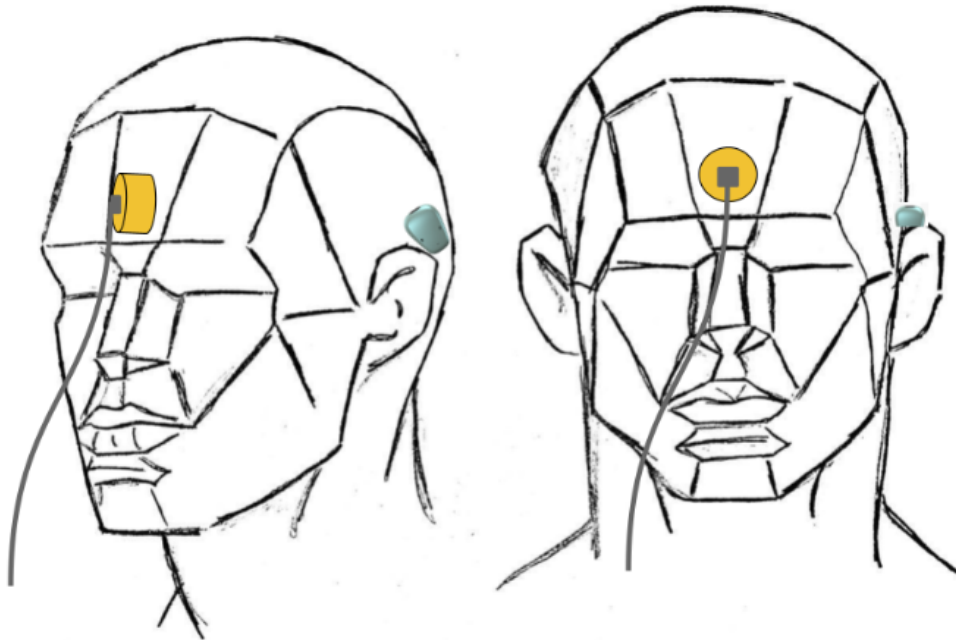




CHALMERS



# Benledningsstetoskop för bedömning av benledningshörapparaters ljudkvalitet

Ett projekt för att utveckla en standardiserad klinisk metod för bedömning av ljudkvalitet hos benledningshörapparater

Kandidatarbete på Institutionen för Elektroteknik

Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider,  
Marianne Garabetian, Ebba Luttu, Nazmiyeh Sadiyeh

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

KANDIDATARBETE 2023

# Benledningsstetoskop för bedömning av benledningshörapparaters ljudkvalitet

Ett projekt för att utveckla en standardiserad klinisk metod  
för bedömning av ljudkvalitet hos benledningshörapparater

Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider,  
Marianne Garabetian, Ebba Luttu, Nazmiyeh Sadiyeh



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
*Avdelningen för Signalbehandling och Medicinsk teknik*  
EENX16-23-49  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023

Benledningsstetoskop för bedömning av benledningshörapparaters ljudkvalitet  
Ett projekt för att utveckla en standardiserad klinisk metod för bedömning av  
ljudkvalitet hos benledningshörapparater  
Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider, Marianne Garabetian, Ebba Luttu,  
Nazmiyeh Sadiyeh

© Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider, Marianne Garabetian, Ebba  
Luttu, Nazmiyeh Sadiyeh, 2023.

Handledare: Karl-Johan Fredén Jansson, Institutionen för Elektroteknik  
Examinator: Sabine Reinfeldt, Institutionen för Elektroteknik

Kandidatarbete 2023  
Institutionen för Elektroteknik  
Avdelningen för Signalbehandling och Medicinsk teknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Benledningsstetoskopets hudmikrofon placerad i pannan på person med  
benledningshörapparat bakom örat.

Göteborg, Sverige 2023

Benledningsstetoskop för bedömning av benledningshörapparaters ljudkvalitet  
Ett projekt för att utveckla en standardiserad klinisk metod för bedömning av  
ljudkvalitet hos benledningshörapparater  
Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider, Marianne Garabetian, Ebba Luttu,  
Nazmiyeh Sadiyeh  
Institutionen för Elektroteknik  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammandrag

Hörselnedsättning är ett omfattande problem i Sverige och kan vara medfött eller förvärvat och påverka olika delar av hörselorganet. Om hörselnedsättningen är lokaliserad i ytter- eller mellanörat förhindras ljudvågorna från att nå hörselnerven och vibrationerna måste då nå innerörat via skallbenet, så kallad benledning. Benledningshörapparater kan antingen fästas med en skruv som genomtränger huden eller en apparat som innefattar ett implantat. Den sistnämnda är generellt svårare att bedöma ljudkvaliteten hos och felsöka eftersom det är omöjligt att veta hur patienter med implantat upplever ljudet. Det finns en prototyp av ett benledningsstetoskop som består av en hudmikrofon och hörlurar vilket skulle kunna användas för att lyssna på patientens benledda ljud i realtid. Projektet syftar till att undersöka om och i så fall hur detta stetoskop kan användas i kliniskt bruk. I början av projektet genomfördes en intervju med en audionom för att få större förståelse för deras arbete och hur ett benledningsstetoskop hade varit gynnsamt. För att besvara frågeställningarna så genomfördes tester som innefattade olika stimuli och olika positioner. Från testerna kunde det konstateras att hudmikrofonens position har en relativt liten betydelse för ljudkvaliteten då det går att höra benledningsljudet med stetoskopet på samtliga positioner. Däremot valdes mitten av pannan som den mest fördelaktiga positionen då den ansågs mest praktisk för en klinisk tillämpning. Det konstaterades även att en variation av stimuli är nödvändigt för att fastställa olika slags fel på hörapparaten. Resultaten användes för att framställa ett protokoll för användning av benledningsstetoskopet.

Nyckelord: hörselnedsättning, benledning, hörapparat, hudmikrofon, benledningsstetoskop, benledningshörapparat, hörselorgan, audionom.

Bone conduction stethoscope for assessment of the sound quality of bone conduction hearing aids

A project aimed at developing a standardized clinical method for evaluating the sound quality of bone conduction hearing aids

Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider, Marianne Garabetian, Ebba Luttu, Nazmiyeh Sadiyeh

Department of Electrical Engineering  
Chalmers University of Technology

## Abstract

Hearing impairment is an extensive problem in Sweden that can be congenital or acquired and affect different parts of the auditory system. If the hearing impairment is localised in the outer or middle ear, the sound waves are prevented from reaching the auditory nerve and the vibrations must then reach the inner ear via the skull bone, known as bone conduction. Bone conduction hearing aids can be attached with a screw that penetrates the skin or a device that includes an implant. The latter is generally more difficult to assess the sound quality of and troubleshoot because it is impossible to know how patients with implants experience the sound. There is a prototype of a bone conduction stethoscope that consists of a skin microphone and headphones which could be used to listen to the patient's bone-conducted sound in real-time. The project aims to investigate whether and how this stethoscope can be used in clinical practice. At the beginning of the project, an interview was conducted with an audiologist to gain a better understanding of their work and how a bone conduction stethoscope would have been beneficial. To answer the research questions, tests were carried out that included different stimuli and different positions. From the tests, it was found that the position of the skin microphone has a relatively small impact regarding sound quality as bone-conducted sound can be heard with the stethoscope in all positions. However, the middle of the forehead was chosen as the most advantageous position as it was considered most practical for clinical application. It was also found that a variation of stimuli is necessary to determine different types of malfunctions in the hearing aid. The results were used to develop a protocol for the use of the bone conduction stethoscope.

Keywords: hearing impairment, bone conduction, hearing aids, skin microphone, bone conduction stethoscope, auditory system, audiologist.

## Förord

Ett stort tack vill vi framför allt rikta till vår examinator Sabine Reinfeldt och handledare Karl-Johan Fredén Jansson som lagt mycket tid på att inspirera, vägleda och uppmuntra oss i projektet. Ni möjliggjorde vårt kandidatarbete. Vi vill också tacka Ann-Charlotte Persson, audionomen som ställde upp på intervjuer och gav oss sin professionella åsikt på det protokoll vi utformat. Utan henne hade vi inte fått samma förståelse för yrket och dagens problematik.

Matilda Alexandersson, Johan Berg, Alva Cider, Marianne Garabetian, Ebba Luttu, Nazmiyeh Sadiyeh, Göteborg, Maj 2023

# Förkortningar och akronymer

Nedan följer en lista över de akronymer och förkortningar som används i denna rapport:

|        |                              |
|--------|------------------------------|
| BAHA   | Bone Anchored Hearing Aid    |
| BCI    | Bone Conduction Implant      |
| RMS    | Root Mean Square             |
| dB HL  | Decibel Hearing Level        |
| dB SPL | Decibel Sound Pressure Level |

# Innehåll

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Förkortningar och akronymer</b>  | <b>vi</b> |
| <b>Figurer</b>  | <b>ix</b> |
| <b>Tabeller</b>   | <b>xi</b> |
| <b>1 Introduktion</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Syfte . . . . .   | 2         |
| 1.2 Precisering av frågeställningen . . . . .   | 3         |
| 1.3 Avgränsningar . . . . .   | 3         |
| <b>2 Teori</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1 Ljudvågor . . . . .   | 4         |
| 2.2 Hörselorganet . . . . .   | 5         |
| 2.3 Luft- och benledning . . . . .  | 5         |
| 2.4 Hörselnedsättning och hörapparater . . . . .                                      | 6         |
| 2.5 Attenuering av ljudvågor vid benledning . . . . .                                 | 7         |
| 2.6 Hörseltest i form av ton- och talaudiometri . . . . .                             | 7         |
| 2.7 Audionomens arbete . . . . .  | 8         |
| 2.8 Hudmikrofon och benledningsstetoskop . . . . .                                    | 9         |
| 2.9 Övertoner och distorsion . . . . .  | 11        |
| 2.10 Mätfel . . . . .   | 11        |
| 2.10.1 Stokastiska mätfel . . . . .   | 11        |
| 2.10.2 Systematiska mätfel . . . . .  | 12        |
| <b>3 Metod</b>  | <b>14</b> |
| 3.1 Litteraturstudie . . . . .  | 14        |
| 3.2 Intervju med en audionom . . . . .  | 14        |
| 3.3 Utrustning . . . . .  | 15        |
| 3.4 Testprocedur . . . . .  | 16        |
| 3.4.1 Test 1: Val och utprovning av positioner . . . . .                              | 20        |
| 3.4.2 Test 2: BAHA och hudmikrofon kopplad till signalanalysator . . . . .            | 20        |
| 3.4.3 Test 3: Benledare och hudmikrofon kopplad till signalanalysator . . . . .       | 21        |
| 3.4.4 Test 4: Kvalitativ bedömning av konversation med benledningsstetoskop . . . . . | 23        |
| 3.4.5 Test 5: Talaudiometri med benledningsstetoskop . . . . .                        | 23        |
| 3.5 Framtagning av protokoll för benledningstetoskop . . . . .                        | 24        |

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>Resultat</b>  | <b>26</b> |
| 4.1      | Intervju med en audionom . . . . .   | 26        |
| 4.2      | Utförda tester . . . . .   | 27        |
| 4.2.1    | Test 1: Val och utprovning av positioner . . . . .                                     | 27        |
| 4.2.2    | Test 2: BAHA och hudmikrofon kopplad till signalanalysator .                           | 28        |
| 4.2.3    | Test 3: Benledare och hudmikrofon kopplad till signalanalysator                        | 29        |
| 4.2.4    | Test 4: Kvalitativ bedömning av konversation med benled-<br>ningsstetoskop . . . . .   | 32        |
| 4.2.5    | Test 5: Talaudiometri med benledningsstetoskop . . . . .                               | 33        |
| 4.3      | Framtagning av protokoll för benledningstetoskop . . . . .                             | 34        |
| <b>5</b> | <b>Diskussion</b>  | <b>36</b> |
| 5.1      | Utförda tester och framtagning av protokoll . . . . .                                  | 36        |
| 5.2      | Framtida studier och förbättringsmöjligheter . . . . .                                 | 39        |
| 5.3      | Samhälleliga och etiska aspekter . . . . .   | 40        |
| <b>6</b> | <b>Slutsats</b>  | <b>41</b> |
|          | <b>Litteraturförteckning</b>   | <b>42</b> |
| <b>A</b> | <b>Bilagor</b>   | <b>I</b>  |
| A.1      | Första intervjun med en audionom . . . . .   | I         |
| A.2      | Resterande resultat från de kvalitativa bedömningarna av konversa-<br>tioner . . . . . | III       |
| A.3      | Exempel på ord från talaudiometritestet . . . . .                                      | VIII      |
| A.4      | Andra intervjun med en audionom . . . . .  | IX        |
| A.5      | Slutgiltiga versionen av protokollet . . . . .   | X         |

# Figurer

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Audiogram och talbanen som audionomen använder i sitt arbete när hörselundersökningar genomförs. . . . .  | 8  |
| 2.2 | Hudmikrofonen med strömkabel är infäst i hörselkåpan tillsammans med det elastiska bandet som används för att fästa hela enheten på patientens huvud. . . . .   | 9  |
| 2.3 | Blockschema över uppsättningen av benledningsstetoskopets komponenter. Hudmikrofonen består av en mikrofon och en förstärkare som sitter ihop med en kopplingsdosa bestående av batterier. Hörlurarna gör det möjligt att avlyssna benledningsljudet från mikrofonen i realtid. . . . . | 10 |
| 2.4 | Användning av benledningsstetoskopet. Personen till vänster representerar en patient med hudmikrofonen och dess isolering placerad på pannan. Personen till höger representerar en audionom som lyssnar på ljudet från mikrofonen. . . . .  | 10 |
| 3.1 | Metoden för uppmätning av positionerna P1, P2 och P3 där hudmikrofonen placerades under mätningarna. . . . .  | 17 |
| 3.2 | Placeringen av hudmikrofonen för samtliga undersökta positioner på huvudet, det vill säga P1-P7. . . . .  | 17 |
| 3.3 | Testmall för test 3 med benledaren B81 på testpersonerna T4-T6, inkluderande positionerna P1-P7 med stimuli i form av frekvenssväp med amplituden $0,6 V_{RMS}$ . Kolumnerna 1-6 representerar test i mätserien. . . . .  | 18 |
| 3.4 | Uppsättning av benledningsstetoskopet som består av komponenterna hörlurar, kopplingsdosa, ljudisolering och hudmikrofon. . . . .   | 19 |
| 3.5 | Blockschemat illustrerar uppsättning av utrustning för test 2 med BAHA och hudmikrofon som är kopplad till signalanalysatorn. . . . .   | 21 |
| 3.6 | Blockschemat illustrerar uppsättningen av utrustningen för test 3 med benledaren och hudmikrofonen kopplade till signalanalysatorn. . . . .   | 22 |
| 3.7 | Blockschema illustrerar uppsättningen av utrustningen för test 5 med talaudiometri och en testperson som lyssnar med benledningsstetoskop. . . . .  | 24 |
| 4.1 | Uppmätt spektral effekttäthet som funktion av frekvens för T4 med BAHA och hudmikrofon på P1 vid stimulering med S1-S4 vid 50 dB HL. . . . .  | 28 |

---

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.2 | Medelvärde av $\mu$ ritat tillsammans med skattad standardavvikelse $s$ av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens. Uppmätt för T4 med hudmikrofon på P1 vid stimulering med frekvenssvep. . . . . | 29 |
| 4.3 | Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssvep för T4. . . . .                           | 30 |
| 4.4 | Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssvep för T5. . . . .                           | 30 |
| 4.5 | Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssvep för T6. . . . .                           | 31 |
| 4.6 | Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud på T4, T5 och T6 som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssvep. . . . .                 | 31 |

# Tabeller

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 3.1 | De olika stimuli som undersöktes under testerna samt deras förkortningar. . . . .  | 16  |
| 3.2 | De olika positionerna som undersöktes under testerna, deras förkortningar samt beskrivning av placeringen. . . . .   | 16  |
| 3.3 | Utrustningen som har använts under mätningarna. . . . .  | 19  |
| 4.1 | Resultatet av första försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testpersonen T5 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T4 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T4 och hade en konversation. . . . . | 33  |
| 4.2 | Medelvärde och median i procent av antal rätt ord för varje position i test 5. . . . .   | 34  |
| 4.3 | Resultat av första testet av protokollet. Jämförelse mellan lyssnarnas ljudupplevelse via benledningsstetoskop och via hörapparat av olika stimuli. Detta är ett exempel där protokollet testades med BAHAn utan konstaterat fel. . . . .  | 35  |
| A.1 | Resultatet av andra försöket för kvalitativ bedömning av konversation: Testpersonen T1 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T2 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T2 och hade en konversation. . . . .  | III |
| A.2 | Resultatet av tredje försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testperson T6 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T5 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T5 och hade en konversation. . . . .   | IV  |
| A.3 | Resultatet av fjärde försöket för kvalitativ bedömning av konversation: Testperson T4 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T3 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T3 och hade en konversation. . . . .   | V   |

---

|     |  |      |
|-----|--|------|
| A.4 | Resultatet av femte försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testpersonen T3 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T1 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T1 och hade en konversation. . . . .  | VI   |
| A.5 | Resultatet av sjätte försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testpersonen T2 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T6 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T6 och hade en konversation. . . . . | VII  |
| A.6 | Exempel på ordlista med enstaviga ord som spelades upp under test 5, det vill säga testet med talaudiometri med benledningsstetoskop. .  | VIII |

# 1

## Introduktion

Idag lever drygt 1,5 miljoner människor i Sverige med en hörselnedsättning som mer eller mindre påverkar deras vardag negativt [1]. Hörselnedsättningar ses idag som ett allvarligt hälsoproblem samt har visat sig öka risken för depression hos vuxna i alla åldersgrupper [2]. Hos barn har hörselnedsättningar visat sig öka svårigheterna för att utveckla språk och tal och har även visats ha skadliga effekter på utveckling, utbildning och kognitiva förmågor om de inte får den rehabilitering de behöver [3].

