76]	[77]	[78]	[79]	[80]	[81]	[82]	[83]	[84]

Tabelle 4.4: Betrachtete App-Hörscreenings (Android)

## 4.2 Technische Bewertung der engeren Auswahl

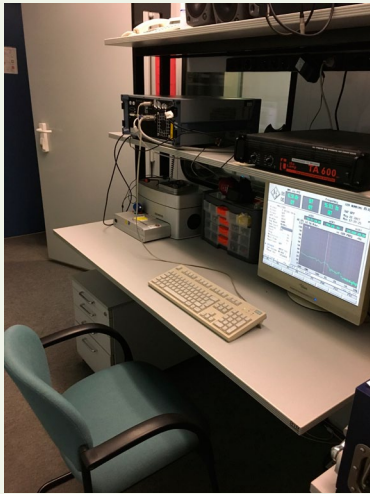
Um die Pegel und den Frequenzbereich der Hör screenings abschätzen zu können, wurde für ein Subset der zuvor betrachteten Screenings der am Ohr anliegende Schalldruckpegel gemessen. Bei dieser Gelegenheit konnten zusätzlich der Ablauf und das vom Hör screening verwendete Testsignal genauer betrachtet werden. Anhand dessen wurden die finalen Hör screenings für die Probandenstudie ausgewählt.

Für die Untersuchungen am Kemar wurde ein kalibriertes Messsystem verwendet. Mit Hilfe eines Pistonphons wurde ein definierter Schalldruckpegel bei einer Frequenz auf die Kuppler des Kemars gegeben und der Soll-Schalldruckpegel mit Hilfe eines Korrekturwertes eingestellt. Die Kalibrierung der Messsysteme wurde von zwei Mitarbeitern der Firma durchgeführt. Der gesamte Messaufbau für die Messungen am Kemar befand sich in einem schallarmen Raum und ist in Abb. 4.1 zu sehen. Für die Messungen wurde nur der Tontest von zehn Hör screenings untersucht. *Screening 28* konnte aufgrund seines sich kontinuierlich anpassenden Messsignals (siehe Abschnitt 5.1.3) nicht am Kemar gemessen werden. Bei den Sprachtests war das Ablesen statischer Werte von Pegel und Frequenz schwer, da es fluktuierende Signale sind. Bei den übrigen Tontests war es dagegen leicht, die abgespielten Frequenzen und Pegel am *Audio Analyzer* (UPL) mit den gewählten Einstellungen abzulesen. Folgende Einstellungen wurden parametrisiert:

- Zooming: Off
- FFT-Size: 1024
- Window: HANN
- Avg Mode: Exponential
- Avg Mode: 5

Die einzustellenden Werte und ihre Bedeutung sind aus dem Betriebshandbuch *Audio Analyzer* der Firma Rohde & Schwarz zu entnehmen [85]. Diese Einstellungen wurden gewählt, um die Signale möglichst genau und schnell ablesen zu können. Der angezeigte Bereich lag zwischen 100 Hz und 10 kHz.

Vor der Hör screening-Messung wurde eine Referenzmessung durchgeführt, um den Grundrauschpegel des Aufbaus zu ermitteln. Dieser war der minimale Pegel, der gemessen werden konnte. Um sinnvolle Werte zu bekommen, sollten die Pegel der Hör screenings mindestens 5 dB lauter als der Grundrauschpegel sein. Die Referenzmessung für jeden der vier Tage, an denen gemessen wurde, sind in Abb. 4.2 dargestellt.



(a) Aufbau außerhalb der Messkabine



(b) Aufbau in der Messkabine



(c) Sitz der Sennheiser Kopfhörer HD 201 am Kemar



(d) Sitz der Einsteckkopfhörer von Apple EarPods am Kemar

Abb. 4.1: Messaufbau für die technische Bewertung der Hör screenings

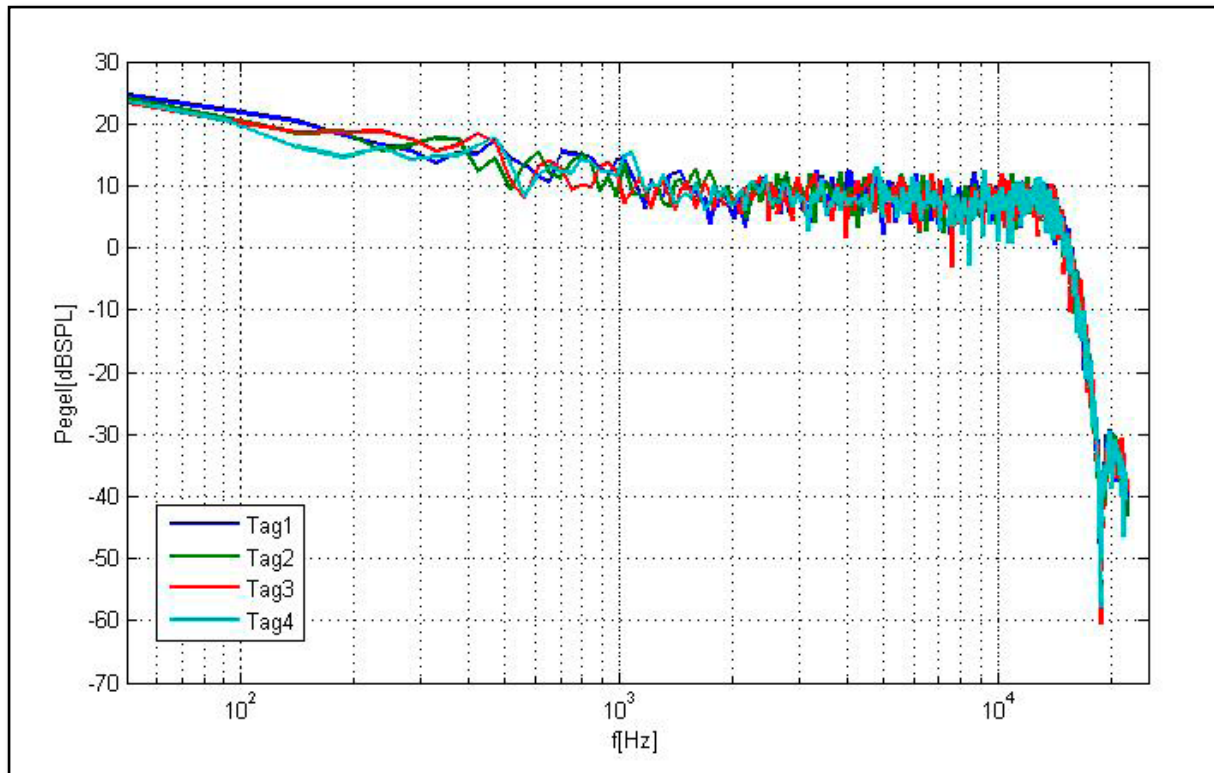


Abb. 4.2: Referenzkurven der Kemar-Messung

Das Mikrofon im Ohrsimulator des Kemar war mit dem Analyzer (UPL) verbunden. An diesem waren die Messwerte abzulesen. Dem Kemar wurden zuerst die circumauralen Kopfhörer HD 201 von Sennheiser aufgesetzt und alle ausgewählten internet- und app-basierten (*Android*) Hör screenings (siehe Tabelle 4.1) analysiert. Danach erfolgte die Analyse der app-basierten (*Apple*) Hör screenings, bei denen die *EarPods* verwendet wurden. Bei diesen Kopfhörern musste auf einen relativ guten Sitz im Ohr geachtet werden, da Einsteckkopfhörer nicht individuell angepasst sind und schnell aus dem Ohr rutschen können. Die Kopfhörer waren entweder mit dem PC oder dem Smartphone verbunden. Der Versuchsleiter saß dabei mit im Raum und bediente die Hör screenings.

#### 4.2.1 Messergebnis

Für jedes Hör screening wurde bei allen verfügbaren Testfrequenzen der maximale Ausgangspegel gemessen. Die abgelesenen Messwerte in dB SPL wurden in HL umgerechnet, gemäß der ANSI S3.6-1996 *Specification for Audiometers* [22] für Insert Headphones (Tabelle 7 unter 9.3.2) und für supra-aurale Kopfhörer (Tabelle 6 unter 9.1.2 für TDH Type IEC 318). Die gemessenen Werte sind in Abb. 4.3 dargestellt.

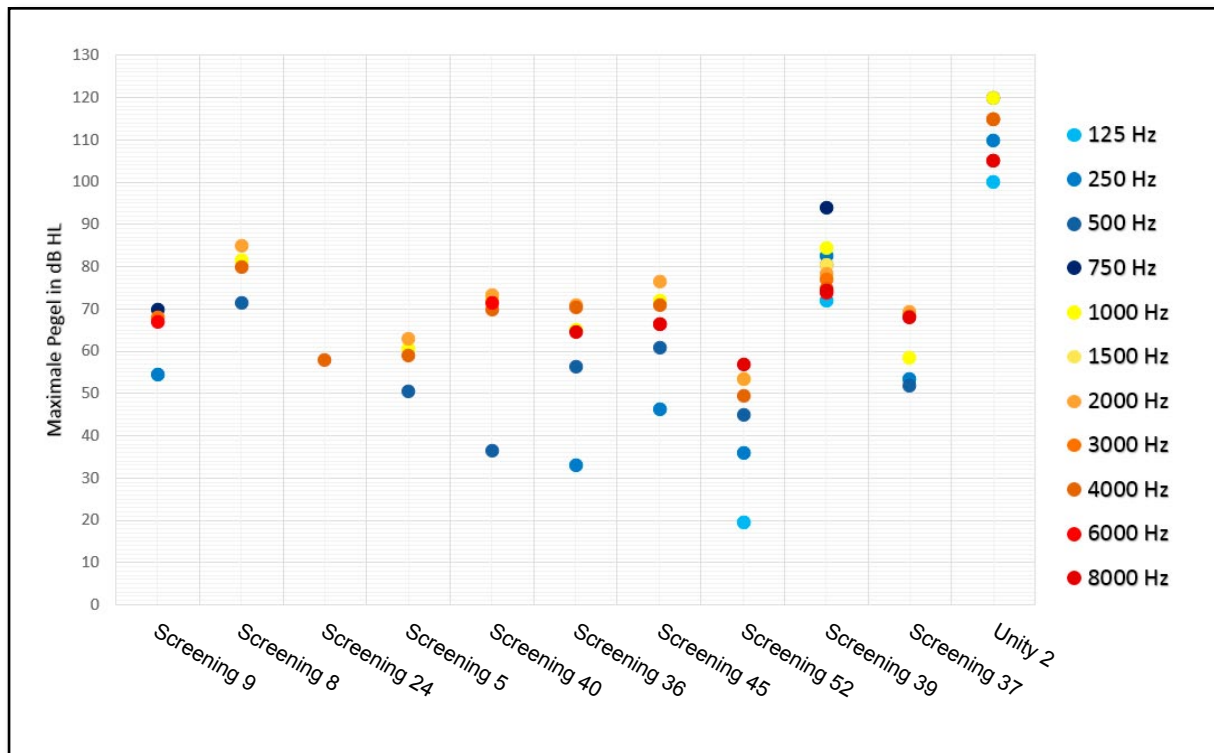


Abb. 4.3: Maximal zu erreichende Pegel der ausgewählten Hörscreenings

Es zeigt sich, dass sich die Hörscreenings in Frequenzen und maximalen Pegeln ihrer Testtöne zum Teil deutlich unterscheiden. Als Vergleich sind zudem die maximalen Pegel der *Unity 2* der Firma Siemens dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass die maximalen Pegel deutlich höher sind als die der Online- und App-Hörscreenings. Es werden maximale Pegel zwischen 100 und 120 dB erreicht. Lediglich *Screening 39* liegt annähernd bei einer Frequenz von 750 Hz in der Nähe mit 94 dB. Des Weiteren ist zu entnehmen, dass nicht alle Frequenzen bei den Hörscreenings gemessen werden. Bis auf *Screening 24*, bei dem nur der 4000-Hz-Ton eine Rolle spielt, werden bei allen anderen mindestens vier Frequenzen geprüft. Darunter sind sehr häufig die Frequenzen 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz. Die häufigste dabei ist 4000 Hz. Von allen Hörscreenings werden bei *Screening 39* die meisten Frequenzen geprüft. Über alle Hörscreenings hinweg zeigt sich, dass die tiefen Frequenzen einen deutlich geringeren Pegel haben als die hohen Frequenzen. Dies kann an dem schlechten Sitz der Kopfhörer liegen, vor allem bei den *EarPods*. Bei diesen Einsteckkopfhörern kann es zum Abfluss von tiefen Frequenzen kommen. Es besteht zudem die Vermutung, dass bei einem echten Ohr der gleiche Effekt auftreten kann. Circumaurale Kopfhörer bieten eine gewisse Sicherheit, da sie das Ohr komplett umschließen.

#### 4.2.2 Auswahl der finalen Hörscreenings

Für die Probandenstudie musste die Auswahl weiter reduziert werden, da pro Proband nur ein Termin vorgesehen war. Dieser sollte die Dauer von zwei Stunden nicht überschreiten, um eine Verfälschung der Ergebnisse aufgrund einer möglichen nachlassenden Konzentration der Probanden zu vermeiden. Anhand der Messungen wurden Screenings mit

einem ausreichenden Frequenz- und Pegelbereich ausgewählt. Weitere Kriterien waren das Design und die Bedienbarkeit des Screenings sowie die Messprozedur. Hier wurde darauf geachtet, dass von ähnlichen Screenings nur eines für die Probandenstudie ausgewählt wurde. Entscheidend war zudem das gelieferte Ergebnis. Es sollte eine verständliche Aussage über das Hörvermögen des Nutzers treffen. Somit wurden am Ende folgende Hörscreenings für die Probandenstudie ausgewählt:

- *Screening 8* [9]
- *Screening 39* [67]
- *Screening 28* [56]
- *Screening 52* [80]
- *Screening 37* [65]

Es wurden vorwiegend deutsche Screenings gewählt. Die einzige Ausnahme ist *Screening 37*. Hier war die spezielle Messmethode, die nur von diesem Screening verwendet wurde, von Interesse. Sie wird in Abschnitt 5.1.5 genauer beschrieben. *Screening 8* wurde ausgewählt, da es sowohl Fragen zum akustischen Umfeld als auch einen Ton- und Sprachtest beinhaltet und am PC auszuführen ist. *Screening 28* war aufgrund seiner Bekanntheit und des Verfahrens zur Messung der Hörschwelle von Interesse. *Screening 52* wurde wegen seiner Kalibrierung ausgewählt. Bei *Apple*-Geräten steht dem Entwickler einer Hörscreening-App ein definiertes System (z. B. iPhone und *EarPods*-Kopfhörer) zur Verfügung. Somit kann er eine Kalibrierung im Vorfeld durchführen. Bei *Android*-Systemen gibt es selten solch ein klar definiertes System. Daher muss sich der Entwickler andere Methoden für die Kalibrierung einfallen lassen (siehe Kapitel 2). Bei *Screening 52* erfolgt dies durch eine subjektive Kalibrierung des Gerätes durch den App-Nutzer. *Screening 39* ist ein von der FDA zugelassenes medizinisches Produkt der Klasse II, welches die CE-Anforderungen für medizinische Geräte (CE 0535) in Europa erfüllt. Somit ist dieses Screening von großem Interesse.



## 5. Probandenstudie

In diesem Kapitel wird die Probandenstudie beschrieben. Zur Einführung werden die Inhalte der ausgewählten Online- und app-basierten Hörscreenings beschrieben. Anschließend wird erklärt, worauf bei der Auswahl der Probanden für diese Studie zu achten war, wo der Fokus bei der Erstellung des Fragebogens zur Erhebung der Daten lag und wie der Ablauf für den Probanden war. Danach erfolgt die Darstellung der Ergebnisse.

### 5.1 Ausgewählte Online- und app-basierte Hörscreenings

#### 5.1.1 Screening 8

*Screening 8* enthält mehrere Testeinheiten: Fragebogen, Ton- und Sprachtest. Zuerst werden fünf Fragen zum akustischen Umfeld des Nutzers gestellt, um dessen subjektives Hörvermögen zu prüfen. Danach erfolgt die Einstellung der Lautstärke des Gerätes auf 50 % und der Nutzer hat die Wahl, für das Screening Kopfhörer oder Lautsprecher zu verwenden. Werden Kopfhörer gewählt, erfolgt im nächsten Schritt die Kalibrierung. Mittels eines Rauschsignals soll die Lautstärke über zwei Buttons so eingestellt werden, dass zunächst das Signal auf einen „angenehmen Wert“ gebracht wird und danach „gerade noch hörbar“ ist. Dabei werden links und rechts getrennt voneinander eingestellt. Im Anschluss erfolgt der Tontest. Hier werden Testtöne in den Frequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz vorgespielt und deren Pegel erhöht, bis der Nutzer mit Hilfe eines „ja“-Buttons angibt, den Ton gehört zu haben. Danach wird die Frequenz erhöht. Die Testtöne werden nacheinander erst links und dann rechts automatisch abgespielt. Sobald der letzte Ton zur Hörschwellenbestimmung abgespielt wurde, beginnt der Sprachtest. Dabei werden zehn einsilbige Wörter präsentiert, und der Nutzer muss aus vier ähnlich klingenden Wörtern das verstandene auswählen. Ist der Sprachtest abgeschlossen, wird das Ergebnis angezeigt. Die Darstellung erfolgt über einen farbigen Balken, der den Grad des Hörverlustes anzeigt (normal, leicht, mittelgradig und hochgradig). Details zu den Testeinheiten werden ebenfalls mit angezeigt.

#### 5.1.2 Screening 39

*Screening 39* ist ein von der FDA zugelassenes medizinisches Produkt [86] und wird durch eine Firma unterstützt, welche implantierbare Hörsysteme entwickelt und produziert. Zu Beginn erfolgt eine kurze Einweisung zur Bedienung des Screenings. Dabei stehen drei Buttons zur Verfügung: ein Button mit durchgezogener Linie, ein Button mit einer gestrichelten Linie und ein Button mit einer durchgestrichenen Trillerpfeife. Letzterer soll dann angeklickt werden, wenn kein Ton gehört wurde. Vor Beginn des Tests müssen einige Bedingungen erfüllt sein. Der Geräuschpegel des Raumes wird gemessen, da es die Voraussetzung des Hörscreenings ist, ihn in einer ruhigen Umgebung durchzuführen. Am Smartphone wird die maximale Lautstärke eingestellt. Sobald die Bedingungen erfüllt sind, kann der Test beginnen. Das Abspielen der Töne erfolgt getrennt auf beiden Ohren.

Der Nutzer kann selbst auswählen, mit welchem Ohr er beginnt. Während des Tests werden zwei unterschiedliche Frequenzen, jeweils eine im Hochtonbereich und eine im Tieftonbereich, dargeboten. Der tiefe Ton ist ein normaler Sinus und der hohe Ton ein pulsierender Sinus. Als kleine Hilfestellung erscheint ein Lautsprecher, sobald ein Ton zu hören sein soll. Das Abspielen der Töne erfolgt in einer randomisierten Reihenfolge. Jede Frequenz wird dabei mindestens fünfmal in unterschiedlicher Lautstärke abgespielt. Die Lautstärke variiert je nachdem, welcher Button vom Nutzer zuvor gewählt wurde. Anhand einer Skala, die nach jedem Frequenzpaar erscheint, ist der zeitliche Fortschritt zu erkennen. Am Ende wird das Ergebnis in Form eines Audiogramms ausgegeben. *Screening 39* ist ausschließlich für *Apple*-Produkte und in Kombination mit den mitgelieferten Einsteckkopfhörern verwendbar, da für dieses System eine Kalibrierung vom Entwickler erfolgte.

### 5.1.3 Screening 28

*Screening 28* ist aktuell eines der bekanntesten Hörscreenings. Es wird von einer großen Krankenkasse unterstützt und wurde innerhalb eines Monats bereits 50.000 Mal heruntergeladen [87]. Es ist ein reiner Tontest, der nach dem Békésy-Verfahren die Hörschwelle des Nutzers bestimmt. Vor Testbeginn wird der Lärmpegel des Umfeldes gemessen und die Lautstärke auf 50 % gestellt. Danach erfolgt eine kurze Einweisung, was während des Tests zu tun ist. Nach dem Drücken eines Buttons startet der Test. Der Nutzer muss auf den Button „Ich höre es“ drücken, sobald er den vorgespielten Ton hört, und loslassen, wenn der Ton nicht mehr hörbar ist. Entsprechend wird der Testpegel so lange reduziert, wie der Button gedrückt wird, und dann wieder so lange erhöht, bis der Button erneut gedrückt wird. Ein Text über den Button erklärt nochmals, was zu tun ist. Die Frequenz des Testsignals wird während des Tests kontinuierlich verändert. Begonnen wird mit 1000 Hz. Dann wird die Frequenz langsam bis auf ca. 10 kHz erhöht. Von dort geht sie wieder zurück bis in den Tieftonbereich (125 Hz). Danach wieder zurück zu 1000 Hz. Jede Seite wird dabei getrennt voneinander gemessen. Am Ende erfolgt eine Auswertung anhand von drei verschiedenen Kriterien: Grad des Hörverlustes (Einteilung in eine farblich markierte Grafik), symmetrisches oder asymmetrisches Hören und wie das eigene Hörvermögen gegenüber dem Durchschnitt der jeweiligen Altersgruppe ist. Des Weiteren ist es möglich, sich das aktuelle Audiogramm als PDF-Datei schicken zu lassen. Dies beinhaltet die Frequenzen von 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz in HL-Darstellung. *Screening 28* ist ausschließlich für *Apple*-Produkte in Kombination mit *Apple EarPods*, *Sennheiser HDA-200 & 300* und *Teufel MUTE BT & MOVE PRO* verwendbar, da für dieses System eine Kalibrierung vom Entwickler erfolgte. Andere nicht aufgeführte Kopfhörer können zwar verwendet werden, jedoch wird ein genaues Ergebnis von den Entwicklern nicht gewährleistet.



### 5.1.4 Screening 52

Mit Hilfe von *Screening 52* wird das Hörvermögen des Nutzers überprüft. Dabei werden reine Sinustöne in den Frequenzen 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz in verschiedener Lautstärke vorgespielt. Zu Beginn erfolgt die Kalibrierung. Dabei soll die Lautstärke des Gerätes abgestellt werden. Anhand eines Soundbeispiels soll dann die Lautstärke so eingestellt werden, dass der Nutzer diese angenehm hören kann. Beginnend bei 1000 Hz wird ein Sinuston präsentiert, dessen Pegel so lange in 10 dB Schritten erhöht wird, bis der Proband auf „Höre nichts“ drückt. Sobald „Höre etwas“ gedrückt wird, erfolgt das Abspielen der nächsten Frequenz. Dabei werden die rechte und die linke Seite getrennt voneinander geprüft. Als Ergebnis wird die Hörfähigkeit in Prozent angezeigt. Die App kann aus dem *Google Play Store* für *Android*-Smartphones heruntergeladen werden. Für die Messungen kann der Nutzer Kopfhörer jeder Art verwenden.

### 5.1.5 Screening 37

*Screening 37* ist ein englischsprachiges Hörscreening, welches von einer asiatischen Stiftung für assistive Technologien unterstützt wird. Neben der Bestimmung des „Alters der Ohren“ wird das Hörvermögen des Nutzers bei den Frequenzen 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz ermittelt. Zu Beginn erfolgt die Messung des Umgebungspegels. Sobald dieser in einem für das Screening akzeptablen Bereich liegt, wird das „Alter der Ohren“ bestimmt, bei dem die maximal zu hörende Frequenz ermittelt wird. Vor Beginn des eigentlichen Hörtests erfolgt die Einstellung der Lautstärke und Auswahl des Kopfhörers. Während des Tests werden dem Nutzer bei jeder der erwähnten Testfrequenzen Testtöne zwischen 30 und 90 dB präsentiert. Der Nutzer hört entweder einen, zwei oder drei Sinustöne bei gleichem Pegel und muss den vorgesehenen Button, der diese Anzahl symbolisiert, drücken. Wenn kein Ton gehört wurde, soll der Button „Inaudible“ gedrückt werden. Jede Frequenz wird zwischen 30 und 90 dB vorgespielt. Danach wechselt die App automatisch zur nächsten Frequenz. Zunächst wird das linke, dann das rechte Ohr geprüft. Am Ende wird das Ergebnis in Form eines Audiogramms mit den ermittelten Werten und dem Grad des Hörverlustes dargestellt. *Screening 37* ist ausschließlich für *Apple*-Produkte in Kombination mit den Kopfhörern *Apple EarPods*, *audio-technica ATH-T200*, *Sony XBA-C10* und *Sanyo EPR-12* verwendbar, da für dieses System eine Kalibrierung vom Entwickler erfolgte. Andere nicht aufgeführte Kopfhörer können zwar verwendet werden, jedoch wird ein genaues Ergebnis von den Entwicklern nicht gewährleistet.

