

## TEKNISK NOTAT

# Vejledning i opstilling og kalibrering af udstyr til audiometri i frit felt – 3. udgave

---

Teknisk vejledning i frit felt opstillinger

120-20862.10-11/20

Side 1 af 24

5 bilag

---

**FORCE Technology, Teknisk Audiologisk Laboratorium**

**GTS**

ADVANCED  
TECHNOLOGY GROUP

FORCE Technology  
Venlighedsvej 4  
2970 Hørsholm, Danmark  
+45 43 25 14 00  
+45 43 25 00 10  
info@forcetechnology.dk

FORCE Technology Norway AS  
Nye Vakås vei 32  
1395 Hvalstad, Norge  
+47 64 00 35 00  
+47 64 00 35 01  
info@forcetechnology.no

FORCE Technology  
Park Allé 345  
2605 Brøndby, Danmark  
+45 43 25 00 00  
+45 43 25 00 10  
info@forcetechnology.dk  
www.forcetechnology.com

# OVERSIGT

<b>Titel</b>	Vejledning i opstilling og kalibrering af udstyr til audiometri i Frit felt – 3. udgave
<b>Testemne</b>	Rum med en frit felts opstilling til tale- eller rentone audiometri
<b>Task nr.</b>	120-20862.10
<b>Rapport nr.</b>	120-20862.10-11/20
<b>Udarbejdet for</b>	AMGROS I/S Dampfærgevej 22 Box 2593 2100 København Ø
<b>Revideret af</b>	Carsten Daugaard, Senior konsulent, FORCE Technology E-mail: cd@force.dk Tlf.: 29623819
<b>Resumé</b>	<p>Denne tredje udgave af vejledningen tager som de foregående udgangspunkt i relevante IEC og ISO standarder, og beskriver de praktiske forhold omkring opstilling og kalibrering af udstyr, til brug ved audiometri i frit felt.</p> <p>Hvis vejledningen følges, vil den færdige opstilling leve op til de gældende internationalt anerkendte standarder for audiometri, i tredieudgaven ført op til de gældende standarder i 2020.</p> <p>Der kan hentes yderligere oplysninger om frit felt audiometri i litteraturen. En række titler, nyere såvel som ældre er opført i litteraturlisten, bilag 1.</p> <p>Relevante standarder er opført på listen i Bilag 4. 3. udgave omfatter bl.a. reviderede data for Minimum Audible Field fra ISO 389-7</p>
<b>Revisioner</b>	3. udgave Odense, 12. november 2020
<b>Disclaimer</b>	Rapporten må kun gengives i uddrag med FORCE Technology's skriftlige tilladelse.

# INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Forord/Baggrund .....	4
2	"Trin for trin" procedure for opstilling og kalibrering af udstyr til frit felt audiometri .....	5
3	Målerum og lydfelt .....	6
3.1	Baggrundsstøj .....	6
3.2	Kontrol af målerum / baggrundsstøj .....	6
3.3	Refleksioner .....	8
3.4	Frekvensgang .....	8
3.5	Opstilling af højttalere, kontrol af målerum / refleksioner (quasi-frit lydfelt) .....	9
4	Testsignaler .....	11
4.1	Warbletoner (frekvensmodulerede/FM toner) .....	11
4.2	Smalbåndsstøj .....	12
4.3	Tale .....	13
4.4	Tale i støj .....	13
5	Kalibrering .....	13
5.1	Warble toner .....	13
5.2	Smalbåndsstøj .....	14
5.3	Taleaudiometri .....	14
	Bilag 1 – Litteraturliste .....	16
	Bilag 2 - Korrektionstabeller for 45° og 90° lydindfald .....	19
	Bilag3- Kalibreringssignaler tilknyttet Dantale 1 talematerialet: .....	20
	Bilag 4 - Standardoversigt .....	21
	Bilag 5- Opstillinger til taleaudiometri i støj .....	23

## 1 Forord/Baggrund

Førsteudgaven af denne vejledning er udarbejdet med udgangspunkt i en undersøgelse foretaget af Teknisk-Audiologisk Laboratorium i efteråret 1992, hvor samtlige danske høreklivikker og audiologiske afdelinger blev forespurgt om rutiner og behov i forbindelse med opstilling og kalibrering af udstyr til audiometriske undersøgelser. Her blev især udtrykt et behov for information om kalibreringen af audiometriudstyr opstillet til lydfeltsmålinger, altså det der i dette dokument hedder frit felts målinger.