Hörselnedsättningar kan vara antingen medfödda eller förvärvade och den vanligaste orsaken till nedsatt hörsel är att hörselorganet åldras och hörseln gradvis försvinner [4]. Omkring 20 procent av befolkningen har en hörselnedsättning och bland de över 65 år är andelen nästan 40 procent [5]. I samhället idag beräknas den största procentuella befolkningsökningen vara i den äldsta befolkningsgruppen, de som är över 80 år. De beräknas ha ökat med 50 procent år 2028 och då vara 255 000 fler [5]. En befolkningsökning bland äldre kommer innebära att även antalet människor med hörselnedsättningar ökar och därmed också behovet av hörapparater.

Behandling av bestående hörselnedsättningar sker oftast genom att patienten får en eller två hörapparater [6]. Det finns många olika sorters hörapparater, de vanligaste placeras bakom eller i örat men det finns även apparater med implantat där delar av hörapparaten opereras in. Hörapparaten måste ställas in specifikt efter patientens hörselnedsättning av en audionom. De traditionella hörapparater som placeras i hörselgången och endast förstärker ljudet är enkla för en audionom att bedöma och felsöka då de kan undersöka hörapparaten genom att använda den själv. Det är däremot svårare med hörapparater som förbättrar hörseln genom att överföra vibrationer till skallbenet och innerörat, så kallade benledningshörapparater. Den här typen av hörapparat kan antingen ha ett fäste som genomtränger huden eller ett som är helt inopererat där vibrationerna överförs till skallbenet. Det är då bara möjligt att kontrollera den externa delen av hörapparaten medan implantatet, som även det bidrar till ljudupplevelsen och kan ha felaktigheter, inte går att bedöma i dagsläget. Därmed blir dessa hörapparater svårare att kalibrera och även svårare att finna källan till missljud hos. Mer information om dessa hörapparater finns i teorin under avsnitt 2.3.

Det finns idag ingen standardiserad metod för bedömning av ljudkvalitet hos benledningshörapparater vilket medför att det blir stora skillnader på vilken hjälp patienten får beroende på audionomen. Hälso- och sjukvården ska enligt lag i Sverige vara jämlik vilket innebär att faktorer som ålder, kön med flera inte ska påverka vilken vård patienten får [7]. För att uppfylla jämlikhet krävs att arbetssätten inom vården är standardiserade och utgår från nationella vårdprogram som baseras på bästa medicinska beprövade kunskap.

Det har utvecklats ny teknik som tros kunna vara användbar för bedömning av ljudkvaliteten hos benledningshörapparater [8]. En av dessa innovationer är en hudmikrofon som kan ta upp de ljud som strålar ut från en persons skallben genom huden [9]. Det har i tidigare studier undersökts hur väl hudmikrofonen tar upp ljudet som strålar ut. Med denna mikrofon har en forskargrupp på Chalmers tagit fram en prototyp på ett så kallat benledningstetoskop. Benledningstetoskopet går att likna med det klassiska stetoskopet som sjukvårdspersonal bland annat använder för att lyssna på patienters hjärtan. Istället för ett munstycke och rör har benledningstetoskopet en hudmikrofon och hörlurar vilket gör det möjligt att lyssna på en persons benledda ljud i realtid. Denna innovation tros kunna få stor användning vid bedömning av benledningshörapparater. Behovet av att undersöka om och hur den kan implementeras i vården på ett enkelt och användbart sätt kvarstår dock vilket ska undersökas i följande arbete.

### 1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka hur en hudmikrofon kan användas som ett benledningstetoskop i kliniskt bruk för bedömning av benledningshörapparaters ljudkvalitet. Benledningstetoskopet tros kunna möjliggöra avlyssning av hörapparaterna vilket i sin tur kan underlätta audionomers felsökningsarbete. Eventuella besvär för patienten skulle då kunna klassificeras genom ett protokoll och på så sätt hjälpa audionomen att kunna förbättra upplevelsen av hörapparaten.

## 1.2 Precisering av frågeställningen

Uppgiften i innevarande projekt är att undersöka hur ett benledningsstetoskop kan användas i kliniskt bruk för att audionomer enklare och mer träffsäkert ska kunna lyssna på och bedöma ljudkvalitet hos benledningshörapparater. För att genomföra detta behöver de bästa mätpositionerna på patienten identifieras och ett protokoll för användning av benledningsstetoskopet konstrueras. Om benledningsstetoskopet ska börja användas som standard för undersökning av personer som behöver hjälp med sin benledningshörapparat behöver metoden med stetoskopet vara användarvänlig och tillförlitlig. Stetoskopet behöver dessutom vara relativt bekvämt för patienten och väl överföra ljudet till audionomen utan för stora nivåer av brus. Med tanke på detta kan frågeställningarna formuleras:

Hur kan ett benledningsstetoskop användas i kliniskt bruk?

- Vilken/vilka mätposition(er) är mest fördelaktiga för undersökningen?
- Vilket/vilka stimulus/stimuli är mest fördelaktiga för undersökningen?
- Hur kan en standardiserad metod för bedömning av ljudkvalitet hos benledningshörapparater se ut?

## 1.3 Avgränsningar

För att undersöka hur benledningsstetoskopet kan användas kliniskt görs några avgränsningar för att arbetet ska kunna genomföras under den begränsade tidsperioden. Under arbetets gång kommer mätningar genomföras på projektgruppen som består av sex personer. Ingen i gruppen har någon bekräftad hörselnedsättning och därmed ingen benförankrad hörapparat. Projektet kommer därför innefatta mätningar med endast en BAHA på softband, och alltså endast indirekt benledning genom huden. I rapporten benämns den endast som BAHA. Hörapparaten kommer också begränsas till att alltid sitta bakom patientens vänstra öra på mastoidutskottet. Om mätningarna ger goda resultat med indirekt benledning så väntas metoden med benledningsstetoskopet fungera likvärdigt eller bättre på patienter med hörapparater baserade på direkt benledning.

Dessutom kommer alla mätningar endast genomföras i hörsellabbet på Chalmers och därmed kommer endast de instrument och prototyper som finns tillgängliga där att användas. Positionerna av hudmikrofonen kommer begränsas till olika ställen på huvudet, och ingen annanstans på kroppen. Lösningen ska också vara anpassad för audionomer och inga extra kunskaper kring signalbehandling eller dylikt ska behövas.

# 2

## Teori

Grundläggande teori inom ämnen som ljud, hörsel, hörseltester, hörapparater, bedömning av mätfel och audionomens arbete presenteras nedan för att underlätta förståelsen av senare delar av rapporten. Dessutom finns det en grundligande beskrivning av hudmikrofonen och benledningsstetoskopet som har använts i projektet.

### 2.1 Ljudvågor

Ljud är mekaniska longitudinella vågor som breder ut sig i ett medium, till exempel luft [10]. De ljud som kan uppfattas av människan befinner sig i det hörbara frekvensområdet på ca 20-20 000 Hz, men ljudet måste också vara över hörtröskelnivån vilket varierar för olika frekvenser. Ljudstyrka kvantifieras ofta av dB (decibel) som är ett mått på ljudtrycksnivån, det vill säga den lufttrycksvariation som orsakas av ljudet i förhållande till ett specificerat referenstryck. Generellt används dB SPL, där 0 dB SPL är per definition ett ljudtryck på 20  $\mu\text{Pa}$  [11]. Kliniskt används istället oftast dB HL, där normal hörsel för en ung person används som referensnivå, det vill säga 0 dB HL [12]. Ljudnivåer på cirka 50 dB HL uppfattas ofta som behagliga, medan nivåer överstigande 85 dB HL potentiellt kan orsaka skada på hörselsystemet [13]. Örat är som känsligast vid mellanfrekvenserna (ca 1000 - 4000 Hz) som är vanliga i tal [14]. Vid de frekvenserna är tröskeln för att uppfatta ljud ca 20  $\mu\text{Pa}$ , vilket är betydligt lägre än vid de övriga frekvenserna. Örat kan däremot klara av en högre ljudnivå utan obehag för de högre respektive lägre frekvenserna.

Ljudvågorna färdas genom att komprimera partiklarna i mediumet, och tätheten av dessa påverkar ljudets hastighet [10]. Alla medium har en specifik vågimpedans som avser förhållandet mellan ljudtrycket och partiklarnas hastighet. Ett medium med högre vågimpedans än exempelvis luft kommer orsaka att ljudvågorna färdas med en högre hastighet än i luften eftersom partiklarna ligger tätare. När ljudvågorna rör sig från ett medium till ett annat så kommer en del av vågorna att reflekteras och en del kommer att transmittas, det vill säga fortsätta röra sig i det nya mediet. Skillnaden i vågimpedans mellan två medium avgör hur stor del av vågen som reflekteras respektive transmittas. Skillnaden mellan hud och luft är så pass stor att majoriteten av ljudvågorna kommer reflekteras vid hudytan vilket är anledningen till att vi i vardagen hör nästan enbart med luftledning. De vågorna som transmittas in genom huden är så pass få att vi inte uppfattar dem.

## 2.2 Hörselorganet

Hörselorganet är uppdelat i ytter-, mellan- och innerörat [14]. Ytterörat delas in i öronmusslan, vilket är den del av örat som är synlig och den yttre delen av hörselgången som sträcker sig fram till trumhinnan. Öronmusslan är viktig för att avgöra vilken riktning ljudet i omgivningen kommer ifrån. I hörselgången förstärks vissa frekvenser då det kan uppstå resonans. Mellanörat består av trumhinnan, hammaren, städet och stigbygeln. Vibrationerna som når trumhinnan överförs genom de tre hörselbenen till innerörat. Stigbygeln består av en platta som ligger emot det ovala fönstret, vilket är ett membran som avgränsar mellan- och innerörat. Vibrationerna från trumhinnan gör att stigbygeln trycks mot detta membran vilket medför en tryckökning i innerörat. Muskler i hammaren och städet skyddar hela hörselorganet genom att justera överföringen av vibrationerna från trumhinnan till det ovala fönstret. Mellanörat för vibrationerna vidare till innerörat som består av tre bäggångar, två hinnsäckar och hörselsnäcken. I hörselsnäcken finns tre vätskefyllda gångar och basilarmembranet. Basilarmembranet består av hårceller som överför vibrationerna från mellanörat till elektriska impulser som leds till hjärnan. Vilka hårceller som aktiveras beror på vibrationens frekvens och detta gör det möjligt för hjärnan att skilja olika frekvenser åt.

## 2.3 Luft- och benledning

Ljud som uppfattas i hjärnan kan nå hörselsnäcken via både luft- och benledning [15]. Luftledning innebär att ljudvågor i omgivningen färdas genom hörselgången till mellanörats delar och de vibrationer som når innerörat tolkas av hjärnan som ett ljud.

Benledning innebär att vibrationer induceras i skallbenet och direkt når innerörat som sedan likt luftledning tolkas av hjärnan som ljud [16]. Vibrationerna kan även propagera genom andra benstrukturer, vävnader och vätskor i kroppen som sedan når innerörat och detta fenomen benämns ofta som kroppsegen ledning [17]. Benledning är en term som ofta används för att beskriva både vibrationerna som induceras i skallbenet och bidraget från vibrationerna som sprider sig genom resterande kroppen. Det är svårt att särskilja var bidraget kommer ifrån då det inte är möjligt att separera kroppen från skallen. När en person talar färdas vibrationer från stämbanden och munhålan genom skallbenet och direkt till innerörat vilket innebär att personen i fråga hör sin egen röst via både luft- och benledning [15]. Ljudvågor från omgivningen leds till största del via luftledning men även via benledning förutsatt ett friskt hörselorgan. Majoriteten av ljudvågorna i omgivningen kommer dock reflekteras vid hudytan vilket är varför människor främst hör via luftledning.

## 2.4 Hörselnedsättning och hörapparater

Det finns två huvudtyper av hörselnedsättning, konduktiv och sensorineural [18]. Hörselnedsättningen kan vara både bilateral eller unilateral, det vill säga dubbelsidigt alternativt att bara ena sidan är drabbad [19]. Hörselnedsättningen kan även orsakas av problem i det centrala nervsystemet. Konduktiv hörselnedsättning innebär att problematiken är lokaliserad i yttörat eller mellanörat och förmågan att leda vibrationerna vidare till innerörat är nedsatt alternativt förlorad. Sensorineural hörselnedsättning beror istället på nedsättning i innerörat, vanligen i hörselnäcken eller hörselnerven. Den sensorineurala hörseln försämras med åldern. Detta fenomen kallas presbyakusi och det är framför allt förmågan att höra höga frekvenser som försämras [14].

Patienter som lider av sensorineural hörselnedsättning kan få hjälp av en traditionell hörapparat som förstärker ljudet [20]. Patienter som lider av konduktiv alternativt kombinerad hörselnedsättning kan inte få lika bra hjälp av en traditionell hörapparat då problematiken sitter i yttör- eller mellanörat och vibrationernas väg till innerörat är skadad [21]. Att ljudet förstärks med en traditionell hörapparat är inte gynnsamt i detta fall eftersom vibrationerna inte kommer att nå hörselnäcken. Patienter med denna typ av hörselnedsättning kan istället dra nytta av en benledningshörapparat eftersom vibrationerna då överförs direkt från skallbenet till innerörat. Även patienter med konduktiv unilateral hörselnedsättning kan dra nytta av en benledningshörapparat som överför vibrationer från den drabbade sidan av hörselsystemet till innerörat på den friska sidan via benledning [22].

Det finns ett flertal olika varianter av benledningshörapparater. Den tidiga varianten av benledningshörapparat går ut på att en ljudprocessor fästs mot huden bakom yttörat [23]. Detta medför en del utmaningar då vibrationerna dämpas i stor grad när de genomtränger huden för att nå skallbenet. Apparaten måste då tryckas hårt mot huden för att uppnå en bra ljudkvalitet vilket leder till obehag och smärta för patienten. Benledningshörapparater kan även fästas antingen perkutant eller transkutant. Vid användning av en perkutan apparat genomtränger hörapparatens fäste huden, medan en transkutan enhet innefattar ett implantat [24]. Benförantrade hörapparater, Bone Anchored Hearing Aid (BAHA), är ett perkutant alternativ där apparaten fästs med en titanskruv som förs in till skallbenet genom huden bakom yttörat [25]. Komplikationer kopplade till permanent hudpenetration är en infektionsrisk och en viss risk för att skruven lossnar. Den senaste innovationen inom benledningshörapparater, Bone Conduction Implant (BCI), innefattar ett implantat som förankras i skallbenet under huden bakom yttörat genom ett kirurgiskt ingrepp. Ljudvågorna fångas upp av en ljudprocessor på utsidan av huden som sedan leder signalen vidare till implantatet där ljudet omvandlas till vibrationer i skallbenet.

## 2.5 Attenuering av ljudvågor vid benledning

Gradvis dämpning av vibrationer som leds in till hörselnerven via benledning och registreras av hjärnan som ljud, beror på vävnadstypen som vibrationerna propagerar genom. Överföringen av ljud via benledning sker främst i skallbenet, eftersom det har den högsta benledningsförmågan [26]. Efter skallbenet är det mjukvävnader som överför vibrationerna med störst effekt. Den främsta dämpningen av vibrationer sker i hjärnan tillsammans med cerebrospinalvätskan, hjärn- och ryggmärgsvätskan, vilket resulterar i att överföringen av benledningsljud inte är optimal i dessa områden. Attenueringen av vibrationerna innan de når skallbenet beror på dämpningen i huden, där tjockleken på huden spelar en betydande roll för mängden attenuation [22]. Geometrin på huvudet och skallbenets tjocklek är faktorer som också påverkar överföringen av benledningsljud genom att påverka graden av attenuation. Placeringen av stimuleringen är också en faktor som påverkar hur väl vibrationerna propagerar och överförs till hörselnerven. En placering närmare hörselnäcken är i allmänhet mer effektiv för överföring av ljud via benledning, därmed placeras vanligen denna typ av hörapparat på mastoidutskottet bakom ytterörat.

## 2.6 Hörseltest i form av ton- och talaudiometri

Tonaudiometri är en diagnostisk metod vars syfte är att mäta hörseltröskeln, det vill säga den lägsta ljudnivån i en specifik frekvens som en individ kan uppfatta [27]. Undersökningen för hörseltröskeln för luftledning genomförs i ett ljudisolerat rum där patienten får lyssna på toner med olika frekvens via ett par hörlurar. Vid uppfattning av tonen trycker patienten på en knapp. De toner som patienten uppfattar analyseras för att därefter kunna fastställa hörseltröskeln. När benledningsförmågan ska undersökas med hjälp av tonaudiometri används en benledare som placeras mot skallbenet antingen bakom örat eller på pannan. Benledaren sänder likt hörlurarna ut toner med olika frekvens. Patienten ska därefter trycka på en knapp för att bekräfta att tonen uppfattas. Vanligtvis utförs en tonaudiometri där både luftlednings- och benledningsförmågan analyseras samtidigt. Genom att kombinera dessa två test kan man undersöka om hörselnedsättningen är lokaliserad i mellanörat eller innerörat. Det förekommer vissa fall då patienter har förmåga att höra toner väl under en tonaudiometri, men trots detta kan ha svårigheter att uppfatta tal. I sådana fall är det vanligt att genomföra både en ton- och talaudiometri för att få en mer komplett bild av patientens hörselkapacitet.