## 5.2 Methoden

### 5.2.1 Probandenauswahl

Für die Studie wurden 22 Probanden (16 männlich/6 weiblich) im Alter zwischen 23 und 77 Jahren ausgewählt. Davon waren zwei Probanden normalhörend und 20 Probanden wiesen einen leichten bis mittelgradigen Hörverlust auf. Der mittlere Hörverlust ist in

Abb. 5.1 zu sehen. Zudem wurden für die Studie Probanden bevorzugt, die im Umgang mit PC und Smartphone vertraut waren.

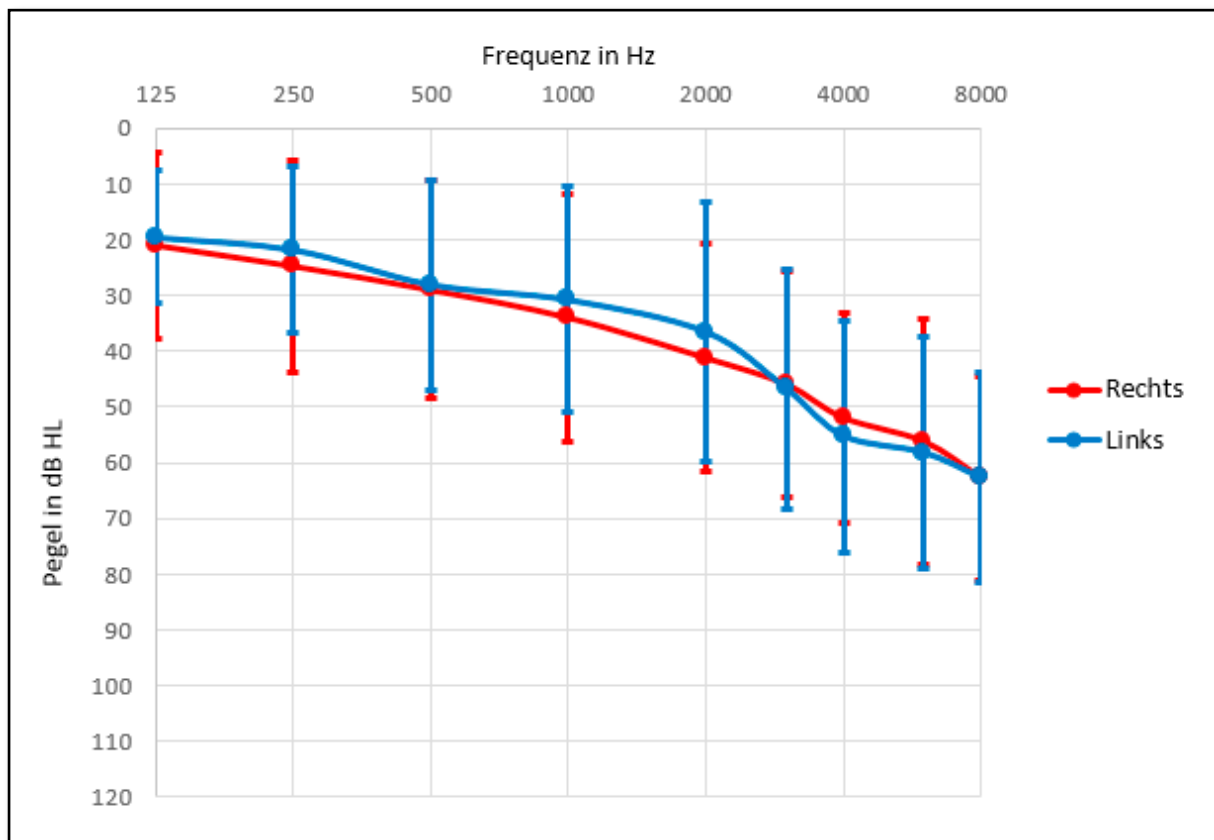


Abb. 5.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Audiogramme der Probanden

Die Messungen erfolgten in einem Termin, der für eine Dauer von maximal zwei Stunden geplant war, um ein mögliches Nachlassen der Konzentration nach fünf Hörscreenings zu verhindern. Durch das Ausfüllen des Fragebogens gab es kleine Pausen zwischen den Screenings.

### 5.2.2 Fragebögen

Für die Probandenstudie wurde ein Fragebogen erstellt, der Aussagen zu den folgenden Kategorien enthält:

- Gesamteinschätzung
- Einweisung
- Bedienbarkeit
- Resultate der Hörscreenings
- Design
- Grafische Darstellung des Ergebnisses der Hörscreenings

Die Probanden sollten den Grad ihrer Zustimmung angeben. Dabei standen die Antwortmöglichkeiten „Trifft zu“, „Trifft eher zu“, „Trifft eher nicht zu“ und „Trifft nicht zu“ zur Auswahl. Zudem bestand die Möglichkeit, nach jedem Test eigene Bemerkungen oder Kommentare abzugeben. Abschließend wurde nach bisherigen Erfahrungen mit klassischen Hörtests, Online- und app-basierten Hör screenings gefragt. Um einen Eindruck zu erhalten, wie fit der Proband im Umgang mit Technik ist, wurde nach der technischen Affinität gefragt. Zum Schluss erfolgte eine Beurteilung darüber, welcher Test als bester und schlechtester angesehen wurde mit dazugehöriger Begründung.

Der Versuchsleiter beobachtete das Verhalten und Zurechtkommen der Probanden mit den Tests und der verwendeten Hardware. Seine Beobachtungen protokollierte er mit Hilfe eines Fragebogens bzw. Leitfadens. Zudem wurde die jeweilige Dauer der Screenings gemessen. Am Ende wurde vom Versuchsleiter eine Einschätzung darüber abgegeben, mit welchem Test der Proband am besten bzw. schlechtesten zurechtkam. Des Weiteren wurden gegebenenfalls Bemerkungen sowie Schwierigkeiten des Probanden notiert. Der Fragebogen kann dem Anhang A.2 entnommen werden. Hier ist sowohl der Fragebogen des Probanden als auch der des Versuchsleiters angefügt worden.

### 5.2.3 Versuchsaufbau und -ablauf

Die Versuche fanden in einem schallarmen Raum statt. Somit wurden Störgeräusche, die eventuelle Störungen für die Messung darstellten, vermieden. Für die Probandentests wurden folgende Geräte verwendet:

- Laptop Fujitsu Lifebook S Series
- Apple iPhone 6 S
- Samsung Galaxy S5
- Kopfhörer HD 201 von Sennheiser
- Apple EarPods MD827ZM
- *Unity 2* inklusive Messsoftware

Der Ablauf der Studie ist in der Grafik 5.2 dargestellt.

Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurde die Abfolge der einzelnen Hör screenings für jeden Probanden nach dem *Williams Design* der Latin Square [88] bestimmt (Zuordnung der Hör screenings siehe Anhang 8.1).

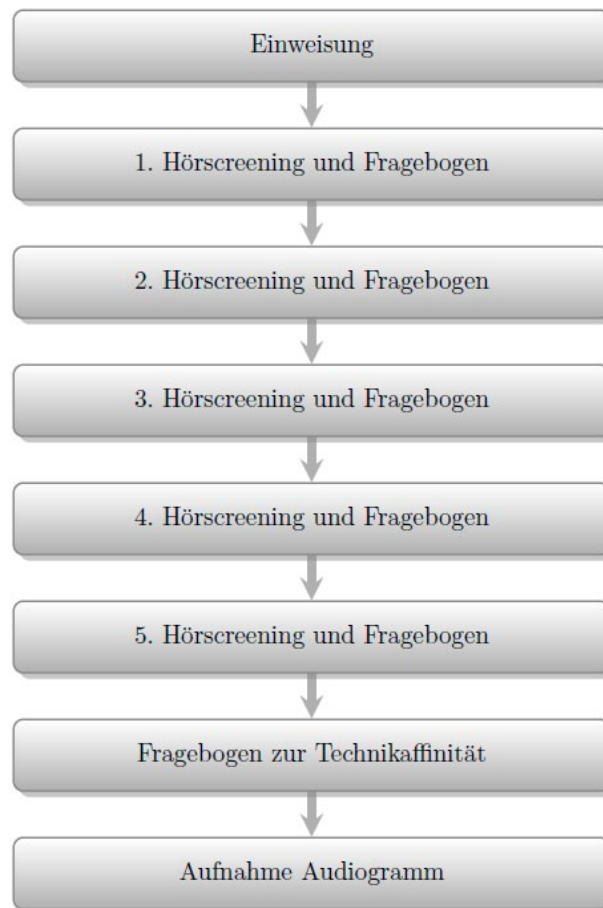


Abb. 5.2: Versuchsablauf

#### 5.2.4 Datenauswertung und Statistik

Für die Datenauswertung wurden die Antwortmöglichkeiten in Zahlenwerte codiert (1 = „Trifft zu“, 2 = „Trifft eher zu“, 3 = „Trifft eher nicht zu“, 4 = „Trifft nicht zu“). Im Fragebogen negativ formulierte Aussagen wurden in der Auswertung invertiert. Somit konnten die Daten für die deskriptive Darstellung und statistische Auswertung verwendet werden. Um herauszufinden, ob es Unterschiede in der Bewertung der fünf Hörscreenings gibt, wurden zudem einige Aussagen auf statistische Signifikanz geprüft. Da sich aufgrund der ordinalskalierten Daten kein normalverteiltes Antwortverhalten der Daten zeigte, wurden für die Analyse parameterfreie Verfahren verwendet. Der *Friedman*-Test ermittelt, ob zwischen den fünf verschiedenen Hörscreenings signifikante Unterschiede bestanden. Aus diesem Grund wurden der *Friedman*-Test und post-hoc der *Wilcoxon*-Vorzeichen-Rangsummen-Test zur Anwendung gebracht. Wenn der *Friedman*-Test keinen signifikanten Unterschied in den Daten nachwies, wurde der *Wilcoxon*-Test nicht durchgeführt. Für eine genauere Beschreibung der verwendeten statistischen Tests wird auf Bortz und Lienert verwiesen (2013) [89]. Die Auswertungen wurden mit der Software *IBM SPSS Statistic 23.0* durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für den *Friedman*-Test auf  $\alpha = 0.05$  gesetzt. Um herauszufinden, welche Mittelwerte sich im Einzelnen signifikant voneinander unter-

scheiden, wurden paarweise Vergleiche mit dem *Wilcoxon*-Test untersucht. Das Signifikanzniveau wurde über die *Bonferoni*-Korrektur auf  $\alpha = 0.005$  angepasst. Ergebnisse mit diesem Signifikanzniveau werden in den Grafiken mit \* gekennzeichnet, hoch signifikante Ergebnisse ( $p < .001$ ) mit \*\* und höchst signifikante Unterschiede ( $p < .0001$ ) mit \*\*\*. Aus jeder Kategorie wurde eine audiologisch relevante Aussage ausgesucht und auf Signifikanz geprüft. Diese sind:

- Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen
- Ich wusste, was ich zu tun habe während des Hörtests
- Ich habe mich bei der Nutzung des Hörtests sicher gefühlt
- Ich glaube, dass das Testergebnis mein tatsächliches Hörvermögen widerspiegelt
- Zusammenfassung der Aussagen der Kategorie „Design“

Zudem wurde überprüft, ob die Screening-Resultate mit den Ergebnissen der *Unity 2* korrelieren. Des Weiteren sollte herausgefunden werden, ob es zwischen der Testdauer und der Aussage „Für mich dauert der Hörtest nicht zu lange“ bzw. dem Alter der Probanden eine Korrelation gibt. Für die Korrelation zwischen den Ergebnissen der Hörscreenings und der *Unity 2* sowie der Korrelation zwischen dem Alter und der gemessenen Zeit wurde das Verfahren nach *Pearson* aufgrund der metrischen Daten benutzt. Für den Vergleich zwischen der gemessenen Zeit und den Antworten im Fragebogen wurde aufgrund der ordinalskalierten Daten aus dem Fragebogen die *Spearman-Rho*-Korrelation verwendet. Das Signifikanzniveau blieb auf  $\alpha = 0.05$ .

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Subjektive Bewertung der Hörscreenings durch die Probanden

Die Auswertung der einzelnen Fragebögen der Probanden wird, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, in den nächsten Abschnitten sortiert in die bereits zuvor erwähnten Kategorien unterteilt. Zur besseren Lesbarkeit der Grafiken wurden an der y-Achse die Symbole „++“ (Trifft zu), „+“ (Trifft eher zu), „-“ (Trifft eher nicht zu), „--“ (Trifft nicht zu) verwendet. Im Anschluss wird die Gesamtbewertung der Probanden mit dazugehöriger Begründung dargestellt. Die Antworten der Probanden werden als Boxplots dargestellt. Dabei stellt das Kreuz den Median dar. Die Box wird durch das 1. bis 3. Quartil begrenzt, die Whisker gehen zum Minimum bzw. zum Maximum.

#### 5.3.1.1 Gesamteinschätzung

Unter dem Begriff „Gesamteinschätzung“ werden die Fragen zur allgemeinen Bewertung und Zufriedenheit mit dem Hörscreening zusammengefasst (s. Abb. 5.3).

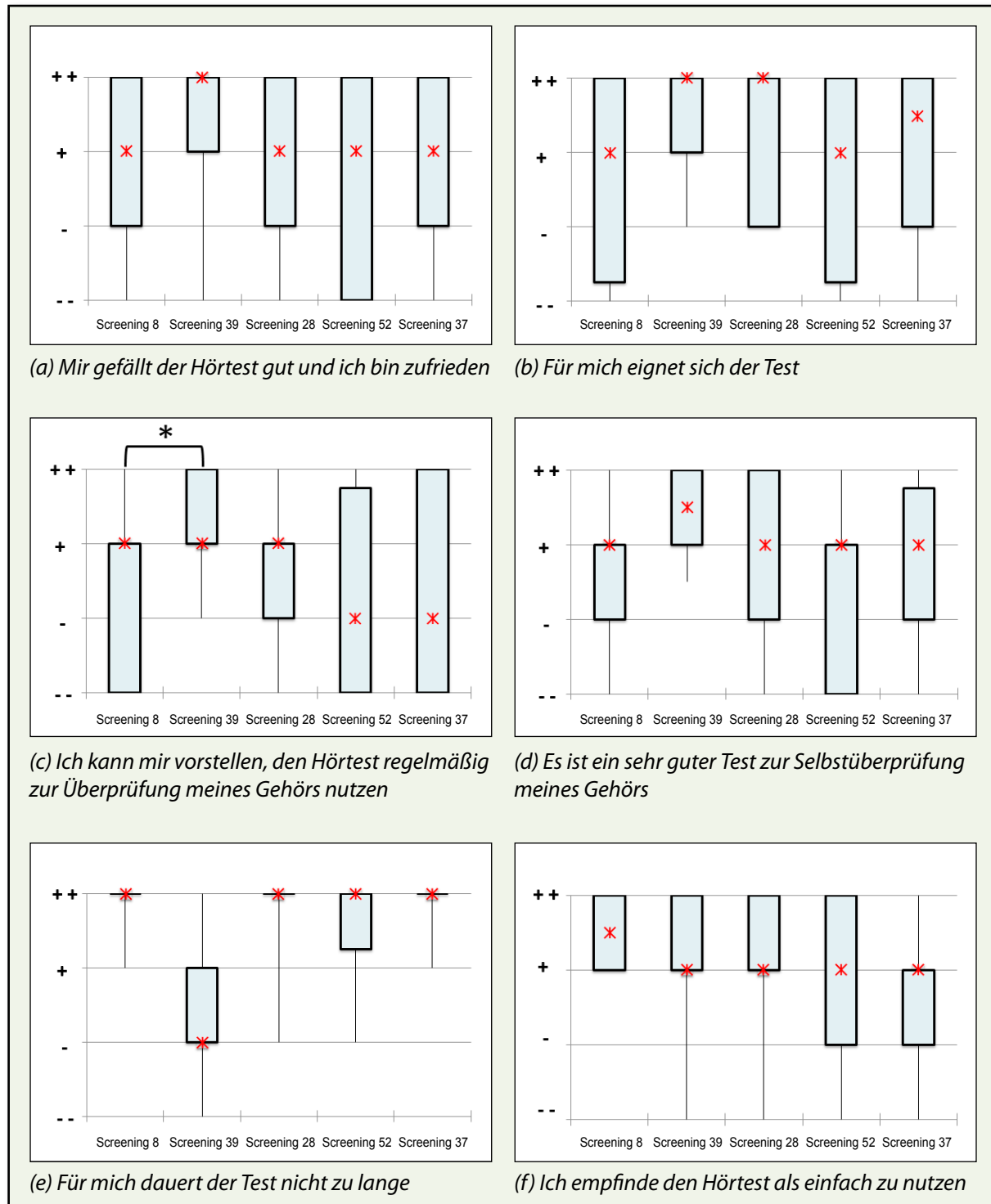


Abb. 5.3: Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Gesamteinschätzung“

Die Aussagen „Mir gefällt der Hörtest sehr gut“ und „Ich bin zufrieden mit dem Hörtest“ wurden für die grafische Darstellung zusammengefasst aufgrund des ähnlichen Inhaltes (s. Abb. 5.3 (a)). Innerhalb dieser Kategorie fällt auf, dass von den Probanden sowohl die minimale als auch die maximale Bewertungsmöglichkeit ausgenutzt wurde. Dies ist an der Spanne der Whiskers und Boxen zu erkennen (von „++“ bis „--“). Das Antwortverhalten bei den Aussagen „Mir gefällt der Hörtest sehr gut und ich bin zufrieden“, „Für mich eignet

sich der Test“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ sind ähnlich. Die Mediane liegen meist im positiven Bereich. Die oft großen Boxen weisen auf sehr unterschiedliche Bewertungen innerhalb des Probandenkollektivs hin. Dies ist besonders auffällig bei den Hörscreenings 52, 37 und 8. Bei den verbleibenden Aussagen innerhalb der Kategorie ist eine heterogene Bewertung der Hörscreenings zu erkennen. Werden die Ergebnisse zur Länge betrachtet, fällt auf, dass *Screening 39* von den meisten Probanden deutlich schlechter bewertet wird als die anderen Screenings. Bezüglich der Benutzerfreundlichkeit wird *Screening 37* am schlechtesten bewertet. Im Vergleich der Hörscreenings zueinander wird *Screening 39* über die meisten Aussagen hinweg insgesamt am positivsten und einheitlichsten (geringste Box und Whisker) bewertet.

Der *Friedman*-Test für die Aussage „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ ergab, dass es hoch signifikante Unterschiede zwischen den fünf Hörscreenings gibt,  $\chi^2(4) = 14,173$ ,  $p = .007$ . Der *Wilcoxon*-Test ergab, dass *Screening 39* (Median = 3,00) gegenüber *Screening 8* (Median = 3,00) signifikant besser bewertet wurde,  $z = -2,918$ ,  $p = .004$ .

Des Weiteren lassen sich tendenzielle Unterschiede zwischen *Screening 28* und *39*, *Screening 52* und *39* sowie *Screening 39* und *37* feststellen, wobei *Screening 39* eine bessere Bewertung erhielt. Der statistische Test ergab bei *Screening 39/Screening 28*  $z = -2,658$ ,  $p = .008$ ; *Screening 39/Screening 52*  $z = -2,601$ ,  $p = .008$  und *Screening 39/Screening 37*  $z = -2,614$ ,  $p = .009$ .

### 5.3.1.2 Einweisung

In der Kategorie „Einweisung“ wurde ermittelt, inwieweit das Hörscreening dem Nutzer ausreichend Instruktionen erteilt, damit dieser die Handhabung und Durchführung versteht. Die Ergebnisse sind in der Abb. 5.4 dargestellt.

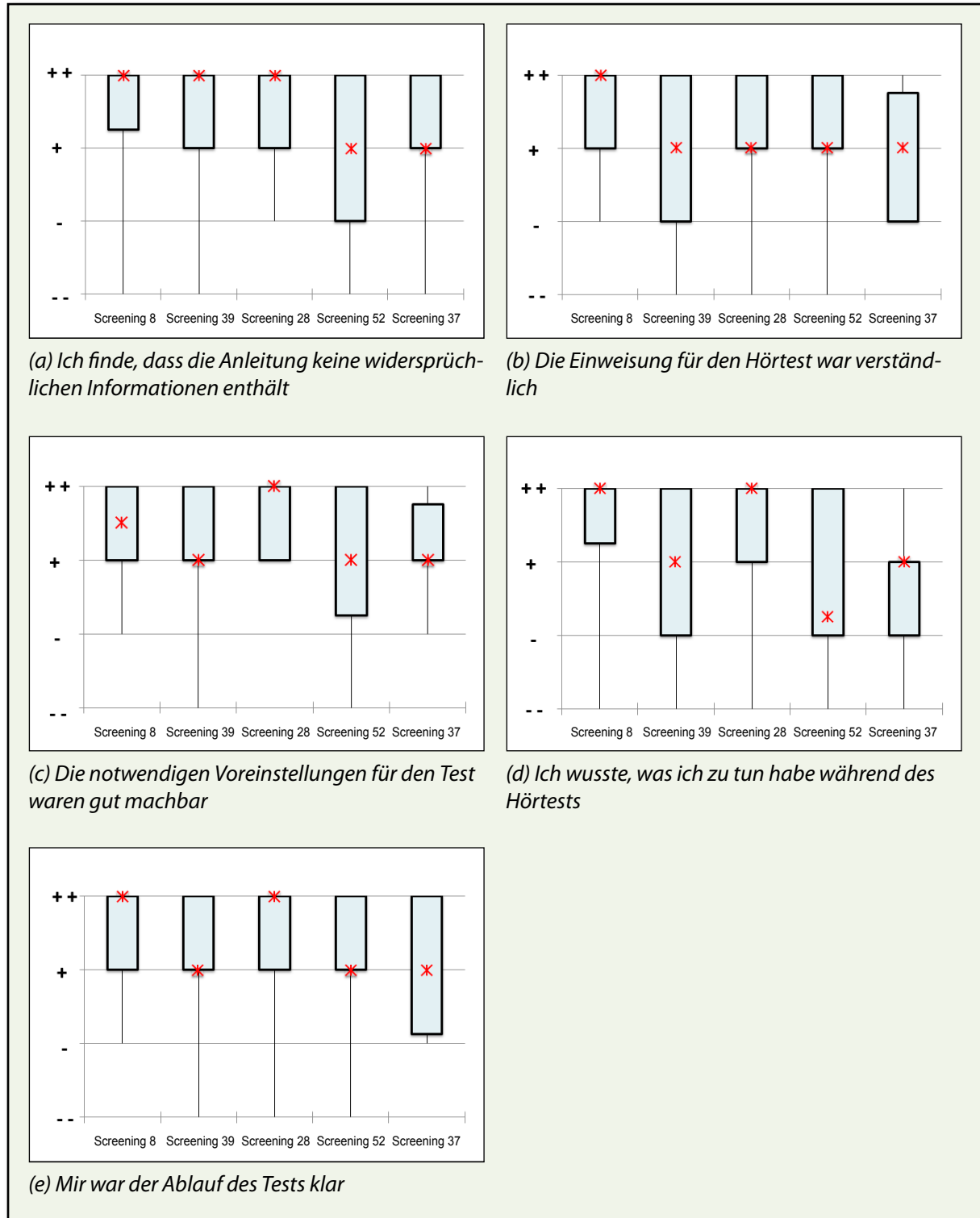


Abb. 5.4: Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Einweisung“

Anhand der Grafik ist zu erkennen, dass auch in der Kategorie „Einweisung“ die volle Antwortskala (minimale bis maximale Bewertungsmöglichkeit) von den Probanden ausgenutzt wurde. Die Whiskers gehen von „++“ bis „--“. Innerhalb dieser Kategorie ist eine Ähnlichkeit zwischen den Antworten aller Aussagen zu sehen. Die Mediane liegen bei fast allen Aussagen im positiven Bereich. Nur bei der Aussage „Ich wusste, was ich zu tun habe



während des Tests“ liegt die mittlere Bewertung der Probanden im negativen Bereich bei *Screening 52*. Bei diesem Screening und bei *Screening 39* liegen das 1. und das 3. Quartil weiter auseinander. Dies zeigt, dass sich die Probanden uneinig bei der Bewertung waren. Insgesamt wurde das *Screening 8* am positivsten bewertet.