Selvom førsteudgaven udkom for snart 30 år siden er der fortsat behov for viden om kalibrering af audiometriudstyr generelt og udstyr til frit felts målinger i særdeleshed.

Dette skyldes at audiometri i frit felt giver anledning til en række problemer som ikke findes ved konventionel audiometri med hovedtelefoner, bl.a. kan nævnes:

Det er i praksis umuligt for testpersonen (specielt børn) at sidde helt stille under testen. Herved ændres ørenes placering i forhold referencepunktet for kalibrering.

Højde og hovedbredde - og dermed afstanden fra ørene til referencepunktet - vil variere fra person til person.

- Refleksioner og stående bølger i målerummet påvirker lydfeltet. Rene toner kan derfor ikke benyttes som teststimuli i konventionelle audiometrirum.
- Tærskelmålinger uden en støjkomponent kræver særdeles stille rum (lav baggrundstøj)
- Den praktiske placering af højtalere i rummet kan være besværliggjort af højtalernes dimensioner i forhold til rummet og de funktioner rummet skal understøtte.

Audiometri i frit felt har mange anvendelser, f.eks. audiometri på børn og vurdering af høreapparatbehandling gennem taleaudiometri. Den væsentligste anvendelse på klinikkerne i dag, er nok vurdering af arbejdsbetingede støjskader og erstatningsspørgsmål i den forbindelse.

Referencer til standarder på området i dette dokument er lavet til standardens nummer. Dokumentet er opdateret så referencen er til den på nuværende tidspunkt gældende standard. I listen over standarder er anført revisions-år for den pågældende standard.

I 2020 er af Sundhedsstyrelsen fremkommet et forslag om at frit felts audiometri anvendes til verificering af høreapparattilpasning, hvorfor tanker om dette er tilføjet dokumentet i Bilag 5.

I forbindelse med revisionen til 3. udgave skal rettes en stor tak til Jens Jørgen Rasmussen for konstruktive forslag til forbedringer ved en gennemlæsning inden offentliggørelsen.

## 2 "Trin for trin" procedure for opstilling og kalibrering af udstyr til frit felt audiometri

1. Kontroller baggrundsstøj i målerummet som beskrevet i afsnit 3.2.
2. Overvej hvordan højttalerne kan opstilles, så vinkler, højde og afstande er bedst muligt i overensstemmelse med figur 1 og 2. Placér og tilslut udstyret.
3. Markér referencepunktet fx med en mikrofonstander eller et lod nedhængt i en snor fra loftet. Kontroller lydfeltet i og omkring referencepunktet som beskrevet i afsnit 3.4. Flyt om nødvendigt rundt med referencepunktet og/eller højttalere samt evt. møbler/udstyr i rummet.
4. Juster evt. equalizer og kalibrer audiometret ved de relevante testfrekvenser, i henhold til afsnit 5.1.
5. Kalibrer audiometret for taleaudiometri, i henhold til afsnit 5.3.
6. Før journal over justering og kalibrering af udstyret.

Kontrolmåling/kalibrering udføres:

- Når udstyret opstilles.
- Ofte, f.eks. med 1 måneds intervaller, i den første periode udstyret er i brug, og indtil opstillingens stabilitet er kendt.
- Hvis der tilføjes eller fjernes udstyr/møbler i rummet.
- Derefter med 3-6 måneders interval

## 3 Målerum og lydfelt

### 3.1 Baggrundsstøj

Ligesom ved konventionel audiometri med hovedtelefoner, er det nødvendigt at have kendskab til baggrundsstøjniveauet i målerummet, når der skal udføres frit felt audiometri.

Baggrundsstøj i målerummet kan maskere testsignalerne, og dermed føre til fejlagtige måleresultater.