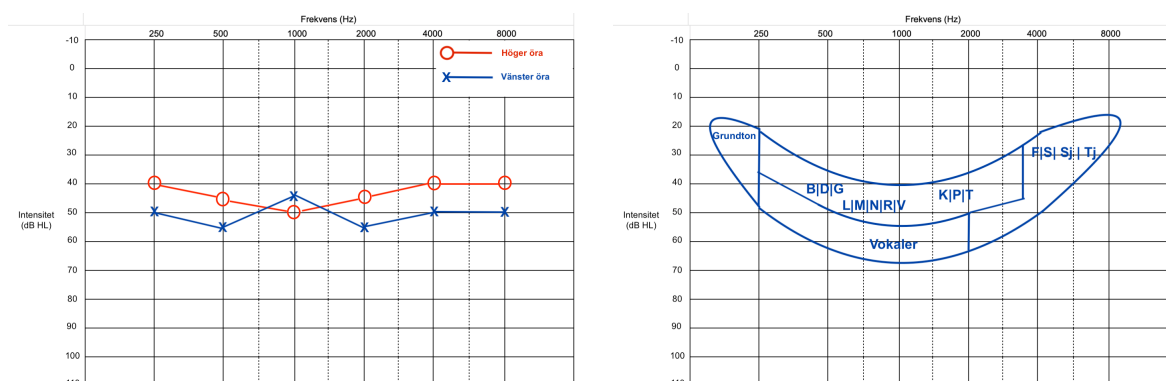
Talaudiometri är en form av audiometrisk undersökning som avser att kvantitativt mäta en individs hörförmåga och förmåga att uppfatta och förstå tal [27]. Denna undersökning utförs oftast i ett ljudisolerat rum där patienten lyssnar på olika ord och fraser via hörlurar vid olika ljudnivåer. Därefter ombeds patienten att upprepa de ord och fraser som de hört. Det finns flera olika metoder för att utföra talaudiometri, såsom att mäta tröskelvärdet som avser den lägsta ljudnivå där patienten kan höra ord och fraser. En annan metod är att mäta röstigenkänningspoäng, vilket testar patientens förmåga att höra och korrekt identifiera ord som presenteras vid

olika ljudnivåer. Talaudiometri används i klinisk praxis för att diagnostisera hörselnedsättning och fastställa graden av hörselbortfall. Vidare kan undersökningen hjälpa till att övervaka behandlingsresultat och underlätta val av lämpligt hörselhjälpmedel, exempelvis hörapparater.

## 2.7 Audionomens arbete

Vid misstänkt hörselskada så undersöker audionomen typ och grad av hörselnedsättning genom att genomföra en talaudiometri samt tonaudiometri för både luftledning och benledning [27]. Audionomen arbetar också med rehabilitering och habilitering av hörselskadade samt utreder patientens eventuella försämringar av sin hörselnedsättning. För patienter med en inopererad eller delvis inopererad benledningshörapparat kan det vara svårare för audionomen att veta orsaken till de uppkomna problemen. En utmaning blir då att avgöra om patienten hör sämre på grund av att det har blivit något fel med hörapparaten, eller om hörselnerven eller innerörat har skadats på något sätt.

Audionomen använder sig av ett audiogram, se Figur 2.1a för att redovisa och analysera resultatet från tonaudiometrin [27]. Ett audiogram är en graf som illustrerar förhållandet mellan ljudstyrka (dB HL) och frekvens (Hz), det vill säga vilken ljudstyrka som är nödvändig för att höra en viss frekvens. Hörselkurvan i ett audiogram utgörs av patientens hörseltrösklar för respektive frekvens i intervallet 125-8000 Hz. Patientens hörseltröskel är den minimala ljudstyrkan som krävs för att höra en viss frekvens. Vid de lägre frekvenserna i intervallet ligger vokalerna medan konsonanterna ligger vid de högre frekvenserna. De frekvenser som ligger inom intervallet för talljud kan illustreras med en så kallad "talbanan" i audiogrammet vilket kan användas för att indikera vilka talljud som patienten kan uppfatta, se Figur 2.1b.



(a) Exempel på ett audiogram som används för att redovisa och analysera hörseltrösklar från en hörselundersökning.

(b) Illustration av talbanan i ett audiogram. De olika delarna visar var vokal- respektive konsonantljud ligger i frekvens och ljudstyrka.

**Figur 2.1:** Audiogram och talbanan som audionomen använder i sitt arbete när hörselundersökningar genomförs.

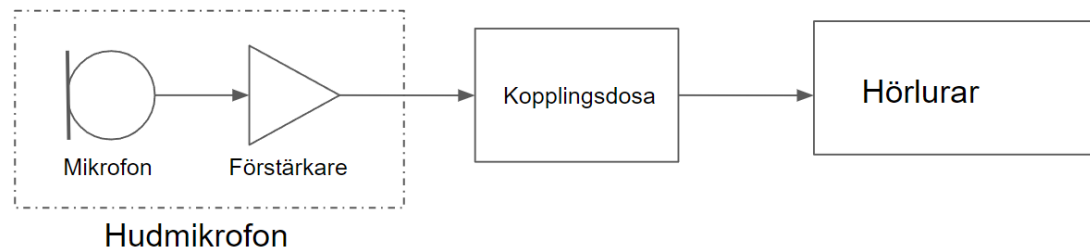
## 2.8 Hudmikrofon och benledningsstetoskop

Under projektets gång används en prototyp för ett benledningsstetoskop med en hudmikrofon som hade kunnat användas för att underlätta audionomens arbete för bedömning av benledningshörapparater. Hudmikrofonen fästs mot huden och hålls fast av en hörselkåpa med hjälp av ett elastiskt band. Hörselkåpan isolerar mikrofonen för att minimera ljudintag från luften, se Figur 2.2.



**Figur 2.2:** Hudmikrofonen med strömkabel är infäst i hörselkåpan tillsammans med det elastiska bandet som används för att fästa hela enheten på patientens huvud.

Mikrofonen plockar upp vibrationer från huden som kan tolkas av ett lämpligt mätinstrument, t.ex. en signalanalysator eller oscilloskop [9]. Hudmikrofonen har genom forskning visat sig kunna användas för objektiva mätningar av hörbarheten hos benledningshörapparater genom att analysera de elektriska utsignalerna från apparaten, men är i dagsläget inte klinisk implementerad [28]. Genom att bearbeta signalerna och koppla ihop mikrofonen med ett par hörlurar kan ljudet från en patients skallben avlyssnas i realtid, detta illustreras i Figur 2.3 och 2.4. På så vis antas audionomen kunna jämföra sin egen upplevelse av ljudet med det patienten uppper och därmed vid eventuell felsökning avgöra om felet är kopplat till patientens hörapparat eller försämrad hörselnedsättning, vilket är en viktig början till att lösa problemet.



**Figur 2.3:** Blockschema över uppsättningen av benledningsstetoskopets komponenter. Hudmikrofonen består av en mikrofon och en förstärkare som sitter ihop med en kopplingsdosa bestående av batterier. Hörlurarna gör det möjligt att avlyssna benledningsljudet från mikrofonen i realtid.



**Figur 2.4:** Användning av benledningsstetoskopet. Personen till vänster representerar en patient med hudmikrofonen och dess isolering placerad på pannan. Personen till höger representerar en audionom som lyssnar på ljudet från mikrofonen.

## 2.9 Övertoner och distorsion

En ton består av flera deltoner där den deltonen med lägst frekvens kallas grundton och resten kallas för övertoner [29]. Övertonerna är deltoner med frekvenser som är heltalsmultiplar av grundtonen, och tillsammans med grundtonen bildar dem en komplex ton. Vanligtvis så hörs grundtonen tydligast, men övertonerna kan också uppfattas vid ansträngning.

Total harmonisk distorsion, THD, är ett mått på en signals övertonsdistorsion och avser förhållandet mellan den totala harmoniska komponenten och den fundamentala komponenten [30]. Med andra ord så är det summan av övertonernas RMS-amplitud dividerat med grundtonens RMS-amplitud och detta uttrycks vanligtvis i procent, se ekvation 2.1. THD kan användas för att ta reda på vilka övertoner som finns i utsignalen och ger ett värde på hur mycket signalen har förvrängts.

$$THD = \sqrt{\frac{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_n^2}{H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_n^2}} 100\% \quad (2.1)$$

Ekvation 2.1 beskriver formeln för total harmonisk distorsion enligt standard IEC 60268-3 [31].  $H_n$  beskriver magnituden av den  $n$ :te övertonen där  $n$  är antalet övertoner och  $H_1$  är RMS-magnituden av grundtonen.

## 2.10 Mätfel

Mätfel kan klassificeras som stokastiska och systematiska [32]. Det är dock inte alltid uppenbart vilken kategori ett mätfel tillhör då det finns en gråzon. Dessutom kan mätmetoden vara avgörande för vilken kategori som är mest korrekt.

### 2.10.1 Stokastiska mätfel

Stokastiska mätfel kan i sin tur delas upp i slumpmässiga variationer hos mätvärden och slumpmässiga variationer av det sanna värdet [32]. Mätfel som klassificeras som stokastiska har även egenskapen att variationerna är snabba i förhållande till mätningstiden, de ska alltså påverka varje mätning på ett oförutsägbart sätt.

Dessa mätfel kan ofta någorlunda korrekt beskrivas som normalfördelade, även känt som gaussisk fördelade [32]. Mätvärdet,  $x$ , med stokastiska mätfel kan därmed beskrivas av normalfördelningens sannolikhetstäthet enligt ekvation 2.2.

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^2/\sigma^2} \quad (2.2)$$

Ekvation 2.2 kallas även för normalfördelningens PDF, från engelskans probability density function [33]. Utöver mätvärdet beror denna PDF på medelvärdet  $\mu$  och standardavvikelsen  $\sigma$ . PDFen kan användas för att beräkna sannolikheten att  $x$

hamnar i ett intervall genom integrera ekvation 2.2 med avseende på  $x$  och med intervallet som integrationsgränser. Att normalfördelningen är vanligt förekommande och en ofta berättigad approximation, mer generellt, kan motiveras med centrala gränsvärdessatsen. Det säger förenklat om den resulterade slumpmässiga variabeln är en summa av  $n$  stycken oberoende variabler, som inte nödvändigtvis behöver vara normalfördelade, kommer den konvergera mot en normalfördelad variabel då  $n \rightarrow \infty$ .

Mer generellt kan medelvärdet  $\mu$  beräknas numeriskt med ekvation 2.3

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.3)$$

där  $N$  är antalet mätvärden [32]. För en normalfördelad variabel är även medelvärdet väntevärdet  $E[X] = \mu$ , de vill säga den skattning som ger det minsta kvadratfelet [33]. Medelvärdesbildning är därmed en metod för att minska inverkan av stokastiska fel på mätningarna [32]. Vid begränsad tillgång på data ger ekvation 2.3 endast en skattning av medelvärdet, som inte nödvändigtvis överensstämmer med det sanna medelvärdet. Hur säker denna skattning är kan undersökas med ett så kallat t-test.

Standardavvikelsen  $\sigma$  kan ses som ett mått på bredden av ekvation 2.2 [33]. Mer specifikt är det som väntevärdet av avvikelsen mellan  $X$  och  $\mu$  enligt  $\sigma = \sqrt{E[(X - \mu)^2]}$ . En stor standardavvikelse säger alltså att  $X$  förväntas avvika mycket från  $\mu$  och vice versa. Vid normalfördelning förväntas ungefär, förutsatt att mätningsserien är väntevärdesriktig, två tredjedelar av mätningarna ligga inom en standardavvikelse från medelvärdet. Dessa mätvärden kan benämnas som typiska värden. Om standardavvikelsen är okänd kan en skattning  $s$ , som även kallas spridning, beräknas baserat på  $n$  mätpunkter enligt ekvation 2.4 [32].

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (2.4)$$

### 2.10.2 Systematiska mätfel

Till skillnad från stokastiska mätfel kan systematiska inte behandlas med de statistiska verktygen som beskrivits i sektion 2.10.1 [32]. Generellt kan inte heller dess inverkan motverkas med enbart fler mätningar. Dessa fel är långsamma och påverkar mätningarna på ett förutsägbart sätt. De systematiska variationerna kan dessutom påverka såväl det sanna värdet som det uppmätta. För att minska inverkan av dessa fel krävs i allmänhet att man förbättrar mätningens metod. Systematiska mätfel är även svåra att skatta storleken på med kvantitativa metoder. Istället får dess inverkan bedömas baserat på rimliga antaganden.

Det finns flera generella potentiella källor till systematiska mätfel. Ett exempel är felkalibrerade mätinstrument som systematiskt visar ett missvisande resultat, såsom alltid ett för högt mätvärde [32]. Denna felkälla kan vara av stor betydelse när

mycket exakta mätningar krävs. Även ett välkalibrerat instrument kan ge upphov till systematiska fel om de används i ogynnsamma miljöer, såsom i för höga eller låga temperaturer.

En annan felkälla till systematiska fel är ofullständiga modeller av mätprocessen [32]. I idealfallet skulle mätningen modelleras med hänsyn till alla tänkbara felkällor. I komplexa mätningar finns många av dem och förenklingar kan behöva göras. När modellen av mätningen förenklas införs därmed ett systematiskt fel i mätningen. Dessutom kan systematiska fel införas även om felkällor tas i modellen då det ofta är svårt att fastställa korrekta korrektionstermer. Alltså kan även en mer detaljerad modell kan därmed ge upphov till systematiska fel.

# 3

## Metod

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet för projektets genomförande. Projektets metod är uppdelat i fyra huvuddelar; litteraturstudie, en intervju med en audionom, testprocedurer samt framtagning av protokoll för benledningstetoskop.

### 3.1 Litteraturstudie

Inledningsvis hade gruppen varierande kunskap om benledningshörsel och forskning kring det. Artiklar och examinatorns doktorsavhandling tillhandahölls därför för att sätta sig in i ämnet. Under projektets gång har ytterligare inläsning genomförts för att underlätta förståelsen för hur benledningsstetoskopet skulle kunna användas kliniskt. För att genomföra litteraturstudien har främst sökmotorerna Google, Google scholar och Pubmed tillämpats. I syfte att söka mer generell fakta om ämnet användes Google, medan mer avancerade sökningar av specifik information genomfördes med hjälp av Pubmed. De källor som valdes ut genom användningen av sökmotorerna valdes baserat på en kombination av relevans och trovärdighet. Upphovspersonens expertis inom ämnet, publiceringsdatumet för källan, och graden av överensstämmelse med andra oberoende källor utgjorde exempel på faktorer som påverkade valet av de källor som innefattades i litteraturstudien.

### 3.2 Intervju med en audionom

För att kunna utveckla ett protokoll för användning av benledningsstetoskopet krävdes en fördjupad förståelse och kunskap om audionomyrket och hur bedömning av ljudkvaliteten hos hörapparater genomförs i dagsläget. Därför genomfördes en intervju med en erfaren audionom, där förberedda frågor om yrkets praktik och patientundersökningar ställdes. Utifrån audionomens svar under intervjun sammanställdes och analyserades den insamlade informationen. Detta gav grund för utformningen av testerna samt en grundläggande struktur för protokollets utveckling.

Intervjufrågorna handlade framför allt om hur bedömning av hörapparater ser ut i dagsläget, vad en audionom gör i sitt yrke och vad denne saknar och ser för begränsningar i dagens undersökningar. Frågorna som ställdes under intervjun går att se i Bilaga A.1.

### 3.3 Utrustning

Nedan följer den utrustning som använts för att genomföra mätningarna.

- Dynamisk signalanalysator Agilent 35670A (KEYSIGHT, Colorado; USA) är ett instrument som kan ge mätningar av laboratoriekvalitet i fält, särskilt för lågfrekventa signaler som tal eller mekanisk vibration [34]. Instrumentet har effekt- och linjära spektrumanalyslägen, vilket gör det lämpligt för att mäta amplituden och fasen för periodiska signaler och medelvärdesberäkning av icke-repetitiva signaler. Den kan också användas som ett lågfrekvent oscilloskop, och signaler kan ses i både tids- och frekvensdomänerna samtidigt. Signalanalysatorn 35670A kan testa upp till tre enheter samtidigt med fyra kanaler, där kanal ett fungerar som den gemensamma referensen och kanalerna två, tre och fyra som svarskanaler. Instrumentet kan bland annat skicka ut ett frekvenssvav som utsignal.
- Klinisk audiometer AC40 (Interacoustics, Danmark) är tvåkanalig och används kliniskt [35]. Den har flera funktioner, som exempelvis högfrekvent audiometri upp till 20 kHz och kommunikation med patient via mikrofon. Den inkluderar även flera ljudexempel och kan spela upp till exempel en variabel ton vilket är en ton som varierar kring ett bestämt medelvärde.
- Effektförstärkare RB-976MkII (Rotel, Minnesota; USA) är en högkvalitativ ljudenhet designad för att ge hög ljudprestanda med sex kanaler att välja mellan [36]. Den har effektnivåer på upp till 60 watt per kanal.
- Effektförstärkare LPA01 (Newtons4th Ltd, Storbritannien) är en förstärkare anpassad för laboratoriemiljö [37]. Den har en bred bandbredd för signaler och kan ge förstärkning upp till tio gånger.
- Högtalare ODEON 100 (Heco, Tyskland) används för att leverera ljudstimuli till testpersonerna som sitter i ett ljudisolerat rum [38].
- Benledaren Radioear B81 (Radioear Corporation, Pennsylvania; USA) är en givare som är utformad för att överföra ljud genom benledning istället för genom luftledning [39]. Denna typ av teknik används för att upprätthålla hörsel under situationer där hörselkommunikation är nödvändig samtidigt som situationen kräver uppmärksamhet på omgivningen. Den är också användbar i medicinska tillämpningar, exempelvis vid hörseltester. Den är kompatibel med olika ljudutrustningar, till exempel tvåvägsradio, kommunikationsheadset och andra ljudenheter.
- BAHA Intenso (Cochlear, Australien) är en benledningshörapparat anpassad för att sättas mot en titanskruv som patienten har fäst i skallbenet [40]. I detta arbete är den fäst på en solid plastbit på ett softband som trycker den mot huvudet och på så sätt ger indirekt benledning genom huden.

