

TEKNISK NOTAT

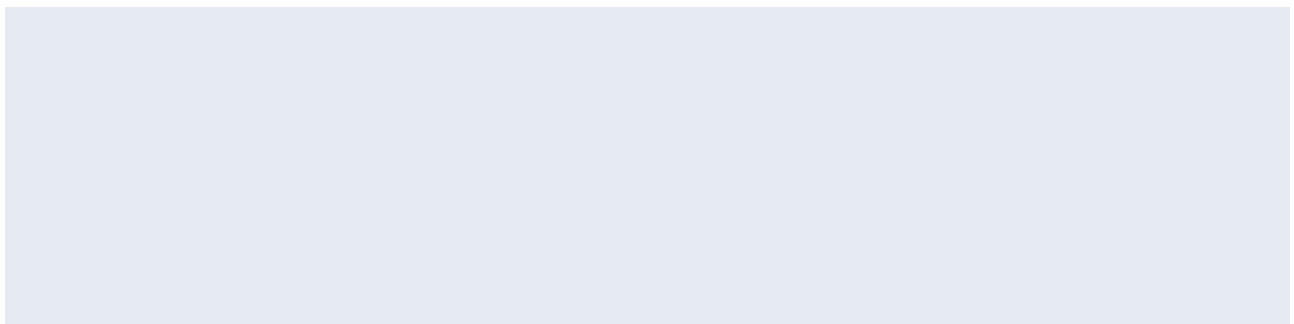
Høreapparatverifikation med øregangsmålinger

Vejledning i udførelsen af REM-målinger

Task Number: 121-20976.10

Side 1 af 24

1 appendiks



KOLOFON

Titel	Høreapparatverifikation med øregangsmålinger
Version	2. udgave, maj 2022
Lavet for	AMGROS I/S Dampfærgevej 22 Box 2593 2100 København Ø 122-21245.10
Udført af	FORCE Technology Carsten Daugaard
Forord	<p>Dette dokument er en opdatering af en vejledning i IG-målinger fra DELTA-Teknisk audiologisk laboratorium af Lars F. Nielsen fra 1996. Sondemålinger ved trommehinden, som i dag ofte benævnes REM (Real Ear measurements), er en metode, der ikke i de 25 år der er gået siden førsteudgaven, er benyttet klinisk i det omfang litteraturen lægger op til.</p> <p>I disse år er der imidlertid igen fokus på disse målinger, så der er begrundet håb om at de kan blive en del af klinisk praksis når høreapparater skal tilpasses. Ligeledes er der håb om at denne vejledning kan bidrage til at få de praktiske begreber på plads så udfordringerne ved udførelsen af målingen ikke overstiger den effekt på tilpasningen udførelsen af disse målinger vil have.</p>

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Baggrund	5
2	Forkortelser og begreber	5
2.1	Hvad skal barnet hedde?	5
2.2	Gain og Respons.....	6
2.3	Liste over forkortelser og begreber	6
3	At ramme target	8
3.1	Indstillingen af et høreapparat	8
3.2	Targetkurver	8
3.3	Hvornår er det nok?	9
4	Testmiljøet.....	10
4.1	Opsætning af testudstyret	10
4.2	Testrum og højtalerplacering	10
4.3	Kalibrering af udstyret.....	11
4.3.1	Kalibrering af lydfelt.....	11
4.3.2	Kalibrering af sondemikrofon	13
5	Måleprocedure.....	15
5.1	Fælles procedure	15
5.1.1	Indtastning af audiogram og valg af forstærkningsregel.....	15
5.1.2	Placering af probemikrofon i øret	15
5.1.3	Valg af signaltype	17
5.1.4	Valg af signalniveau	18
5.1.5	Midlingstid.....	18
5.1.6	Percentiler af talesignalet	18

5.2	Målinger af SPL niveau i øregangen (REAR)	19
5.2.1	Speech Mapping (SPM) - Dynamiske respons målinger.....	19
5.3	Målinger af gain re FF (REAG).....	20
5.4	Insertion gain (REIG)	20
5.5	Real-Ear to Coupler difference (RECD).....	21
6	Litteratur og referencer	22
6.1	Litteratur.....	22
6.2	Ældre referencer.....	22
	Appendiks 1: Måleusikkerhed og "best practice"	24

1 Baggrund

Måling af lydtrykket ved trommehinden er ingen ny ide i høreapparat-sammenhæng. Formålet er objektivt at kunne vurdere kvaliteten af den forstærkning det samlede system høreapparat og prop giver.

Stig Dalsgaard, grundlæggeren af Teknisk-Audiologisk Laboratorium (TAL) var tidligt involveret i udviklingen af denne målemetode. Metoden nåede en pæn udbredelse i Danmark indtil fremkomsten af de ulineære computer programmerbare høreapparater, hvor efter metoden faldt i popularitet. Faktisk er dette dokument en revision af en 25 år gammel vejledning, skrevet af min kollega Lars F. Nielsen, så viden om den tekniske del af øregangsmålinger er ikke nogen ny trend på TAL.

Forskellige steder i verden, ikke mindst i Nordamerika, har der siden starten været grupper som regelmæssigt foretog og udviklede målinger i øregangen med det formål at vurdere kvaliteten af høreapparattilpasningen. Der har været almen enighed om behovet for en metode til objektivt at kunne vurdere tilpasningen og til sammenligning med brugerens subjektive udsagn om kvaliteten af tilpasningen. Det er en måling som rummer forskellige usikkerheder, og dens relativt begrænsede udbredelse hænger sandsynligvis sammen med det besvær og de usikkerheder der ligger i den ikke-rutinerede udførelse af målemetoden.

De regelmæssige brugere af metoden bærer vidnesbyrd om at det er en måling som kan mestres og at den giver grundlaget for en bedre og mere dokumenteret tilpasning end nogen anden almindelig kendt metode til udførelse og verifikation af en høreapparat-tilpasning.

2 Forkortelser og begreber

2.1 Hvad skal barnet hedde?

Det siges at kært barn har mange navne, hvilket også er tilfældet med denne type målinger. Mange af dem er desuden på engelsk, hvilket bevirker at man bør skaffe sig et overblik over betydningen af disse betegnelser inden man går i gang.

Helt grundlæggende udføres målinger af lydtrykket ved trommehinden. Disse målinger udføres med en sonde (en tynd blød slange) med den ene ende placeret i øregangen tæt på trommehinden, og den anden ende sat på en mikrofon. Inspireret af det engelske sprog benyttes ofte i Danmark betegnelsen "probemikrofon" og dermed probe mikrofon målinger (eng: probe microphone measurements) om selve målingen, ofte forkortet til PMM, som virker på både dansk og engelsk.

Betegnelsen "Real Ear measurements (REM)" kendes af mange. Denne betegnelse antyder at målingerne altid foregår på rigtige ører hvilket også er det mest almindelige, men ikke altid tilfældet. Fx kan man i høreapparatproducenternes tilpasningsprogrammer finde kurver som er betegnet "in-situ gain", som er probemikrofon målinger foretaget i øret på en konstrueret model af et gennemsnitligt øre, som man fx finder på en KEMAR-mannequin.

Insertion gain, eller bare IG, har været en yndet betegnelse for denne type målinger fordi denne kurve er umiddelbart sammenlignelig med den teoretisk ønskede forstærkning (target), som beregnes ud fra det målte audiogram. I ældre litteratur finder man den korrekte danske

betegnelse "indskudsforstærkning", der ligesom den engelske beskriver resultatet af en specifik måling snarere end den generelle målemetode

"Øregangsmålinger" er et til denne lejlighed opfundet ord, som på dansk beskriver denne type målinger dog uden at specificere at det er en elektroakustisk måling det drejer sig om.