Hvis der skal laves tærskelbestemmelse i frit felt, vil der være skærpede krav til lavt baggrundsstøjniveau, dels fordi der som udgangspunkt er tale om en binaural test, dels fordi baggrundsstøjen ikke dæmpes af kopperne på hovedtelefonerne.

Udføres taleaudiometri med maskeringsstøj, er det tilstrækkeligt, at baggrundsstøjniveauet i rummet er mindst 10 dB lavere end det laveste niveau af maskeringsstøjen.

### 3.2 Kontrol af målerum / baggrundsstøj

Til kontrol af baggrundsstøjniveauet i målerummet måles et 1/3 oktav spektrum med pålideligt (kalibreret) udstyr. Tabel 1 viser maksimalt tilladelige baggrundsstøjniveauer (DS/ISO 8253-2) for rentoneaudiometri med henholdsvis 125 Hz og 250 Hz som laveste testfrekvens.

Værdierne i tabel 1 er gældende for måling af høretærskler ned til 0 dB HL, med en maximal usikkerhed på +/- 2 dB som følge af baggrundsstøj. Kan måling af høretærskler højere end 0 dB HL accepteres, adderes acceptniveauet for høretærsklen til værdierne i tabel 1. Hvis +/- 5 dB usikkerhed kan accepteres, kan der lægges 8 dB til værdierne i tabel 1.<sup>1</sup>

De fleste konventionelle lydtrykmålere er ikke i stand til at måle lydtrykniveauer i 1/3 oktavbånd under 5 dB SPL, hvorfor lydmålerens egenstøj (fx fra mikrofonen) vil påvirke målingen.

Det maksimalt tilladelige baggrundsstøjniveau for taleaudiometri i frit felt er ikke angivet direkte i standarderne, men i ISO 8253-3 angives at hvis kravene til frit felts audiometri til rentoner er overholdt, så er de det i hvert fald også til taleaudiometri.<sup>2, 3</sup>

---

1: Note til tabel 2 i ISO 8253-2:2010

2: ISO 8253-3:2012 Note til stk. 7

3: Da man normalt antager at et talesignal har et offset på 20 dB ved 1 kHz (IEC 645-2), vil målte baggrundsstøjværdier i den størrelsesorden kunne adderes til tabelværdierne for toner omkring 1 kHz.

Maksimalt tilladelige  
baggrundsstøjniveauer i frit felt

1/3 oktav centerfrekvens	125 Hz	250 Hz
31,5	52	60
40	44	53
50	38	46
63	32	41
80	27	36
100	22	32
125	17	25
160	14	18
200	12	12
250	10	10
315	8	8
400	6	6
500	5	5
630	5	5
800	4	4
1000	4	4
1250	4	4
1600	5	5
2000	5	5
2500	3	3
6150	1	1
4000	-1	-1
5000	1	1
6300	6	6
8000	12	12
10000	14	14
12500	15	15

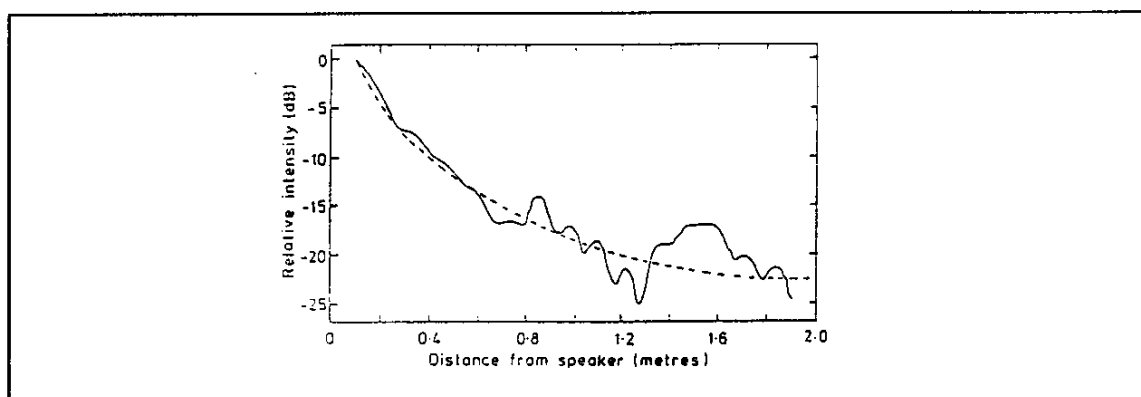
**Tabel 1:** Maximale baggrundsstøjniveauer. toneaudiometri i frit felt. (ISO 8253-2. table 2)