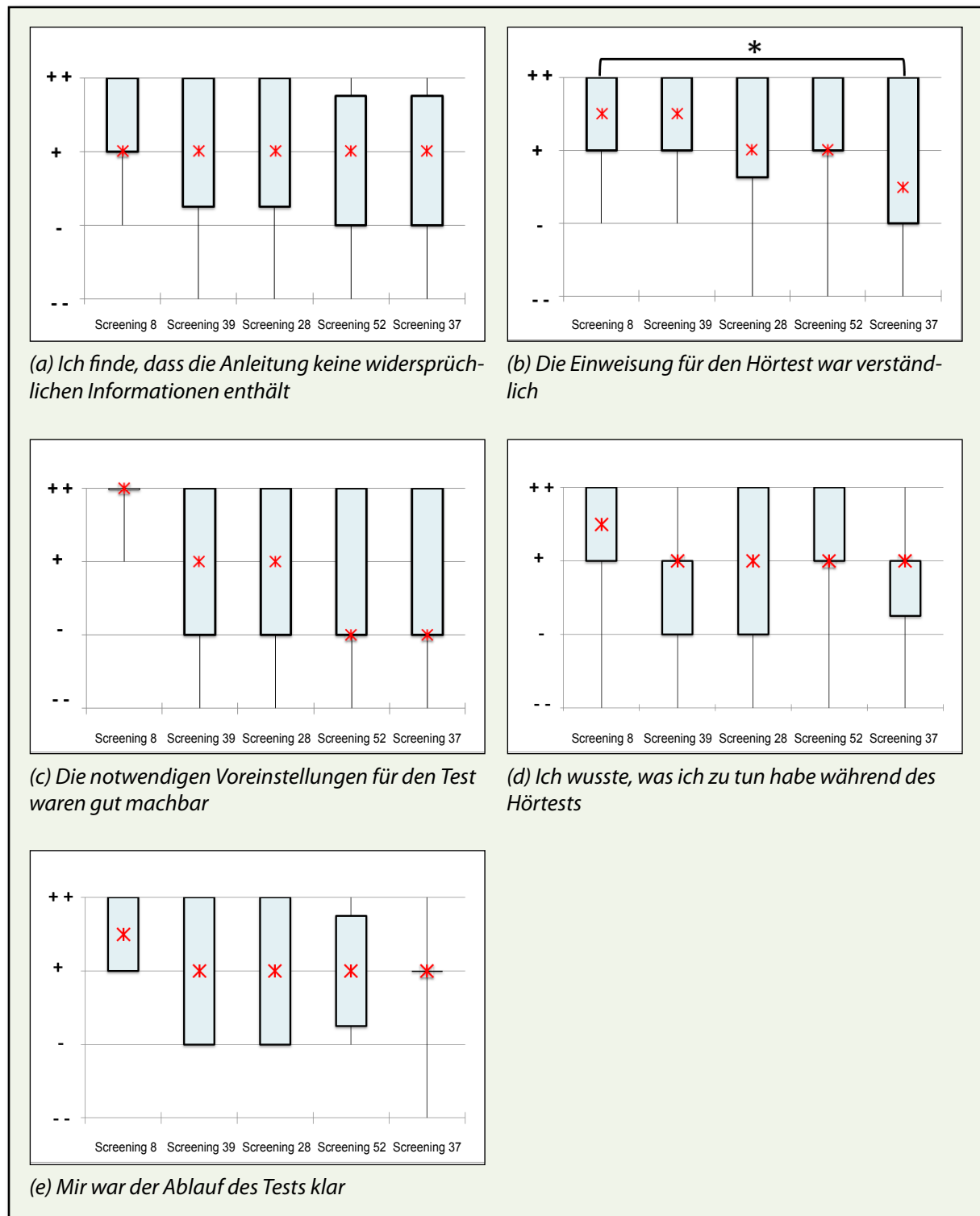


Abb. 5.5: Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Bedienbarkeit“

Der *Friedman*-Test für die Aussage „Ich wusste, was ich zu tun habe während des Hörtests“ ergab, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den fünf Hörscreenings gibt,  $\chi^2(4) = 8,954$ ,  $p = .062$ .

### 5.3.1.3 Bedienbarkeit

Unter dem Begriff „Bedienbarkeit“ werden die Aussagen zur Nutzung der fünf Hörscreenings zusammengefasst und in Abb. 5.5 dargestellt.

Anhand der Grafiken lässt sich feststellen, dass es kein einheitliches Schema des Antwortverhaltens der Probanden gibt. Bei den Aussagen „Die Bedienung ist sehr gut nachvollziehbar“, „Für den Hörtest habe ich keine Hilfe benötigt“ und „Ich glaube, dass andere mit dem Hörtest gut zurechtkommen“ liegen das 1. und das 3. Quartil weit auseinander. Es ist insbesondere innerhalb der Hörscreenings von 39, 28, 52 und 37 eine heterogene Bewertung der Probanden festzustellen. Im Vergleich der Screenings zueinander wird über alle Aussagen hinweg *Screening 8* am positivsten bewertet. Das 1. und das 3. Quartil liegen nah beieinander (kleine Boxen), und die Mediane sind alle im positiven Bereich.

Der *Friedman*-Test für die Aussage „Ich habe mich bei der Nutzung des Hörtests sicher gefühlt“ ergab, dass es signifikante Unterschiede zwischen den fünf Hörscreenings gibt,  $\chi^2(4) = 11,569$ ,  $p = .021$ . Daraufhin zeigt der *Wilcoxon*-Test, dass *Screening 8* (Median = 3,50) eine signifikant bessere Bewertung als das *Screening 37* (Median = 2,50) erhielt,  $z = -2,804$ ,  $p = .005$ .

### 5.3.1.4 Resultate der Hörscreenings

Die Antworten der Probanden zur Kategorie „Resultate der Hörscreenings“ sind zusammengefasst in Abb. 5.6 dargestellt.

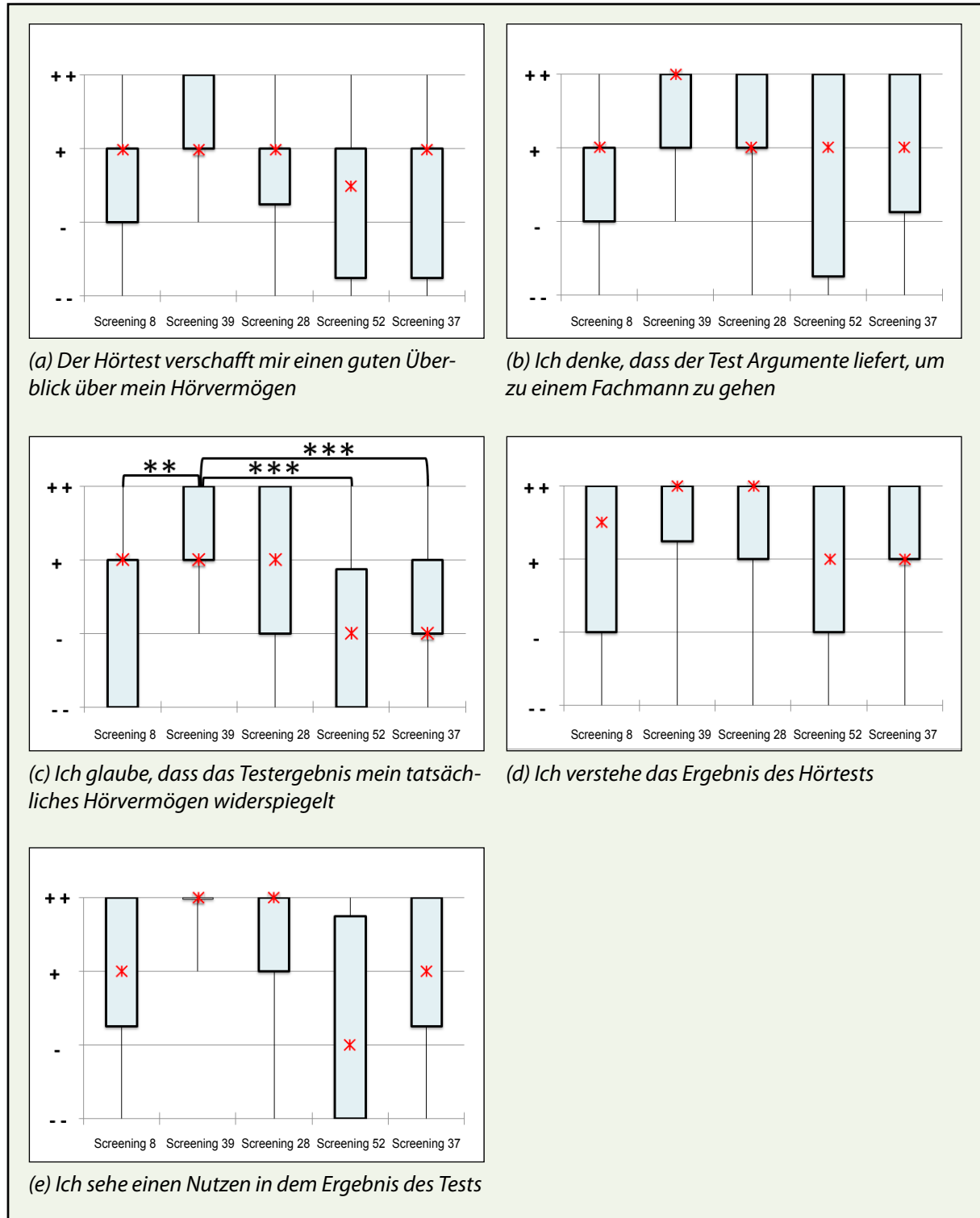


Abb. 5.6: Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Resultate der Hörscreenings“

Innerhalb dieser Kategorie fällt auf, dass die volle Antwortskala von den Probanden ausgenutzt wurde. Sowohl die minimale als auch die maximale Bewertungsmöglichkeit wurde gewählt. Bei den fünf Aussagen ist kein einheitliches Antwortmuster erkennbar. Die Variation der Größen der Boxen und somit die Weite zwischen dem 1. und 3. Quartil zeigen die heterogenen Bewertungen der Probanden. Es ist festzustellen, dass *Screening 52*

die schlechtesten Bewertungen bei allen Aussagen erhielt. *Screening 39* weist die beste Bewertung auf. Die Mediane und Boxen liegen im positiven Bereich. *Screening 52* und *Screening 37* erhielten bei allen Aussagen die schlechtesten Bewertungen. Das 1. und 3. Quartil liegen sehr weit auseinander, was die unterschiedliche Bewertung der Hörscreenings zeigt. Dadurch sind die Boxen bei den Aussagen besonders groß. Die mittlere Bewertung der Probanden liegt im negativen Bereich.

Der *Friedman-Test* für die Aussage „Ich glaube, dass das Testergebnis mein tatsächliches Hörvermögen widerspiegelt“ ergab, dass es hoch signifikante Unterschiede zwischen den fünf Hörscreenings gibt,  $\chi^2(4) = 27,783$ ,  $p = .000$ . Der *Wilcoxon-Test* ergab, dass *Screening 39* (Median = 3,00) gegenüber *Screening 52* (Median = 2,00), *Screening 37* (Median = 2,00) und *Screening 8* (Median = 3,00) eine signifikant bessere Bewertung erhielt, *Screening 39/Screening 52*:  $z = -3,540$ ,  $p = .000$ ; *Screening 39/Screening 37*:  $z = -3,513$ ,  $p = .000$ ; *Screening 39/Screening 8*:  $z = -3,111$ ,  $p = .002$ .

Des Weiteren lassen sich tendenzielle signifikante Unterschiede zwischen *Screening 28* und *Screening 52* sowie *Screening 37* feststellen, wobei *Screening 28* eine bessere Bewertung erhielt. Der statistische Test ergab bei *Screening 28/Screening 52*:  $z = -2,560$ ,  $p = .010$  und *Screening 28/Screening 37*:  $z = -2,560$ ,  $p = .010$ .

### 5.3.1.5 Design

Eine weitere Kategorie ist das „Design“. Die Probanden bewerteten die optische Gestaltung der Hörscreenings. Die Aussagen „Ich finde den Test optisch ansprechend“, „Die Gestaltung des Hörtests ist übersichtlich“ und „Der Hörtest ist für mich übersichtlich“ im Fragebogen wurden für diese Kategorie zusammengefasst und sind in der Abb. 5.7 dargestellt.

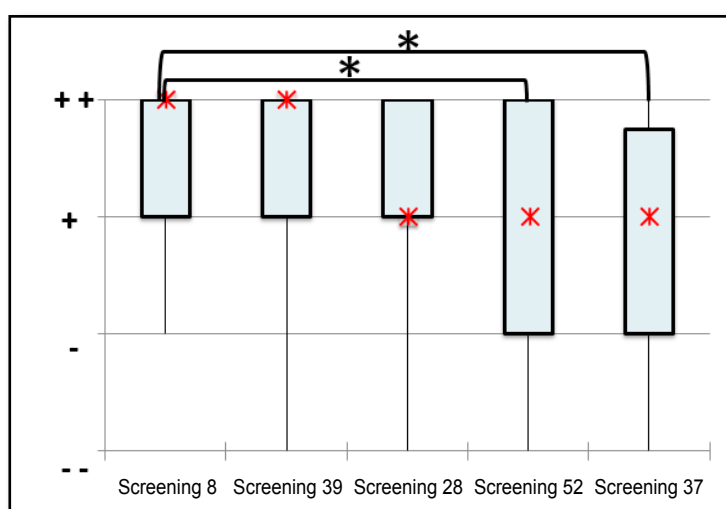


Abb. 5.7: Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Design“

Es fällt auf, dass die meisten Probanden das „Design“ der Hörscreenings positiv bewertet haben. Die Antworten zu den ersten drei Hörtests ähneln sich. Die Boxen sowie Mediane liegen im positiven Bereich. Bei *Screening 52* und *Screening 37* liegen das 1. und 3. Quartil

weit auseinander. Während einige Probanden diese Hörscreenings ähnlich positiv bewerteten wie die vorausgegangenen, gaben andere Probanden hier auch negative Bewertungen ab. Insgesamt erhielt *Screening 8* die beste und *Screening 37* die schlechteste Bewertung.

Für die gesamte Kategorie „Design“ ergab der *Friedman-Test*, dass es hoch signifikante Unterschiede zwischen den fünf Hörscreenings gibt,  $\chi^2(4) = 26,492$ ,  $p = .000$ . Daraufhin zeigt der *Wilcoxon-Test*, dass *Screening 8* (Median = 3,67) eine signifikant bessere Bewertung als *Screening 52* (Median = 3,00) und *Screening 37* (Median = 3,00) erhielt, *Screening 8/Screening 37*:  $z = -3,204$ ,  $p = .001$  und *Screening 8/Screening 52*:  $z = -3,428$ ,  $p = .001$ .

Des Weiteren deuten sich tendenzielle Signifikanzen zwischen *Screening 52* und *Screening 39* sowie *Screening 37* und *Screening 39* an, wobei letzteres besser bewertet wurde. Der Median bei *Screening 39* beträgt 3,50. Es ergeben sich Werte für *Screening 39/Screening 52*:  $z = -2,628$  und  $p = .009$  und *Screening 39/Screening 37*:  $z = -2,569$  und  $p = .010$ .

### 5.3.1.6 Grafische Darstellung des Ergebnisses der Hörscreenings

Jedes der fünf Hörscreenings zeigt dem Nutzer ein Ergebnis an. Die Art der Darstellung variiert aber deutlich (siehe Kapitel 5.1). Deshalb wurde gefragt, ob die Ergebnisdarstellung als grafische Darstellung angesehen wird. Falls sich der Proband für „ja“ entschied, sollte diese bewertet werden (s. Abb. 5.8).

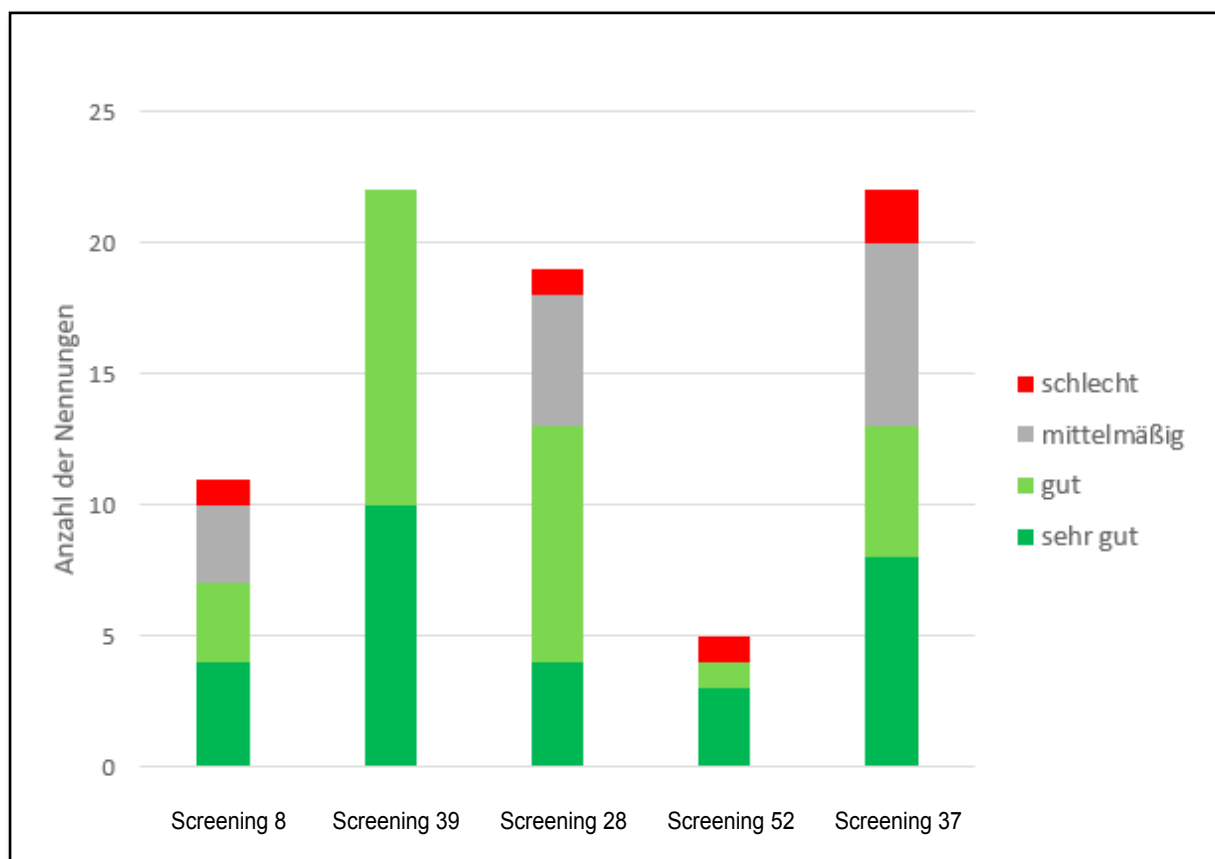


Abb. 5.8: Frage nach dem Vorhandensein einer Grafik mit anschließender Bewertung

Es ist zu erkennen, dass es nicht bei jedem Screening 22 Bewertungen gibt. Einige Ergebnisdarstellungen wurden von manchen Probanden nicht als „grafische Darstellung“ interpretiert und deshalb auch nicht bewertet. Dies ist bei *Screening 52* besonders auffällig. Es bekam insgesamt nur fünf Beurteilungen. Für alle 22 Probanden bieten *Screening 39* und *Screening 37* eindeutig eine Grafik, die von den meisten positiv bewertet wird. *Screening 39* erhielt 22 positive Bewertungen und *Screening 37* 14 positive und acht negative Bewertungen.

### 5.3.1.7 Gesamtbewertung der Probanden

Nach Abschluss aller fünf Hörscreenings sollten die Probanden den Test wählen, der für sie, bezogen auf den Gesamteindruck, am besten und am schlechtesten war. Das Ergebnis ist in Abb. 5.9 zu sehen. Trotz gegenteiliger Anweisung wählten einige Probanden nicht nur einen Favoriten. In diesem Fall wurde ihre Bewertung auf die genannten Hörscreenings entsprechend verteilt. So wurden z. B. bei zweifacher Nennung jedem Hörscreening 0,5 Bewertungspunkte zugeteilt.

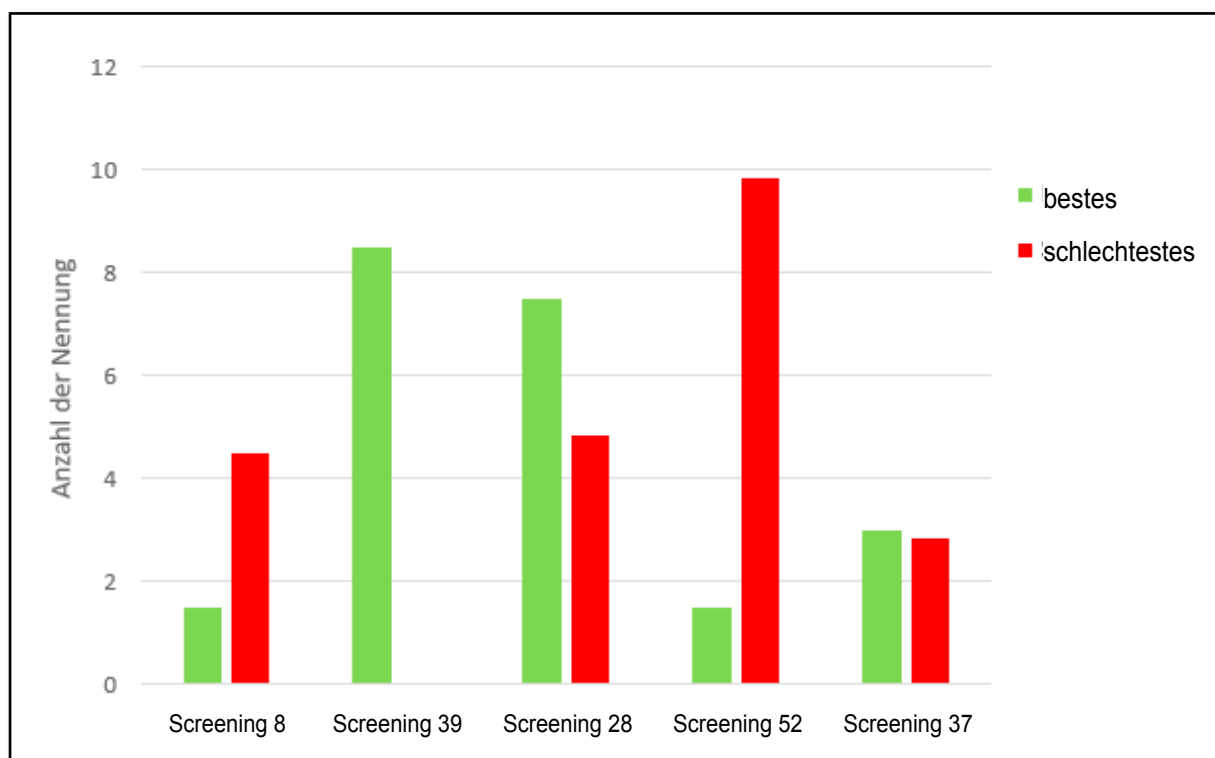


Abb. 5.9: „Bestes“ und „schlechtestes“ Hörscreening (Probanden)

Anhand der Grafik ist zu erkennen, dass es keinen eindeutigen Favoriten gibt. Die meisten positiven Bewertungen erhielten *Screening 39* und *Screening 28*. *Screening 52* erhielt die schlechteste Bewertung. Außer *Screening 39* werden alle Hörscreenings von einigen Probanden als bestes und von anderen als schlechtestes genannt. Besonders auffällig ist, dass etwa gleich viele Probanden *Screening 28* bzw. *Screening 37* als „Gewinner“ oder „Verlierer“ wählten.