2.2 Gain og Respons

En yderligere faktor, der kan besværliggøre forståelsen af denne type målinger, er forskellen mellem at måle lydtrykket ved trommehinden og en forstærkning mellem denne position og lyden ved indgangen af øret, eller med andre ord forskellen mellem en outputmåling og en måling af gain.

Grundlæggende er den simple sammenhæng at $\text{output} = \text{input} + \text{gain}$, hvoraf det fremgår at gain kan findes ud fra output når inputniveauet, altså lydtrykket af den lyd man sender ind mod øret, kendes. I modsætning til de to andre størrelser udtrykker gain altid et forhold mellem to værdier.

Dagens målesystemer tilbyder typisk at vise målinger af enten gain eller output. Gainkurverne viser forskellen mellem måle og referencemikrofonen, mens output målingerne viser lydtryk i dB SPL tæt på trommehinden.

Traditionelt har øregangsmålingerne resulteret i IG kurven, som er et udtryk for høreapparatets forstærkning fra den åbne øregang til øregangen med høreapparatet aktivt. Da indskudsforstærkningen (IG) findes som forskellen mellem de to kurver for henholdsvis en åben øregang og et tændt høreapparat kan den beregnes både ud fra output kurverne og ud fra gain kurverne.

Outputkurven viser det reelle lydniveau ved trommehinden. Disse værdier kan ikke direkte sammenlignes med den ønskede forstærkning uden at denne omregnes til et output ud fra den tidligere skitserede sammenhæng. Audiogramværdierne kan omregnes til output værdier som udtrykker det lydtryk der skal til for at én med dette høretab lige netop kan høre de svageste lyde. Tilsvarende kan man afbilde talens dynamikområde sammen med outputmålingen og derved få en indikation af om tale kan forventes at være hørbar i det aktuelle øre med den aktuelle forstærkning.

2.3 Liste over forkortelser og begreber

I nedenstående findes en liste over de mest brugte forkortelser og begreber:

dB HL: Enhed der udtrykker at lydtrykket er angivet i forhold til den menneskelige høretærskel. Omregningen mellem dB HL og dB SPL er tabellagt.

dB SPL: Enhed der udtrykker at lydtrykket er angivet som det fysiske tryk i målepunktet. Omregningen mellem dB HL og dB SPL er tabellagt.

Gain: Forstærkning af lyden mellem to punkter Gain udtrykker i dB det relative forhold mellem lydtrykket i to punkter, fx ved indgangen til øret og ved trommehinden.

Hvid støj Et bredbåndet målesignal med energien ligeligt fordelt i det frekvensområde det dækker over.

ICRA Talelignende målesignal, som stadig har karakter af moduleret og frekvensafskåret støj. Det ligner ikke tale i samme grad som ISTS.

ISTS: International speech test signal. Kunstigt talesignal designet til at få høreapparatet til at give en realistisk forstærkning. Bør altid benyttes ved øregangsmålinger på høreapparater.

Kobler En afslutning af høreapparatets output i et hulrum med en mikrofon i bunden. Skal tilnærme de akustiske i en med øreprop tillukket øregang. IEC-60318 standard serien beskriver to koblere af denne type. IEC60318-4 og IEC60318-5.

LTASS Long term averaged speech spectrum. En kurve over det langtidsmidlede talespektrum, som det fx kan se ud efter en 30 sekunders REAR måling.

Lyserød støj Et bredbåndet målesignal med energien ligeligt fordelt i 1/3 oktaver i det frekvensområde det dækker over.

PMM: Probe mikrofon målinger /probe microphone measurements

REM: Real Ear measurements. Målinger i øregangen

Response: Et response er den måling der viser outputtet i dB SPL i et givent punkt som funktion af frekvensen

REUG: Real ear Unaided Gain. Måling af forstærkningen fra referencemikrofonen til trommehinden i det åbne øre (øregangsresonansen)

REUR: Real ear Unaided Respons. Måling af output i den åbne øregang med probemikrofonen placeret ved trommehinden.

REOG: Real Ear Occluded Gain. Måling af gain ved trommehinden relativt til referencemikrofonen, med en (delvist)lukkede øregang. Normalt er øregangen lukket af prop og et slukket høreapparat.

REOR: Real Ear Occluded Response. Måling af lydtrykket ved trommehinden med en (delvist)lukkede øregang. Normalt er øregangen lukket af prop og et slukket høreapparat.

REAG: Real Ear Aided Gain. Måling af lydtrykket ved trommehinden med et aktivt høreapparat på øret.

REAR: Real Ear Aided Response. Måling af lydtrykket ved trommehinden, med et aktivt høreapparat på øret.

REIG: Real Ear Insertion Gain. Måling af indskudsforstærkningen med et aktivt høreapparat på øret. Forstærkningen er et udtryk for forskellen mellem lydtrykket i den åbne øregang og i den åbne øregang med et tændt høreapparat korrekt påsat.

RECD: Real Ear to coupler Difference. Måling af overføringsfunktionen mellem en standard kobler og en rigtig øregang.

Target: De kurver som beregnet på baggrund af audiogrammet anses som den rette forstærkning ud fra tilpasningsreglen.

Tilpasningsregel: (Eng: fitting rule) en empirisk regel der beregner den bedste forstærkning for et givent høretab. Er primært baseret på audiogrammet, men tager også andre input som fx køn og mono/binaural fitting.

3 At ramme target

3.1 Indstillingen af et høreapparat

Lige så længe at høreapparater har kunne give forstærkning nok, har udfordringen været at tilføre den tilstrækkelige forstærkning af lyden ind i høreapparatet for optimal forståelighed og komfort.

Denne problematik er som minimum todimensionel med variabel forstærkning afhængig af frekvens og inputniveau, og har givet anledning til mange forskrifter på den bedste forstærkning for et givent høretab. Disse forskrifter benævnes tilpasningsregler med resultatet udtrykt som et såkaldt target, gainkurver beskrivende den ønskede forstærkning for typisk tre inputniveauer.

Tidligere kunne høreapparaterne justeres via en eller flere trimmere på apparatet til en forstærkning der nogenlunde matchede det teoretiske optimale target. I dag hvor alle høreapparater må tilsluttes et stykke software for at få en personificeret indstilling er target en integreret del af tilpasningsproceduren.

3.2 Targetkurver

Ethvert høreapparat som kan programmeres, kræver en opskrift på hvordan forstærkningen skal være. Alle høreapparater har i dag et forslag til forstærkningen afhængig af høretabets størrelse. Med denne opskrift indstilles høreapparatet til en grundforstærkning ofte kaldet "first fit". Tilpasningsprogrammerne i dag viser typisk kurver for den ønskede forstærkning for tre forskellige inputniveauer. Faktisk viser de normalt seks kurver, tre for den teoretiske forstærkning i forhold til "opskriften" og tre for den aktuelle indstilling af forstærkningen. Alle seks kurver er formodninger om hvordan lydtrykket/forstærkningen ser ud "bag høreapparatet", uden en mikrofon placeret i øregangen kan programmerne af gode grunde ikke give de rigtige værdier.

Med øregangsmålinger kan man finde de præcise værdier for høreapparatets indstilling. Denne viden er ikke noget værd, hvis man ved hvad man skal opnå. Dette er typisk udtrykt ved at sammenligne målingen med den forstærkning man ønsker ifølge opskriften. Derfor kan man også i REM-måleprogrammerne hente et audiogram ind og på baggrund af det få beregnet et teoretisk mål (target) for indstillingen, som man kan sammenligne sine målinger med.