### 3.4 Testprocedur

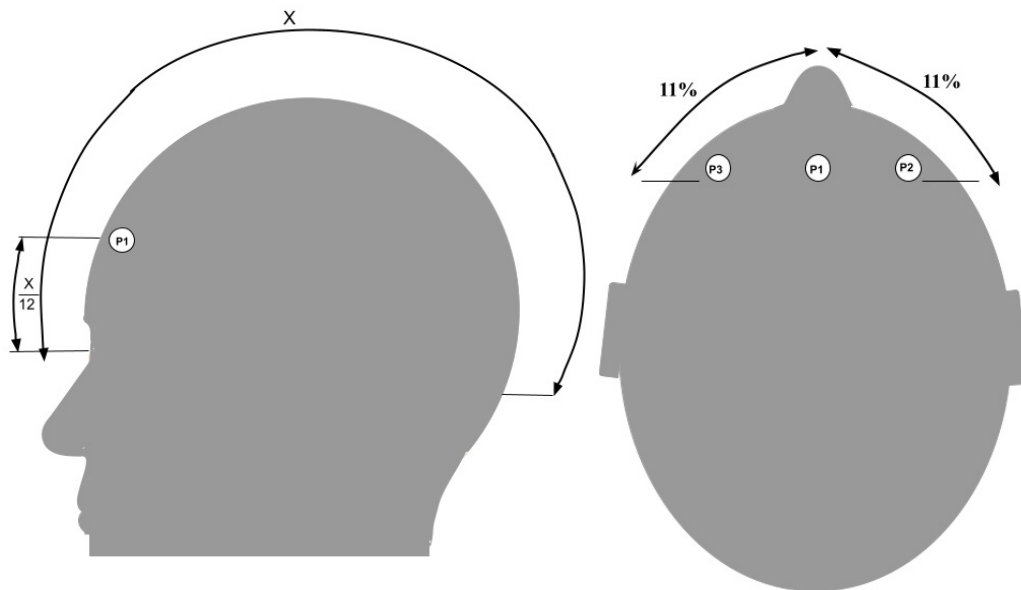
För att komplettera protokollets innehåll behövde data samlas in. Denna data inhämtades genom olika typer av tester utförda i hörsellabbet på Chalmers. Testerna utfördes av och på medlemmarna inom projektgruppen, vilket innebar totalt sex testpersoner. Alla tester genomfördes inte på alla testpersoner på grund av tidsbegränsningen på projektet. Varje testperson tilldelades en förkortning T1-T6, till exempel förkortas testperson 1 till T1. På samma sätt tilldelades varje stimulus en förkortning S1-S5, se Tabell 3.1, och varje position en förkortning P1-P7, se Tabell 3.2. Figur 3.2 visar en illustration på de undersökta positionerna.

| Benämning | Typ av stimuli              |
|-----------|-----------------------------|
| S1        | Lågfrekvent ton (500 Hz)    |
| S2        | Medelfrekvent ton (1000 Hz) |
| S3        | Medelfrekvent ton (2000 Hz) |
| S4        | Högfrekvent ton (4000 Hz)   |
| S5        | Förinspelat tal             |

**Tabell 3.1:** De olika stimuli som undersöktes under testerna samt deras förkortningar.

| Benämning | Position        | Beskrivning  |
|-----------|-----------------|--|
| P1        | Panna mitten    | Placerad på en tolfte del av sträckan från mitt emellan ögonen bak till occiput (nackbenet) som indikeras av en bula, se Figur 3.1a. |
| P2        | Panna höger     | Placerad utifrån P1 och sen adderas 11 % av omkretsen av skallen ut åt höger, se Figur 3.1b.   |
| P3        | Panna vänster   | Placerad utifrån P1 och sen adderas 11 % av omkretsen av skallen ut åt vänster, se Figur 3.1b.                                       |
| P4        | Mitt på huvudet | Placerad mitt på huvudet utefter visuell bedömning.  |
| P5        | Hakan           | Placerad mitt på hakan utefter visuell bedömning.  |
| P6        | Kindben vänster | Placerad på kindbenet precis under yttre vänster ögonvrå.  |
| P7        | Kindben höger   | Placerad på kindbenet precis under yttre höger ögonvrå.  |

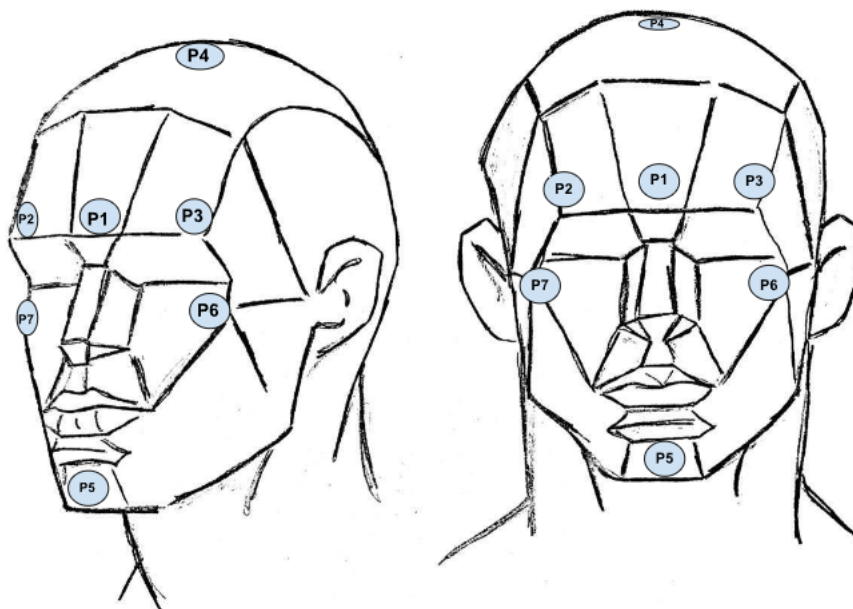
**Tabell 3.2:** De olika positionerna som undersöktes under testerna, deras förkortningar samt beskrivning av placeringen.



(a) Sträckan från mitt emellan ögonen bak till occiput representeras av  $x$ . P1 placerades på en tolftedel av sträckan  $x$ .

(b) Placering av P2 och P3 i förhållande till P1 beräknat på 11% av huvudets omkrets.

**Figur 3.1:** Metoden för uppmätning av positionerna P1, P2 och P3 där hudmikrofonen placerades under mätningarna.



**Figur 3.2:** Placeringen av hudmikrofonen för samtliga undersökta positioner på huvudet, det vill säga P1-P7.

För att möjliggöra en smidig dokumentation och identifiering av varje utförd test i projektet krävdes utformning av testmallar, se exempel i Figur 3.3. I testmallarna

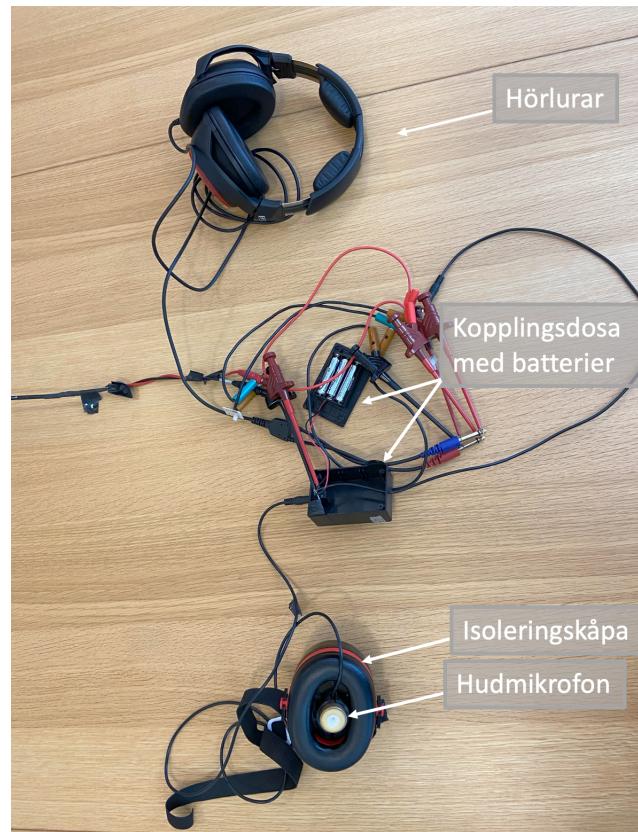
inkluderades information om vilka stimuli och positioner som testades, exempelvis vilken ljudnivå som använts, vilken testperson som testet utförts på och om hörapparaten är påslagen eller inte. Att ha en översikt över vilka tester som utförts och vilka som återstår att utföra underlättade bland annat planeringen av testningen.

| Testperson | Position | 0,6 VRMS                            | 0,6 VRMS                            | 0,6 VRMS                            | 0,6 VRMS                            | 0,6 VRMS                            | 0,6 VRMS                            |
|------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|            |          | 1                                   | 2                                   | 3                                   | 4                                   | 5                                   | 6                                   |
| T4         | P1       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P2       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P3       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P4       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
|            | P5       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
|            | P6       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P7       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| T5         | P1       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P2       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P3       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P4       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
|            | P5       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
|            | P6       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P7       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| T6         | P1       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P2       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P3       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P4       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
|            | P5       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
|            | P6       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|            | P7       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

**Figur 3.3:** Testmall för test 3 med benledaren B81 på testpersonerna T4-T6, inkluderande positionerna P1-P7 med stimuli i form av frekvenssväp med amplituden  $0,6 V_{\text{RMS}}$ . Kolumnerna 1-6 representerar test i mätserien.

Testerna bestod av två huvuddelar: testning av optimal position för hudmikrofon och testning av optimalt stimuli för att bedöma funktionaliteten av hörapparaten med hänsyn till patientens behov. Detta genomfördes med kvalitativa och kvantitativa tester. Utrustningen som användes för testerna finns i Tabell 3.3.

BAHAn placerades alltid så att inga andra komponenter eller något hår hamnade på eller över den eftersom det då lätt uppstod ringningar, skrapljud eller liknande. Hudmikrofonen placerades alltid med en hörselkåpa över för att isolera den från luftledda ljud. Benledningsstetoskopets uppsättning går att se i Figur 3.4.



**Figur 3.4:** Uppsättning av benledningsstetoskopet som består av komponenterna hörlurar, kopplingsdosa, ljudisolering och hudmikrofon.

|                               |
|-------------------------------|
| Utrustning                    |
| Dynamisk signalanalysator     |
| Klinisk audiometer            |
| Hudmikrofon                   |
| Benledare                     |
| BAHA på softband              |
| Hörselkåpa med elastiskt band |
| Två olika effektförstärkare   |
| Högtalare                     |

**Tabell 3.3:** Utrustningen som har använts under mätningarna.

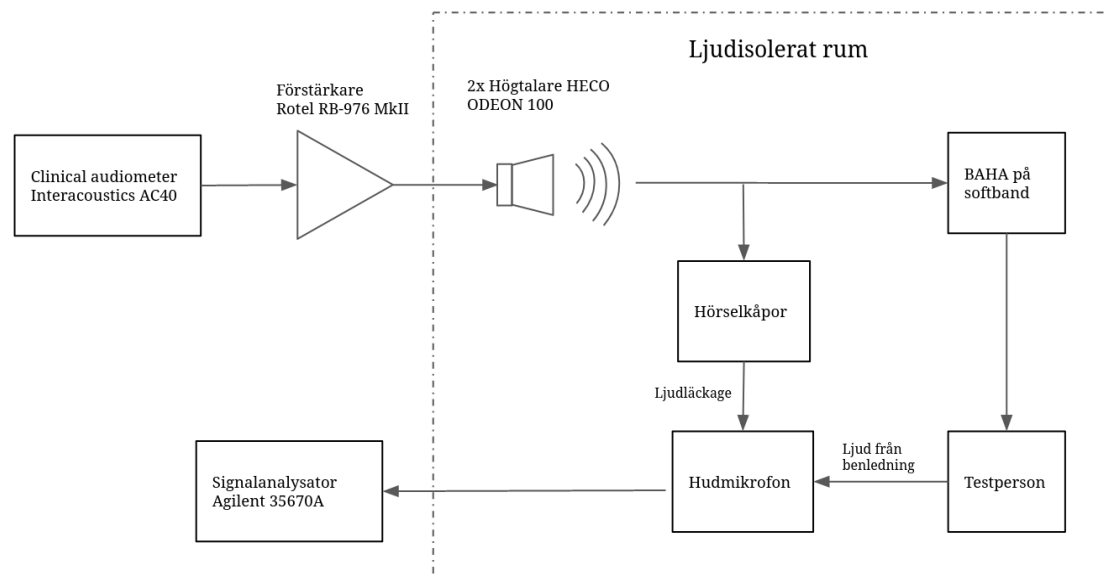
### 3.4.1 Test 1: Val och utprovning av positioner

För att avgöra lämpligheten för olika testpositioner undersöktes flera positioner i ansiktet där hudmikrofonen kunde komma nära skallbenet, det vill säga positioner som hade minimalt med underhudsfett, se Tabell 3.2. Positionerna i pannan mättes ut på samtliga testpersoner med inspiration från hur elektroder placeras vid en elektroencefalografi (EEG-undersökning). Skallens storlek mättes och hudmikrofonen placerades med lika stort procentuellt avstånd från centrum för positionerna för varje test. P1 var en tolfte del av sträckan från mitt emellan ögonen bak till occiput som indikeras av en knöl i kraniets bakre del, se Figur 3.1a. Omkretsen av skallen mättes upp och av den sträckan beräknades 11 %. Utifrån position P1 adderades sträckan som beräknats till både höger och vänster om positionen för att bestämma positionerna P2 och P3, se Figur 3.1b. Mätningarna genomfördes för att få så likvärdig placering av hudmikrofonen på samtliga testpersoner som möjligt sett utifrån skallens anatomi. P4 var mitt på hakan och P5 mitt på huvudet och placerades ut efter visuell bedömning av mitten. P6 och P7 var på kindbenet precis under den yttre ögonvrån. Lämpligheten bedömdes utifrån hur enkelt det var att placera hudmikrofonen med isolering runt respektive position samt hur tätt och jämt de hamnade mot huden och hur bekvämt det var för testpersonen.

### 3.4.2 Test 2: BAHA och hudmikrofon kopplad till signalanalysator

Följande test genomfördes för att analysera hur hudmikrofonen plockar upp signaler från BAHAn vid en variabel ton. Testet genomfördes på positionerna P1, P2, P3, P6 och P7, för stimuli S1-S4 enligt Tabell 3.2 & 3.1 för 50, 60 och 70 dB HL. P4 och P5 testades inte eftersom de valdes bort från test 1.

En person med en BAHA på vänster sida och hudmikrofon placerad på respektive testposition satt i ett ljudisolerat rum med högtalare. Testpersonen satt på en stol med huvudet lutat mot ett nackstöd tittandes rakt fram så att personen var placerad på samma sätt vid varje mätning. Hudmikrofonen placerades på positionerna utifrån tidigare nämnd metod och isolerades med en hörselkåpa och kopplades till den dynamiska signalanalysator. Från den kliniska audiometern sändes sedan valt stimulus ut och utsignalen från hudmikrofonen spelades in av signalanalysatorn, som fouriertransformerar signalen och utför 120 medelvärdesbilningar, se Figur 3.5 för bättre förståelse kring uppställningen av utrustningen.



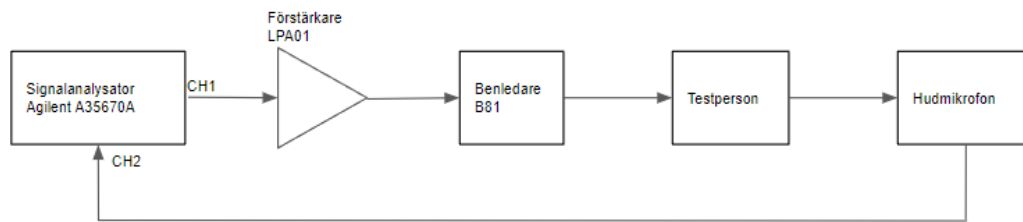
**Figur 3.5:** Blockschemat illustrerar uppsättning av utrustning för test 2 med BAHA och hudmikrofon som är kopplad till signalanalysatorn.

Efter varje utförd mätning byttes position eller stimulus och nästa mätning utfördes på samma sätt. Resultaten sparades sedan och frekvensspektrumet av signalens spektrala effekttäthet ritades upp i Matlab för kunna jämföras mellan positioner och stimuli. Mätningar genomfördes även på samtliga positioner, ljudnivåer och frekvenser utan BAHAN på för att mäta bakgrundsbrus och ljudläckage. Analysen genomfördes visuellt och jämförelser gjordes mellan mätningarna med och utan BAHAN.

Testpersonerna fick även uppge hur de upplevde ljudet, om tonen lät ren eller om det fanns störningar från hörapparaten. Resultaten av testet användes för att undersöka distorsion från BAHAN för olika toner och jämföra det uppmätta resultatet med testpersonernas upplevelse.

### 3.4.3 Test 3: Benledare och hudmikrofon kopplad till signalanalysator

För att avgöra den mest fördelaktiga positionen för hudmikrofonen genomfördes tester med benledaren Radioear B81. Benledaren gör det möjligt att överföra en konsekvent insignal via benledning till hudmikrofonen som direkt tar upp signalen utan mellanliggande tekniska komponenter eller fördröjningar. Det här gör att distorsioner i signalen direkt kan anses komma från hudmikrofonen eller positionen då steget där signalen bearbetas av BAHAN elimineras.



**Figur 3.6:** Blockschemat illustrerar uppsättningen av utrustningen för test 3 med benledaren och hudmikrofonen kopplade till signalanalytatorn.

Benledaren placerades på vänster sida av testpersonens huvud vid mastoidutskottet och hudmikrofonen isolerades med hörselkåpa på en av de angivna testpositionerna, se Figur 3.2. Benledaren kopplades till förstärkaren och därefter till den dynamiska signalanalytatorn, kanal 1. Hudmikrofonen kopplades till den dynamiska signalanalytatorn, kanal 2. Det stimulus som användes var ett frekvenssvop där signalanalytatorn var inställd på en utsignal med amplitud  $0,6 V_{\text{RMS}}$ . För varje frekvens registrerades den uppmätta effekten från hudmikrofonen. Processen upprepades för position P1, P2, P3, P6 och P7 eftersom P4 och P5 valdes bort från test 1, se Tabell 3.2. Testet genomfördes på samma sätt för testperson T4-T6, där testet upprepades sex gånger för varje testperson och position, se Figur 3.3. Vid mätningen placerades hudmikrofonen i ordningen P1, P2, P3, P6, P7 och sedan upprepades detta vid alla sex testomgångarna.