Des Weiteren sollten die Probanden ihre Wahl des Favoriten begründen. Die Antworten wurden in die Kategorien „Einweisung“, „Kalibrierung“, „Durchführung und Bedienung“ und „Testergebnis“ unterteilt (s. Abb. 5.10).

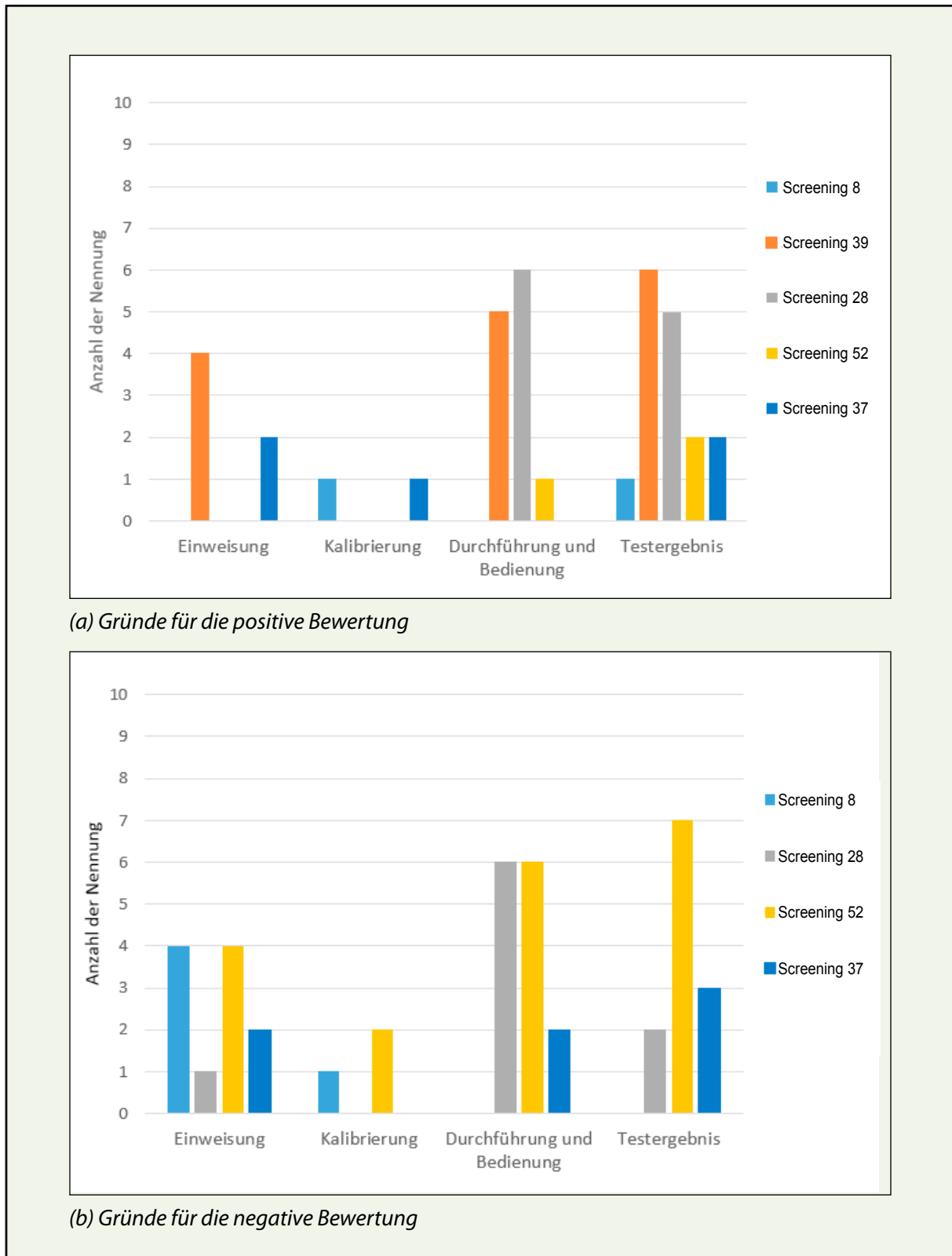


Abb. 5.10: Begründungen für die Bewertung

Zunächst werden die Gründe für die positiven Bewertungen betrachtet. Hier fällt auf, dass nicht alle Hörscreenings in jeder Kategorie vertreten sind. Am häufigsten waren die Kategorien „Durchführung und Bedienung“ und „Testergebnis“ ausschlaggebend für die Bewertung der Screenings. Von geringerer Bedeutung waren die Kategorien „Einweisung“ und „Kalibrierung“. Betrachtet man die Grafik der negativen Bewertung, wurden für die Begründungen die Kategorien „Einweisung“, „Durchführung und Bedienung“ und „Testergebnis“ genannt.

### 5.3.2 Technische Vorerfahrungen der Probanden

Um einen Eindruck von den Erfahrungen der Probanden mit technischen Geräten zu erhalten, wurde nach der Nutzung und dem Umgang mit dem Smartphone, dem PC und dem Internet gefragt. Folgende Aussagen wurden mit den vier Antwortmöglichkeiten (s. Abschnitt 3.3) bewertet:

- Aussage 29: Ich interessiere mich generell für technische Neuentwicklungen
- Aussage 30: Ich fühle mich im Umgang mit dem Internet (PC)/dem Smartphone überfordert
- Aussage 31: Die Bedienung eines PCs/Smartphones fällt mir leicht
- Aussage 32: Ich nutze das Internet/mein Smartphone/den PC regelmäßig
- Aussage 33: Ich vertraue moderner Technik
- Aussage 34: Ich fühle mich sicher mit der Nutzung des Internets

Die Ergebnisse der Aussagen sind in Abb. 5.11 dargestellt.

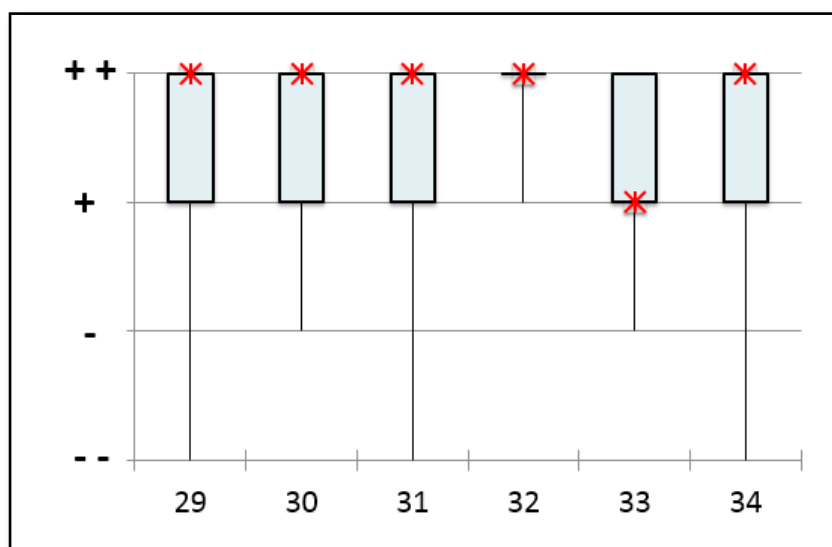


Abb. 5.11: Verteilung der Antworten zur Kategorie „Nutzung von Technik“

Es ist zu erkennen, dass sich die meisten Probanden gut bis sehr gut einschätzen. Die Mediane befinden sich im positiven Bereich. Das 1. und 3. Quartil liegen nah beieinander. Bei den gesamten Aussagen gibt es nur wenige, die eine negative Bewertung abgegeben



haben. Die Mehrheit der Probanden bewertet die Aussagen mit „+“ und „+“. Einer regelmäßigen Nutzung des Internets, des Smartphones bzw. des PCs stimmen alle Probanden zu. Der Median sowie der Whisker liegen für diese Aussage im positiven Bereich. Die meisten Probanden stimmen eher zu, Vertrauen in moderne Technik zu haben. Bei dieser Aussage liegt der Median als einziger im unteren positiven Bereich.

### **5.3.3 Probandenverhalten während der Testdurchführung**

Der Versuchsleiter beobachtete die Probanden während der einzelnen Durchführung der Hörscreenings. Die Beobachtungen wurden anhand eines Fragebogens bzw. Leitfadens (Abschnitt 5.2.2) sowie als freie Notizen festgehalten. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 5.12 und 5.14 dargestellt.

#### **5.3.3.1 Analyse des Probandenverhaltens**

In Abb. 5.12 wurden die Aussagen zum Zurechtkommen des Probanden mit den fünf Hörscreenings zusammengefasst.

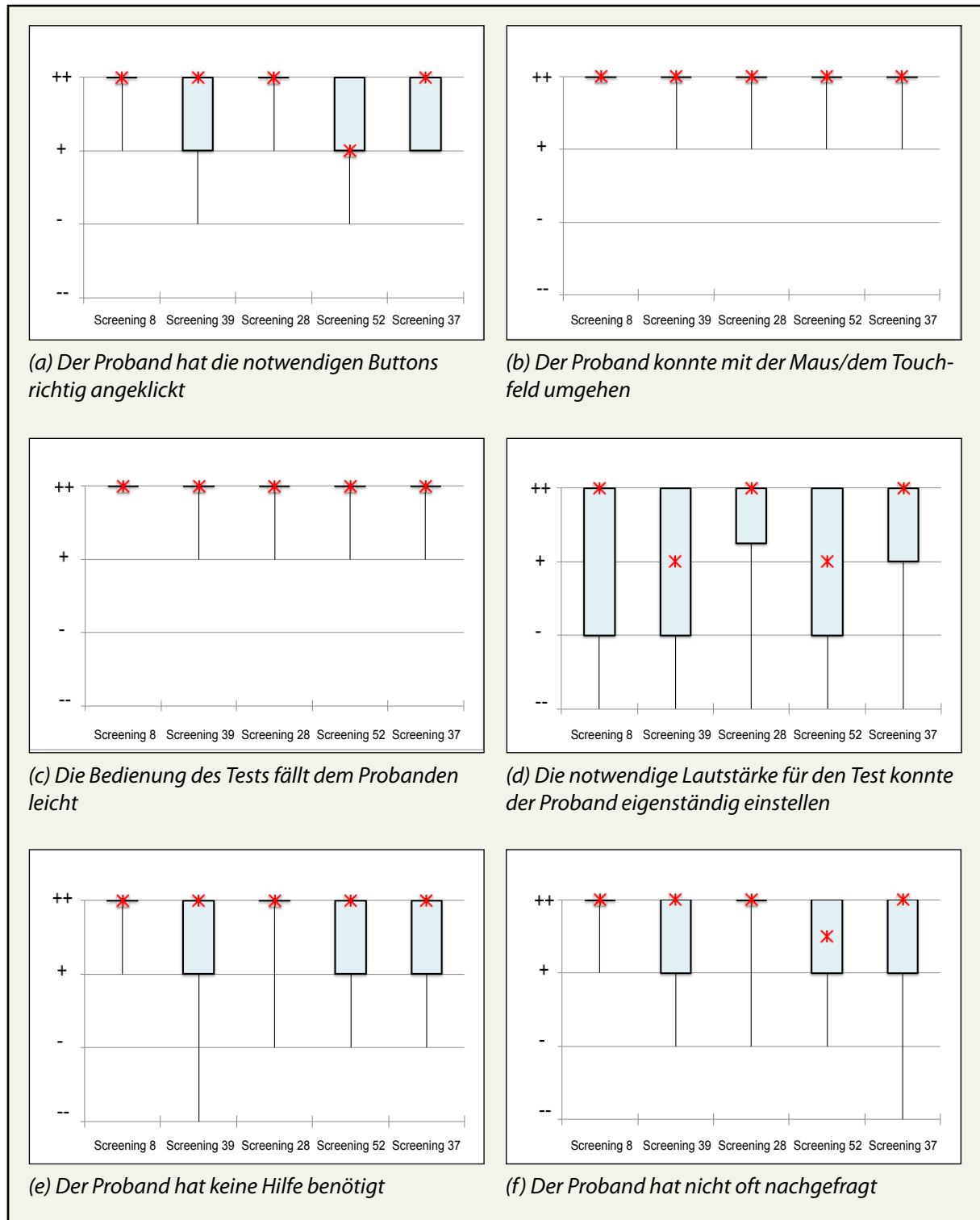


Abb. 5.12: Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Beobachtung“

Anhand der Grafiken ist zu erkennen, dass die Probanden insgesamt gut mit den Hörscreenings zurechtkamen. Alle Mediane liegen im positiven Bereich. Das Antwortverhalten bei den Aussagen „Der Proband konnte mit der Maus/dem Touchfeld umgehen“ und „Die Bedienung des Tests fällt dem Probanden leicht“ sowie „Der Proband hat die notwendigen Buttons richtig angeklickt“, „Der Proband hat keine Hilfe benötigt“ und „Der Proband

hat nicht oft nachgefragt“ sind jeweils ähnlich. Das 1. und 3. Quartil liegen nicht weit auseinander. Das Antwortverhalten ist homogen. Auffällig ist die Aussage „Die notwendige Lautstärke für den Test konnte der Proband eigenständig einstellen“. Hier liegen 1. und das 3. Quartil weiter auseinander und ergeben größere Boxen. Dies zeigt ein unterschiedliches Verhalten der Probanden, besonders bei *Screening 8*, *39* und *52* erkennbar. Im Vergleich der Hörscreenings zueinander wird über alle Aussagen hinweg *Screening 28* insgesamt am positivsten und einheitlichsten bewertet. Die Boxen und Whiskers liegen alle im oberen Bereich der Antwortskala.

### 5.3.3.2 Gesamtbewertung

Am Ende des Leitfadens sollte der Versuchsleiter ein Urteil darüber fällen, mit welchem der fünf Hörscreenings der Proband am besten und am schlechtesten zurechtkam. Das Ergebnis ist in Abb. 5.13 dargestellt.

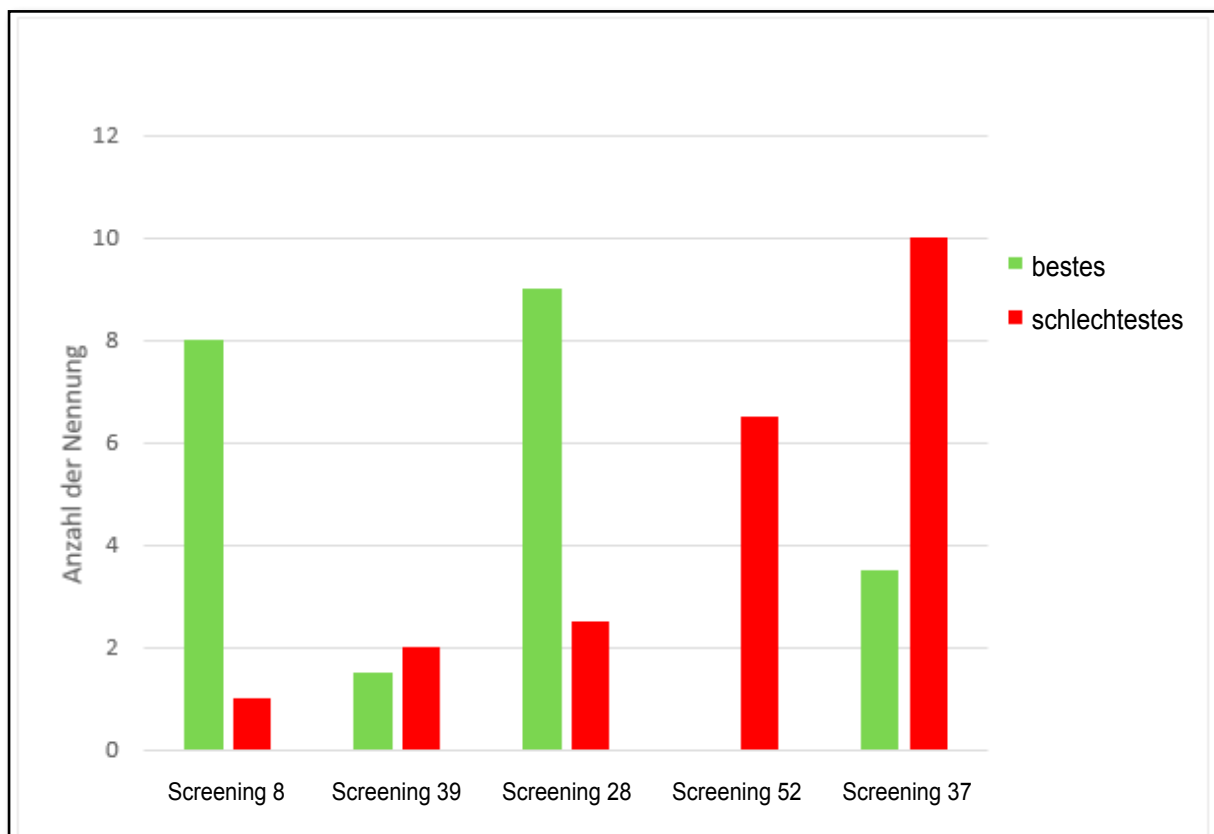


Abb. 5.13: „Bestes“ und „schlechtestes“ Hörscreening (Versuchsleiter)

Die Grafik zeigt, dass der Versuchsleiter das beste Zurechtkommen der Probanden mit den Hörscreenings 28 und 8 beobachten konnte. Im Vergleich der Hörtests zueinander wurden *Screening 52* und *Screening 37* insgesamt am schlechtesten bewertet. Hier gab es häufig Schwierigkeiten im Umgang bzw. dem Zurechtkommen mit dem Hörscreening.

Des Weiteren wurden von dem Versuchsleiter zusätzliche Beobachtungen frei notiert und die Kommentare der Probanden festgehalten. Die wichtigsten und häufig vorkommenden sind in Abb. 5.14 aufgelistet.

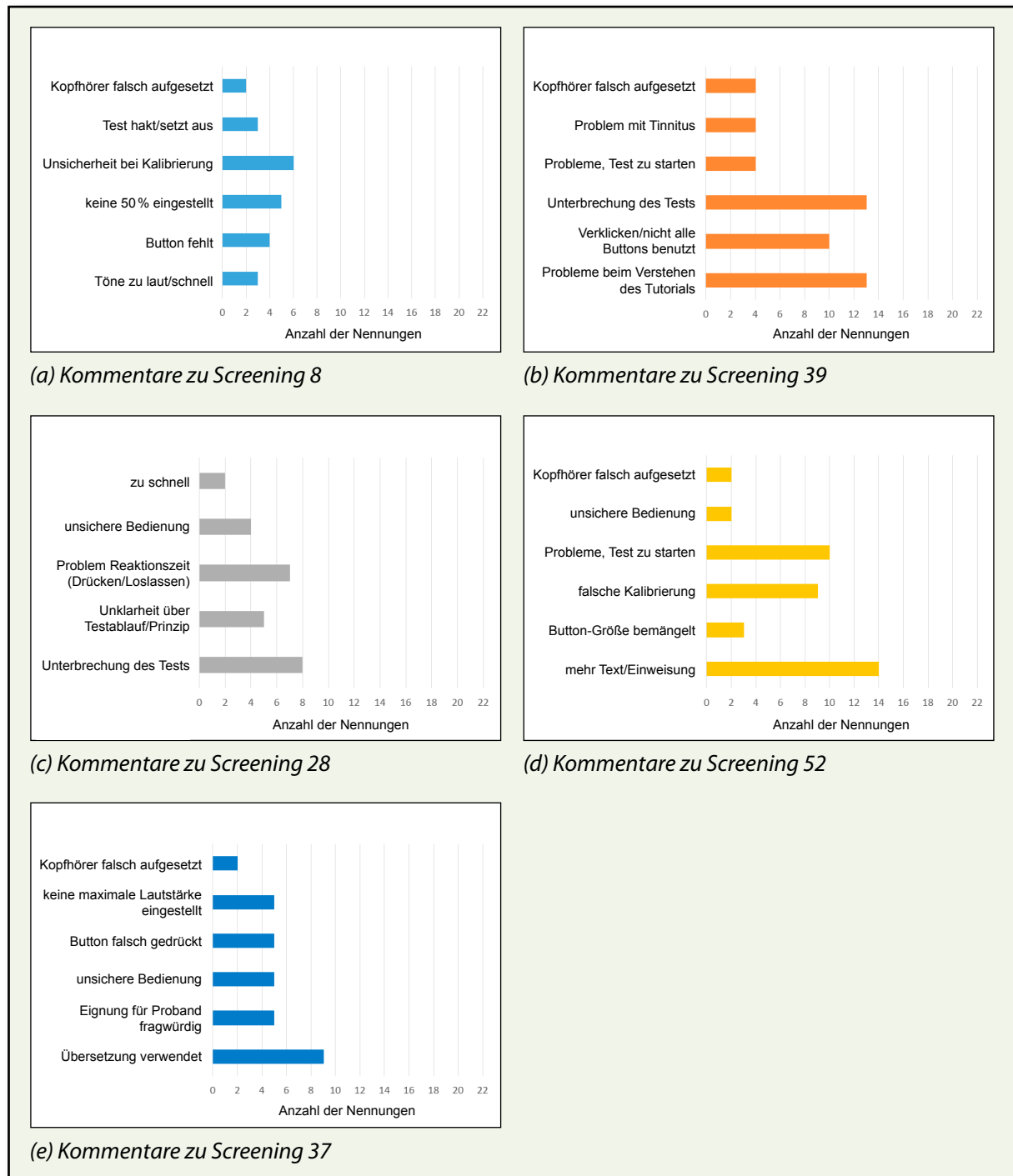


Abb. 5.14: Häufigste Beobachtungen und Kommentare je Hörscreening

Anhand der Grafiken ist zu erkennen, dass es bei den Probanden Probleme mit der Handhabung der Hörscreenings gab. Die Art der Probleme unterscheidet sich von Screening zu Screening. Am wenigsten wurden Schwierigkeiten im Umgang mit *Screening 8* ver-

zeichnet. Ein geringer Anteil der Probanden zeigte bei diesem Screening Unsicherheiten bei der Kalibrierung und folgte nicht der Anweisung, die Lautstärke am PC auf 50 % einzustellen. Bei *Screening 37* wurden ähnliche Schwierigkeiten beobachtet. Auch bei diesem Screening wurde die vorgeschriebene Lautstärke von einigen Probanden nicht eingestellt. Neun der Probanden benötigten eine Übersetzung, die vom Versuchsleiter bereitgestellt wurde. Bei *Screening 39* und *Screening 52* wurden am häufigsten Schwierigkeiten beobachtet. Bei *Screening 39* konnten Probleme bei der Einweisung und dem falschen Klicken der drei Buttons festgestellt werden. Zudem nutzten einige Probanden nicht alle zur Verfügung stehenden Buttons während des Hörscreenings. Aufgrund zu lauter Umgebungsgeräusche unterbrach das Screening bei 13 Probanden den Testablauf. Bei *Screening 52* wurden Probleme bei der Bedienung bzw. Handhabung des Screenings beobachtet. 14 Probanden wünschten sich mehr Text für die Einweisung. Eine falsch durchgeführte Kalibrierung und Probleme beim Starten des Hörscreenings erschwerten zudem die Durchführung. Ähnlich wie bei *Screening 39* wurde der Testablauf auch bei *Screening 28* aufgrund zu lauter Umgebungsgeräusche unterbrochen. Des Weiteren stellte die Bedienung (Drücken und Loslassen) des Hörscreenings bei einigen Probanden ein Problem dar.

Um die Hörscreenings genau durchführen zu können, ist es notwendig, die Kopfhörer richtig einzusetzen bzw. aufzusetzen. Die Mehrzahl der Probanden verwendete die Kopfhörer richtig. Allerdings gab es vereinzelt Probanden, die Schwierigkeiten hatten oder Hilfe benötigten.