Det er ikke sikkert at det target der er beregnet i tilpasningsprogrammet er det samme som det i REM måleprogrammet. Det er ikke engang sikkert at de samme opskrifter findes i de to programmer. Dette skyldes at høreapparatproducenterne udvikler deres egen opskrift på forstærkningen, baseret på egne erfaringer med deres produkter. Denne erfaring holder de tæt til kroppen og derfor er firma tilpasningsregler ofte ikke alment tilgængelige. Vil man benytte

firmaets tilpasningsregel må man derfor aflæse target kurverne på tilpasningsprogrammet og sammenligne dem med de målte kurver på skærmen fra REM målesystemet.

Der findes dog enkelte generiske tilpasningsregler, som normalt kan vælges både i tilpasningsprogrammet og i REM-måleprogrammet. Desværre er der noget der tyder på at heller ikke disse beregninger udføres helt ens i softwaren og i måleprogrammet. Man må dog antage at det overordnede mål med forstærkningen er det samme, når samme regel anvendes. Derfor må man forvente at de justeringer der foretages, når samme regel er valgt både i høreapparatets tilpasningssoftware og i målesoftwaren, hovedsageligt er korrektioner fra en forventet gennemsnitsfysiologi i et øre og til akustikken i det aktuelle øre.

De generiske regneregler benytter også viden om høreapparatet til udregningen, derfor kan man forvente, at man i målesoftwaren skal give informationer fx om type af høreapparat og antal kanaler i apparatet for at få den mest korrekte targetkurve.

3.3 Hvornår er det nok?

I praksis vil måle og targetkurver naturligvis aldrig ligge præcis oven i hinanden, så der er behov for en rimelig tommelfingerregel for hvornår target er matcher målte kurver. Mueller angiver at targetkurver i virkeligheden skal opfattes mere som et område end som en kurve, så plus/minus 5 dB mellem target og målte kurver må være OK. Dog er en mere "blød" målt kurve, der følger targets kurveform at foretrække frem for en kurve der hopper fra 5 dB under target til 5 dB over target for hver tredjedel oktav der er målt.

4 Testmiljøet

4.1 Opsætning af testudstyret

Der findes en række kommercielle måleudstyr til udførelse af disse målinger. Fælles komponenter i dem alle er en højttaler til præsentation af målesignalet, en målebøjle med referencemikrofon og målemikrofon med studs til påsætning af målesonde (ofte kaldet probe). Desuden et stykke software til at sammenholde stimuli med det optagne respons og præsentere og gemme måleresultaterne.

De fleste udstyr har også en måleboks, hvor man kan lave supplerende målinger i en kobler uden at skulle involvere brugeren i disse målinger. Disse målinger betegnes RECD.

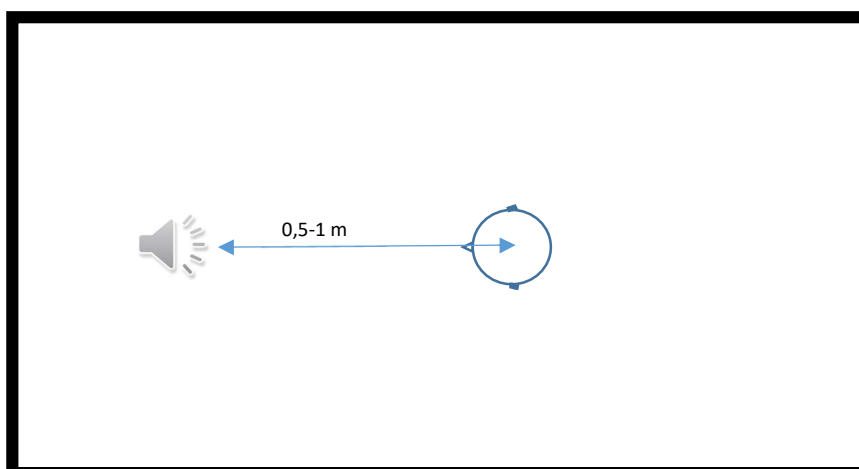
4.2 Testrum og højttalerplacering

En af de første overvejelser man bør gøre sig, er hvilke krav der skal stilles til rummet hvor REM målingen skal foretages. Det bedste sted er et såkaldt "quasi-frit felt" som fx en audiometriboks. Et almindeligt rum kan dog også benyttes hvis følgende betingelser opfyldes:

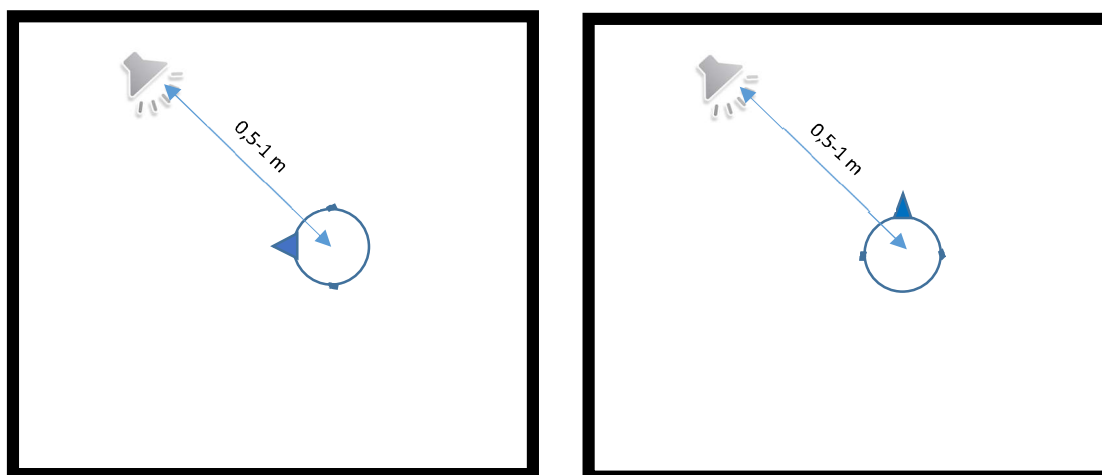
- Der må ikke være reflekterende flader i nærheden af målepositionen. Jo længere væk fra reflekterende flader så som vægge og borde des mindre påvirker reflekterende lyd målingen. Det bedste valg af måleposition (der hvor patienten placeres) er midt i rummet.
- Baggrundsstøjen skal være tilpas lav i forhold til output signalet fra højttaleren. En tommelfingerregel er at baggrundsstøjen bør være mindst 10 dB under det laveste niveau af signalet fra målesystemets højttaler.
- Højttaleren skal placeres i en fornuftig afstand fra patienten. Det er vigtigt at højttaleren placeres rimelig tæt på patienten, dvs. en afstand på 0.5 - 1 meter. En forøgelse af afstanden vil give større måleusikkerhed, som følge af rummets øgede indflydelse og højttalerens begrænsninger i lydstyrke.

Med hensyn til højttalerens placering i forhold til patienten er der flere muligheder. De mest anbefalede positioner er i 0° og 45°, hvor 0° er ud for patientens næse. Positionen i 45° giver den mindste gentagelsesusikkerhed [1] [3], men proceduren bliver langsommere, idet patienten skal skifte position. Det problem kan dog løses enten ved brug af to højttalere eller ved at sætte højttaleren på en vippearms. Det vil ved 45° være sværere at få patienten til at holde hovedet i den rigtige position, da han/hun vil kigge efter højttaleren fordi lyden kommer derfra. Placeres højttaleren i 0° behøves kun en højttaler og det er lettere at få patienten til, at holde hovedet i den rigtige position ved at lade vedkommende kigge på højttaleren. I praksis udføres langt de fleste målinger i positionen 0°. Har man først valgt en position skal den fastholdes af hensyn til eventuelle efterfølgende sammenligninger af separate målinger.