### 3.3 Refleksioner

Lokaler med hårde materialer på vægge, loft og gulve vil reflektere lydbølger, og medføre en uønsket fordeling af lydenergien i rummet. Med mange hårde flader i rummet kan såkaldte stående bølger opstå. Stående bølger har en fast inhomogen fordeling af lydenergien, som kan betyde stor forskel på det oplevede lydtryk, afhængig af hovedets placering omkring målepositionen. Også enkelte hårde flader i rummet kan reflektere lydenergi og dermed gøre lydfordelingen i rummet unødvendig inhomogen.

Endelig vil hårde flader øge rummets efterklangstid, hvilket igen kan øge baggrundstøjen fra lyd som genereres inde i rummet (fx fra pårørende). Målerum hvori der skal udføres frit felt audiometri bør derfor tilstræbes at være uden for kraftigt reflekterende flader.

Refleksioner og stående bølger resulterer altså i, at lydtrykket fra højttaleren ikke aftager jævnt i forhold til afstanden. Afhængende af rummets udformning og højttalerplaceringen, vil der optræde toppe og dyk på karakteristikken (figur 1).



**Figur 1:** Lydtrykniveau af en 1350 Hz rentone som funktion af afstanden i en typisk audiometriboks. Den stiplede linje viser den "inverse afstandslov"

Traditionelle rentone stimuli er derfor ikke anvendelige som testsignal i frit felt, med mindre man råder over et decideret lyddødt rum. I stedet benyttes smalbandsstøj eller frekvensmodulerede (FM) toner, også kaldet warble toner<sup>4</sup>.

Talesignaler er bredbandede og skaber derfor ikke i så høj grad stående bølger, dog bør der stadig tilstræbes så få hårde flader som muligt, for at sikre en jævn fordeling af talen og eventuel støj i rummet.

### 3.4 Frekvensgang

En upåvirket frekvensgang af signalet afspillet over testhøjttalerne i rummet er en nødvendighed ved test med bredbandede signaler (tale). Et godt udgangspunkt er at anvende højttalere med en flad frekvensgang inden for testsignalet's frekvensområde, men også akustikken i rummet kan påvirke frekvensgangen. Frekvensgangen kontrolleres med et signal med jævn frekvensgang (hvid eller pink<sup>5</sup> støj), eller med warble toner ved de relevante frekvenser. Målemikrofonen placeres der hvor hovedet vil være under testen. Tale-

4: I resten af dette dokument benævnes frekvensmodulerede toner som warble toner

5: Pink noise indeholder lige megen energi pr 1/3 oktav og vil derfor være flad i en 1/3 oktav måling, mens hvidstøj vil være jævnt faldende med centerfrekvensen af 1/3 oktaven.

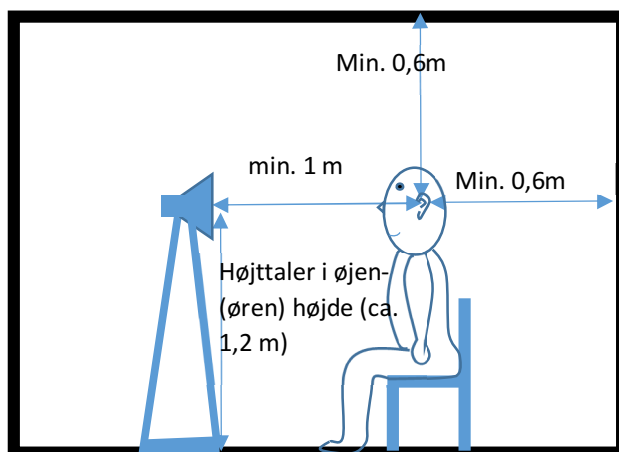


materialet bør indeholde anvendelige kalibreringssignaler og instruktioner i tolkning af resultat, så det kan sikres, at der ikke er uforholdsmæssig megen energi i et frekvensbånd frem for andre.