### 5.3.4 Messergebnisse der Hörscreenings im Vergleich mit denen der Unity 2

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der fünf Hörscreenings im Vergleich zum gemessenen Audiogramm mit der *Unity 2* gezeigt. Nicht alle Hörscreenings liefern Audiogramme. Das Online-Hörscreening 8 liefert nur einen farbigen Strahl und keine genauen Zahlenwerte. Zum Vergleich mit einem Standardaudiogramm wurde die Länge deshalb in einen Zahlenwert umgewandelt. Zunächst wird die gesamte Länge des Strahls gemessen und auf 100 % gesetzt. Danach wird der farbige Strahl gemessen und ins Verhältnis zur Gesamtlänge gesetzt. Bei *Screening 52* wird ein prozentualer Wert der Hörfähigkeit angegeben. Die Messergebnisse dieser beiden Screenings wurden mit den  $PTA_4$ -Werten der *Unity 2* verglichen und liefern somit andere Grafiken. Der  $PTA_4$  (*Pure Tone Average*) ist der Mittelwert des Hörverlustes bei den Frequenzen 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz und wird wie folgt berechnet:

$$PTA_4 = \frac{\text{Hörverlust bei 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz}}{4}$$

*Screening 39* und *Screening 28* zeigen ihre Messergebnisse auf 1 dB Genauigkeit an. Die Hörkurve der Probanden wurde mit der *Unity 2* in 5-dB-Schritten ermittelt. Daher sind die Messergebnisse der beiden Hörscreenings auf- bzw. abgerundet. Bei den Hörscreenings 39, 28 und 37 wurden die Differenzen zwischen den Screening-Audiogrammen und der

*Unity 2* berechnet. Liegt ein  $y$ -Wert bei 0, dann gibt es keine Differenz zwischen dem Hörscreening und der *Unity 2* für die entsprechende Frequenz. Sollte ein  $PTA_4$ -Wert im positiven Bereich liegen, bedeutet es, dass der Hörverlust vom Hörscreening überschätzt wird. Das heißt, das Hörscreening gibt schlechtere Werte als die *Unity 2* an (z. B. wenn sich bei *Screening 37* bei 500 Hz ein Wert von 50 dB ergibt, mit der *Unity 2* aber ein Wert von 10 dB gemessen wurde, dann überschätzt *Screening 37* den Hörverlust des Nutzers bzw. stellt einen Hörverlust fest, obwohl keiner vorliegt).

### 5.3.4.1 Screening 8

In Abb. 5.15 sind die Ergebnisse des Online-Hörscreenings im Vergleich zum  $PTA_4$  der Probanden dargestellt. Bei dem Ergebnis von *Screening 8* wird dem Nutzer eine grafische Darstellung angezeigt. Die Teilergebnisse der einzelnen Testeinheiten (Fragebogen, Tontest und Sprachtest) haben einen Einfluss auf das Gesamtergebnis, der sich allerdings nicht erschließen lässt. Beim Tontest werden die Ohren getrennt voneinander gemessen, während beim Sprachtest beide zusammen gemessen werden. Um die Ergebnisse in der Grafik darzustellen, wird der  $PTA_4$  beider Ohren verwendet. Aus der Grafik lässt sich entnehmen, dass die Ergebniswerte vom Hörscreening von den  $PTA_4$ -Werten abweichen und verstreut sind. Es ist festzustellen, dass je größer der gemessene Hörverlust mit der *Unity 2* ist, desto größer ist auch der Hörverlust, der mit *Screening 8* gemessen wurde. Aufgrund des Ergebnisses der *Pearson*-Korrelation ( $r = 0,690$ ;  $p < 0,001$ ) besteht ein Zusammenhang zwischen den Ergebniswerten von *Screening 8* und *Unity 2*. In der Grafik ist zu erkennen, dass bei niedrigen  $PTA_4$ -Werten (0 bis 20) trotzdem ein geringer Hörverlust (15 bis 42 %) vorliegt.

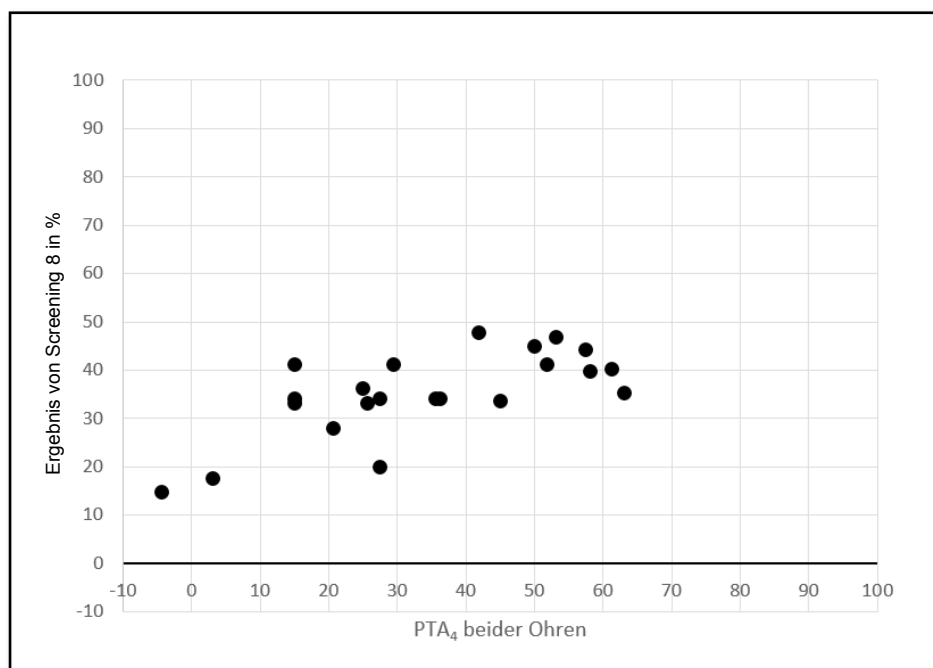


Abb. 5.15: Messergebnisse von *Screening 8* im Vergleich zum  $PTA_4$  der einzelnen Probanden

### 5.3.4.2 Screening 39

Die Differenzen zwischen dem Messwert von *Screening 39* und der *Unity 2* sind in Abb. 5.16 als Mittelwerte und Standardabweichungen je Frequenz für das rechte und linke Ohr dargestellt.

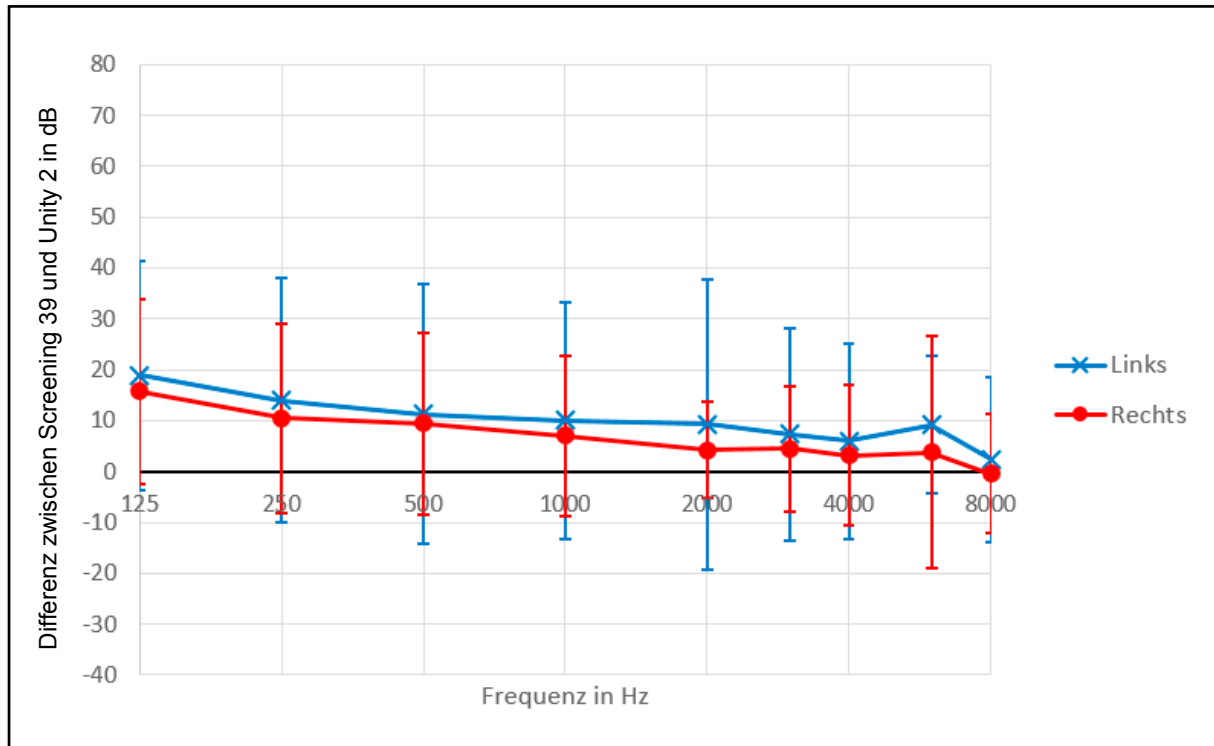


Abb. 5.16: Differenz zwischen *Screening 39* und *Unity 2* (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Gemessen wurde bei den Frequenzen 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 und 8000 Hz. Es ist zu erkennen, dass die Mittelwerte der einzelnen Frequenzen nah an der Nulllinie liegen. Die Mittelwerte des linken Ohres liegen jeweils nur knapp über denen des rechten Ohres. Im Hochtonbereich nähern sich die Mittelwerte mehr der Nulllinie als die des Tieftonbereiches. Hier liegt der Mittelwert des rechten Ohres von 125 Hz bei ca. 15 dB während der von 8000 Hz genau auf 0 liegt. Die größte Standardabweichung besteht auf dem linken Ohr bei 2000 Hz. Diese beträgt hier +/-28 dB. Dagegen ist bei dieser Frequenz auf dem rechten Ohr die geringste Standardabweichung zu erkennen. Insgesamt liegt die Standardabweichung zwischen 6 dB und 22 dB.

### 5.3.4.3 Screening 28

Die Differenzen zwischen dem Messwert von *Screening 28* und der *Unity 2* sind in Abb. 5.17 als Mittelwerte und Standardabweichungen je Frequenz für das rechte und linke Ohr dargestellt.

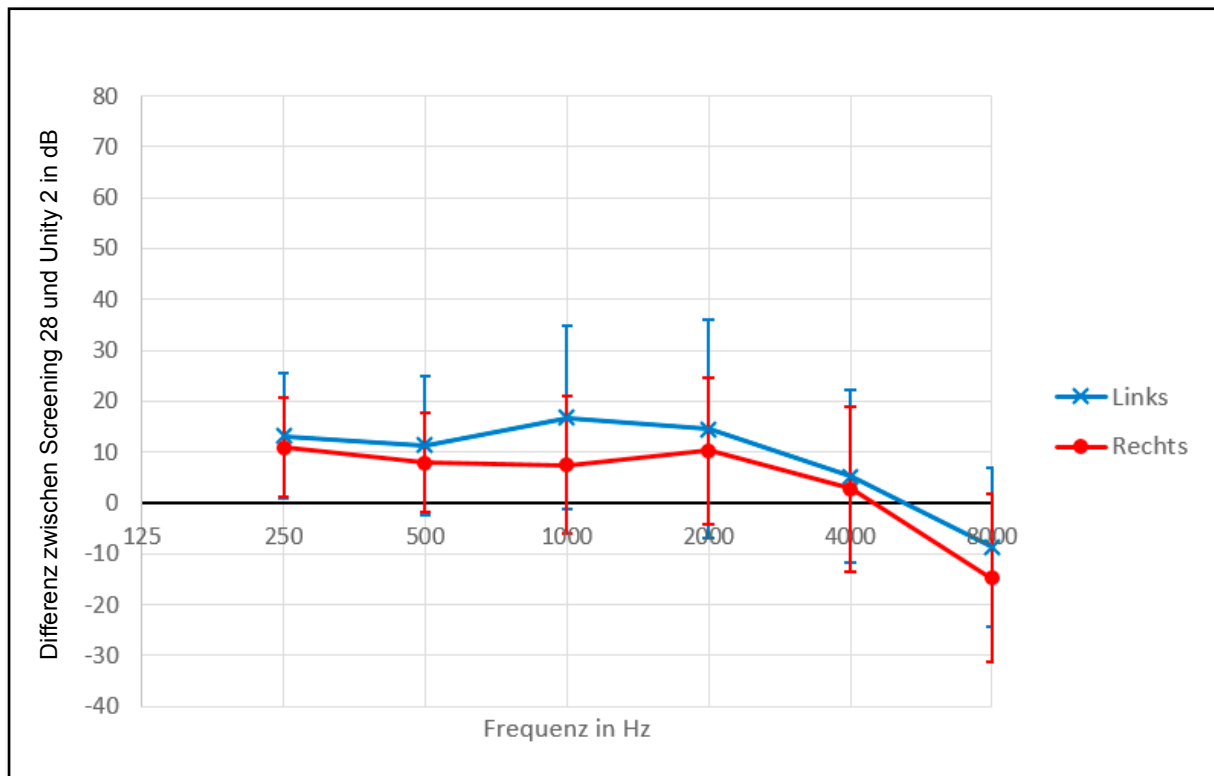


Abb. 5.17: Differenz zwischen Screening 28 und Unity 2 (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Bei *Screening 28* werden die Frequenzen 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz geprüft. Es ist aus der Grafik zu entnehmen, dass die Mittelwerte des rechten Ohres etwas näher an der Nulllinie liegen als die des linken Ohres. Der Mittelwert bei 8000 Hz liegt im negativen Bereich. Bei vielen Probanden wurde das Hörvermögen bei dieser Frequenz besser bewertet, als es an der *Unity 2* gemessen wurde. Die anderen Mittelwerte liegen alle im positiven Bereich zwischen 2 und 16 dB sowohl rechts als auch links. Die Standardabweichungen sind im Tieftonbereich geringer und werden im Hochtonbereich größer. Dies gilt sowohl für das rechte als auch für das linke Ohr. Die geringste Standardabweichung liegt bei 250 Hz und beträgt ca.  $\pm 9$  dB rechts und  $\pm 12$  dB links. Die größte Abweichung liegt im Hochtonbereich bei 8000 Hz ( $\pm 16$  dB).

#### 5.3.4.4 Screening 52

Die folgende Abb. 5.18 stellt die Messergebnisse von *Screening 52* im Vergleich zu den  $PTA_4$ -Werten des Audiogramms, welche mit der *Unity 2* gemessen wurden, dar.



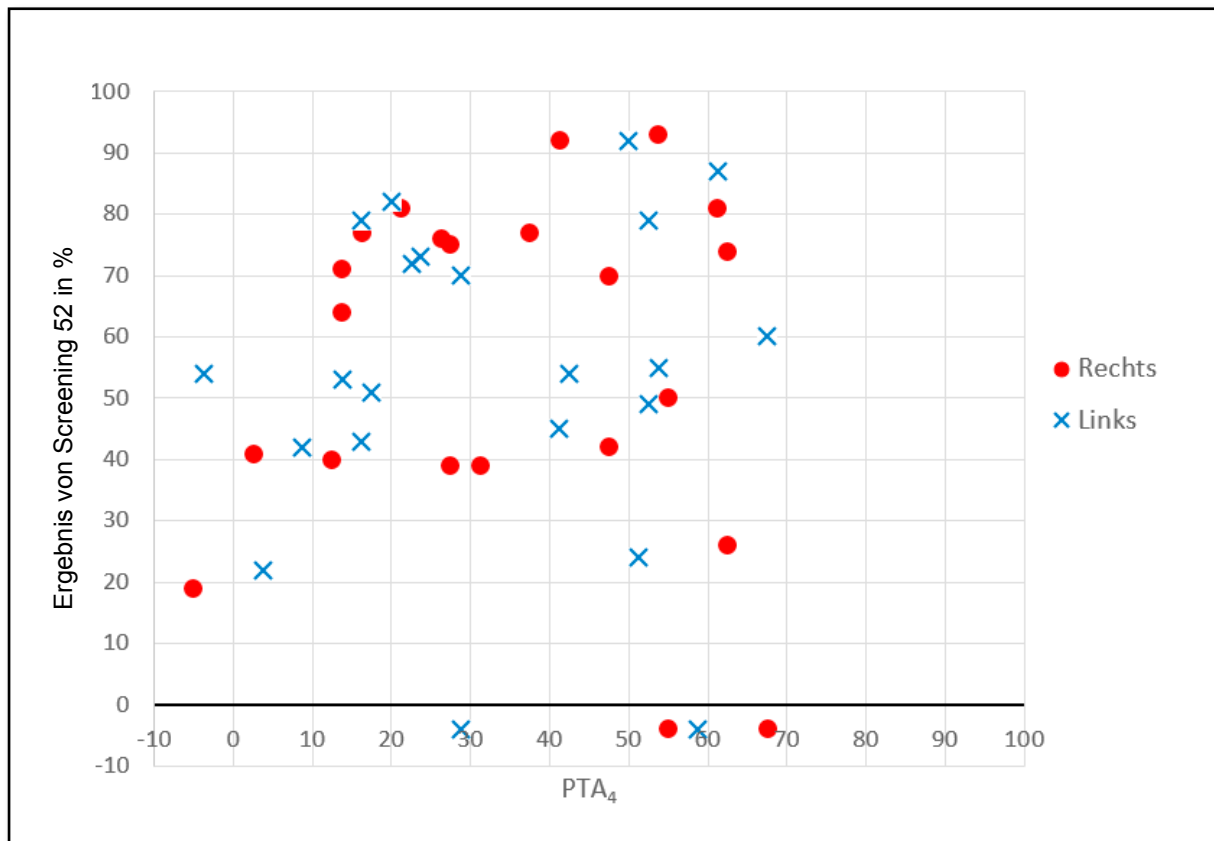
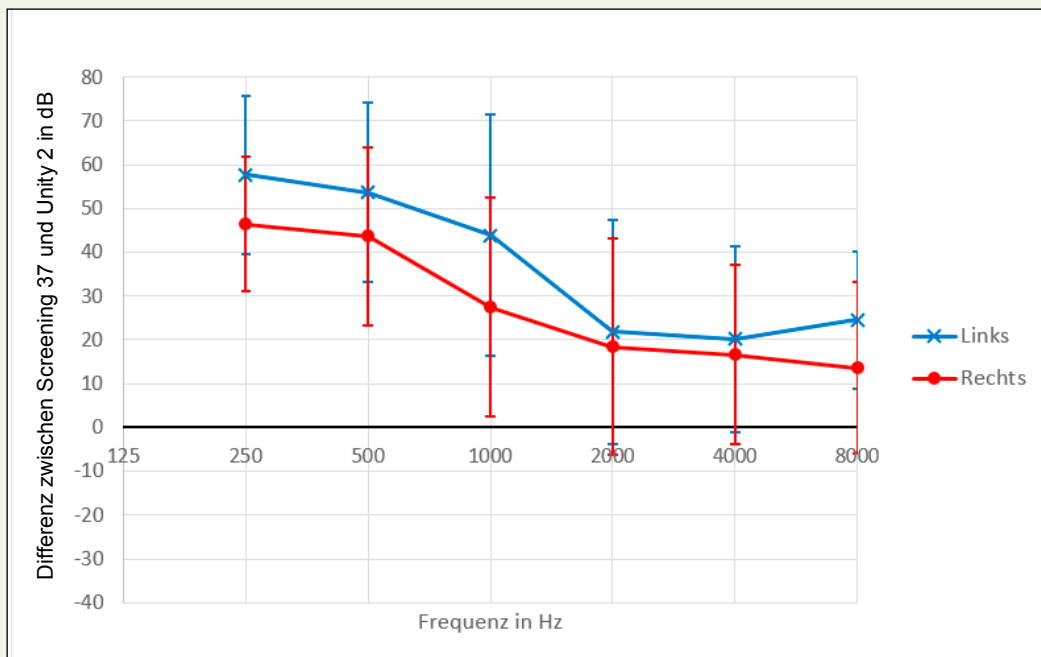


Abb. 5.18: Messergebnisse von Screening 52 im Vergleich zum PTA<sub>4</sub> der einzelnen Probanden

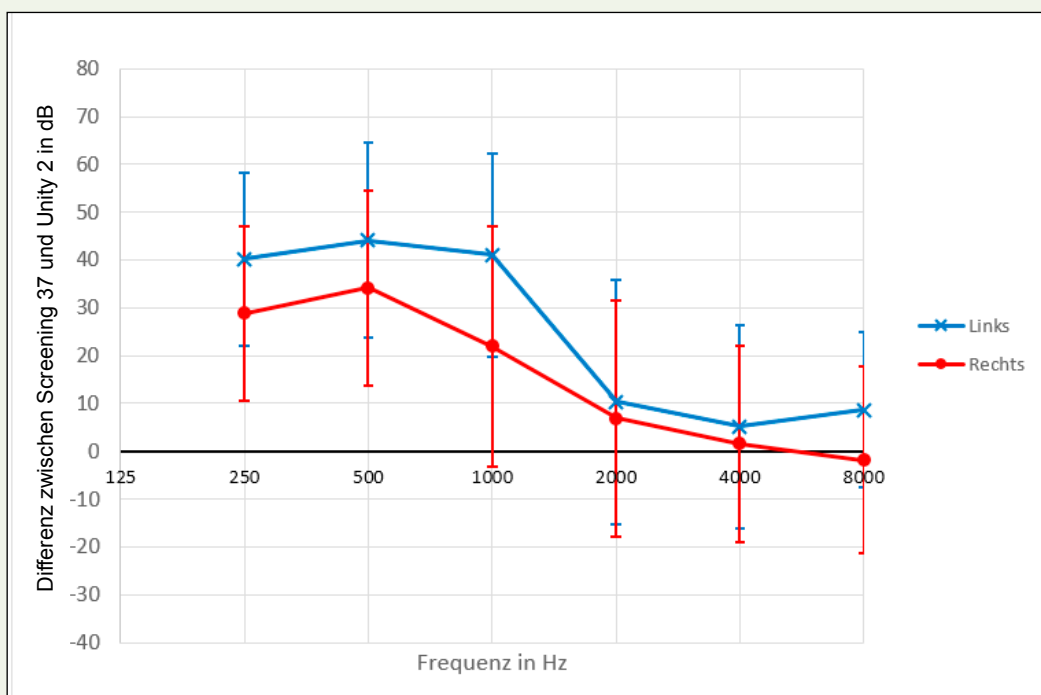
Anhand der Grafik lässt sich feststellen, dass *Screening 52* das Hörvermögen des Nutzers vollkommen zufällig einstuft, da die Werte in dem Diagramm sowohl für das rechte als auch für das linke Ohr völlig verstreut dargestellt sind. Aufgrund des Ergebnisses der *Pearson-Korrelation* ( $r(\text{rechts}) = 0,056$ ;  $p = \text{n.s.}$ ;  $r(\text{links}) = -0,078$ ;  $p = \text{n.s.}$ ) besteht kein Zusammenhang zwischen den prozentualen Aussagen von *Screening 52* und den mit der *Unity 2* gemessenen Hörschwellen. Somit entsprechen die Ergebnisse absolut nicht denen der *Unity 2*. Bei einem Normalhörenden (laut Definition bis 30 dB) wird erwartet, dass kein Hörverlust angezeigt wird. In der Grafik ist zu erkennen, dass das Hörscreening bei den normalhörenden Probanden einen Hörverlust von bis zu 80 % ermittelte.

#### 5.3.4.5 Screening 37

Die Differenzen zwischen dem Messwert von *Screening 37* und der *Unity 2* sind in Abb. 5.19 als Mittelwerte und Standardabweichungen je Frequenz für das rechte und linke Ohr dargestellt.



(a) Messergebnisse von Screening 37



(b) Messergebnisse von Screening 37 in HL-Werte umgerechnet

Abb. 5.19: Differenz zwischen Screening 37 und Unity 2 (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Bei *Screening 37* ist nicht ersichtlich, ob die Ergebnisse der Hörschwelle in SPL oder in HL im Audiogramm angezeigt werden. Daher wurde zusätzlich eine Korrektur vorgenommen gemäß der ANSI S3 6-1996 *Specification for Audiometers* [22] für Insert Headphones (Ta-

belle 7 unter 9.3.2). Die Ergebnisse werden bei *Screening 37* für die Frequenzen 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 8000 Hz angezeigt. Im Gegensatz zu *Screening 39* und *Screening 28* liegen die Mittelwerte im Tieftonbereich weiter von der Nulllinie entfernt als die des Hochtonbereiches. Es sind zudem besonders große Standardabweichungen zu erkennen. Die größte Standardabweichung liegt bei 1000 Hz und beträgt  $\pm 26$  dB auf beiden Ohren. Am geringsten ist sie bei 250 Hz und beträgt  $\pm 16$  dB. Insgesamt ist festzustellen, dass *Screening 37* das Hörvermögen im Tieftonbereich falsch einstuft und den Hörverlust des Nutzers vor allem in Abb. 5.19 (a) überschätzt. In der Grafik 5.19 (b) wird der Tieftonbereich ebenfalls überschätzt, aber das Hörvermögen des Nutzers im Hochtonbereich tendenziell richtig angegeben.