To opstillingsmuligheder er vist på figur 4.1 og figur 4.2.



Figur 4.1 - Opstilling med højttaler placeret i 0°



Figur 4.2 - Opstilling med højttaler placeret i 45°

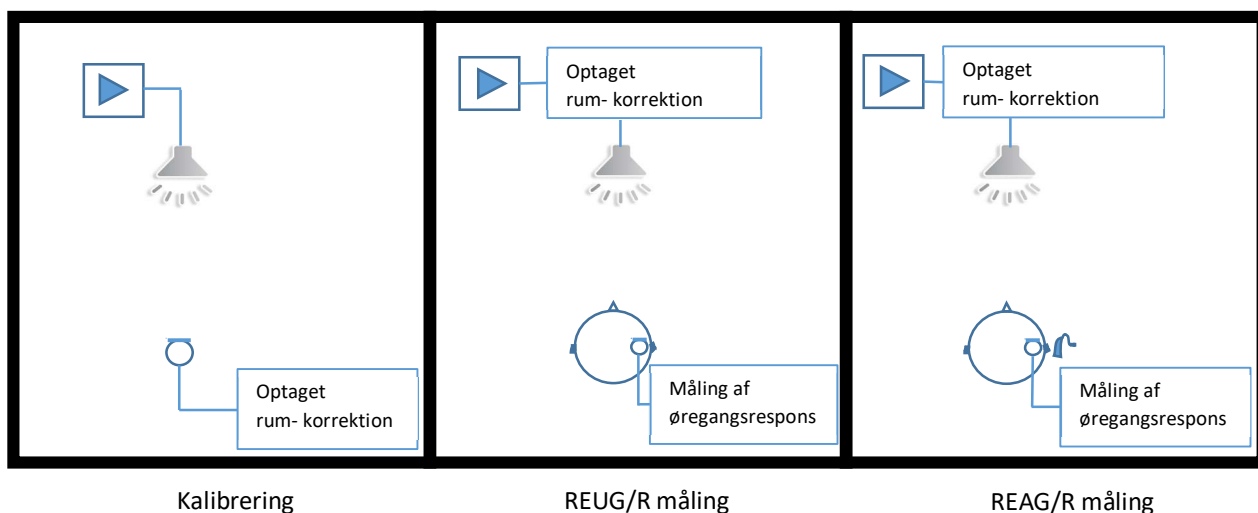
4.3 Kalibrering af udstyret

4.3.1 Kalibrering af lydfelt

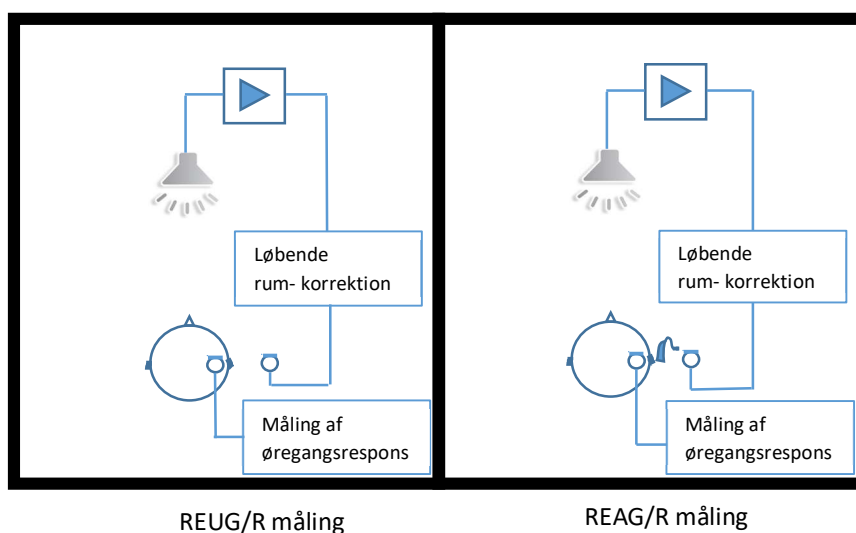
Før man foretager en REM måling skal der foretages en kalibrering af lydfeltet eller rettere en equalisering (udjævning) af lydfeltet. Equaliseringen af lydfeltet skal sørge for, at man i det specifikke punkt der måles, har det ønskede lydtryksniveau (SPL) i det frekvensområde målingen dækker. Hvordan der kalibreres afhænger af, hvilken metode (eller udstyr) der benyttes til målingen.

I teorien beskrives principielt to kalibreringsmetoder: Substitution metoden og tryk metoden. Hovedprincipperne i disse er som beskrevet her: Equaliseringen af lydfeltet ved substitutionsmetoden foregår med en referencemikrofon uden at høreapparaturbruger er til stede. (se fig. 4.3) Referencemikrofonen som er frekvenslineær, måler rummets og højttalerens

frekvensrespons i målepositionen ved et givent lydtryksniveau eksempelvis, 70 dB SPL. Dette frekvensrespons gemmes i målesystemet og benyttes til, at udkompensere afvigelserne fra det ønskede niveau ved de forskellige frekvenser. Herefter placeres høreapparatbrugeren ved selve øregangsmålingerne således, at referencemikrofonens tidligere placering svarer til et punkt midt mellem øregangsåbningerne. Det er her meget vigtigt at høreapparatbrugeren placeres rigtigt for at undgå fejl ved målingen.



Figur 4.3 - Illustration af kalibrering ved substitutionsmetoden.



Figur 4.4 - Illustration af kalibrering ved trykmetoden.

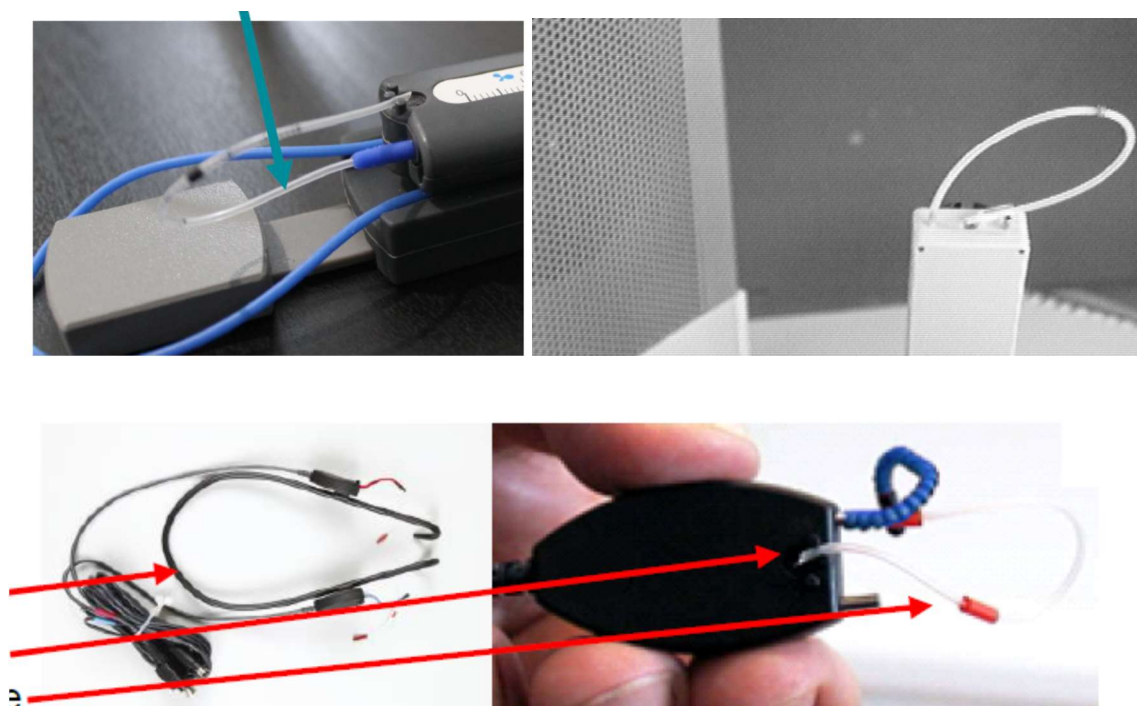
På figur 4.4 ses at equaliseringen ved trykmetoden foregår under selve REM målingen, idet målesystemet ved hjælp af referencemikrofonen hele tiden sørger for, at holde et konstant lydtryksniveau ved de gennemløbne frekvenser. Trykmetoden er i modsætning til substitutionsmetoden ikke følsom overfor mindre hovedbevægelser hos patienten.