Matlab användes därefter för att visualisera och jämföra resultatet mellan de olika positionerna, testpersonerna och mellan de olika mätningarna. Först beräknades ett medelvärde av uppmätta  $V_{\text{RMS}}$ -amplituden genom ekvation 2.3 för varje frekvens baserat på de sex lika mätningarna. Detta gjordes för att minska inverkan av stokastiska mätfel. Dessutom beräknades en skattad standardavvikelse för amplituden enligt ekvation 2.4. För varje position och testperson ritades medelvärdet samt medelvärdet plus en skattad standardavvikelse och medelvärdet minus en skattad standardavvikelse. Graferna användes för att avgöra spridningens storlek, och därav en indikation på hur säkert det skattade medelvärdet är i förhållande till det sanna värdet. Därefter beräknades amplituden relativt P1 enligt 3.1, där  $n$  representerar positionerna 2, 3, 6 och 7.

$$U_{PndB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{U_{Pn}}{U_{P1}} \right) \quad (3.1)$$

De relativa effekterna ritades i en graf för vardera testperson och en översiktlig visuell bedömning gjordes.

### 3.4.4 Test 4: Kvalitativ bedömning av konversation med benledningsstetoskop

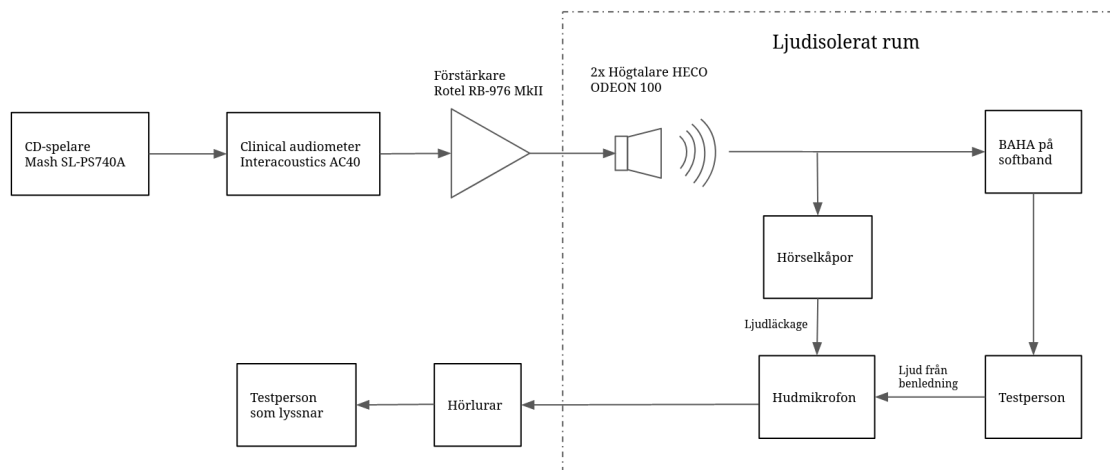
För att utvärdera huruvida ett benledningsstetoskop kan användas i kliniskt bruk genomfördes tester som skulle likna ett besök hos en audionom. Den ena testpersonen satt med öronproppar, BAHA på vänster sida och hudmikrofon som placerades på de olika positionerna. Testpersonen deltog sedan i en konversation med två andra personer som satt rakt framför vid normalt samtalsavstånd, ca 1,5 m. Den andra testperson satt med hörlurar i ett ljudisolerat rum bredvid. Konversationen handlade om vardagliga saker och syftet var att ta reda på om personen med hörlurarna kunde uppfatta vad som sades och därmed bekräfta att hudmikrofonen fångar upp det som personen hör med BAHAn.

Under testets gång fick både testpersonen med hörlurarna och testpersonen med hudmikrofonen kvalitativt utvärdera hur de uppfattade konversationen och ljudkvaliteten. De fick dokumentera sina svar på frågor om bakgrundsbrus, ringningar och hur tydligt talet hördes. Det gjordes även en utvärdering om ljudläckaget genom att hudmikrofonen kopplades bort. På så sätt kunde testpersonen i det ljudisolerade rummet se hur mycket ljud som hördes bortsett från det som togs upp av hudmikrofonen. Testet genomfördes för positionerna P1, P2, P3, P6 och P7, se Tabell 3.2. P4 och P5 testades inte eftersom de valdes bort från test 1.

### 3.4.5 Test 5: Talaudiometri med benledningsstetoskop

För att kvantifiera förmågan att uppfatta tal genom benledningsstetoskopet användes CD-skivan "Svensk talaudiometri" [41]. Den innehåller bland annat förinspelad talaudiometri på svenska i form av listor med ord, vilket användes som stimuli. En grafisk representation i form av ett blockschema demonstrerar den konfiguration av utrustning som användes för test 5, se Figur 3.7. Talaudiometri-metoden som användes byggde på att en förinspelad röst återgav enstaviga ord där det spelades "nu hör ni" innan varje ord och sedan ordet som exempelvis *skog*, se Bilaga A.3 för en lista med exempel på ord i ett av försöken.

Den första testpersonen satt i ett ljudisolerat rum med ansiktet riktat mot högtalaren som återgav stimuli som spelades upp med en ljudstyrka på 55 dB SPL. Testpersonen hade BAHAn på vänster sida och hudmikrofonen placerades på den positionen som skulle undersökas.



**Figur 3.7:** Blockschema illustrerar uppsättningen av utrustningen för test 5 med talaudiometri och en testperson som lyssnar med benledningstetoskop.

Utanför det ljudisolerade rummet satt den andra testpersonen som lyssnade genom benledningstetoskopet och antecknade de ord som hördes. När talaudiometrilistan hade spelat upp 24 ord jämfördes de antecknade orden med facit och antalet rätt dokumenterades. Testet utfördes med hudmikrofonen på positionerna P1, P2, P3, P6 och P7, se Tabell 3.2. P4 och P5 testades inte eftersom de valdes bort från test 1. Resultatet av talaudiometritestet analyserades genom att räkna ut medelvärdet samt medianen för antal rätt i procent för varje position och alla testpersoner. Ytterlighetsvärden kan påverka medelvärdet mycket och göra det missvisande, därför beräknades även medianen då denna endast påverkas av centralvärden. Totalt sex tester utfördes för varje position vilket resulterade i totalt 144 ord per position.

### 3.5 Framtagning av protokoll för benledningstetoskop

Under testningsprocessen utarbetades samtidigt ett protokoll som ämnade att underlätta audionomens användning av benledningstetoskopet för att bedöma ljudkvaliteten hos benledningshörapparater. För att fastställa innehållet i protokollet var det nödvändigt att ta hjälp av en yrkeskunnig audionom. Med hjälp av en audionom kunde det tas reda på hur de hade velat använda benledningstetoskopet kliniskt och vilka delar av undersökningen som är relevanta att ha med i protokollet. Detta kombinerades med resultaten från tidigare nämnda tester. Denna process medförde en konstant utveckling av protokollet under arbetets gång.

Protokollet utformades som en PDF-fil så att det skulle kunna användas såväl digitalt som i pappersform. Det strukturerades i tre delar som inkluderade frågor till patienten, instruktioner för användning av benledningstetoskopet och själva undersökningen av hörapparaten med en checklista för att dokumentera resultaten.

För att säkerställa kvaliteten och effektiviteten av protokollet, användes en iterationsdesign-process med hänsyn till människa-data-interaktionsperspektivet. Iterationsdesign är en metod där en produkt eller ett system utvecklas genom en cyklisk process av prototyper, tester och förfining. Skaparna producerar en prototyp, testar och justerar den, och upprepar processen med målet att närma sig en lösning [42].

I detta fall skapades ett första utkast av protokollet, vilket analyserades av samma audionom som intervjuades i början av projektet. Det genomfördes även en uppföljande intervju som var mer inriktad på protokollet. De frågor som ställdes vid den andra intervjun för framtagandet går att se i Bilaga A.4. Protokollet analyserades också av projektets examinator och handledare, vars feedback beaktades vid utvecklingen av nästa utkast. Det nya utkastet testades av projektmedlemmarna på både en fungerande hörapparat och fyra hörapparater med kända fel. Två hörapparater hade för lågt ljud, en hade en trasig mikrofon och en hade sprucket ljud. Testet gick ut på att simulera en audionomundersökning och de stimuli som innefattades i protokollet testades för att avgöra om de framkallade störningarna i hörapparaten som gick att höra med benledningsstetoskopet. Två testpersoner satt då i samma rum och använde benledningsstetoskopet. En av dem med BAHA och hudmikrofonen på sig och en med hörlurarna på sig. Testpersonen med hörlurarna representerade en audionom och den andra en patient. "Patienten" blockerade hörselgångarna med öronproppar för att framför allt höra via BAHAn. Samtliga stimuli från protokollet spelades upp genom högtalarna på testpersonernas datorer och båda testpersonerna fick fylla i utvärderingen av stimuleringarna i var sitt protokoll. Dessa ifyllda protokoll jämfördes och utvärderades för att kunna avgöra hur väl BAHAns ljud återgavs i hörlurarna till "audionomen". Testet genomfördes för att utvärdera protokollet och slutligen resulterade det tredje utkastet i ett protokoll som tros kunna användas i klinisk praxis. Genom att använda människa-data-interaktionsperspektivet i iterationsdesign-processen kunde det säkerställas att protokollet är användarvänligt och effektivt.

# 4

## Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten från alla moment i projektets metod; en intervju med en audionom, utförda testprocedurer och framtagningen av protokoll för benledningstetoskopet. Syftet med dessa resultat är att besvara projektets huvudfrågor; om och hur det är möjligt att kunna använda benledningstetoskop i kliniskt bruk, hitta optimal position och stimuli samt kunna få fram en standardiserad metod för bedömning av ljudkvalitet med benledningstetoskopet.

### 4.1 Intervju med en audionom

Audionomen som intervjuades hade mångårig erfarenhet inom såväl kliniskt arbete som akademisk forskning.

En audionom jobbar med ljud, hörsel och hörselskador. I yrket ingår det att ställa diagnoser inom området samt habilitering och rehabilitering, det vill säga att hjälpa patienter med såväl medfödda sjukdomar och funktionshinder som har uppkommit senare i livet [43].

Bakgrunden till ett kliniskt besök hos en audionom är ofta en remiss från annan vårdpersonal, exempelvis en läkare [43]. När patienten kommer till besöket görs ett hörseltest för att kontrollera patientens hörsel. Baserat på detta test kan eventuella hörselnedsättningar diagnostiseras. Om en sådan diagnos ställs kan audionomen, tillsammans med patientens egna preferenser, föreslå hur hjälpmedel såsom hörapparater kan vara till nytta. Genom ett hörseltest bestäms så kallade tröskelvärden. Dessa specificerar hur svaga ljud en patient kan höra vid olika frekvenser. Om patienten redan har en hörapparat testas även vad den kan ge i maximal förstärkning, alltså maximal uteffekt. Dessa tester har syftet, utöver att ställa diagnos, att ge ett objektivi mått för hur hörapparaten ska kalibreras och ställas in för en individuell patient.

För att patienten ska få maximal nytta av hörapparaten är det av stor betydelse att alla relevanta frekvenser kan uppfattas på en adekvat nivå, och om det inte är möjligt så ska de uppfattas så bra det går [43]. De frekvenser som har störst betydelse för taluppfattning är av särskilt stor vikt för att ge patienten möjlighet att delta i

konversationer. De mest relevanta frekvenserna för tal är fördelade över ett spektrum mellan ungefär 125-8000 Hz. Bland dessa är exempelvis de högre frekvenserna av avgörande betydelse för att urskilja olika konsonantljud. För patienter som redan har hörapparater kan en försämrade upplevelse av ljud bero både på försämrade hörsel och problematik med hörapparaten. Orsaken till problemet måste därför bedömas via en undersökning av en audionom.

Enligt audionomen som intervjuades testas hörapparaten lämpligast genom att audionomen lyssnar på den med vardagliga stimuli, exempelvis tal [43]. Exakt karaktär på stimuli är av mindre betydelse. Därför kan exempelvis radion eller en dialog med patienten vara tillräckligt bra. Audionomen förklarade även att om exempelvis högre frekvenser önskas kan detta bland annat åstadkommas genom att knacka med en tesked i en kaffekopp. Dessa stimuli har fördelen att de är enkla och lättillgängliga vilket är viktigt då besöken är tidsbegränsade och mycket kan behöva hinnas med för att ge patienten bra vård.

Ett problem med delvis inopererade benledningshörapparater är att dessa inte enkelt kan testas i nuläget. På grund av detta uttryckte audionomen stort intresse för ett benledningsstetoskop som ett användbart hjälpmedel i kliniskt bruk [43]. Viktiga krav för benledningsstetoskopets design är att det bör vara portabelt, inte för stort samt att en audionom bör kunna justera eventuella inställningar under användning. Dessutom skulle ett protokoll för uppkoppling och användning, likt en lättanvänd instruktionsbok, vara av nytta.

## 4.2 Utförda tester

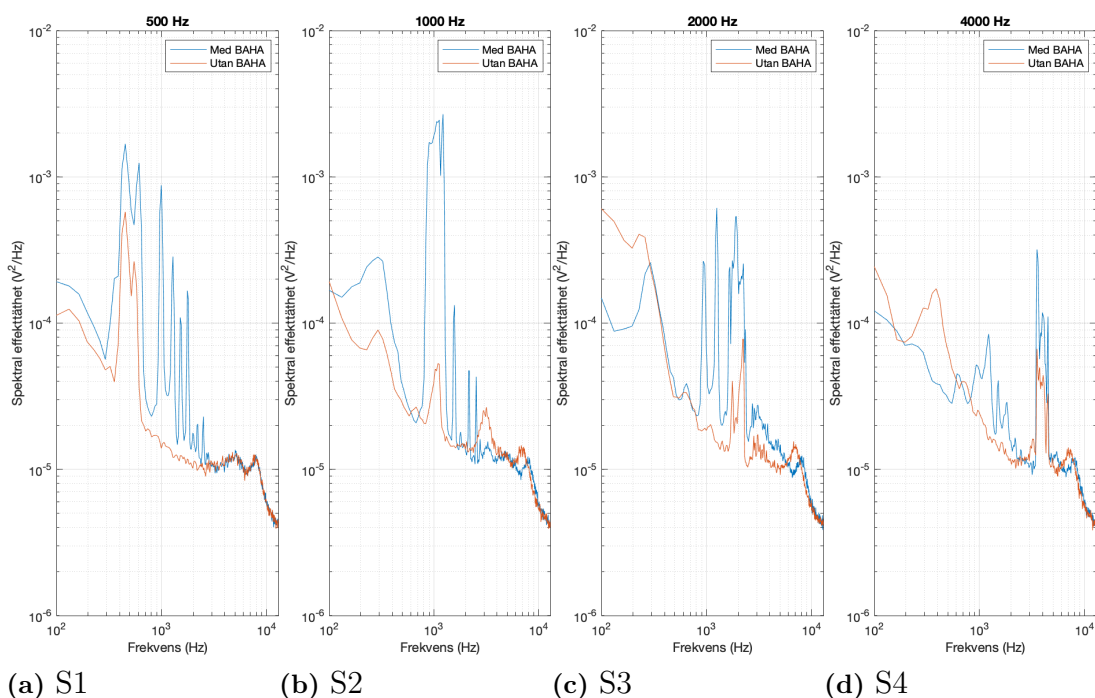
Nedan följer resultatet från de utförda testerna.

### 4.2.1 Test 1: Val och utprovning av positioner

Beroende på vilken av positionerna hudmikrofonen placerades på fick den och den isolerande kåpan olika jämn kontaktyta med huvudet och det elastiska bandet hamnade på mer eller mindre bekväma platser för försökspersonen. Position P4, mitt på huvudet, hade för samtliga testpersoner hår som kom emellan hudmikrofonen och huden. Position 5, hakan, var svår att få mikrofonen att sitta stabilt på och gjorde att kåpan inte slöt tätt mot huden. Möjligheten för ljudläckage från omgivningen var alltså stor. Det beslöts därmed tidigt att dessa positioner var ofördelaktiga att fortsätta med. Positionerna i pannan, P1, P2 och P3, var samtliga lätta att placera hudmikrofonen och kåpan på. Dock hamnade kåpan och det elastiska bandet nära ögat på de yttre pannpositionerna (P2 och P3) vilket gjorde det mindre bekvämt för testpersonerna. Positionerna P6 och P7, höger och vänster kindben, var också lätta att placera hudmikrofon och kåpa på med bra kontakt. Dock hamnade det elastiska bandet över näsan eller över ögat vilket skapade obehag för testpersonerna.

## 4.2.2 Test 2: BAHA och hudmikrofon kopplad till signalanalysator

Från Figur 4.1a-4.1d så framgår det att det förekommer störningar och distorsion från hörapparaten framför allt vid 500, 2000 och 4000 Hz. Den blå kurvan visar den uppmätta effekten då hörapparaten används och den röda visar då den inte används. Stora avvikelser mellan kurvornas form tyder på störningar som orsakas av hörapparaten och det går också att konstatera att dessa störningar kan fångas upp av hudmikrofonen.