### 5.3.5 Dauer der Hörscreenings

Die Darstellung der gesamten Zeit, die für jedes einzelne Hörscreening gebraucht wurde, ist gemittelt in Abb. 5.20 (a) zu sehen, unterteilt in die Testteile. Zusätzlich wurde die Dauer, welche die Probanden für die Hörscreenings benötigt hatten, dem Alter der Probanden gegenübergestellt (s. Abb. 5.20 (b)).

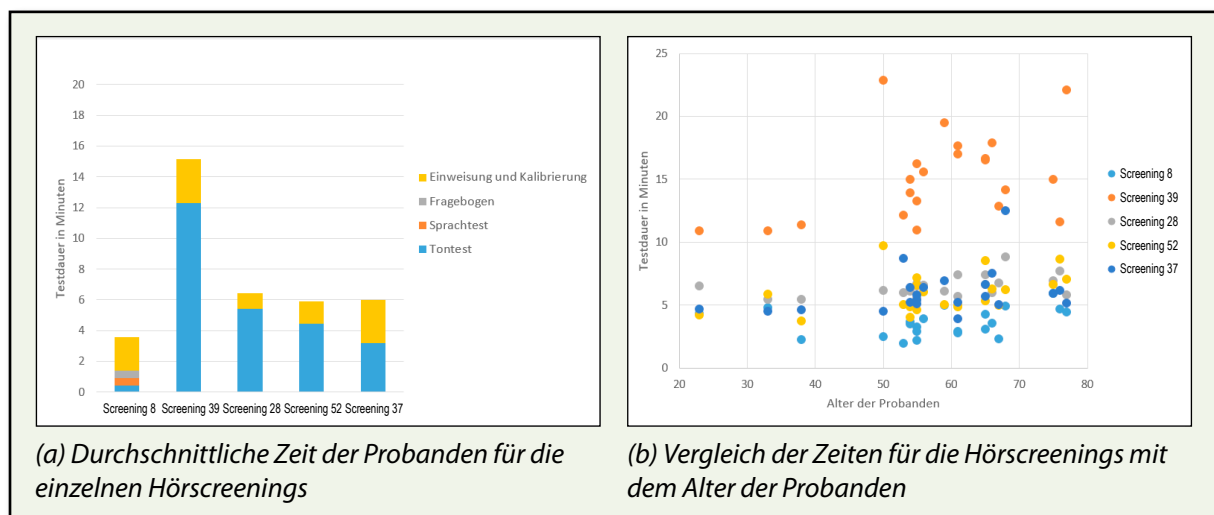


Abb. 5.20: Darstellung der Zeiten für die Hörscreenings von den Probanden unterteilt in durchschnittliche Zeit und Vergleich des Alters und der Zeit

Anhand der Abb. 5.20 (a) ist deutlich zu erkennen, dass *Screening 39* die meiste Zeit in Anspruch nimmt. Dagegen ist *Screening 8* das kürzeste, obwohl es aus drei Testeinheiten besteht. Bei *Screening 28* und *Screening 52* überwiegt die Zeit für den Tontest gegenüber der Einweisung und der Kalibrierung. Bei *Screening 37* sind die benötigten Zeiten für den Tontest und der Einweisung annähernd gleich.

In Abb. 5.20 (b) wurde die Altersverteilung und genutzte Zeit jedes Probanden ins Verhältnis gesetzt. Die Probanden im Bereich von 20 bis 40 Jahre benötigen weniger Zeit für die Screenings als die anderen. Diese benötigten deutlich länger für die Hörscreenings, besonders festzustellen bei *Screening 39*. Um einen Zusammenhang zwischen den Daten

herzustellen, wurde der *Pearson-Test* angewendet. Es zeigte sich, dass es eine Korrelation bei *Screening 28* ( $r = ,443$ ;  $p < 0.05$ ) gab. Je älter die Probanden sind, desto mehr Zeit benötigten sie für dieses Screening. Zudem lassen sich Tendenzen bei *Screening 39* ( $r = ,412$ ;  $p = .057$ ) und *Screening 52* ( $r = ,403$ ;  $p = .065$ ) feststellen. Dagegen ergab der *Pearson-Test* keine Korrelation bei *Screening 8* ( $r = ,227$ ;  $p = \text{n.s.}$ ) und *Screening 37* ( $r = ,318$ ;  $p = \text{n.s.}$ ). Für diese Hörscreenings gibt es keinen Zusammenhang zwischen dem Alter der Probanden und der gemessenen Zeit.

Abb. 5.21 zeigt den Vergleich zwischen der subjektiven Zeit und der objektiv gemessenen Zeit.

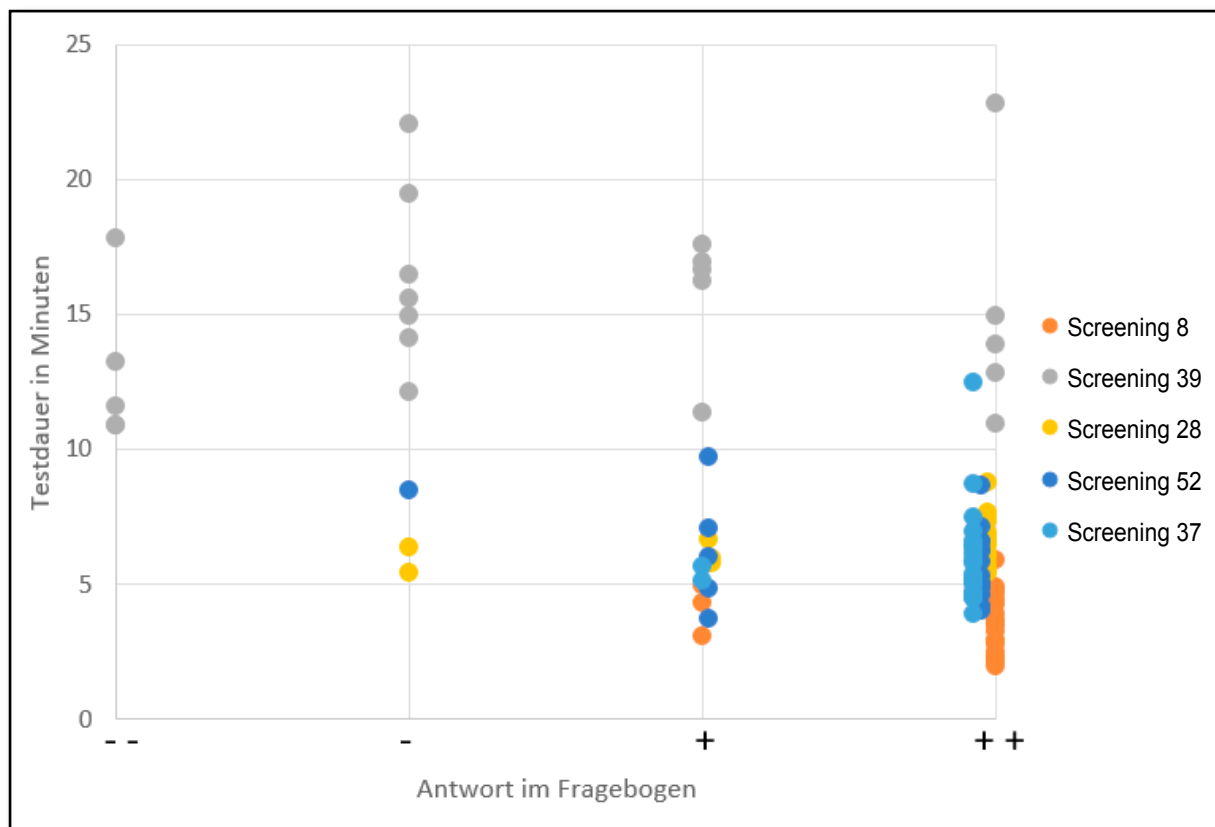


Abb. 5.21: Vergleich zwischen der Aussage „Der Hörtest dauert für mich nicht zu lange“ und der tatsächlichen Testdauer

Es lässt sich feststellen, dass die subjektiv empfundene Zeit mit der tatsächlich gemessenen Zeit übereinstimmt. Die Hörscreenings, die am wenigsten Zeit in Anspruch nehmen (*Screening 8, 52, 37* und *28*), werden als nicht zu lang empfunden. Allerdings gibt es einige Ausnahmen, besonders erkennbar bei *Screening 28*. Die Dauer des Screenings wurde von einigen Probanden nicht als angemessen bewertet (Bewertung: „-“). Auffällig ist Hörscreening 39. Die eine Hälfte der Probanden empfand die Dauer akzeptabel, während sie für die andere Hälfte gerade so bzw. nicht akzeptabel war. Um festzustellen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Bewertung der Hörscreenings und der gemessenen Zeit gab, wurde die *Spearman-Rho-Korrelation* verwendet. Es kam heraus, dass es einen statistisch

signifikanten Zusammenhang gibt ( $r = -.439$ ;  $p < .001$ ). Dies bedeutet, dass das Empfinden der Probanden bezüglich der Zeit mit der tatsächlich gemessenen Zeit übereinstimmt. Ein Hörscreening, das nicht lange dauert, wird auch als kurz empfunden. Hingegen werden Hörscreenings, die mehr Zeit in Anspruch nehmen, als lang empfunden.

## 6. Diskussion

### 6.1 Beurteilung der Hörscreenings

In der Kategorie „Gesamteinschätzung“ (Abb. 5.3) schneidet *Screening 39* positiv bis sehr positiv ab. Diese Einschätzung scheint vor allem auf der Kategorie „Resultate der Hörscreenings“ (Abb. 5.6) zu beruhen, denn in der Grafik 5.10 (a) zeigt sich, dass viele Probanden das Testergebnis als Grund ihrer positiven Bewertung angeben. Als nachteilig wird allerdings die Länge des Hörtests empfunden. Im Durchschnitt dauerte er 15 Minuten, was die anderen Hörscreenings um etwa acht Minuten überstieg. Dies empfinden einige Probanden als zu lang (s. Abb. 5.3). Dies lässt einen Zusammenhang zwischen der Dauer des Hörscreenings und einer regelmäßigen Nutzung des Screenings vermuten. Deshalb wurden die dazugehörigen Aussagen aus dem Fragebogen gegenübergestellt (s. Abb. 6.1).

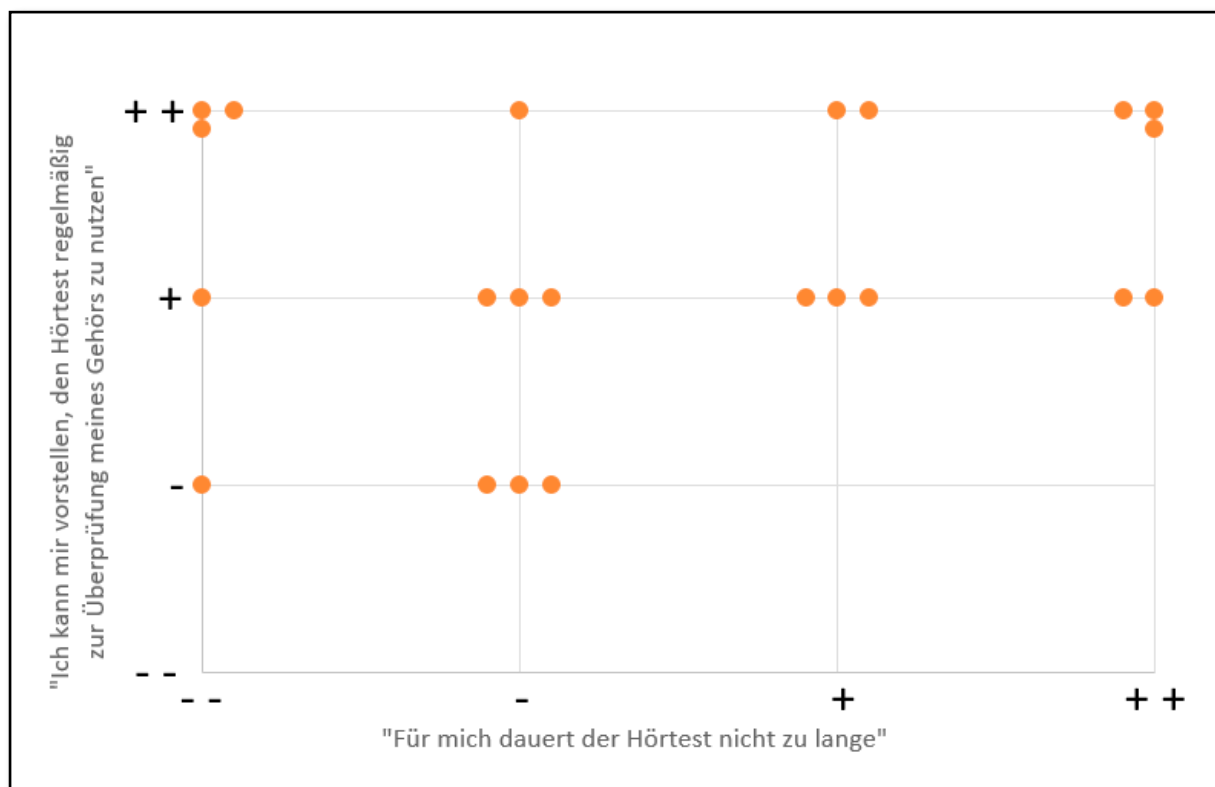


Abb. 6.1: Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Für mich dauert der Hörtest nicht zu lange“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei *Hörscreening 39*

Anhand der Grafik lässt sich diese These nicht klar bestätigen, sondern es lassen sich nur Tendenzen vermuten. Probanden, die den intensiven Zeitaufwand des Hörscreenings nicht als negativ empfinden, würden das Screening zur regelmäßigen Überprüfung ihres Hörvermögens nutzen. Dagegen sind Probanden, die die Dauer des Hörscreenings schlecht bewerteten, in ihrer Meinung zu einer regelmäßigen Nutzung gespalten. Einige würden *Screening 39* dennoch zur Überprüfung nutzen, die anderen nicht. Der Hörtest von

*Screening 39* kann aufgrund der Genauigkeit der Ergebnisse sowie der FDA-Zulassung als eine reguläre Audiometrie angesehen werden, was die längere Testdauer als bei einem Screening zumindest teilweise rechtfertigt. Uneinig waren sich die Probanden bei der Bewertung der Einweisung dieses Tests, was sich in einer starken Streuung in Abb. 5.4 widerspiegelt. In den Bemerkungen bemängelten einige Probanden das Fehlen einer deutlichen und verständlichen Einweisung. Des Weiteren fiel auf, dass der Test 39, wie im Vergleich nur ein anderer Test, sehr oft aufgrund zu lauter Umgebungsgeräusche (s. Abb. 5.14) unterbrochen wurde. Er ist sehr empfindlich in Bezug auf das Berühren der Smartphone-Oberfläche. Sobald ein Nutzer etwas fester bzw. stärker auf den Bildschirm tippt, wird der Test unterbrochen. Bei der Häufigkeit derartiger Unterbrechungen kann dies einen Nutzer stören und damit auch die Gesamtbewertung des Screenings beeinflussen. Im Vergleich zu einem herkömmlich ermittelten Audiogramm zeigt sich eine leichte Tendenz zu höheren Hörschwellen im Tieftonbereich. Insgesamt stimmen aber die Messergebnisse im Rahmen eines Screenings (s. Abb. 5.16) gut miteinander überein. Insofern liefert *Screening 39* den Probanden eine realistische Einschätzung ihres Hörvermögens.

Bei der Betrachtung des Hörscreenings 28 zeigt sich bei der Bewertung in den Kategorien „Bedienbarkeit“ (s. Abb. 5.5) und der Gesamtbewertung der Probanden (s. Abb. 5.9) eine Uneinigkeit der Probanden. Es wurden sowohl positive als auch negative Bewertungen abgegeben. Es lässt sich vermuten, dass die Probanden zufrieden sind und Gefallen am Hörscreening haben, wenn sie keine Hilfe benötigten, bzw. nicht zufrieden sind, wenn Hilfe benötigt wurde. Diese These wird anhand der Abb. 6.2 bestätigt. Die Probanden wählten größtenteils die gleichen Antwortmöglichkeiten bei den beiden Aussagen im Fragebogen. Dies zeigt einen Zusammenhang zwischen der Gesamteinschätzung des Hörscreenings und dem Zurechtkommen. Die Bedienbarkeit war häufig der Grund zur Wahl des besten und schlechtesten Screenings (Abb. 5.9). Von zwölf Probanden gaben sechs die Durchführung und Bedienung als positiv an und die andere Hälfte diese als negative Gründe an. Grund für den Zwiespalt der Probanden kann zum einen die verwendete Messmethode von *Screening 28* sein. Der Ablauf des *Békésy*-Verfahrens ist für viele eine unbekannte Methode. Des Weiteren stellen die Reaktionszeit, Hören des Tons und Drücken des Buttons sowie die Unterbrechung des Tests durch zu laute Umgebungsgeräusche ein Problem für einige Probanden (s. Abb. 5.14) dar. Positive Bewertungen gab es vor allem in der Kategorie „Einweisung“ (s. Abb. 5.4). Demnach erfolgte eine gute Einweisung zur Nutzung des Screenings für den Nutzer, und die notwendigen Voreinstellungen konnten gut durchgeführt werden. Im Vergleich zum herkömmlichen Audiogramm scheinen die Messergebnisse, ähnlich wie bei *Screening 39*, eine leichte Tendenz zu höheren Hörschwellen im Tiefton- und Hochtonbereich zu haben, bis auf den 8000-Hz-Ton, der eher unterschätzt wird (s. Abb. 5.17). Insgesamt stimmen aber die Ergebnisse im Rahmen eines Screenings gut miteinander überein. Insofern liefert *Screening 28* den Probanden eine realistische Einschätzung ihres Hörvermögens, welche den Messergebnissen mit einem personengeführten Audiometer ähnlich ist. Dies scheint ein Großteil der Proban-

den auch zu erkennen. Trotz der Bedienungsprobleme bewerteten die meisten Probanden die Resultate des Hörscreenings positiv. Dies deckt sich mit den Beobachtungen (s. Abb. 5.14) und der Einschätzung (s. Abb. 5.13) des Versuchsleiters. Das Verfahren scheint robust genug zu sein, Unsicherheiten bei der Bedienung abzufangen.

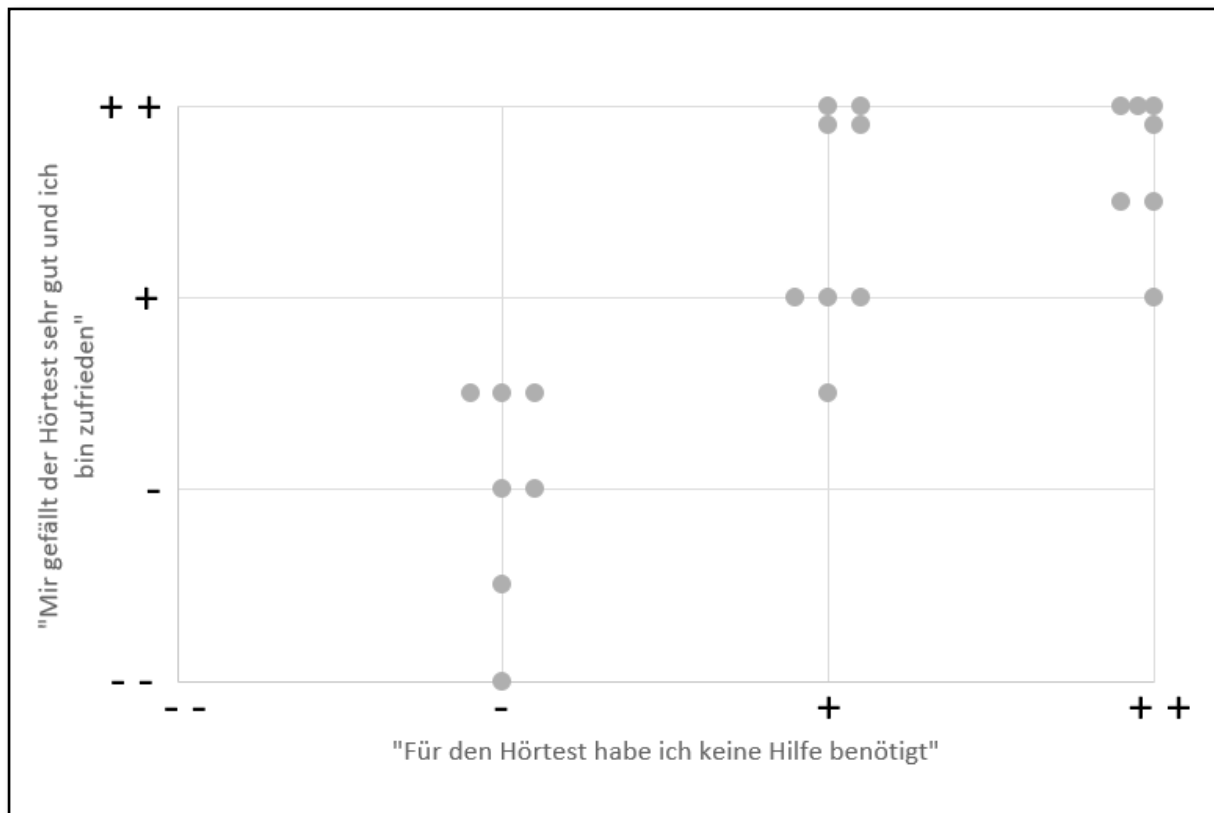


Abb. 6.2: Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Für mich dauert der Hörtest nicht zu lange“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei Screening 28

In den Bewertungen von *Screening 8* fällt vor allem die positive Bewertung in den Kategorien „Bedienbarkeit“ (s. Abb. 5.5) und „Einweisung“ (s. Abb. 5.4) auf. Hier ist die gut verständliche Anleitung zur Nutzung ein ausschlaggebendes Kriterium für die Bewertung. Dennoch wird dies auch als Grund der negativen Bewertung genannt, was einen Widerspruch der Antworten der Probanden zeigt (s. Abb. 5.10). Anhand der Aufzeichnungen lässt sich dieser Widerspruch nicht erklären. Des Weiteren erhielt das Screening die positivste Bewertung in der Kategorie „Design“ (s. Abb. 5.7). Unstimmigkeiten sind bei den Bewertungen der Kategorien „Gesamteinschätzung“ (s. Abb. 5.3) und „Resultate der Hörscreenings“ (s. Abb. 5.6) festzustellen. Somit kann die These aufgestellt werden, dass die Probanden eine regelmäßige Nutzung des Screenings zur Überprüfung ihres Hörvermögens nicht in Erwägung ziehen, wenn sie der Meinung sind, dass das tatsächliche Hörvermögen vom Hörscreening nicht widerspiegelt wird. Anhand der Abb. 6.3 lässt sich diese These bestätigen. Eine Häufung der Punkte ist bei den gleichen Antwortmöglichkeiten zu erkennen. Insgesamt konnte *Screening 8* die Probanden nicht in jedem Bewertungspunkt



überzeugen. Anhand der Beobachtungen des Versuchsleiters weist das Screening einige Lücken auf, z. B. fehlt ein „Nicht gehört“-Button, die Wiedergabe der Töne war zu laut, und es gab Unsicherheiten bei der Kalibrierung (s. Abb. 5.14).