De kommercielle REM -udstyr benytter derfor som udgangspunkt trykmetoden, da denne løsning er den nemmeste at arbejde med uden større hensyntagen til rummets akustik eller fiksering af hovedet under målingen. Med fremkomsten af åbne høreapparatløsninger blev det imidlertid klart at lækage af lyd ud gennem proppen kunne påvirke inputniveaumålingen af referencemikrofonen i headsettet, og derved føre til fejlmålinger. Derfor tilbyder alle målesystemer i dag en speciel kalibrering for åbne tilpasninger, der så at sige udfører en kalibrering efter substitutionsmetoden "ovenpå" trykmetoden. Den praktiske konsekvens af denne kalibrering for åbne tilpasninger er at hovedbevægelser under målingerne skal undgås efter at en kalibrering for åbne tilpasninger er foretaget.

4.3.2 Kalibrering af sondemikrofon

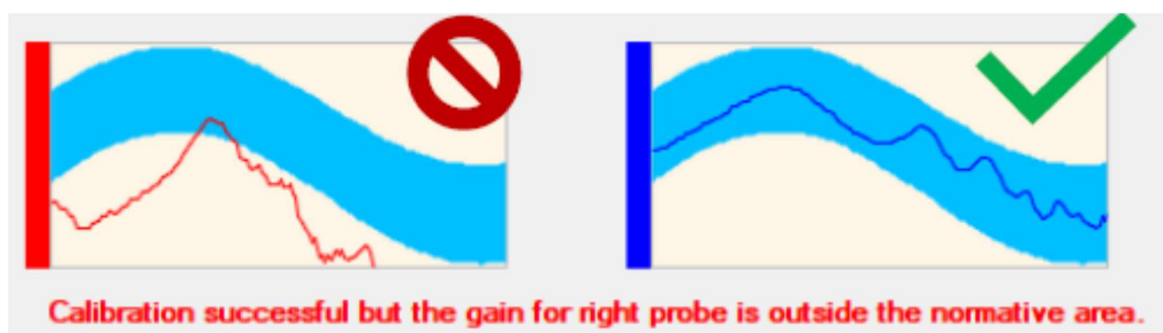
Måleudstyret kræver en kalibrering af sondemikrofonen eller rettere det stykke silikone slange der er påsat sondemikrofonen. Dette stykke slange påvirker målingen, idet lyden skal passere igennem slangen før den når selve mikrofonen. Kalibreringens formål er at gøre slangen akustisk usynlig.

Kalibreringen udføres ved at sammenligne signalet fra sondemikrofonen med signalet fra den lineære referencemikrofon. Forskellen mellem de to signaler afspejler probeslangens indflydelse. Placeringen af de to mikrofoner er illustreret på figur 4.5.



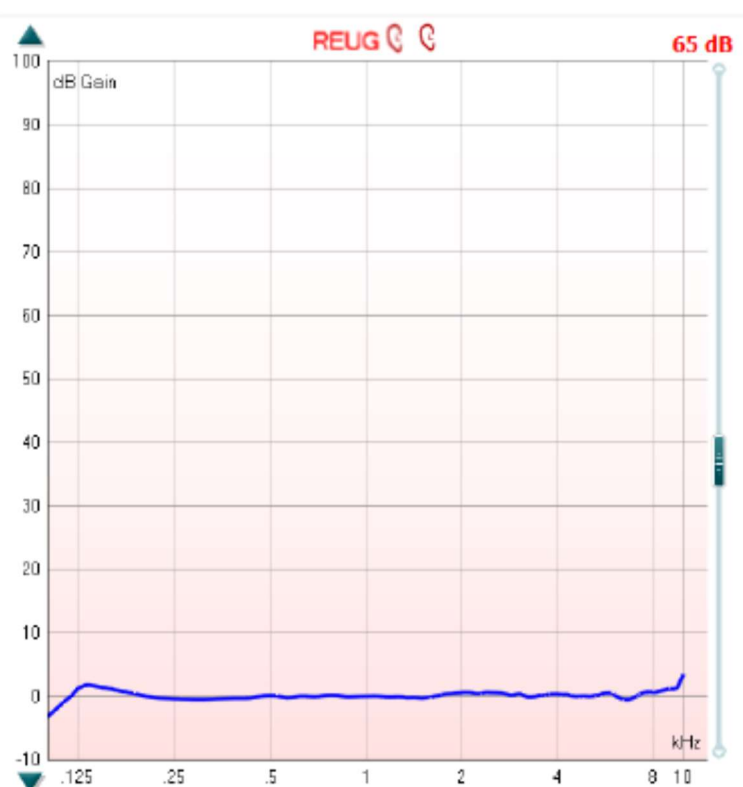
Figur 4.5 – Eksempler på positionering af referencemikrofon og sondemikrofon ved kalibrering. Spidsen af sondeslangen placeres ved det mørke hul på måleboksen som er referencemikrofon åbningen. (Billeder taget fra kommerciel dokumentation for målesystemer)

Som det ses af figur 4.5 skal sondemikrofonen og referencemikrofonen placeres tæt sammen således, at de påtrykkes det samme lydtryksniveau. Det er meget vigtigt at være omhyggelig med placeringen af de to mikrofoner for at opnå en korrekt kalibrering. Figur 4.6 viser kurveformen ved forkert og korrekt kalibrering. Det er vigtigt, at der kalibreres på ny, hvis der skiftes sondeslange. Vær desuden opmærksom på ikke at klemme sondeslangen under kalibreringen. (og under målinger i øvrigt)



Figur 4.6 – Rigtig og forkert kurveform ved kalibrering af sonde. [1-Natus ref.].

Kalibreringen af sondeslangen kan yderligere kontrolleres ved at fx foretage en REUG måling med sonden i kalibreringspositionen. Er denne kurve flad i hele frekvensområdet med 0 dB gain, er sonden korrekt kalibreret (se fig. 4.7)



Figur 4.7: Kontrolmåling. Viser rigtig kalibrering af målesonde. [IA 2013].

5 Måleprocedure

5.1 Fælles procedure

For alle typer af øregangsmålinger er der en række trin med tilhørende overvejelser man typisk skal igennem Disse er beskrevet i dette kapitel. I de efterfølgende er der fokus på de trin der er specifikke for de enkelte typer af målinger.

Fælles trin i øregangsmålinger:

- Indtastning af patientdata (audiogram).
- Valg af forstærkningsregel.
- Placering af sondemikrofon i øret.
- Valg af signaltype.
- Valg af signalniveau

5.1.1 Indtastning af audiogram og valg af forstærkningsregel

Måleudstyret benytter patientens audiogram til beregningen af det target som vises ved målingerne. Derfor skal dette indtastes eller hentes i en database. Beregningen af target sker på baggrund audiogrammet ved hjælp af en forstærkningsregel. Hvis tilpasningen er baseret på en af de generiske tilpasningsregler, kan man vælge denne forud for målingen. Hvis man har benyttet høreapparatproducentens generiske tilpasningsregel, vil denne ikke altid være at finde i måleudstyret. Her kan man vælge en kendt generisk regel i måleudstyret, men se bort fra denne og sammenligne de målte IG eller responskurver direkte med kurverne i tilpasningsprogrammet, som må tælle som targets. Husk at være sikker på at tilpasningsprogrammet og måleprogrammet viser samme type kurver, så fx respons kurver ikke sammenlignes med gain kurver.