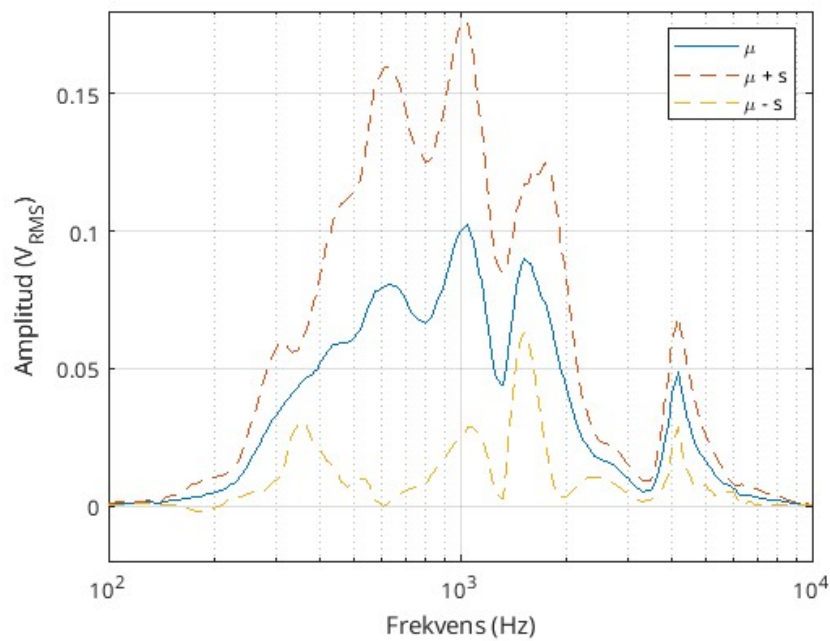


**Figur 4.1:** Uppmätt spektral effekttäthet som funktion av frekvens för T4 med BAHA och hudmikrofon på P1 vid stimulering med S1-S4 vid 50 dB HL.

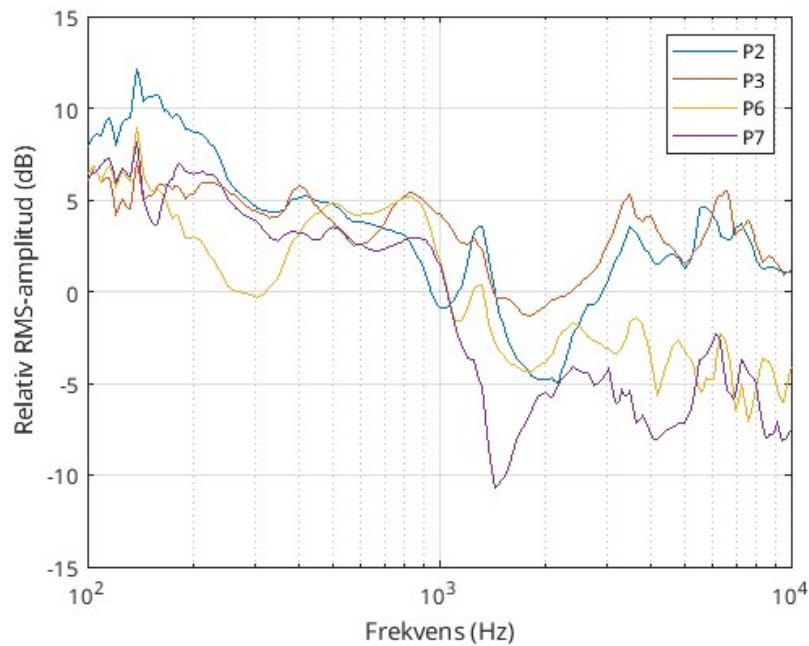
Vid stimulering med 500 Hz, Figur 4.1a, uppstår övertoner som syns i grafen vid ca 1000 Hz vilket testpersonerna uppgav lät som visslingar eller rundgång från hörapparaten. Vid stimulering med 4000 Hz, Figur 4.1d, uppgav testpersonerna att brus och distorsioner som kom från hörapparaten hördes tydligt. Att lågfrekventa ljud hörs stämmer överens med utseendet på grafen 4.1d där den uppmätta effekten vid 4000 Hz är i ungefär samma storleksordning som frekvenserna under 1000 Hz. Dessa låga frekvenser kan antas vara brus och de strax över 1000 Hz distorsioner från hörapparaten eftersom kurvorna skiljer sig tydligt åt. För övriga positioner, ljudnivåer och testpersoner hade graferna liknande utseende och störningar för samma stimulus.

### 4.2.3 Test 3: Benledare och hudmikrofon kopplad till signalanalysator

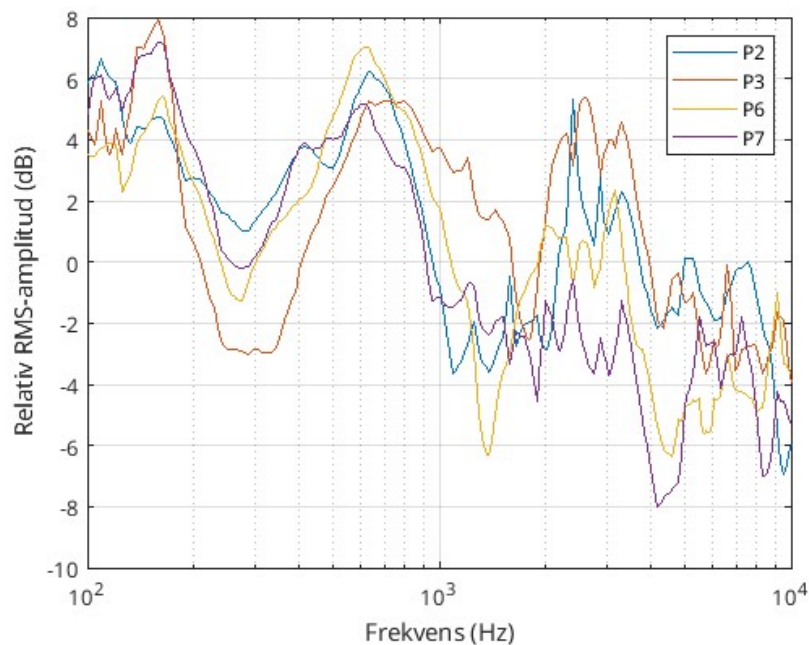
Generellt var den skattade standardavvikelsen  $s$  stor, i många fall ungefär lika stor, i förhållande till medelvärdet  $\mu$  för den uppmätta RMS-amplituden vid test 3. Figur 4.2 visar ett exempel på detta. Resten av mätningarna visar liknande resultat, därav finns det osäkerheter angående hur korrekta medelvärdena är och därmed även resultatet.



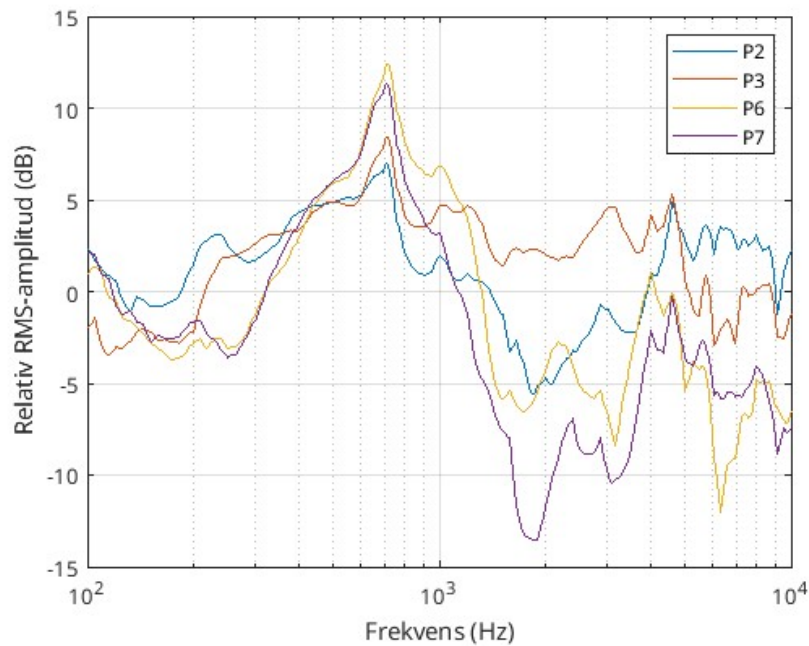
**Figur 4.2:** Medelvärde av  $\mu$  ritat tillsammans med skattad standardavvikelse  $s$  av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens. Uppmätt för T4 med hudmikrofon på P1 vid stimulering med frekvenssvep.



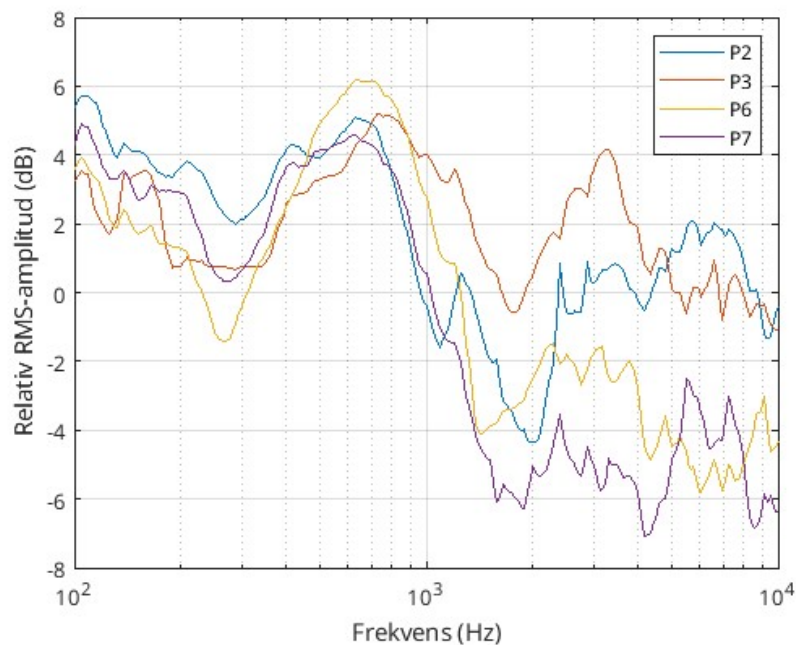
**Figur 4.3:** Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssväp för T4.



**Figur 4.4:** Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssväp för T5.



**Figur 4.5:** Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssvep för T6.



**Figur 4.6:** Medelvärde av uppmätt RMS-amplitud på T4, T5 och T6 som funktion av frekvens för hudmikrofonen på P2, P3, P6 samt P7 relativt P1 i dB. Uppmätt vid stimulering med frekvenssvep.

Figurerna 4.3, 4.4 och 4.5 visar att det finns skillnader i den uppmätta relativa amplituden mellan testpersonerna. Graferna tyder på att skillnaderna i amplitud mellan positionerna är upp till ungefär 10 dB men i de flesta fall ungefär 5 dB. Positionerna P6 och P7 har generellt lägre amplituder vid höga frekvenser. Figur 4.6 över alla testpersonerna visar liknande trender.

#### **4.2.4 Test 4: Kvalitativ bedömning av konversation med benledningsstetoskop**

Totalt utfördes sex tester av den kvalitativa bedömningen av en konversation. I Tabell 4.1 presenteras ett exempel på ett av dessa test, försök 1, där T5 lyssnade på T4 och dokumenterade sin upplevelse av ljudet. Resultatet av första försöket visade att det inte hördes lika bra för P6 och P7 jämfört med de andra positionerna. Talet uppfattades tydligare och bättre för P1 och P3.

Resterande försök 2-6, finns sammanställda i varsin tabell under Bilaga A.2. Resultaten varierar en del då de är subjektiva, men ett tydligt mönster som påvisas är att P1 och P3 är de positioner där ljudet av konversationerna hördes som tydligast. I försök 6 uppfattades P2 som den bättre positionen. Inget av testerna påvisade att positionerna på kindbenen var bättre. Den generella kommentaren från testpersonen med BAHAn var att hörapparaten fungerade felfritt under konversationen och att det gick att urskilja vad som sades.

| Position | Ljudläckage? | Bakgrundsbrus? | Ringningar? | Kommentar från T5   |
|----------|--------------|----------------|-------------|---|
| P1       | Ja           | Ja             | Nej         | Både T2 och T1 går att uppfatta utan problem. T4 hörs betydligt högre.                            |
| P2       | Ja           | Ja             | Nej         | T2 hörs sämre än i P1. T4 hörs tydligt och högre. T1 något tydligare än T2 men båda går att höra. |
| P3       | Ja           | Ja             | Nej         | Både T2 och T1 hörs tydligare än i P2 gången. T4 hörs tydligt och högre.                          |
| P6       | Ja           | Ja             | Nej         | Både T2 och T1 går att höra, men sämre. T4 hörs tydligt och högre.                                |
| P7       | Ja           | Ja             | Nej         | Både T2 och T1 går att höra, men sämre. Ungefär som i P6. T4 hörs tydligt och högre.              |

**Tabell 4.1:** Resultatet av första försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testpersonen T5 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T4 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAN på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T4 och hade en konversation.

#### 4.2.5 Test 5: Talaudiometri med benledningsstetoskop

Resultatet från testet går att se i Tabell 4.2 och visade att P1 hade det högsta procentuella medelvärdet av andel rätt på 81,25 %, följt av P6 på 80,55 %. P6 har högt procentuellt medelvärde men näst lägst median, vilket indikerade att det inte var den mest fördelaktiga positionen. Med hänsyn till både det procentuella medelvärdet och medianen var P1 och P3 de mest fördelaktiga positionerna.

| Position | Medelvärde | Median  |
|----------|------------|---------|
| P1       | 81,25 %    | 87,50 % |
| P2       | 78,47 %    | 79,17 % |
| P3       | 79,86 %    | 87,50 % |
| P6       | 80,55 %    | 77,08 % |
| P7       | 68,75 %    | 70,83 % |

**Tabell 4.2:** Medelvärde och median i procent av antal rätt ord för varje position i test 5.

### 4.3 Framtagning av protokoll för benledningstetoskop

Från den andra intervjun framkom mer information i detalj om hur en undersökning hos en audionom går till idag och hur en audionom hade velat använda ett benledningsstetoskop kliniskt. Det är viktigt att fråga patienten om dess upplevelse av ljudet från hörapparaten när denne kommer in för ett besök till en audionom [44]. Frågor om ljudstyrka och ljudkvalitet bör ställas. Vid undersökning av en traditionell förstärkningshörapparat sätter audionomen hörapparaten mot ett stetoskop och lyssnar efter om ljudet sprakar, om det är ringningar eller andra störningar. En undersökning bör bestå av tal, musik, ljud med brus ett test av obehagsnivån för patienten, exempelvis genom skrammel med nycklar samt höga och låga rena toner. En audionom har normalt tillgång till dator, högtalare och radio. De har många förinspelade ljudspår att använda vid undersökningen.

Audionomens kommentar på protokollets utkast var att det var väl utformat efter en vanlig bedömning av hörapparater. Att positionera hudmikrofonen mitt i pannan vid undersökningen tyckte audionomen verkade mest fördelaktigt eftersom pannan är platt och är i direkt kontakt med skallbenet. Benledningspassagen är sämre till kindbenen, hakan och andra delar av huvudet på grund av fler övergångar som försämrar ljudet. Examinators kommentar på protokollets utkast var att det är fördelaktigt att protokollet är omfattande med många stimuli som möjliggör detektion av olika fel. Det möjliggör även för audionomen att själv anpassa undersökningen genom att selektera vilka steg i protokollet som ska genomföras beroende på apparatens problematik [45]. Om audionomen vid påbörjandet av undersökningen kan fastställa felet genom att utföra några av protokollets steg, är det möjligt att avvika från de återstående stegen i protokollet för att ytterligare utforska avvikelserna och få en mer detaljerad förståelse. Det är även möjligt för audionomen att kombinera det framtagna protokollet med andra redan befintliga protokoll, formulär och undersökningsmetoder för att få en mer omfattande och övergripande bild.

| Stimuli                                  | T4 via stetoskop<br>OK? | T4 via stetoskop<br>Kommentar?                                    | T5 via hörapparat<br>OK? | T5 via hörapparat<br>Kommentar                                    |
|--|-------------------------|---|--------------------------|---|
| Tal                                      | X                       | Låter bra   | X                        | Inga störningar   |
| Musik                                    | X                       | Låter mycket likt   | X                        | Hörs tydligt, inga störningar                                     |
| Tal i bullrig miljö                      | X                       | Fungerar helt ok, men svårare att urskilja ord än när det är tyst | X                        | Går att urskilja tal även om det är svårt, inga direkta missljud. |
| Obehagligt ljud(ex. skramla med nycklar) | X                       | Låter ok, inte särskilt obehagligt                                | X                        | Inte så farligt obehagliga ljud, inte smärtsamt att lyssna på.    |
| Lågfrekvent ton (500 Hz)                 |                         | Låter obehagligt, hörs högre ton än vad som spelas upp (överton)  |                          | Ringningar/ överton. Ingen ren ton.                               |
| Högfrekvent ton(4000 Hz)                 |                         | Hörs distorsioner och ringningar, obehagligt ljud                 |                          | Lägre ton hörs, skärande ljud, ingen klar ton                     |

**Tabell 4.3:** Resultat av första testet av protokollet. Jämförelse mellan lyssnarnas ljudupplevelse via benledningsstetoskop och via hörapparat av olika stimuli. Detta är ett exempel där protokollet testades med BAHAn utan konstaterat fel.

Resultatet av testningen av protokollet går att se ett exempel på i Tabell 4.3. Testningen av protokollets visade att testpersonernas upplevelse om ljudet var okej eller inte överensstämde till 97 %. I samtliga fall var kommentarerna om missljud som uppstod vid olika stimuli liknande. Viss skillnad i hur missljudet beskrevs kunde dock förekomma men båda testpersonerna kommenterade på avvikelser från det normala. Det kunde med dessa tester konstateras att olika fel på hörapparaterna kom fram vid olika stimuli och att dessa avvikelser från det normala ljudet som framkom för personen som lyssnade via hörapparaten också hördes av personen som lyssnade via benledningsstetoskopet. Testpersonerna tyckte att det var svårt att bedöma ljudnivå från eget tal och att flera av felen endast framkallades från de stimuli som kom från de externa ljudkällorna. Protokollets slutversion går att se i Bilaga A.5.

# 5

## Diskussion

I detta avsnitt presenteras en diskussion av resultaten från de olika momenten i projektet. Det innefattar en analys av felkällor, motivering av olika val som gjordes under projektet, jämförelse av resultaten från olika tester och en tolkning av dessa. Dessutom diskuteras eventuella framtida studier och etiska aspekter av projektet.