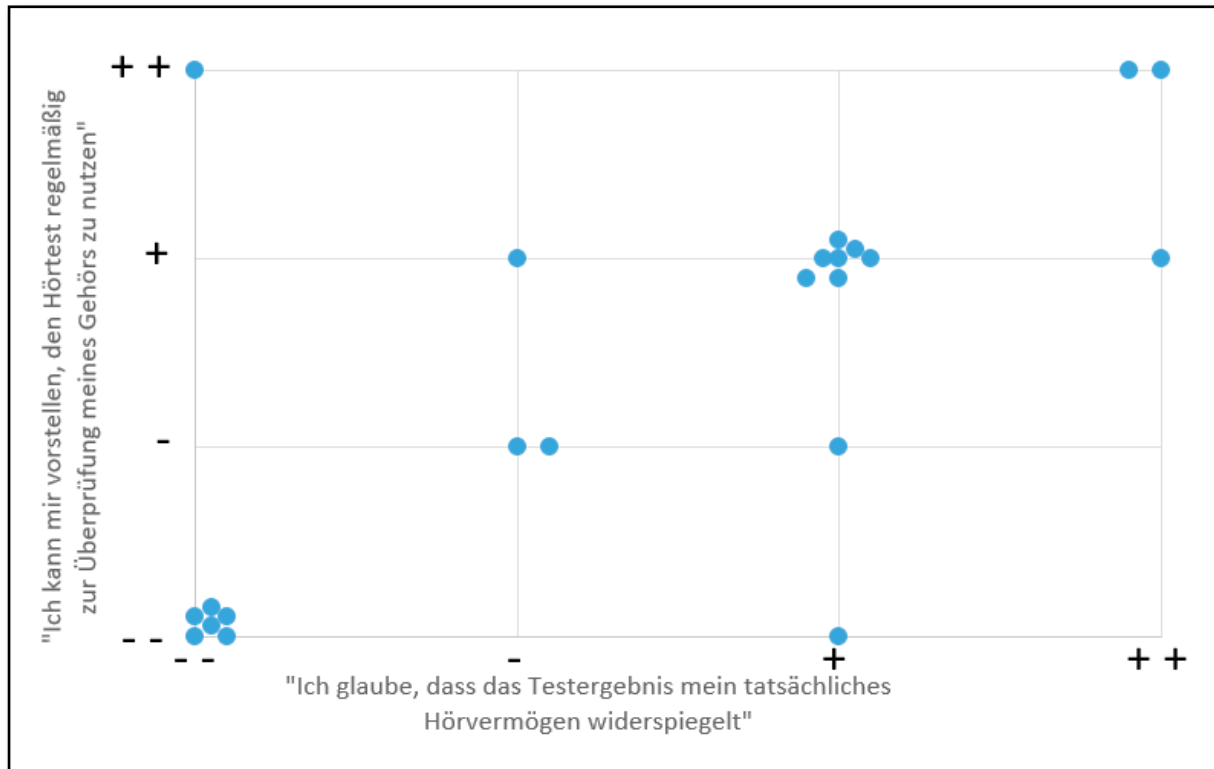


Abb. 6.3: Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Ich glaube, dass das Testergebnis mein tatsächliches Hörvermögen widerspiegelt“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei Hörscreening 8

Beim Vergleich zum Audiogramm muss berücksichtigt werden, dass alle drei Tests (Fragen zum akustischen Umfeld, Ton- und Sprachtest) von *Screening 8* in das Testergebnis mit einfließen und dieses beeinflussen. Insofern kann bei einem unauffälligen Audiogramm aufgrund der Selbsteinschätzung des Nutzers oder einem möglichen negativen Ergebnis des Sprachtests ein potenzieller Hörverlust angezeigt werden. Dies wird vor allem in der Grafik 5.15 erkennbar. Bei den normalhörenden Probanden wird ein leichter Hörverlust festgestellt. Dennoch lässt sich ein gewisser Zusammenhang zwischen dem PTA der *Unity* und dem Ergebnis von *Screening 8* erkennen. Bei den Messergebnissen wird lediglich ein Wert ausgegeben, der den Hörverlust in Kategorien einteilt (normal, leicht, mittelgradig und hochgradig). Es lässt sich vermuten, dass Nutzer des Hörscreenings im Zweifelsfall zu einem Akustiker geschickt werden, auch wenn sie keinen Hörverlust aufweisen.

Bei der Bewertung von *Screening 37* sind besonders die unterschiedlichen Antworten der Probanden für die Aussagen in der Kategorie „Gesamteinschätzung“ (s. Abb. 5.3) auffällig. Hier konnte das Screening die Probanden nur mit seiner Dauer überzeugen. Einer regel-

mäßigen Nutzung zur Überprüfung des Hörvermögens stimmten die Probanden eher nicht zu. Des Weiteren fällt auf, dass *Screening 37* die schlechteste Bewertung in der Kategorie „Design“ erhalten hat (s. Abb. 5.7). Optisch wirkt es nicht sehr überzeugend. Zudem sehen die Probanden Unstimmigkeiten bei dem Ergebnis des Hörscreenings und sehen ihr tatsächliches Hörvermögen beschränkt vom Screening widergespiegelt (s. Abb. 5.6). Ein weiteres Kriterium ist die „Bedienbarkeit“ des Hörscreenings (s. Abb. 5.5). Diese wird von der Mehrheit der Probanden schlecht bewertet. Es lässt sich vermuten, dass sich die Probanden nur dann vorstellen können, das Hörscreening regelmäßig zur Überprüfung ihres Gehörs zu nutzen, wenn keine Hilfe benötigt wird. Diese These wird durch die Abb. 6.4 nicht bestätigt.

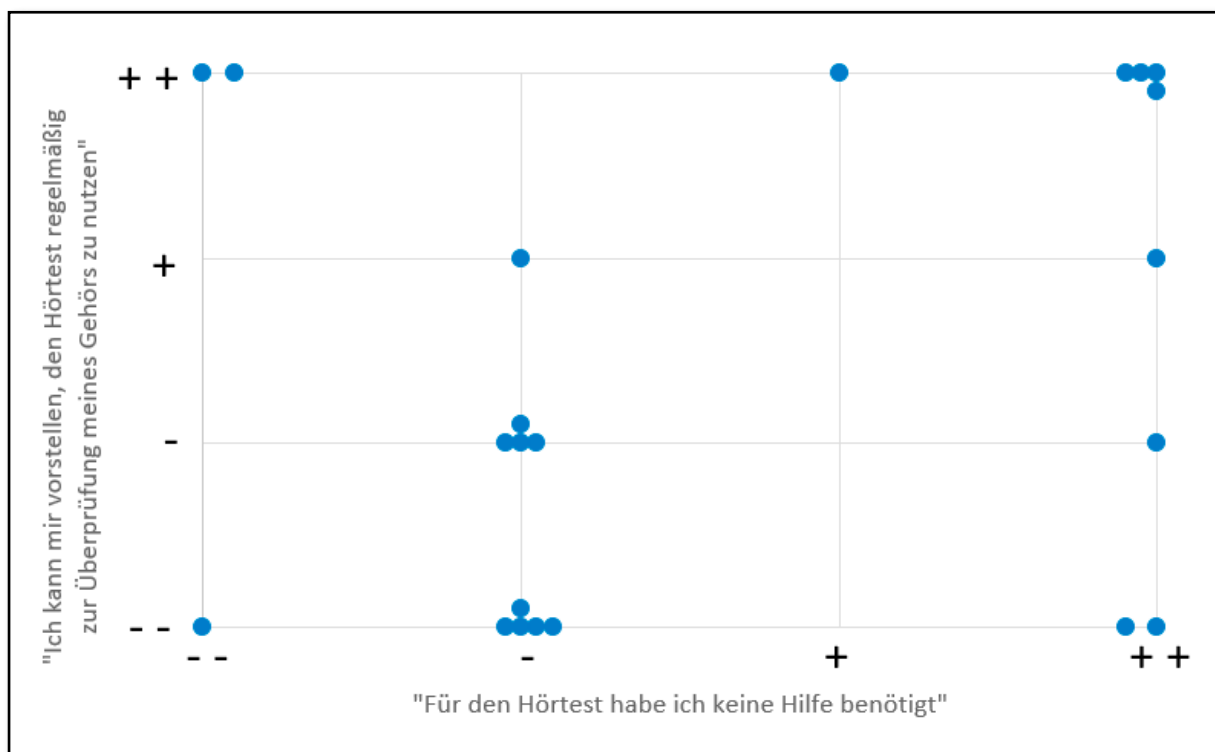


Abb. 6.4: Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Für den Hörtest habe ich keine Hilfe benötigt“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei *Screening 37*

So würden nur einige Probanden eine Nutzung des Screenings zur Überprüfung in Erwägung ziehen. Daher gibt es sicherlich andere Gründe, die diese Wahl beeinflussen. Zum Beispiel kann das fehlende Verständnis des Testinhalts ein möglicher Grund sein und zum anderen eine schlechte Einweisung. Zudem können fehlende Englischkenntnisse der Probanden ein weiteres Hindernis sein. Um dem entgegenzuwirken, wurde vor Beginn des Versuchs eine Übersetzung bereitgestellt, die aber nur von einigen Probanden genutzt wurde (s. Abb. 5.14). Die Bedienung und Durchführung des Screenings wird ebenfalls von den Probanden als negativ bewertet. Für Verständnisprobleme sorgt vor allem das Vorhandensein mehrerer zu benutzender Buttons. Eine vorherige Einweisung wurde von

einigen Probanden überlesen. Bei der Betrachtung der Gesamtbewertung der Hörscreenings wurde *Screening 37* kaum genannt, weder als bestes noch als schlechtestes Screening (s. Abb. 5.9). Im Vergleich zu einem herkömmlich ermittelten Audiogramm zeigt sich anhand der Abb. 5.19 (a), dass eine massive Überschätzung der Hörschwellen im Tieftonbereich (im Durchschnitt 50 dB) und eine deutliche Überschätzung im Hochtonbereich ermittelt werden. Diese massiven Abweichungen wären für ein Screening inakzeptabel. Sollte eine Umrechnung von dB SPL-Werten in HL-Werte von der App nicht erfolgt sein bzw. vom Entwickler vergessen worden zu programmieren, wären die Messergebnisse vor allem im Hochtonbereich im Mittel genau angegeben (Abweichungen können auftreten, s. Abb. 5.19 (b)). Im Tieftonbereich wird das Hörvermögen dennoch deutlich überschätzt. Insofern liefert das Hörscreening 37 den Probanden nur bedingt eine realistische Einschätzung ihres Hörvermögens, welches den Messergebnissen mit einem personengeführten Audiometer ähneln könnte.

In der Kategorie „Gesamteinschätzung“ (Abb. 5.3) ist die Bewertung von *Screening 52* sehr unterschiedlich ausgefallen, vor allem trugen die Kategorien „Resultate der Hörscreenings“ (s. Abb. 5.6) und „Bedienbarkeit“ (s. Abb. 5.5) dazu bei. Dies wird anhand der Grafik 5.10 (b) deutlich, in der viele Probanden das Testergebnis sowie die Durchführung und Bedienung als Gründe für ihre negative Bewertung angeben. Es ist zu vermuten, dass die Probanden unzufrieden sind und keinen Gefallen an einem Screening finden, wenn sie keinen Nutzen im Ergebnis des Screenings sehen. Die Abb. 6.5 dient zur Prüfung dieser These.

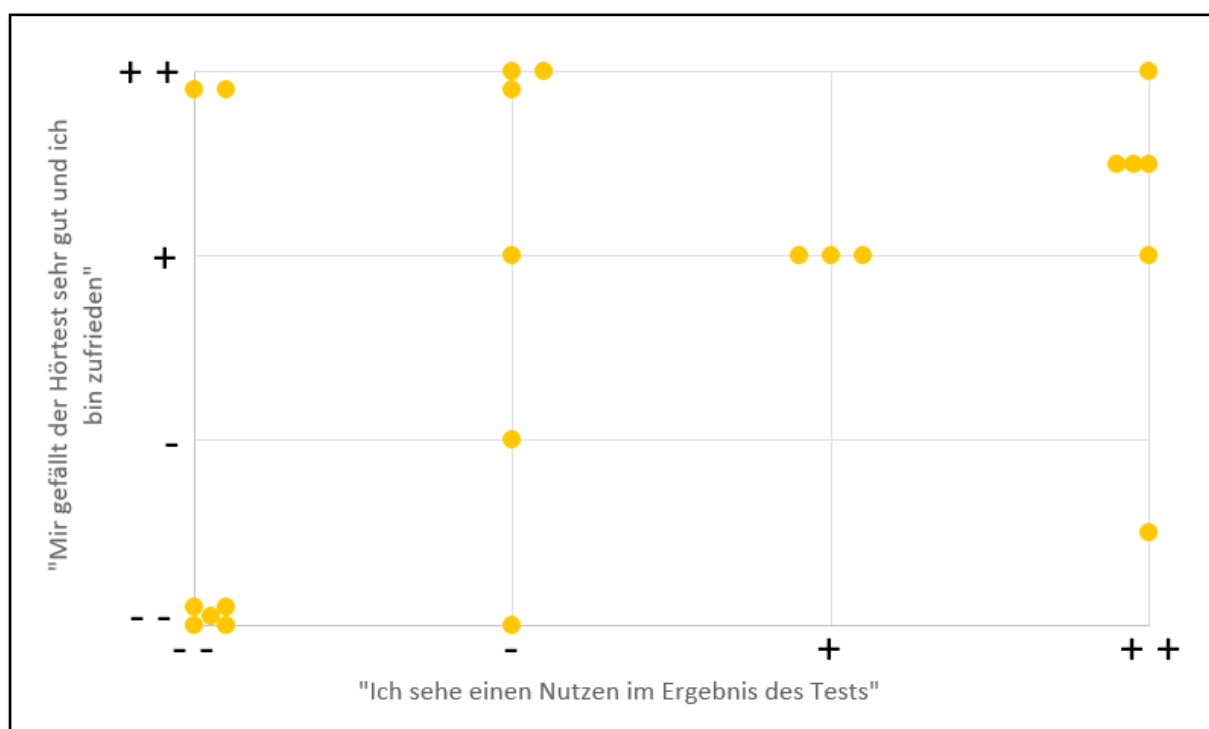


Abb. 6.5: Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Ich sehe einen Nutzen im Ergebnis des Tests“ und „Mir gefällt der Hörtest sehr gut und ich bin zufrieden“ bei Screening 52

Anhand dieser Grafik lässt sich ein Zusammenhang zwischen den Bewertungen der Probanden der jeweiligen Aussage feststellen. Nur ein paar der Probanden bewerteten diese Aussagen nicht zusammenhängend. Dennoch ist dieser Zusammenhang nicht auf alle übertragbar, und somit müssen weitere Kriterien bei der Bewertung eine Rolle gespielt haben. Optisch war das Screening in der mittleren Bewertung der Probanden eher akzeptabel (Abb. 5.7). Durch die Größe der Box zeigt sich die unterschiedliche subjektive Empfindung zur Gestaltung. In allen Kategorien des Ergebnisteils (siehe Abschnitt 5.3) zeigt sich bei einigen Aussagen im Fragebogen eine Spaltung der Meinungen zum Hörscreening. Besonders stark streuen die Bewertungen in den Grafiken 5.3 (a), (b) und (c) sowie 5.6 (b) und (e). Anhand dieser Bemerkungen wird deutlich, dass das Fehlen eines verständlichen Einweisungstextes bemängelt wurde. Viele Probanden wirkten ratlos bzw. verwirrt. Dies machte sich in Schwierigkeiten beim Starten des Tests bemerkbar und führte zu Nachfragen beim Versuchsleiter. Uneinigkeit spiegelte sich beim Verstehen des Ergebnisses wider. Das in Prozent angezeigte Ergebnis führte zu Verständnisproblemen. Es wurden keine zusätzlichen Informationen oder Angaben dazu angezeigt, die diese Schwierigkeit hätten beheben können. Das Fehlen eines Referenzwertes in Bezug auf einen Normalhörenden erschwerte das Verstehen zudem sehr. Im Vergleich zum herkömmlich ermittelten Audiogramm sind die Ergebnisse zufällig und willkürlich. Es ist z. B. ausgeschlossen, ein Hörvermögen von 104 % aufzuweisen, wenn die Daten der *Unity 2* einen mittleren bis hochgradigen Hörverlust zeigen (s. Abb. 5.18). Der Ausdruck „kHz“ ist vermutlich ein Schreibfehler und sollte „Hz“ heißen. Die Angabe der Pegel ist in „db Z“ angegeben, was für ein Hörscreening eine eher ungewöhnliche Pegelskala ist. Insgesamt ist *Screening 52* das am schlechtesten bewertete Screening. Die Messmethodik war gut, jedoch konnte die Umsetzung nicht richtig erfüllt werden. Anhand des Messergebnisses wird deutlich, dass eine regelmäßige Überprüfung von der Mehrheit der Probanden ausgeschlossen wird. Die für die Studie eingeladenen Probanden weisen Erfahrungen in Bezug auf Hörtests und deren Durchführung auf und erkennen, ob ihr tatsächliches Hörvermögen widerspiegelt wird. Unerfahrene Nutzer würden dies durch *Screening 52* vermutlich nicht erkennen und somit fehlgeleitet werden.

## 6.2 Vergleich der Bewertung der Probanden mit denen des Versuchsleiters

Bei der Bewertung der Probanden und des Versuchsleiters fallen einige Unterscheide auf. Die Mehrzahl der Probanden gab an, der Favorit sei *Screening 39*, während der Versuchsleiter mit diesem Hörscreening viele Schwierigkeiten und Missverständnisse sah. Für ihn kamen die Probanden am besten mit *Screening 28* zurecht, da die Probanden hier nur auf einen Button zu drücken hatten. Allerdings muss auch beachtet werden, dass der Versuchsleiter lediglich das Zurechtkommen des Probanden bewerten konnte. Er hat keine Einsicht in das subjektive Empfinden des Probanden. Es ist zudem festzustellen, dass sich die Probanden in Bezug auf Handhabung und Bedienung besser eingeschätzt haben, als der Versuchsleiter es beobachten konnte. Somit wurden vermutlich keine Fehlbedienun-

gen vom Probanden in die Bewertung einbezogen, obwohl sie vom Versuchsleiter bemerkt wurden. Im Vergleich der Hörscreenings zueinander lassen sich auch bei der Wahl des besten und schlechtesten Screenings unterschiedliche Ansichten feststellen. Für die Probanden ist das beste *Screening 39*, während sich der Versuchsleiter für *Screening 28* entschied. Einigkeit dagegen gab es bei der Wahl des „Verlierers“. *Screening 52* konnte keine Partei überzeugen. Trotz der unterschiedlichen Rangfolgen der Probanden und des Versuchsleiters scheinen die Gründe für die Bewertungen gleich zu sein. Das Testergebnis sowie die Bedienung und Durchführung sind die ausschlaggebendsten Kriterien für die Bewertung der Hörscreenings. Grundlage für die Bedienung bzw. Durchführung ist die Einweisung. Wird keine klare, einfache und für den Nutzer verständliche Einweisung vom Hörscreening geliefert, ist eine Fehlbedienung vorprogrammiert.

Es ist zu vermuten, dass die ausgewählten Probanden für die Studie nicht ganz der erwarteten Benutzergruppe entsprechen. Die Probanden haben Erfahrungen mit dem Thema „Audiometrie“ und können ihr Hörvermögen gut einschätzen. Dies ist bei unerfahrenen Nutzern nicht der Fall. Sie wollen sich mit Hilfe des Screenings einen ersten Überblick über ihr Hörvermögen verschaffen und sind dabei stärker auf einfache Bedienung sowie realistische und gut verständliche Ergebnisse angewiesen.

### 6.3 Fazit

Ob ein Hörscreening für eine erste Selbstdiagnostik geeignet ist bzw. einen Überblick über das Hörvermögen verschafft, hängt von vielen Faktoren ab. Es kann für eine schnelle Überprüfung nützlich sein, besonders wenn ein Termin bei einem Facharzt auf sich warten lässt oder die Hemmschwelle noch zu groß ist, um sich einen fachlichen Rat einzuholen. Ein gutes Hörscreening kann seinem Nutzer Argumente liefern, einen Fachmann aufzusuchen, wenn es ein präzises und gut verständliches Ergebnis liefert. Die dafür notwendige Zeit würde jeder, der sich über sein Hörvermögen Gedanken macht, investieren.

Anhand der gesamten Messergebnisse lässt sich feststellen, dass kein Hörscreening alle Probanden überzeugen konnte. Es wurden nicht alle Erwartungen erfüllt oder das Screening wies für eine positive Bewertung zu viele Unstimmigkeiten und Schwierigkeiten auf. Eine einfache und reibungslose Nutzung konnte keines der fünf Hörscreenings gewährleisten. Vor allem unklare und unverständliche Einweisungen im Hinblick auf die Messung der Hörschwelle erschwerten die Bedienung und Durchführung des Hörscreenings und ließen Fragen offen, die bei der Probandenstudie mit Hilfe des Versuchsleiters geklärt werden konnten. Sollte ein Nutzer alleine in einer ruhigen Umgebung, wie z. B. zu Hause, eines der Hörscreenings durchführen wollen, wäre eine zusätzliche Unterstützung/Hilfe durch eine weitere Person nur bedingt möglich. Trotz einiger Differenzen konnten *Screening 39* und *Screening 28* mit ihrer Durchführung und ihrem Messergebnis die Mehrzahl der Probanden überzeugen. Beide Hörscreenings liefern Ergebnisse, die dem tatsächlichen Hörvermögen des Nutzers mit ca. 10 dB Abweichung entsprechen und somit zur

Selbstüberprüfung des Gehörs verwendet werden könnten. *Screening 52* ist vom Inhalt und der Messmethodik gut, jedoch fehlt eine verständliche und deutliche Einweisung, die die Bedienung und Durchführung erleichtern würde, und das Screening-Ergebnis ist zufällig und willkürlich. Das Hörvermögen des Nutzers wird nicht einmal ansatzweise widergespiegelt. Die Hörscreenings 37 und 8 lagen insgesamt eher im mittleren Feld. Ob sich eines der getesteten Hörscreenings als Ersatz für eine Standardaudiometrie eignet, ist fragwürdig. Lediglich *Screening 39* und *Screening 28* würden dazu tendieren, weisen jedoch noch einige Schwachstellen auf.

Worauf kommt es also bei einem guten Hörscreening an? Zunächst kann das Design eines Screenings schlicht und einfach sein. Als Nächstes sollte eine präzise und genaue Einweisung erfolgen bzw. ein deutlich zu verstehender Einweisungstext vorhanden sein. Falls Wörter wie „den notwendigen Button drücken“ verwendet werden, sollte überlegt werden, auch das Symbol des Buttons zusätzlich zum Text zu verwenden. Somit können Stolperer vermieden werden. Dennoch sollte der Nutzer vom Text nicht erschlagen werden, sodass er den Überblick verliert. Erklärungen sollten Schritt für Schritt in kurzen und verständlichen Sätzen erfolgen. Wenn dies erfüllt ist, dann kann die Methodik der Messung der Hörschwelle auch variieren. Allerdings fühlen sich die Probanden sicherer, wenn ihnen die Methode bereits bekannt ist. Somit ist das Abspielen von einfachen Sinustönen (auch pulsierend möglich) eine sehr geeignete Variante. Der Nutzer sollte genug Zeit für seine Reaktion haben, und eine Nachkontrolle, ob der Nutzer den Ton bei dem Pegel wirklich gehört hat, wäre ratsam. Dennoch sollten nicht zu viele Nachkontrollen erfolgen. Ähnlich wie beim Akustiker würden drei ausreichen. Es sollte eine Zeit von sechs Minuten nicht überschritten werden.

Zudem ist zu überlegen, ob nicht nur ein Tontest benutzt werden sollte, sondern auch ein Sprachtest. Für viele bestehen die Probleme beim Verstehen einiger Wörter. Somit könnte eine Messung des Verstehens von Wörtern im Störgeräusch eine Hilfe sein. Es müsste überlegt werden, wie dies im Ergebnis wiedergegeben werden könnte. Die Darstellung des Ergebnisses ist ein wichtiger Bestandteil und ausschlaggebend dafür, ob der Test noch einmal durchgeführt wird oder nicht. Details zum Ergebnis (z. B. ein kurzer Text) und Referenzkurven eines Normalhörenden bzw. den normalhörenden Bereich sollten mitgeliefert werden. Sonst kann es zu Verwirrungen oder Missverständnissen kommen.