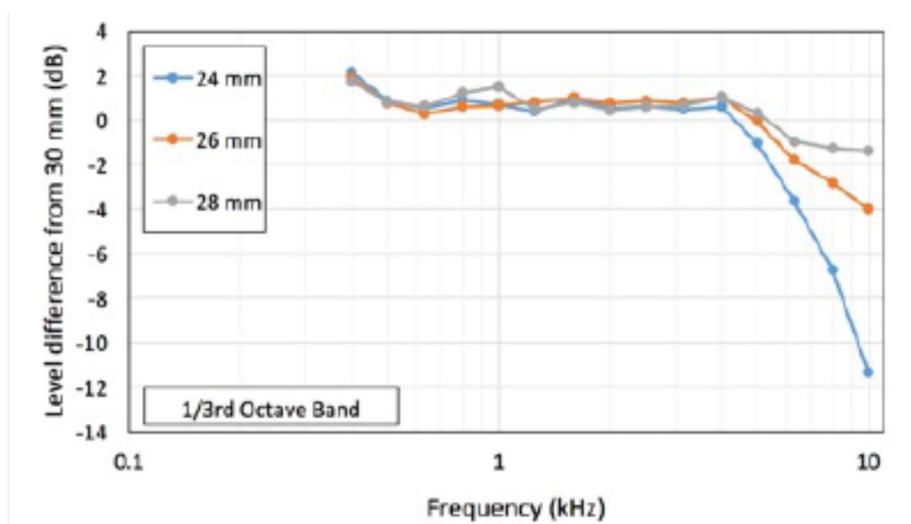
Det meste måleudstyr har de generiske forstærkningsregler indbygget. Man behøver således kun at indtaste audiogrammet og vælge en forstærkningsregel, så udregner systemet et target som man kan sammenligne sine målinger med.

5.1.2 Placering af probemikrofon i øret

At opnå en korrekt placering af probemikrofonen er et væsentligt punkt i forbindelse med en REM-måling. Da øregang og trommehinde kan betragtes som et halvåbent rør vil der dannes stående bølger i øregangen. Resultatet af REM-målingen afhænger derfor af hvor langt inde i øregangen sondemikrofonen placeres. Et eksempel på måleresultatets afhængighed ses på figur 5.2 som viser afvigelsen på output relativt til en indsætningsdybde af sonden på 30mm. Referenceplaceringen er 28 mm, så sondespidsen er flyttet to mm tættere på trommehinden, samt to og fire millimeter yderligere væk fra trommehinden.

Som det ses af figuren er der på det ene målte øre ret små afvigelser op til 5 kHz, når placeringen holdes indenfor 4 mm fra referenceplaceringen. Der er altså plads til lidt placeringsvariation hvis

man ikke skal kigge på diskanten, sondemikrofonen skal dog helst placeres mellem 2-6 mm fra trommehinden for et optimalt resultat. Derudover er det vigtigt at sondemikrofonen placeres mindst 5 mm længere inde end spidsen af øreproppen eller i-øret-apparatet, og det er meget vigtigt at sondeslangen har den samme indsætningsdybde ved begge målinger. Før sonden placeres i øret er det væsentligt at sikre sig, eksempelvis ved hjælp af et otoskop, at øregangen er tør og fri for fremmedlegemer (ørevoks).



Figur 5.1: Afvigelsen på målingen ved forskellig indsætningsdybde i øret af målesonden. Referencen er en indsætningsdybde på 30 mm. Målingerne viser at unøjagtigheden (i samme øre) er under 2 dB op til 5 k*Hz for en variation på -2 til +4 mm på placeringen. [Vaisberg 2021].

Hvor placeringen af sonden i længderetningen af øregangen er vigtigt, er det mindre vigtigt hvor i tværsnittet af øregangen sonden placeres. Dog er det god skik at forsøge at få sonden placeret i bunden af øregangen. Det gør det nemmere at fiksere sonden mens høreapparatet isættes, så sondens position i længderetningen af øregangen fastholdes under påsættelse af prop/dome.

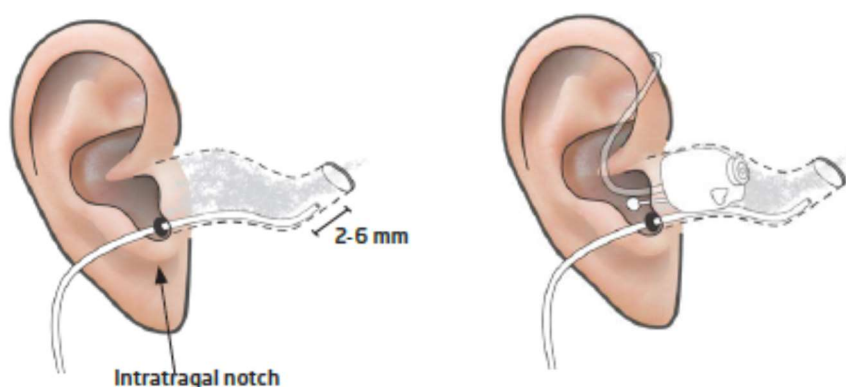
Der flere forskellige metoder til sikring af en korrekt placering af sondeslangen ved trommehinden. Den mest anvendte metode til placering af sondeslangen er at anvende en konstant indsætningsdybde forbi tragus.

Gennemsnitslængden for en voksen persons ørekanal er 25 mm. Dertil skal lægges 10 mm, som er afstanden fra ørekanalåbningen til tragus. Det vil sige fra tragus til trommehinden er der gennemsnitlig 35 mm. Det anbefales derfor at indsætte sondeslangen med ca. 30 mm afstand fra tragus for at opnå en afstand på 5 mm til trommehinden. Da de 35 mm er en gennemsnitsafstand, benyttes typisk en afstand på 28 mm for kvinder og 30-31 mm for mænd, så sammenstød med trommehinden ikke risikeres. (Oticon 2016, Vaisberg 2013)

Man markerer altså den ønskede indsætningsdybde på på sondeslangen ved tragus som vist på figur 5.2. Pas i øvrigt på ikke at klemme sondeslangen under målingerne.

Placeringen af sondemikrofonen kan kontrolleres på REUG målingen. Her må der ikke være negativt gain på kurven (ved de høje frekvenser) så er sondespidsen ikke tæt nok på trommehinden.

Alternativt eller som supplement kan benyttes en rentoneguide til placeringen. Mens sonden placeres i øregangen afspilles en tone. Resultatet kan ses på målesoftwarens i form af en søjle som varierer i højde med indsætningsdybden. Når søjlen er højest er den optimale placering opnået.



Figur 5.2: Placering af probeslange med konstant indsætningsdybde. (Oticon 2016)

En trinvis metode til korrekt placering af sondeslangen er:

- Læg sondeslangen ved siden af øreproppen, og sørg for at enden af sondeslangen når mindst 5 mm forbi spidsen af øreproppen.
- Marker sondeslangen med en pen eller lign. udfor den yderste kant af øreproppen.
- Placer øreprop og probeslange i øret og find et punkt på øret - f.eks. tragus - marker sondeslangen på ny ud for dette punkt.
- Fjern øreproppen og placer sondeslangen således at den passer med markeringen for øret, og mål øregangsresonansen.
- Isæt øreproppen og sørg for at sondeslangen stadig er ved markeringen for øret og mål igen.