### 5.1 Utförda tester och framtagning av protokoll

Många aspekter behöver vägas in för att avgöra bästa position för kliniskt bruk av benledningsstetoskopet. En viktig aspekt att ta hänsyn till är att tiden som patienten har hos audionomen är mycket begränsad. Detta medför att användningen av benledningsstetoskopet för bedömning av hörapparater måste vara tidseffektiv och uppsättningen enkel så att den är repeterbar. Det är även viktigt att positionen inte medför onödigt mycket brus eftersom detta skulle kunna tolkas komma från hörapparaten. Som nämndes under rubrik 3.4.1 om test 1, ska undersökningen inte heller vara onödigt obehaglig för patienten. Utifrån test 1 som framför allt bedömde bekvämlighet och jämn kontaktyta bedömdes därmed P1 som mest fördelaktig då softband eller hudmikrofon inte hamnade så nära ögat vilket annars skapade obehag.

Från test 3, testet med benledaren och frekvensspeket, varierade resultatet mycket mellan test och omtest, och i flera fall var standardavvikelsen ungefär lika stor som medelvärdet på mätningarna. Dessutom är medelvärdet endast beräknat på sex mätningar vilket tillsammans med stor standardavvikelse ger stora osäkerheter. För att undersöka hur statistiskt signifikanta värdena är skulle till exempel ett t-test kunna användas. Det är inte heller uppenbart huruvida det finns tydliga trender då resultaten varierade mycket mellan testpersonerna. Dock verkar den uppmätta amplituden på kindbenen, P6 och P7, vara något lägre för frekvenser över 1000 Hz. Detta skulle kunna förklara att kindbenen även gav sämre resultat i test 5, då högfrekventa konsonantljud är av stor betydelse för taluppfattning. Audionomen som intervjuades nämnde även att det är många övergångar mellan kindbenen och skallbenet. Övergångar skulle kunna påverka benledningsförmågan eftersom attenuering av ljud uppstår i övergångar mellan olika vävnader.

I test 3 finns utöver stora skillnader mellan mätningar, som antas vara av stokastisk

karaktär, även flera potentiella systematiska felkällor. Testerna utfördes inte i ett ljudisolerat rum och visst ljudläckage av bakgrundsljud, såsom samtal i andra rum, kan ha förekommit. Dessutom ger benledaren upphov till ett luftlett ljud. Det har inte undersökts hur dessa ljudläckage påverkar resultatet. Från hudmikrofonen hörs även ett systematiskt lågfrekvent bakgrundsbrus som kan påverka resultatet. Trots att ljudläckage in till hudmikrofonen minimeras vid användning av benledaren förekommer ändå ett visst luftlett bidrag. Oftast kan bidraget bortses, men beroende på ljudnivån på stimuli och avstånd mellan hudmikrofon och benledare så kan det påverka resultatet.

Vid analys av uppmätt data var det överlag stor variation på mätresultat och ingen position verkar vara mycket bättre än någon annan sett till mätresultaten. Därmed väger andra faktorer tyngre så som enkelhet och bekvämlighet. Med tanke på detta tyder resultaten på att P1 anses mest lämplig som position av hudmikrofonen. Denna position gav ungefär lika bra ljudkvalitet som övriga positioner, var lätt att placera, ansågs bekväm av testpersonerna och har lika lång distans till benledningshörapparaten oavsett vilken sida den är placerad på. Denna studie har genomförts med hörapparaten placerad på vänster sida för alla tester. Eftersom resultaten tydde på att positionen för avlyssning hade liten betydelse för ljudkvaliteten bör inte en hörapparat placerad på höger sida ge någon stor skillnad.

Något som ytterligare talar för att P1 är ett bra val av avlyssningsposition är att pannan generellt är platt och utan speciellt mycket underhudsfett för de allra flesta personer. I denna studie var samtliga testpersoner ganska lika i kroppsform och ålder. Fler testpersoner med större skillnader hade behövt undersökas. Kanske hade andra resultat fåtts från personer med annan ansiktsform eller mer vävnad mellan mätposition och skallben. Risken finns att benledningsstetoskopet inte fungerar tillfredsställande på alla.

Utifrån resultatet av test 5 verkar det gå att höra relativt mycket genom benledningsstetoskopet, vilket då tyder på att audionomen kommer kunna använda benledningsstetoskopet för att höra det som en patient hör med sin hörapparat. Dock krävs det mer data för att kunna se tydliga trender. I detta fallet utfördes testet sex gånger på varje position, det vill säga totalt 30 tester, men många fler tester hade behövt utföras för att få ett noggrannare resultat. Som nämnt i resultatet hade P1 och P6 ungefär lika hög andel rätt enligt det procentuella medelvärdet. Däremot tydde medianen på att kindbenen benledde ljudet sämre än P1, vilket kan vara mer tillförlitligt på en liten mängd data eftersom ytterlighetsvärden inte räknas med.

Med tanke på att hudmikrofonens placering är av mindre betydelse för ljudkvaliteten behöver inte noggranna mätningar av positionen genomföras vid klinisk bruk av benledningsstetoskopet. Mätningar är vanligtvis tidskrävande och det är därför fördelaktigt att audionomer inte behöver lägga tid på att mäta ut var benledningsstetoskopet ska placeras.

Från intervjuerna med audionomen går det att anta att det inte finns något enskilt

stimulus som är lämpligt för bedömning av hörapparater. Patienten har vanligtvis inte den nödvändiga kännedomen om problemen med hörapparaten, utan upplever endast att den inte fungerar korrekt. Därför är det viktigt att använda en variation av stimuli som kan underlätta bedömningen av problemet. Vid testningen av protokollet framkom det tydligt att olika fel på apparaten kräver olika stimuli för att kunna upptäckas, vilket också framgick i test 2.

Att det blev en låg uppmätt effekt vid 4000 Hz i Figur 4.1d kan förklaras med att huden fungerar som ett lågpasfilter och därmed dämpar höga frekvenser [46]. En ytterligare relevant faktor att beakta är att BAHAn som var fäst med ett softband, var kalibrerad på ett sådant sätt att dess högsta förstärkning var vid ca 800-900 Hz. Mätningar på BAHAns förstärkning genomfördes med hjälp av handledare på en skallsimulator och visade att upp till 800-900 Hz ökade förstärkningen för hörapparaten och sedan avtog den. Avtagande förstärkning för frekvenser högre än dessa bidrar till lägre uppmätt effekt vid stimulering med mycket högre frekvenser. BAHAns frekvensbandbredd har dessutom 4000 Hz som sitt maxvärde [40]. Det implicerar att vid stimulering med 4000 Hz som undersöktes i det tredje testet, uppnådde apparaten sin högsta kapacitet vilket kan ha bidragit till de observerade distorsionerna i Figur 4.1d. Kalibreringen av denna hörapparat kan ha en betydande inverkan på förstärkningen av både höga och låga frekvenser, särskilt om de ligger utanför apparatens frekvensintervall. Denna påverkan kan ytterligare bidra till uppkomsten av distorsioner och förvrängningar i de upptagna frekvenserna av hudmikrofonen.

Från testerna av protokollet upplevde testpersonerna att det var enklare att bedöma ljudkvaliteten hos hörapparaten om ljudet kom från en extern källa. Ljud från en konversation mellan audionom och patient kan vara svår att bedöma vid till exempel uppskattning av ljudnivå. Om audionomen pratar samtidigt som hen använder de ljudisolerade hörlurarna så kommer den egna rösten att höras via benledning. På samma sätt så kommer hudmikrofonen plocka upp patientens röst från dess benledning och inte det från hörapparaten som är av intresse. Det kan därmed ge en missvisande bild av hur hörapparaten låter. Å andra sidan ansåg audionomen som intervjuades att det inte borde vara något problem då bidraget från sin egen benledning är liten i förhållande till ljudnivån av talet.

Utifrån de kvalitativa lyssningstester som genomfördes kunde det konstateras att det är möjligt att avlyssna en benledningshörapparat från en annan person med hjälp av stetoskopet i realtid. De ljud som testpersonen hörde kunde även bekräftas av personen som lyssnade via benledningsstetoskopet.

Vid utvecklandet av protokollet framgick det från den intervjuade audionomen att de önskade att bedömningen av benledningshörapparaters ljudkvalitet med implantat skulle gå att genomföra på samma sätt som bedömningen av traditionella hörapparater. Protokollet utvecklades därför utefter hur audionomen beskrev att en traditionell undersökning genomförs. Vid utprovningen av protokollet kunde det bekräftas att personen som lyssnade via benledningsstetoskopet hörde samma ljud och störningar

som personen med hörapparaten. Därför kan det antas att benledningsstetoskopet kommer kunna användas i kliniskt bruk tillsammans med redan existerande metoder. Intervjuerna och litteraturstudien som genomförts tyder på att det i dagsläget inte finns någon helt standardiserad metod för bedömning av ljudkvalitet hos hörapparater. Protokollet som tagits fram skulle kunna användas för att få en mer standardiserad undersökning och därmed ge patienter samma högkvalitativa vård oavsett audionom.

## 5.2 Framtida studier och förbättringsmöjligheter

I denna studie har tester endast genomförts med hörapparaten placerad på vänster sida. Även om testerna inte har visat på att det blir några nämnvärda skillnader beroende på om hudmikrofonen är placerad kontralateralt (motsatt sida) eller ipsilateralt (samma sida) relativt hörapparaten, bör det undersökas för att kunna sägas säkert att det inte påverkar. Dessutom bör personer med bilaterala hörapparater, en på varje sida, även undersökas för att se hur det påverkar. Det vore önskvärt att genomföra en kalibrering av hörapparaten genom justering av dess inställningar för att undersöka huruvida detta skulle kunna påverka resultatet.

För att kunna avgöra om benledningsstetoskopet kan användas kliniskt behöver tester genomföras på fler testpersoner och framför allt patienter med transkutana och perkutana benförankrade hörapparater. I detta projekt har endast BAHA på softband använts med indirekt benledning genom huden. Dessutom behöver yrkeskunniga audionomer avlyssna patienter för att de ska kunna avgöra användbarheten kliniskt. Patienter har inte kunnat inkluderas inom ramarna för detta projekt på grund av etiska och tidsmässiga skäl.

I utprovningen av protokollet testades även hörapparater med kända fel. Fler tester hade behövts genomföras på andra hörapparater med fler och okända fel för att säkerställa att även dessa går att höra med benledningsstetoskopet. Möjligtvis går det att finna specifika stimulus som alltid framkallar störningar vid ett visst problem. Om vidare studier genomförs så kan det undersökas om felen på hörapparaten skulle kunna kategoriseras direkt med hjälp av protokollet även av en mindre erfaren audionom.

I detta projekt har protokollet konstruerats i PDF-format, men en digitaliserad version i form av ett grafiskt gränssnitt är en möjlig förbättring då vi går mot en mer digitaliserad värld. Det blir enklare att spara informationen från undersökningar och gör datan mer lättillgänglig. Exempelvis blir det lättare att följa upp tidigare undersökningar. Dessutom är det fördelaktigt utifrån ett miljöperspektiv då resurser sparas. Digitaliseringen ställer dock andra krav på integritet och datahantering av patientinformation det är då viktigt att använda lämpliga tekniska och organisatoriska åtgärder för att skydda patientdata från obehörig åtkomst, förändring och radering.

Det har i de kvantitativa testerna varit svårt att finna trender på mätdatan för de

olika positionerna vilket tyder på att fler mätningar behöver genomföras. Troligtvis behöver även fler testpersoner och fler stimuli undersökas för att kunna dra generella slutsatser.

Prototypen av benledningsstetoskopet som har testats i detta arbete kräver utveckling innan det kan användas kliniskt. Isoleringen är troligtvis inte optimal och bör utvecklas och optimeras för minimalt ljudläckage. Kopplingen mellan hörlurar och mikrofon bör förflyttas helt till inuti kopplingsdosan för att göra den mer användarvänlig.

### 5.3 Samhälleliga och etiska aspekter

Benledningsstetoskopets användande i kliniskt bruk kommer framför allt medföra samhälleliga fördelar som anses förhålla sig till rådande etiska riktlinjer. Fler personer får då möjlighet att höra bättre och därmed kan fungera bättre i sin vardag. Då audionomen kan lyssna på ljudet som kommer från benledningshörapparaten kan denne även få möjlighet att bedöma ljudkvaliteten på hörapparater på patienter som av olika anledningar inte går att fråga om deras problematik. Sådana anledningar kan till exempel vara att patienten inte talar samma språk, har funktionsvariationer eller är så ung att den inte förstår frågorna. Benledningsstetoskopet möjliggör för fler hörelskadade att leva mer likt personer med normal fungerande hörsel.

Testerna har skett på projektdeltagare som samtyckt till deltagande. För att testerna skulle genomföras med så lika förutsättningar som möjligt skedde placeringen av hudmikrofonen med stor noggrannhet. Eftersom deltagarna hade olika stora huvuden genomfördes mätningar med inspiration från de som genomförs vid EEG-undersökningar. Detta är ett standardiserat mätsätt som används i kliniskt bruk. Dock kan ändå mätningar av kroppsdelar vara ett etiskt dilemma [47]. Stora mängder mätningar av kroppsdelar genomfördes i Sverige på uppdrag av staten under 1900-talets början för att kunna kartlägga egenskaper kopplade till ras och kropps mått. Bland annat skallform var en viktig mätning och sågs som mycket kränkande och mötte allt större kritik tills de slutligen upphörde. Allt för precisa mätningar av huvudet och dokumentation i samband med detta är kontroversiella och bör undvikas om det inte har hög relevans. Här ansågs mätningarna vara av stor vikt för att få tillräckligt tillförlitliga resultat där felkällor minimerades.

En risk som fanns med mätningarna var att för högt ljud skulle kunna skada hörselorganen. Vid ljudnivån 70 dB HL upplevdes ljudet som ganska högt, även om det är lägre än gränsen för skadlig ljudnivå. Den här risken kunde undvikas genom att testerna aldrig översteg 70 dB HL. Det finns inga kända risker med hudmikrofonen i sig då det är en passiv produkt för tillfälligt bruk. Mätningarna anses för övrigt mycket säkra och nyttan anses överväga risken. Om tester i framtida studier skulle genomföras på patienter är det viktigt att patienterna är informerade om riskerna såväl som nyttan med deras deltagande. Ett skriftligt informerat samtycke kommer krävas om de ska delta i testerna. Vid hantering av patientdata i framtida studier är det viktigt att denna används korrekt så att patientens integritet skyddas.

# 6

## Slutsats

Baserat på detta projekt antas benledningsstetoskopet kunna användas i kliniskt bruk för att bedöma ljudkvaliteten hos benledningshörapparater. Stetoskopet kan användas genom att lyssna på hörapparater direkt på patienten och därefter felsöka hörapparaten på samma sätt som traditionella hörapparater undersöks. Det har med projektet konstaterats att samma fel som patienten upplever från hörapparaten kan audionomen höra via benledningssstetoskopet. Positionen av hudmikrofonen verkar spela mindre roll då det går att höra från samtliga positioner som undersökts. Det finns en liten variation mellan positionerna när det gäller ljudkvalitet. Både de kvalitativa och kvantitativa mätningarna som genomförts tyder på detta. Olika fel på hörapparater framkallas av olika stimuli. Därmed krävs en variation av stimuli med vardagliga ljud, höga och låga frekvenser, brus och oljud vid undersökning.

Eftersom positionen spelar mindre roll för möjligheten att lyssna på det benledda ljudet via stetoskopet är det praktiska kliniska aspekter som är av betydelse för att avgöra den mest fördelaktiga positionen. Som diskuterats tidigare är mitten av pannan den mest bekväma positionen och därmed kan slutsatsen dras att den positionen generellt är mest fördelaktig. Däremot kan hudmikrofonen flyttas en bit eller placeras på någon av de andra undersökta positionerna om omständigheterna kräver detta.

En standardiserad metod för bedömning av ljudkvaliteten hos benledningshörapparater bör bestå av frågor som ställs till patienten om dennes upplevelse kombinerat med olika stimuli för att upptäcka fel, liksom det protokoll som tagits fram i detta projekt.

# Litteraturförteckning

- [1] Hörselskadades riksförbund, *Om HRF*, sv. URL: <https://hrf.se/om-hrf/> (hämtad 2023-02-17).
- [2] A. Ciorba, C. Bianchini, S. Pelucchi och A. Pastore, “The impact of hearing loss on the quality of life of elderly adults,” en, *Clinical Interventions in Aging*, s. 159, juni 2012. DOI: 10.2147/CIA.S26059.
- [3] J. E. C. Lieu, M. Kenna, S. Anne och L. Davidson, “Hearing Loss in Children: A Review,” en, *JAMA*, årg. 324, nr 21, s. 2195, dec. 2020. DOI: 10.1001/jama.2020.17647.
- [4] R. Persson, *Nedsatt hörsel*, sv. URL: <https://www.1177.se/sjukdomar--besvar/ogon-oron-nasa-och-hals/horsel/nedsatt-horsel/> (hämtad 2023-02-17).
- [5] Statistiska Centralbyrån, *Störst folkökning att vänta bland de äldsta*, sv. URL: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningsframskrivningar/befolkningsframskrivningar/pong/statistiknyhet/sveriges-framtida-befolkning-20182070/> (hämtad 2023-02-17).
- [6] I. Friedmann, *Att få hörhjälpmedel*, sv. URL: <https://www.1177.se/behandling--hjalpmedel/hjalpmedel/horsel/att-fa-horhjalpmedel/> (hämtad 2023-02-20).
- [7] 1177, *Jämlik vård(fördjupning)*, sv. URL: <https://www.1177.se/Vastra-Gotaland/sa-fungerar-varden/lagar-och-bestammelser/jamlik-vardfordjupning/> (hämtad 2023-02-20).
- [8] W. Hodgetts, D. Scott, P. Maas och L. Westover, “Development of a Novel Bone Conduction Verification Tool Using a Surface Microphone: Validation With Percutaneous Bone Conduction Users,” en, *Ear & Hearing*, årg. 39, nr 6, s. 1157–1164, nov. 2018. DOI: 10.1097/AUD.0000000000000572.
- [9] K.-J. Fredén Jansson, privat kommunikation, Feb 2023.
- [10] J. Liljencrants och S. Lindblad, *Ljud*. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/ljud> (hämtad 2023-02-22).
- [11] J. O. Smith, *Mathematics of the discrete Fourier transform (DFT): with audio applications*, en, 2. ed. North Charleston: BookSurge, 2007, ISBN: 9780974560748.