Bevor der Test allerdings startet, muss bei einem Tontest sichergestellt werden, dass die Lautstärke korrekt eingestellt wird. Die subjektive Einschätzung von Lautstärke ist für jeden Menschen individuell und eine Kalibrierung über diese somit sehr anfällig für Fehler. So ist mit verlässlicheren Ergebnissen zu rechnen, wenn der Nutzer eine Hardware verwendet, die dem Entwickler bekannt ist (z. B. eine Auswahl aus einer Liste empfohlener Hardware). Somit muss der Nutzer nur noch eine genaue Zahlenangabe oder Lautstärke, wie z. B. „auf 50 %“ oder auch „maximale Lautstärke am Smartphone/PC“, einstellen. Dabei ist es gut, mit der Messung erst zu beginnen, wenn diese Einstellung erfolgt ist, sonst

können verfälschte oder nicht dem Hörvermögen entsprechende Ergebnisse die Folge sein. Zudem wäre es gut, wenn das Hörscreening, wie bei *Screening 39* und *Screening 28*, anzeigt, ob sich zur Durchführung die Umgebung als ruhig und passend erweist. Dennoch sollte darauf geachtet werden, dass nicht häufige Unterbrechungen die Messung beeinflussen. Dies kann sich unangenehm auf das Empfinden des Nutzers auswirken.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

Für diese Bachelorarbeit wurden verschiedene Hörscreenings, die dem Nutzer frei zugänglich übers Internet oder die App Stores von *Apple* und *Google* zur Verfügung stehen, betrachtet und untersucht, ob sich Aussagen zu den Themen Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit treffen lassen. Zu Beginn der Studie wurde eine Datenbank angelegt, in der die Hörscreenings ( $n = 58$ ) unter bestimmten Kriterien, wie z. B. Testablauf und -art, Kalibrierung und Ergebnisdarstellung, bewertet wurden. Danach erfolgte eine erste Filterung ( $n = 11$ ) zur genaueren Untersuchung der Messmethodik, den Testfrequenzen und maximal zu erreichenden Pegeln. Für die Probandenstudie wurde eine weitere Filterung ( $n = 5$ ) vorgenommen. Ausschlaggebend hierfür waren die vorherige Messung am Kemar, die Methodik der Hörscreenings zur Bestimmung der Hörschwelle sowie das Messergebnis der Screenings. 22 Probanden wurden eingeladen, diese final ausgewählten Hörscreenings zu testen. Die Probanden beurteilten die Hörscreenings 8, 39, 28, 52 und 37 anhand der Kategorien „Einweisung“, „Bedienbarkeit“, „Resultate der Hörscreenings“, „Gesamteinschätzung“ und „Design“ in einem hierfür erstellten Fragebogen. Ein mit einem herkömmlichen Audiometer aufgenommenes Audiogramm von jedem Probanden diente als Referenzwert für die Hörscreenings.

Der Versuchsleiter beobachtete das Zurechtkommen der Probanden und protokollierte es mit Hilfe eines Leitfadens. Am Ende der Studie sollte jeder Proband mit anschließender Begründung das für ihn beste und schlechteste Screening auswählen. Der Versuchsleiter tat dies ebenfalls. Bei der Auswertung ergab sich, dass *Screening 39* für die Probanden das beste der fünf Screenings und *Screening 52* das schlechteste ist. Begründet wurde dies vor allem aufgrund des Testergebnisses sowie der Durchführung und Bedienbarkeit. Der Versuchsleiter beobachtete das beste Zurechtkommen der Probanden mit dem Hörscreening 28 und das schlechteste mit *Screening 52* und *Screening 37*.

Der Vergleich der Messergebnisse der einzelnen Hörscreenings mit dem Referenzaudiogramm der Probanden zeigte, dass lediglich *Screening 39* und *Screening 28* mit ungefähr 10 dB Abweichung gute Ergebnisse erzielen, während *Screening 52* willkürliche und zufällige Ergebnisse liefert und das Hörvermögen des Nutzers falsch einschätzt. Insgesamt wurden gute Hörscreenings gefunden, die sich durchaus eignen, ihrem Nutzer einen ersten Überblick über sein Hörvermögen zu geben. Es wurden aber auch einige Screenings gefunden, die diesen Anspruch nicht erfüllen konnten. Die Einschätzung der Probanden zur Qualität der Ergebnisse ist durchaus realistisch. Es sollte in Betracht gezogen werden, dass ein Erstnutzer sicherlich wenig bis keine Erfahrung im Umgang mit Hörtests bzw. der Ermittlung seiner Hörschwelle mitbringt und durch unbrauchbare Hörscreenings durchaus fehlgeleitet werden kann.



## 7.2 Ausblick

Für die Studie wurden 22 Probanden ausgewählt, die Erfahrungen mit Hörtests besitzen und ihr Hörvermögen einschätzen können. Um die Zielgruppe abdecken zu können und somit repräsentativere Ergebnisse zu erhalten, sollten für weitere Untersuchungen Probanden herangezogen werden, die keine derartigen Erfahrungen oder Kenntnisse aufweisen. Bei künftigen Studien sollten Probanden die Hör screenings bei sich zu Hause durchführen, da die potenzielle Zielgruppe die Screenings ebenfalls zu Hause nutzen wird und keine zusätzliche Hilfestellung durch einen Versuchsleiter möglich ist.

Des Weiteren ist die Überlegung, für weitere Studien mehrere Hör screenings zu betrachten und miteinander zu vergleichen. Aufgrund der zeitlichen Einschränkung und des Nachlassens der Konzentration der Probanden wurden im Rahmen dieser Bachelorarbeit nur fünf Hör screenings betrachtet. Um die Aussagen zur Genauigkeit von Hör screenings zu festigen, ist ein Test-Retest ratsam. Somit kann geprüft werden, ob die gleichen Ergebnisse bei mehrmaligen Durchläufen geliefert werden. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden nur zwei Kopfhörer (mitgelieferte *EarPods* von *Apple* und herkömmliche Kopfhörer von *Sennheiser*) verwendet. Einige Hör screenings geben dem Nutzer eine gewisse Auswahl an. Somit muss keine zusätzliche Kalibrierung durch den Screening-Nutzer vorgenommen werden, da ein definiertes System besteht. Dies ist vor allem bei Apps, die im *App Store* von *Apple* angeboten werden, der Fall. Alle anderen Hör screenings müssen vom Nutzer kalibriert werden. Eine Studie mit verschiedenen Kopfhörerarten und -typen sollte ebenfalls in Betracht gezogen werden, um zu prüfen, ob andere nicht vom Screening vorgeschlagene Kopfhörer zu gleichen Ergebnissen führen wie die empfohlenen, oder ob es Unterschiede gibt.

## 8. Anhang

### 8.1 Reihenfolge der Hörscreenings

	Screening 8	Screening 39	Screening 28	Screening 52	Screening 37
VP 1	1	2	3	4	5
VP 2	1	3	5	2	4
VP 3	3	1	2	4	5
VP 4	5	3	1	2	4
VP 5	4	5	3	1	2
VP 6	2	4	5	3	1
VP 7	5	4	2	1	3
VP 8	3	5	4	2	1
VP 9	1	3	5	4	2
VP 10	2	1	3	5	4
VP 11	4	2	1	3	5
VP 12	1	2	4	5	3
VP 13	3	1	2	4	5
VP 14	5	3	1	2	4
VP 15	4	5	3	1	2
VP 16	2	4	5	3	1
VP 17	3	5	4	2	1
VP 18	1	3	5	4	2
VP 20	2	1	3	5	4
VP 21	5	4	2	1	3
VP 22	3	1	2	4	5

Abb. 8.1: Reihenfolge der Hörscreenings je Proband

## 8.2 Fragebogen für den Probanden und den Versuchsleiter

### Studie Online-/App-Hörtest – Fragebogen für den Probanden

Bitte vor Testbeginn ausfüllen:

Test Nr. \_\_\_\_\_

Kürzel	Alter	Geschlecht	Datum
		<input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w	

Haben Sie Erfahrungen mit Hörtests?

ja     nein

Haben Sie Erfahrungen mit Online-Hörtests oder App-Hörtests?

ja     nein

Bitte nach jedem Test ausfüllen: (zutreffendes Kästchen ankreuzen)

Nr.	Aussage	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu
1	Ich finde den Test optisch ansprechend.				
2	Die Gestaltung des Hörtests ist übersichtlich.				
3	Der Hörtest ist für mich zu unübersichtlich.				
4	Ich empfinde den Hörtest als einfach zu nutzen.				
5	Der Hörtest ist für mich zu schwer.				
6	Ich glaube, dass andere den Hörtest einfach bedienen können.				
7	Ich glaube, dass andere mit dem Hörtest gut zurechtkommen.				
8	Für den Hörtest hätte ich Hilfe benötigt.				
9	Ich finde, dass die Anleitung widersprüchliche Informationen enthält.				
10	Die Bedienung ist sehr gut nachvollziehbar.				
11	Ich habe mich bei der Nutzung des Hörtests sicher gefühlt.				
12	Die Einweisung für den Hörtest war verständlich.				
13	Die notwendigen Voreinstellungen für den Test waren gut machbar.				

14	Ich wusste nicht, was ich zu tun habe während des Hörtests.				
15	Mir war der Ablauf des Tests klar.				
16	Für mich dauert der Test zu lange.				
17	Es ist ein sehr guter Test zur Selbstüberprüfung meines Gehörs.				
18	Der Hörtest verschafft mir einen guten Überblick über mein Hörvermögen.				
19	Mir gefällt der Hörtest sehr gut.				
20	Ich bin mit dem Hörtest unzufrieden.				
21	Für mich eignet sich der Test nicht.				
22	Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen.				
23	Ich denke, dass der Test Argumente liefert, um zu einem Fachmann (Hals-Nasen-Ohren-Arzt oder Akustiker) zu gehen.				
24	Ich glaube, dass das Testergebnis mein tatsächliches Hörvermögen widerspiegelt.				
25	Ich verstehe das Ergebnis des Hörtests nicht.				
26	Ich sehe keinen Nutzen in dem Ergebnis des Tests.				
27	Ist eine grafische Darstellung vorhanden	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
28	Wenn ja: Wie finden Sie die Darstellung Ihres Ergebnisses?	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mittelmäßig <input type="checkbox"/> schlecht			

**Kommentare/Bemerkungen:**


Nr.	Aussage	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu
29	Ich interessiere mich generell für technische Neuentwicklungen.				
30	Ich fühle mich im Umgang mit dem Internet (PC)/dem Smartphone überfordert.				
31	Die Bedienung eines PCs/ Smartphones fällt mir leicht.				
32	Ich nutze das Internet/mein Smartphone/den PC regelmäßig.				
33	Ich vertraue moderner Technik.				
34	Ich fühle mich sicher mit der Nutzung des Internets.				

**Kommentare/Bemerkungen:**


**Bewertung:**

Welcher Test war für Sie der beste?                       1    2    3    4    5

Weil: \_\_\_\_\_

Welcher Test war für Sie der schlechteste?                       1    2    3    4    5

Weil: \_\_\_\_\_

**Vielen Dank für Ihre Mithilfe!**

## Studie Online-/App-Hörtest – Fragebogen für den Versuchsleiter

Bitte vor Testbeginn ausfüllen:

Test Nr. \_\_\_\_\_

Kürzel	Alter	Geschlecht	Datum
		<input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w	

Erfahrungen mit Hörtests? Erfahrungen mit Online- oder App-Hörtests? Wenn ja, welche?


Bitte nach jedem Test ausfüllen:

Nr.	Aussage	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu
1	Der Proband hat die notwendigen Buttons richtig angeklickt. Strichliste: (für nicht richtig geklickt)				
2	Der Proband konnte mit der Maus/ dem Touchfeld umgehen.				
3	Die Bedienung des Tests fällt dem Probanden leicht.				
4	Die notwendige Lautstärke für den Test konnte der Proband eigenständig einstellen.				
5	Ich musste dem Probanden oft helfen. Strichliste:				
6	Der Proband hat oft nachfragt. Strichliste:				
7	Der Proband konnte die Kopfhörer richtig einsetzen.	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			

Wo traten Schwierigkeiten/Probleme auf?


Der Proband kam mit dem Test am besten klar:  1  2  3  4  5

Der Proband kam mit dem Test am schlechtesten klar:  1  2  3  4  5

**Dauer des Tests**

Nr.	Einweisung	Tontest	Sprachtest	Gesamter Test
1				
2				
3				
4				
5				

**Gesamteindruck**

Nr.	
1	
2	
3	
4	
5	

## 9. Verzeichnisse

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1:	Messaufbau für die technische Bewertung der Hörscreenings	14
Abb. 4.2:	Referenzkurven der Kemar-Messung	15
Abb. 4.3:	Maximal zu erreichende Pegel der ausgewählten Hörscreenings	16
Abb. 5.1:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Audiogramme der Probanden	21
Abb. 5.2:	Versuchsablauf	23
Abb. 5.3:	Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Gesamteinschätzung“	25
Abb. 5.4:	Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Einweisung“	27
Abb. 5.5:	Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Bedienbarkeit“	28
Abb. 5.6:	Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Resultate der Hörscreenings“	30
Abb. 5.7:	Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Design“	31
Abb. 5.8:	Frage nach dem Vorhandensein einer Grafik mit anschließender Bewertung	32
Abb. 5.9:	„Bestes“ und „schlechtestes“ Hörscreeing (Probanden)	33
Abb. 5.10:	Begründungen für die Bewertung	34
Abb. 5.11:	Verteilung der Antworten zur Kategorie „Nutzung von Technik“	35
Abb. 5.12:	Bewertungen der Hörscreenings in der Kategorie „Beobachtung“	37
Abb. 5.13:	„Bestes“ und „schlechtestes“ Hörscreeing (Versuchsleiter)	38
Abb. 5.14:	Häufigste Beobachtungen und Kommentare je Hörscreeing	39
Abb. 5.15:	Messergebnisse von Screening 8 im Vergleich zum $PTA_4$ der einzelnen Probanden	41
Abb. 5.16:	Differenz zwischen Screening 39 und Unity 2 (Mittelwerte und Standardabweichungen)	42
Abb. 5.17:	Differenz zwischen Screening 28 und Unity 2 (Mittelwerte und Standardabweichungen)	43
Abb. 5.18:	Messergebnisse von Screening 52 im Vergleich zum $PTA_4$ der einzelnen Probanden	44
Abb. 5.19:	Differenz zwischen Screening 37 und Unity 2 (Mittelwerte und Standardabweichungen)	45
Abb. 5.20:	Darstellung der Zeiten für die Hörscreenings von den Probanden unterteilt in durchschnittliche Zeit und Vergleich des Alters und der Zeit	46
Abb. 5.21:	Vergleich zwischen der Aussage „Der Hörtest dauert für mich nicht zu lange“ und der tatsächlichen Testdauer	47



Abb. 6.1:	Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Für mich dauert der Hörtest nicht zu lange“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei Hörscreening 39	49
Abb. 6.2:	Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Für mich dauert der Hörtest nicht zu lange“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei Screening 28	51
Abb. 6.3:	Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Ich glaube, dass das Testergebnis mein tatsächliches Hörvermögen widerspiegelt“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei Hörscreening 8	52
Abb. 6.4:	Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Für den Hörtest habe ich keine Hilfe benötigt“ und „Ich kann mir vorstellen, den Hörtest regelmäßig zur Überprüfung meines Gehörs zu nutzen“ bei Screening 37	53
Abb. 6.5:	Vergleich zwischen der Bewertung der Aussagen „Ich sehe einen Nutzen im Ergebnis des Tests“ und „Mir gefällt der Hörtest sehr gut und ich bin zufrieden“ bei Screening 52	54
Abb. 8.1:	Reihenfolge der Hörscreenings je Proband	61

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Hörscreenings, die am Kemar gemessen wurden	9
Tabelle 4.2: Betrachtete Online-Hörscreenings	10
Tabelle 4.3: Betrachtete App-Hörscreenings (iOS)	11
Tabelle 4.4: Betrachtete App-Hörscreenings (Android)	12

### 9.3 Literaturverzeichnis

- [1] Heike Scholz. *95 Prozent der Weltbevölkerung besitzen mindestens ein Handy*. <https://www.mobile-zeitgeist.com/95-prozent-der-weltbevölkerung-besitzen-mindestens-ein-handy/> (Abgerufen am 31.07.2017 um 15:00 Uhr).
- [2] Patrick Schumann. *Der Global Digital Report 2016: Aktuelle Zahlen zur weltweiten Internetnutzung*. <http://www.jobambition.de/global-digital-report-2016/> (Abgerufen am 31.07.2017 um 15:50 Uhr).
- [3] Bayerische Telemedallianz. *Was ist Telemedizin?* <http://www.telemedallianz.de/witm.html> (Abgerufen am 24.08.2017 um 17:40 Uhr). 2015.
- [4] AOK - Die Gesundheitskasse für Niedersachsen. *Telemedizin - Vorsorge der Zukunft?* Hg. von Jörg Reytarowski. <http://www.gesundheit-nds.de/CMS/images/stories/PDFs/Reytarowski-Telemedizin.pdf> (Abgerufen am 24.08.2017 um 17:30 Uhr).
- [5] Hörakustik. „Warten bis der Arzt kommt: Studie zu Onlinemedizin“. In: *Hörakustik 7* (2017), S. 14.
- [6] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. *Hörtest per Telefon*. <https://www.unioldenburg.de/mediphsyikakustik/mediphsyik/presse/nachrichten/news-2008/hoertest-per-telefon/> (Abgerufen am 16.08.2017 um 15:00 Uhr).
- [7] Fördergemeinschaft Gutes Hören. <https://www.fgh-info.de/> (Abgerufen am 02.08.2017 um 11:38 Uhr).
- [8] Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen (LfM). *Mit Medien leben: gewusst wie! - Ausgabe 2: Der Sinn des Hörens*. [http://lfmpublikationen.lfm-nrw.de/index.php?view=product\\_detail&product\\_id=117](http://lfmpublikationen.lfm-nrw.de/index.php?view=product_detail&product_id=117) (Abgerufen am 31.07.2017 um 11:47 Uhr).
- [9] Sperrvermerk
- [10] Sperrvermerk
- [11] Sperrvermerk
- [12] Sperrvermerk
- [13] Marcin Masalski, Tomasz Grysiński und Tomasz Krecicki. „Biological calibration for web-based hearing tests: Evaluation of the methods“. In: *Journal of medical Internet research* 16.1 (2014). Hg. von Gunther Eysenbach. url: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3906690/>.
- [14] Roland Laszig, Ernst Lehnhardt, Gerhard Hesse, Thomas Janssen und Martin Kinkel. *Praxis der Audiometrie*. 9. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2009.
- [15] Christin Bexelius, Louise Honeth, Alexandra Ekman, Mikael Eriksson, Sven Sandin, Dan Bagger-Sjöbäck und Jan-Eric Litton. „Evaluation of an internet-based hearing test—comparison with established methods for detection of hearing loss“. In: *Journal of medical Internet research* 10.4 (2008). url: <http://doi.org/10.2196/jmir.1065>.
- [16] Allen Foulad, Peggy Bui und Hamid Djalilian. „Automated Audiometry Using Apple iOS Based Application Technology“. In: *Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 149.5 (2013). PMID: 23963611, S. 700–706. doi: 10.1177/0194599813501461. eprint: <http://dx.doi.org/10.1177/0194599813501461>. url: <http://dx.doi.org/10.1177/0194599813501461>.

- [17] Megan Corry, Michael Sanders und Grant D. Searchfield. „The accuracy and reliability of an app-based audiometer using consumer headphones: Pure tone audiometry in a normal hearing group“. In: *International Journal of Audiology* (2017). PMID: 28485673, S. 1–5.  
doi: 10.1080/14992027.2017.1321791. eprint: <http://dx.doi.org/10.1080/14992027.2017.1321791>. url: <http://dx.doi.org/10.1080/14992027.2017.1321791>.
- [18] DIN ISO 8253-1:2010. *Audiometrische Prüfverfahren - Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen*. 2011.
- [19] DIN EN ISO 389. *Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung audiometrischer Geräte*.
- [20] DIN EN ISO 60645-1. *Audiometer - Teil 1: Reintonaudiometrie*. 2015.
- [21] DIN IEC 60645-2. *Audiometer - Teil 2: Geräte für die Sprachaudiometrie*. 2010.
- [22] ANSI S3.6. *American National Standard: Specification for Audiometers*. 1996.
- [23] Jan-Henning Schmidt, Matthias Blau und Thomas Fedtke. „Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Testsignalen: Kalibrierung und Messunsicherheiten.“ In: *Z Audiol* 2012; 51 (2) 73-81 (2012), S. 73–81.
- [24] DIN 45 630-2. *Grundlagen der Schallmessung: Normalkurven gleicher Lautstärkepegel*. 1967.
- [25] Handy Oey und Volker Mellert. *Neuvermessung der Normalkurven gleicher Lautstärkepegel*. [http://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_1999-2008/data/articles/000332.pdf](http://pub.dega-akustik.de/DAGA_1999-2008/data/articles/000332.pdf) (Abgerufen am 07.08.2017 um 10:28 Uhr).
- [26] Harvey Dillon. *Hearing Aids*. Second Edition. Stuttgart: Thieme, 2012.
- [27] Georg v. Békésy. „A New Audiometer“. In: *Acta Oto-Laryngologica* 35.5-6 (1947), S. 411– 422. doi: 10.3109/00016484709123756. eprint: <http://dx.doi.org/10.3109/00016484709123756>. url: <http://dx.doi.org/10.3109/00016484709123756>.
- [28] Robert H. Margolis und Donald E. Morgan. „Automated Pure-Tone Audiometry: An Analysis of Capacity, Need, and Benefit“. In: *American Journal of Audiology* 17.2 (2008), S. 109–113. doi: 10.1044/1059-0889(2008/07-0047). url: [http://dx.doi.org/10.1044/1059-0889\(2008/07-0047\)](http://dx.doi.org/10.1044/1059-0889(2008/07-0047)).
- [29] Claudia Spix und Maria Blettner. „Screening“. In: *Deutsches Ärzteblatt International* 109.21 (2012), S. 385–390. doi: 10.3238/arztebl.2012.0385. url: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/126279/Screening>.
- [30] Sperrvermerk
- [31] Sperrvermerk
- [32] Sperrvermerk
- [33] Sperrvermerk
- [34] Sperrvermerk
- [35] Sperrvermerk
- [36] Sperrvermerk
- [37] Sperrvermerk
- [38] Sperrvermerk
- [39] Sperrvermerk

- [40] Sperrvermerk
- [41] Sperrvermerk
- [42] Sperrvermerk
- [43] Sperrvermerk
- [44] Sperrvermerk
- [45] Sperrvermerk
- [46] Sperrvermerk
- [47] Sperrvermerk
- [48] Sperrvermerk
- [49] Sperrvermerk
- [50] Sperrvermerk
- [51] Sperrvermerk
- [52] Sperrvermerk
- [53] Sperrvermerk
- [54] Sperrvermerk
- [55] Sperrvermerk
- [56] Sperrvermerk
- [57] Sperrvermerk
- [58] Sperrvermerk
- [59] Sperrvermerk
- [60] Sperrvermerk
- [61] Sperrvermerk
- [62] Sperrvermerk
- [63] Sperrvermerk
- [64] Sperrvermerk
- [65] Sperrvermerk
- [66] Sperrvermerk
- [67] Sperrvermerk
- [68] Sperrvermerk
- [69] Sperrvermerk
- [70] Sperrvermerk
- [71] Sperrvermerk
- [72] Sperrvermerk
- [73] Sperrvermerk
- [74] Sperrvermerk
- [75] Sperrvermerk

- [76] Sperrvermerk
- [77] Sperrvermerk
- [78] Sperrvermerk
- [79] Sperrvermerk
- [80] Sperrvermerk
- [81] Sperrvermerk
- [82] Sperrvermerk
- [83] Sperrvermerk
- [84] Sperrvermerk
- [85] Rohde & Schwarz - Geschäftsbereich Messtechnik. *Betriebshandbuch - Audio Analyzer R&S® UPL/UPL16/UPL66 Band 1*. Version 11. [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manufacturers/gb\\_1/u/upl/UPL\\_BHB\\_11d.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manufacturers/gb_1/u/upl/UPL_BHB_11d.pdf) (Abgerufen am 10.08.2017 um 15:18 Uhr).
- [86] US Department of Health and Human Services Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health und Center for Biologics Evaluation and Research. *Mobile Medical Applications - Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff*. <https://www.fda.gov/downloads/medicaldevices/deviceregulationandguidance/guidancedocuments/ucm263366.pdf> (Abgerufen am 13.05.2017 um 18:40 Uhr).
- [87] Gudrun Porath. „Gesundheit per App“. In: *Hörakustik* 7 (2017), S. 66–68.
- [88] Statpages. *Latin Squares for Constructing "Williams Designs", Balanced for First-order Carry-over (Residual) Effects*. <http://statpages.info/latinsq.html> (Abgerufen am 06.06.17 um 16:09 Uhr).
- [89] Jürgen Bortz und Gustav A. Lienert. *Kurzgefaßte Statistik für die klinische Forschung - Ein praktischer Leitfaden für die Analyse kleiner Stichproben*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2013.