5.1.3 Valg af signaltype

Der er i dag mange muligheder for valg af signaler til REM målingen. Type og niveau vælges sædvanligvis med en "drop-down" menu i målesoftwarens. Tidligere har et sweep af ren- toner eller warble toner samt forskellige typer bredbåndet støj været anvendt, i dag anvendes et tale lignende signal, oftest International Speech test signal (ISTS).

Anvendelse af ren-toner kan ikke anbefales i rum med reflekterende flader, da de vil medføre såkaldte stående bølger, som kan resultere i målefejl. Brug af andre ikke-tale lignende signaler vil høreapparatet normalt ikke forstærke efter hensigten, da moderne høreapparater analyserer inputsignalet med henblik på at fremhæve tale, som et nyttigt signal, og dæmpe niveauet af alle andre input.

Målinger uden høreapparatet aktivt (REUR/G og REOR/G) kan dog med fordel udføres med et bredbåndet signal med flad frekvensrespons (hvid eller lyserød støj) da disse signaler sikrer der er energi nok tilstede ved alle frekvenser til at lave en pålidelig måling.

5.1.4 Valg af signalniveau

Måleudstyret kan typisk levere et lydtryksniveau i området 50 - 90 dB SPL. Stimulusniveauet for REM målingerne bør ligge i det område, hvor høreapparatet ikke påvirkes af baggrundsstøj og ikke er i mætning. Normalt 60 - 70 dB SPL alt efter baggrundsstøjniveauet i testrummet. 65 dB SPL svarer til det lydtryksniveau der er ved almindelig samtale i 1 meters afstand.

Specielt i forbindelse med ulineære høreapparater er det vigtigt at foretage IG målinger ved forskellige signalniveauer, idet høreapparatets forstærkning ændres med signalniveauet, og derfor medfører forskellige måleresultater.

Vær opmærksom på at lydtryksniveauer for toner og støj ikke umiddelbart kan sammenlignes. Forskel i båndbredde og dermed forskel i energifordeling over frekvens giver en forskel på mere end 10 dB mellem rentonen og et bredbåndet støjsignal. En REM måling på et høreapparat vil derfor sjældent føre til samme resultat med ren-toner og bredbåndstøj, selv om målingen er udført ved samme signalniveau.

5.1.5 Midlingstid

Med introduktionen af dynamiske signaler som ICRA og ISTS er det nødvendigt at lade målingen forløbe over et stykke tid for at sikre, at den målte kurve er repræsentativ for signalets samlede dynamik og frekvensindhold. I beskrivelsen af ISTS i IEC60118-15 standarden anbefales at hele signalets varighed på 60 sekunder udnyttes med 15 sekunder til høreapparatet til at indstille sig og en midlingstid på 45 sek. på selve målingen. (IEC60118-15)

I målesoftware kan midlingstiden indstilles, men er typisk på 30 sekunder som standard. Målesoftware vil normalt opdatere målingerne løbende, så man kan stoppe målingen tidligere når målingen er "faldet til ro" og der ikke er større ændringer på den optagne kurve. IEC60118-15 anbefaler dog at man altid midler over 45 sekunder af signalet for størst mulig nøjagtighed.

Som nævnt anfører standarden at der skal gives 15 sekunder til at høreapparatet indstiller sig korrekt til inputsignalet. Der er derfor god grund til ikke at afslutte målingen for hurtigt, selvom man er ivrig efter et hurtigt resultat.

5.1.6 Percentiler af talesignalet

Når man midler over signalet, udtrykkes den dynamiske information om signalet ikke. Man ender med LTASS, det langtids-midlede talesignal, som viser den frekvensform talesignalet har ved det gennemsnitlige niveau af talen. Afhængigt af hvor hurtigt høreapparatet reagerer på målesignalet kan forstærkningen af signalet være særdeles dynamisk. For at kunne uddrage denne information, kan man statistisk efterbehandle målingen så der vises kurver for 30, 65 og 99 percentilerne af

distributionen af inputniveauer målt i 125 ms intervaller. Af disse percentil-kurver kan være svært at følge, men i praksis betyder det at man får tre kurver som udtrykker høreapparatets dynamiske forstærkning for henholdsvis lave, middel og høje taleniveauer. I Praksis er 65 percentilen meget tæt på LTASS, hvorfor REM-målesoftware normalt kun viser 30 og 99 percentilen.

5.2 Målinger af SPL niveau i øregangen (REAR)

De indledende punkter beskrevet under 5.1 udføres. Herefter kan man udføre følgende:

- Måling af øregangsresonans (REUR).
- Måling af proppens dæmpning (REOR).
- Måling af lydniveauet i øregangen ved lavt inputniveau fx 55 dB (REAR)
- Måling af lydniveauet i øregangen ved medium inputniveau fx 70 dB (REAR)
- Måling af lydniveauet i øregangen ved højt inputniveau fx 80 dB (REAR)

Principielt er de to første målinger unødvendige for REAR målingerne der i enheden dB SPL kan sammenlignes direkte med de target kurver målesoftwaren frembringer, når disse er udregnet i dB SPL ved trommehinden.¹ Kurverne viser det reelle lydtryksniveau ved trommehinden og kan sammenlignes med simulerede outputværdier fra tilpasningssoftwaren, når disse vælges.

5.2.1 Speech Mapping (SPM) - Dynamiske respons målinger

Visningen af REAR målingerne kan suppleres med ubehagstærskel, talebanan og høretærskel omregnet til outputværdier. Hermed skabes et visuelt overblik over klientens dynamikområde, hvilke dele af talesignalet der ligger over høretærsklen og hvilke der ligger pænt inden for det forventede taleområde. (med den aktuelle forstærkning i høreapparatet)

Som nævnt under 5.1.6 kan den langtidsmidlede LTASS suppleres med percentiler som viser høreapparatets dynamiske forstærkning af henholdsvis svage og kraftige talelyde. Disse 30 og 99 percentiler danner en form for dynamikområde af talens forstærkning og kan sammenlignes med talebananen.

Ved kontinuert at måle og vise outputniveauet ved trommehinden fremkommer en dynamisk kurve som viser forstærkning på det aktuelle lydbillede. Denne visning kaldes blandt andet live- eller visual speech mapping, og er et godt værktøj til at illustrere hvilke lyde der er hørbare igennem høreapparatet og hvilke der ikke er. Det kan have en god pædagogisk effekt at se forstærkningen fx af ens nærmestes stemmer. Ulempen ved denne type måling er at der ikke gemmes målinger til efterfølgende dokumentation.

¹ Arkitekterne bag tilpasningsreglerne må nødvendigvis benytte en standardiseret øregangsresonans, eller måske endda en standardiseret RECD for at kunne beregne targetkurver i dB SPL ved trommehinden.

5.3 Målinger af gain re FF (REAG)

De indledende punkter beskrevet under 5.1 udføres. Herefter kan man udføre følgende målinger som er identiske med dem beskrevet under punkt 5.2, her blot udtrykt relativt til lydniveauet registreret ved referencemikrofonen:

- Måling af øregangsresonans (REUG).
- Måling af proppens dæmpning (REOG).
- Måling af lydniveauet i øregangen ved lavt inputniveau fx 55 dB (REAG)
- Måling af lydniveauet i øregangen ved medium inputniveau fx 70 dB (REAG)
- Måling af lydniveauet i øregangen ved højt inputniveau fx 80 dB (REAG)

Principielt er de to første målinger unødvendige for REAG målingerne der i gain sammenlignes direkte med de target kurver målesoftwaren frembringer, der er beregnet som gain værdier relativt til frit felt niveauet ved øret². Kurverne viser forstærkningen gennem høreapparatet, men er ikke korrigeret for den naturlige øregangsresonans. De kan sammenlignes med de simulerede værdier fra tilpasningssoftwaren, hvis disse er opgivet som tilsvarende gain målinger.