- [12] J. Schnupp, I. Nelken och A. King, *Auditory neuroscience: making sense of sound*, en. Cambridge, Massachusetts London, England: The MIT Press, 2012, ISBN: 9780262518024 9780262113182.
- [13] J. P. Marsh, P. Jellicoe, B. Black, R. C. Monson och T. A. Clark, “Noise levels in adult and pediatric orthopedic cast clinics,” en, *American Journal of Orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, årg. 40, nr 7, E122–124, juli 2011. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22013576/> (hämtad 2023-05-23).
- [14] H. Aldskogius och B. Rydqvist, *Den friska människan: anatomi och fysiologi*, sv, Första upplagan. Stockholm: Liber, 2018, ISBN: 9789147105694.
- [15] S. Reinfeldt, P. Östli och B. Håkansson, “Hearing one’s own voice during phoneme vocalization—Transmission by air and bone conduction,” en, *The Journal of the Acoustical Society of America*, årg. 128, 2 aug. 2010. DOI: 10.1121/1.3458855.
- [16] S. Stenfelt, “Inner ear contribution to bone conduction hearing in the human,” en, *ScienceDirect*, årg. 329, s. 41–51, nov. 2015. DOI: 10.1016/j.heares.2014.12.003.
- [17] S. Reinfeldt, S. Stenfelt, T. Good och B. Håkansson, “Examination of bone-conducted transmission from sound field excitation measured by thresholds, ear-canal sound pressure, and skull vibrations,” en, *The Journal of the Acoustical Society of America*, årg. 121, nr 3, s. 1576–1587, mars 2007. DOI: 10.1121/1.2434762.
- [18] K. Wroblewska-Seniuk, P. Dabrowski, G. Greczka m. fl., “Sensorineural and conductive hearing loss in infants diagnosed in the program of universal newborn hearing screening,” en, *ScienceDirect*, årg. 105, s. 181–186, febr. 2018. DOI: 10.1016/j.ijporl.2017.12.007.
- [19] M. Alzahrani, P. Tabet och I. Saliba, “Pediatric hearing loss: common causes, diagnosis and therapeutic approach,” en, *Minerva Pediatrica*, årg. 67, nr 1, s. 75–90, febr. 2015.
- [20] Cochlear, *Typer av hörselnedsättningar och underliggande orsaker*, sv. URL: <https://www.cochlear.com/sv/se/home/diagnosis-and-treatment/diagnosing-hearing-loss/types-and-causes-of-hearing-loss> (hämtad 2023-02-06).
- [21] H. Hosoi, S. Yanai, T. Nishimura, T. Sakaguchi, T. Iwakura och K. Yoshino, “Development of cartilage conduction hearing aid,” en, *Archives of Materials Science and Engineering*, årg. 42, s. 104–110, april 2019. DOI: 10.3390/audiolres11020023.
- [22] C. Röösl, I. Dobrev och F. Pfiffner, “Transcranial attenuation in bone conduction stimulation,” en, *Hearing Research*, årg. 419, s. 108–118, juni 2022. DOI: 10.1016/j.heares.2021.108318.
- [23] A. Mudry och A. Tjellström, “Historical background of bone conduction hearing devices and bone conduction hearing aids,” en, *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, årg. 71, s. 1–9, 2011. DOI: 10.1159/000323569.

- [24] K. Robinette, J. Sims, B. Pang och S. Babu, “Transcutaneous versus percutaneous bone-anchored hearing aids: A quality of life comparison,” en, *American Journal of Otolaryngology*, årg. 44, nr 2, s. 103–115, mars 2023. DOI: 10.1016/j.amjoto.2022.103758.
- [25] B. Håkansson, S. Reinfeldt, M. Eeg-Olofsson m. fl., “A novel bone conduction implant (BCI): Engineering aspects and pre-clinical studies,” en, *International Journal of Audiology*, årg. 49, nr 3, s. 203–215, jan. 2010. DOI: 10.3109/14992020903264462.
- [26] Y. Chang, N. Kim och S. Stenfelt, “Simulation of the power transmission of bone-conducted sound in a finite-element model of the human head,” en, *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, årg. 17, nr 6, s. 1741–1755, dec. 2018. DOI: 10.1007/s10237-018-1053-4.
- [27] Hörsellinjen, *Hörselundersökningar*, sv. URL: <https://horsellinjen.se/fakta-och-rad/horsel-och-horselskador/horselundersokningar/> (hämtad 2023-02-06).
- [28] A.-C. Persson, B. Håkansson, M. Caveramma Mechanda m. fl., “A novel method for objective in-situ measurement of audibility in bone conduction hearing devices – a pilot study using a skin drive BCD,” en, *International Journal of Audiology*, s. 1–5, mars 2022. DOI: 10.1080/14992027.2022.2041739.
- [29] Britannica, The Editors of Encyclopaedia, *Overtone | acoustics | Britannica*, en. URL: <https://www.britannica.com/science/overtone> (hämtad 2023-02-22).
- [30] Hioki, *Why Is It Important to Understand Total Harmonic Distortion (THD) ? / Hioki*, en. URL: <https://www.hioki.com/us-en/learning/electricity/thd.html> (hämtad 2023-03-25).
- [31] K.-J. Fredén Jansson, B. Håkansson, L. Johannsen och T. Tengstrand, “Electroacoustic performance of the new bone vibrator Radioear B81: A comparison with the conventional Radioear B71,” en, *International Journal of Audiology*, årg. 54, nr 5, s. 334–340, maj 2015. DOI: 10.3109/14992027.2014.980521.
- [32] Institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap. Chalmers Tekniska Högskola, *Mätteknik*, sv. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, 2020.
- [33] R. D. Yates och D. J. Goodman, *Probability and stochastic processes*, 3. utg. John Wiley & Sons, juni 2014, ISBN: 978-1-118-80871-9.
- [34] Keysight, *Keysight 35670A Dynamic Signal Analyzer*, 2017. URL: <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-06736/technical-overviews/5966-3063.pdf> (hämtad 2023-03-25).
- [35] Interacoustics, *Audiometer AC40*, 2017. URL: <https://www.interacoustics.com/audiometers/ac40> (hämtad 2023-03-25).
- [36] Rotel, *RB-971 - rotel*. URL: <https://rotel.com/sites/default/files/product/manuals/RB-971-OM.pdf> (hämtad 2023-03-25).
- [37] Newtons4th Ltd, *LPA01 Laboratory Power Amplifier*, en, maj 2014. URL: <https://www.newtons4th.com/products/laboratory-power-amplifiers/lpa01/> (hämtad 2023-05-09).

- [38] Heco, *Heco Audio*. URL: <https://heco-audio.de/en/> (hämtad 2023-03-25).
- [39] Radioear Corporation, *Bone-transducers*. URL: <https://www.radioear.us/products/bone-transducers> (hämtad 2023-03-25).
- [40] Cochlear, *BAHA Intenso Data Sheet*, en, 2008.
- [41] S. Arlingers, *CD-skiva - Svensk talaudiometri*, sv. URL: <http://www.categner.se/PDFblad/Sv%5C%20talaud.pdf> (hämtad 2023-05-09).
- [42] J. Preece, H. Sharp och Y. Rogers, *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons, 2015, ISBN: 9781119020752.
- [43] A.-C. Persson, privat kommunikation, Feb 2023.
- [44] A.-C. Persson, privat kommunikation, Apr 2023.
- [45] S. Reinfeldt, privat kommunikation, Apr 2023.
- [46] B. Håkansson, A. Tjellström och U. Rosenhall, "Hearing Thresholds with Direct Bone Conduction Versus Conventional Bone Conduction," en, *Scandinavian Audiology*, årg. 13, nr 1, s. 3–13, jan. 1984. DOI: 10.3109/01050398409076252.
- [47] G. Broberg, *Statlig rasforskning: en historik över Rasbiologiska institutet*, sv. Lund: Lunds universitet. Avdelningen för idé- och lärdomshistoria, 2020, ISBN: 978-91-87833-12-0.

# A

## Bilagor

### A.1 Första intervjun med en audionom

Frågor som ställdes under intervjun med audionomen:

- Vad är en audionom?
- Vilka är de största problemen med benledningshörapparater?
- Vad brukar patienter klaga på?
- Hur felsöker ni idag? Hur ser processen ut?
  - Följer ni några steg?
  - Vilka ljud testas?
- Vad har ni tillgång till för utrustning?
- Vilken kunskap har audionomerna när de precis är färdigutbildade?
- Vad saknar du för att kunna hjälpa patienterna?
- Vilka fel finns på hörapparaterna och hur brukar man hitta dem?
- Hur hade du velat att felsökningen gick till? Dator, instrument?
- Hur tror du att ett benledningsstetoskop hade varit användbart?
  - Hur?
  - Finns något ännu bättre instrument?
- Hur ser undersökningsrummet/miljön ut på kliniken?

- I vilket format hade du velat ha en checklista för undersökning?

## A.2 Resterande resultat från de kvalitativa bedömningarna av konversationer

| Position | Ljudläckage? | Bakgrundsbrus? | Ringningar? | Kommentar från T1  |
|----------|--------------|----------------|-------------|--|
| P1       | Ja           | Ja             | Nej         | T2 hörs tydligast men T5 och T4 hörs också utan problem.   |
| P2       | Ja           | Ja             | Nej         | T2 hörs fortfarande tydligare, T4 och T5 hörs men det är sämre än position 1.  |
| P3       | Ja           | Ja             | Nej         | T2 hörs fortfarande tydligare, T4 och T5 hörs men det är sämre än position 1.  |
| P6       | Ja           | Ja             | Nej         | Svårt att uppfatta helt vad som sägs, sämre än tidigare positioner. Går att uppfatta vad T2 säger men svårare att uppfatta tal från T4 och T5. |
| P7       | Ja           | Ja             | Nej         | Svårt att uppfatta helt vad som sägs, sämre än tidigare positioner. Går att uppfatta vad T2 säger men svårare att uppfatta tal från T4 och T5. |

**Tabell A.1:** Resultatet av andra försöket för kvalitativ bedömning av konversation: Testpersonen T1 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T2 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAN på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T2 och hade en konversation.

| Position | Ljudläckage? | Bakgrundsbrus? | Ringningar? | Kommentar från T6  |
|----------|--------------|----------------|-------------|--|
| P1       | Ja           | Ja             | Nej         | Det går sådär med att uppfatta vad som sägs.   |
| P2       | Ja           | Ja             | Nej         | Lite sämre än innan. Hörs lite som att man är i en grotta jämfört med position 1. Skulle säga mindre brus och lägre. |
| P3       | Ja           | Ja             | Nej         | Samma brus känsla som position 1, hörs som en radio i bilen ungefär, dock hörs det tydligare.                        |
| P6       | Ja           | Ja             | Nej         | Det låter tydligt. Hör T1 tydligt. Inget grottljud utan mer radiokänsla.   |
| P7       | Ja           | Ja             | Nej         | Går att uppfatta vad som sägs, dock lite svagare.  |

**Tabell A.2:** Resultatet av tredje försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testperson T6 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T5 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAN på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T5 och hade en konversation.

| Position | Ljudläckage? | Bakgrundsbrus?  | Ringningar?                                   | Kommentar från T4  |
|----------|--------------|---|---|--|
| P1       | Ja           | Ja  | Nej   | Ja, alla går att höra tydligt även om T3:s röst är tydligast.  |
| P2       | Ja           | Ja, mindre än position 1.                                     | Nej   | Ja, det går tydligt att urskilja allas tal. Troligtvis pga mindre brus.  |
| P3       | Ja           | Ja, mindre skrapningar.                                       | Lite ringande ton ibland vid högt tal.        | Tydligare tal än både position 1 och 2. Går att höra alla bra.   |
| P6       | Ja           | Ja, mycket mer brus och skrapningar än tidigare.              | Ringningar hela tiden speciellt när T3 pratar | Tal hörs dovare, som att alla pratar genom bomull. Nästan lite robot-lik röst ibland. Vissa ord är svåra att urskilja. T3 hörs ok men de andra svåra att höra mycket av. |
| P7       | Ja           | Ja, lika mycket bakgrundsbrus och skrapningar som position 6. | Nej   | Samma som position 6. Dovt ljud, svårt att urskilja många ord från andra än T3.  |

**Tabell A.3:** Resultatet av fjärde försöket för kvalitativ bedömning av konversation: Testperson T4 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T3 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAn på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T3 och hade en konversation.

| Position | Ljudläckage? | Bakgrundsbrus?  | Ringningar? | Kommentar från T3   |
|----------|--------------|---|-------------|---|
| P1       | Ja           | Ja  | Nej         | Det går att uppfatta vad alla säger men T1 hörs betydligt tydligare än de andra.  |
| P2       | Ja           | Ja, mindre än position 1.   | Nej         | Tydligare tal än position 1, framförallt hörs personerna i bakgrunden tydligare. Kan bero på mindre brus men låter även som att talet är klarare. |
| P3       | Ja           | Mindre brus än position 1 och 2.                                      | Nej         | På denna position är talet tydligare än för position 1 och 2. Både när T1 pratar men även personerna i bakgrunden.                                |
| P6       | Ja           | Mycket mer brus och skrapningar jämfört med de tidigare positionerna. | Nej         | Talet hörs dåligt pga mycket brus. Svårt att höra exakt vad som sägs.   |
| P7       | Ja           | Ja, mindre brus än position 6 men mer än de tidigare.                 | Nej         | Talet hörs lika dåligt som position 6, d.v.s sämre än de tidigare. Svårt att urskilja vissa ord.  |

**Tabell A.4:** Resultatet av femte försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testpersonen T3 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T1 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAN på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T1 och hade en konversation.

| Position | Ljudläckage? | Bakgrundsbrus?   | Ringningar? | Kommentar från T2  |
|----------|--------------|--|-------------|--|
| P1       | Ja           | Ja, det sprakar men beror nog främst på rörelser av mikrofonen.                                | Nej         | Hör vad alla säger. T6 hörs väldigt mycket högre vilket är rimligt. Lite 'burkigt' ljud.                           |
| P2       | Ja           | Ja, men väldigt likt position 1.   | Nej         | Hörs något bättre än vid position 1.   |
| P3       | Ja           | Ja, lite mer "visslingar".   | Nej         | Låter mer burkigt än position 1 och 2, som att alla är längre bort.  |
| P6       | Ja           | Sprakar en del. Inte lika burkigt ljud, men hör T3 och T4 lägre än innan (de sitter bakom T6). | Nej         | Det hörs tydligt men något lägre än de tidigare positionerna 1,2 och 3.  |
| P7       | Ja           | Lite bakgrundsljud och sprakningar.  | Nej         | T6 hörs högre än innan, blir nästan för högt för öronen. De andra hörs sämre, uppfattar inte exakt vad alla säger. |

**Tabell A.5:** Resultatet av sjätte försöket för kvalitativ bedömning av konversation. Testpersonen T2 lyssnade med benledningsstetoskopet från ett ljudisolerat rum. Testperson T6 hade hudmikrofonen placerad på de olika positionerna och BAHAN på vänster sida. Resterande testpersonerna satt framför T6 och hade en konversation.

### A.3 Exempel på ord från talaudiometritestet

| Nr | Ord   |
|----|-------|
| 1  | svan  |
| 2  | typ   |
| 3  | plank |
| 4  | skarp |
| 5  | skepp |
| 6  | skål  |
| 7  | mor   |
| 8  | märk  |
| 9  | hel   |
| 10 | surr  |
| 11 | bråk  |
| 12 | guld  |
| 13 | lov   |
| 14 | kul   |
| 15 | helg  |
| 16 | kväll |
| 17 | håll  |
| 18 | krig  |
| 19 | snygg |
| 20 | kamp  |
| 21 | dröm  |
| 22 | rask  |
| 23 | blond |
| 24 | skylt |

**Tabell A.6:** Exempel på ordlista med enstaviga ord som spelades upp under test 5, det vill säga testet med talaudiometri med benledningsstetoskop.

## A.4 Andra intervjun med en audionom

Frågor som ställdes under andra intervjun med en audionom:

- Hur genomför du en verifiering av traditionella förstärknings (icke-benlednings) hörapparater?
- Vilka hörseltester du framförallt vill använda om du har ett benledningsstetoskop?
- Kan du gå igenom hur du önskar att en undersökning går till från början till slut?
- Vad har en audionom tillgång till för utrustning vid en undersökning?
- Är det värdefullt att kunna spela in ljudet som fås från hudmikrofonen?
- Vilka frågor brukar du ställa till patienten?

## A.5 Slutgiltiga versionen av protokollet

### Protokoll för bedömning av ljudkvalitet hos benledningshörapparater

Frågor till patienten:

| Hur upplever du...   | Kommentar |
|--|-----------|
| Ljudstyrkan?   |           |
| Ljudkvaliteten?<br>- ljusa ljud?<br>- mörka ljud?<br>- din egna röst?  |           |
| Din hörsel i olika situationer?<br>- konversationer på jobbet?<br>- vid TV:n?<br>- situationer med mycket bakgrundsljud? |           |

Uppsättning av benledningsstetoskopet:

- Placera hudmikrofonen på mitten av pannan på patienten.
- Kontrollera att isoleringen av mikrofonen sitter tätt mot huden.
- Sätt på dig hörlurarna och starta ljudstimuleringen.

Undersökning med benledningsstetoskopet:

| Stimuli                                   | OK? | Kommentar |
|---|-----|-----------|
| Tal                                       |     |           |
| Musik                                     |     |           |
| Tal i bullrig miljö                       |     |           |
| Obehagligt ljud (ex. skramla med nycklar) |     |           |
| Lågfrekvent ton (500 Hz)                  |     |           |
| Högfrekvent ton (4000 Hz)                 |     |           |

Institutionen för Elektroteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
Göteborg, Sverige  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**