5.4 Insertion gain (REIG)

Insertion Gain måles ikke direkte, men udregnes som en differens mellem øregangsresonansen (REUR) og målingen med høreapparat på - Real Ear Aided Response(REAR). Som nævnt ovenfor er dette lydtryksniveauet som funktion af frekvens i et specificeret punkt i ørekanalen med høreapparat. Det kan udtrykkes i dB SPL (REAR) eller som en forstærkning i dB relativt til stimulusniveauet (REAG - Real Ear Aided Gain).

Real Ear Insertion Gain(REIG) kan altså beregnes ved at udføre punkterne under 5.1 samt 5.2(respons) eller 5.2(gain) samt:

- Beregning af Insertion Gain ved lavt inputniveau (fx 55 dB) som REAR/G-REUR/G
- Beregning af Insertion Gain ved medium inputniveau (fx 70 dB) som REAR/G- REUR/G
- Beregning af Insertion Gain ved højt inputniveau (fx 80 dB) som REAR/G-REUR/G

De beregnede IG kurver er et udtryk for den forstærkning høreapparatet tilfører øregangen og kan derfor direkte sammenlignes med den forstærkning som teoretisk skal tilføres et høretab udtrykt ved et audiogram.

² Referencen er et lineært signal ved ørets indgang. Øregangens naturlige resonans er ikke udkompenseret, derfor er det et gain men ikke insertion gain.

5.5 Real-Ear to Coupler difference (RECD)

Denne måling udtrykker forskellen mellem lydtrykket i det rigtige øre og lydtrykket i en kobler. Denne overføringsfunktion måles uden brug af høreapparatet som efterfølgende kan måles i en testboks og hvor RECD kurven kan bruges som korrektion til at vise de forventede akustiske forhold i det rigtige øre.

- Måling af outputniveau pr. frekvens i øregangen med headsettets hovedtelefon og skumprop eller høreapparatets prop.
- Måling af output i kobler med headsettets hovedtelefon påmonteret via studs. proppens dæmpning (REOG).
- Beregning af forskellen mellem kobleren og det rigtige øre som forskellen på de to ovenstående målinger.

RECD målingen bruges ofte til børn fordi der kun behøves en sondemåling i det rigtige øre for at finde det "akustiske aftryk" for det pågældende barn. Alle efterfølgende justeringer på høreapparater kan derefter kontrolleres via en måleboks (såkaldte HIT målinger)

Faktisk er RECD målingen basis for al simulering af output fra et høreapparat, da høreapparatets ydelse på fabrikken måles i en kobler.

6 Litteratur og referencer

6.1 Litteratur

IA 2013

“Interacoustics Quick Guide – A Beginners Guide to Real Ear Measures (REM)” Item no. 8105087 – 12/2013

IEC 60118-15:2012

IEC 60118-15:2012, “Electroacoustics – Hearing Aids- Part 1: Methods for characterizing signal processing in hearing aids with a speech-like signal”

IEC 60669:2015

IEC 60669:2015 “Electroacoustics – Measurement of real-ear acoustical performance characteristics of hearing aids”

Mueller 2017

Mueller, G. H., Ricketts, T.A., Bentler, R. “Speech Mapping and Probe Microphone Measurements” Plural Publishing 2017, ISBN 9781944883942

Oticon 2016

Oticon “The REM Cookbook” 23077UK/2016.10.31

Vaisberg 2016

J. Vaisberg, E. Macpherson & S. Scollie: “Comparing Probe Tube Placements and Frequency Averaging in Ear Canal Up To 10 kHz” Canadian Audiologist Vol. 3 Issue 5 2016.

6.2 Ældre referencer

Cunningham, D. R.

“The Reliability of Probe-Tube Microphone Measurements In a Clinical Situation.”
The Hearing Journal, May 1989, Vol. 42, No. 5

Dillon, H., Murray, N.

“Accuracy of Twelve Methods for Estimating the Real Ear Gain of Hearing Aids.”
Ear and Hearing, 1987, Vol. 8, No. 1

Dirks, D. D., Ahlstrom, J. B., Eisenberg, L. S.

“Comparison of Probe Insertion Methods on Estimates of Real Ear Canal SPL.”
J. Am. Acad Audiol. 7: 31-38, 1996

Killion, M. C., Revit, L. J.

"Insertion Gain Repeatability versus Loudspeaker Location:
You Want Me to Put My Loudspeaker WHERE?"
Ear and Hearing, 1987, Vol. 8, No. 5

Libby, E. R.

"The 1/3 - 2/3 insertion gain hearing aid selection guide."
Hearing Instruments, 1986, Vol. 37, No. 3

McCandless, G. A., Lyregaard, P. E.

"Prescription of gain/output (POGO) for hearing aids."
Hearing Instruments, 1983, Vol. 34, No. 1

Ringdahl, A., Leijon, A.

"The Reliability of Insertion Gain Measurements using Probe Microphones in the Ear
Canal". Scand. Audiol. 13 : 173 - 178, 1984

Tecca, J. E., Woodford, C. M., Kee, D. E.

"Variability of Insertion Gain Measurements"
The Hearing Journal, February 1987

13th Danavox Symposium ,1988

Hearing Aid Fitting : Teoretical and Practical Views.

Appendiks 1: Måleusikkerhed og "best practice"

IEC 60669:2015 standarden der beskriver tekniske forhold omkring udstyret og omgivelserne ved udførelse af øregangsmålinger angiver følgende faktorer der kan påvirke målingerne:

- Høreapparatstype
- Testsignal
- Rumudligningsmetode
- Testomgivelser
- Signalanalyse karakteristikker
- Analyse og præsentation af resultat
- Graden af tilladte hovedbevægelser
- Høreapparat-testperson interface
- Testpersonens fysiske karakteristisk

Standarden tilbyder ikke specifik opklarende tekst til de enkelte punkter, men såfremt nedenstående checkliste som sammenfatter væsentlige aspekter ved REM måling, med henblik på at opnå pålidelige måleresultater følges, er størstedelen af ovenstående punkter overvejet.

- Udfør om muligt målingerne i en audiometriboks. Begræns i videst muligt omfang baggrundsstøj og reflekterende flader nær ved testpositionen.
- Undersøg om øret er rent og fri for ørevoks.
- Placer højtaleren i 0° eller $\pm 45^\circ$.
- Instruer patienten i at kigge på et punkt f.eks. højtaleren hvis denne står i 0° og om at holde hovedet stille.
- Tryk metoden benyttes af de fleste målemetoder. Hvis høreapparatet har helt eller delvis åben prop benyttes den modificerede trykmetode, som kræver en kort kalibrering inden høreapparatet aktiveres.
- Indsæt sondeslangen 27 - 30 mm forbi tragus (for voksne) og hold samme position ved alle målinger.
- Benyt det kunstige talesignal ISTS for at få den mest realistiske måling på høreapparatet, og samtidig minimere problemer med stående bølger. Ved målinger uden et aktivt høreapparat (REUR og REOR) kan benyttes hvid støj der sikrer en mere ensartet energifordeling over frekvensområdet.
- Lav gerne målinger med to eller tre signalniveauer. Vælg dog som minimum et signalniveau der er repræsentativt for et typisk tale input (fx 60 dB) og sørg for det ligger mindst 10 dB over baggrundsstøjen.