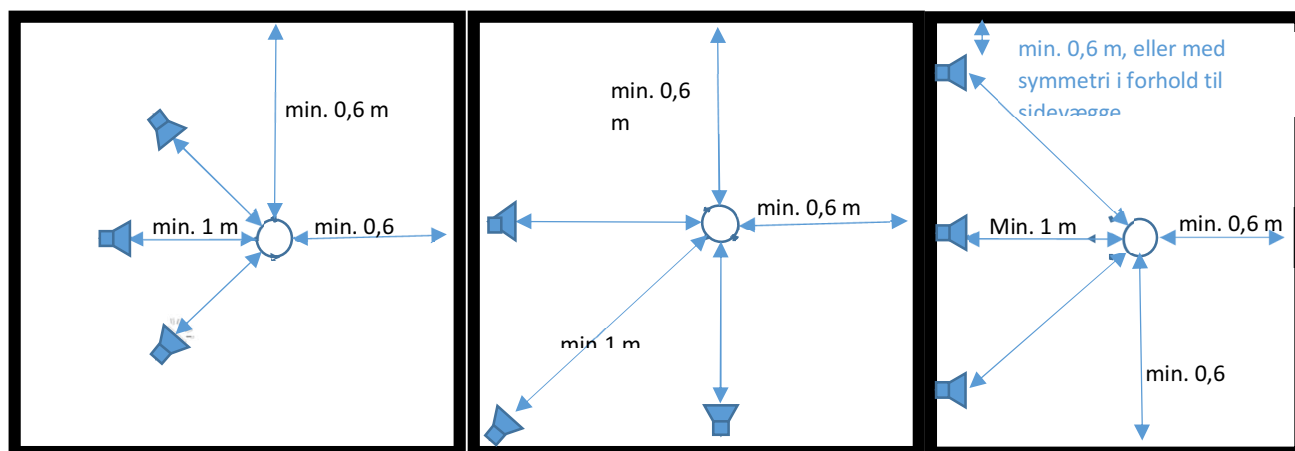
### 3.5 Opstilling af højttalere, kontrol af målerum / refleksioner (quasi-frit lydfelt)

Forslag til højttaleropstillinger til audiometri som overholder kravene beskrevet i ISO 8253-2 og -3 er vist på figur 2 og 3. Kravene til lydfelterne er taget fra ISO 8253-2, som ikke omhandler taleaudiometri. I standarden for taleaudiometri, ISO8253-3, er anført at rummets type, højttaler placering og referencepunkt skal angives. Det noteres at rummets akustik kan påvirke testresultatet og derfor kan det være nødvendigt med reference data for det specifikke testmiljø.

Testpersonen er placeret på akserne for den højttaler, hvorfra testsignalet udsendes. Støj udsendes fra to højttalere, der er placeret symmetrisk i 45 graders vinkel på hver side af testpersonen. (ISO 8253-3, stk. 15.2)



**Figur 2:** Forslag til frit felts opstillinger baseret på ISO 8253 – 2. Rummet er set fra siden.



**Figur 3:** Forslag til frit felts opstillinger baseret på ISO 8253 – 2 og -3. De to højttalere i  $\pm 45^\circ$  fra center anbefales i ISO 8253-3 til præsentation af ikke-kohærent støj til taletests. Rummet er set fra oven. Standarderne forholder sig ikke til højttalernes afstand til vægge.

Alternativt kan centerhøjtaleren placeres i et hjørne, og sidehøjtalerne ved væggene, som det også er illustreret i figur 3. Af pladshensyn kan denne opstilling være hensigtsmæssig i (små) audiometrirum.

ISO 8253-2 beskriver ud over frit felt (decideret lydødt rum eller udendørs) og diffust lydfelt (refleksionsrum) et "quasi-frit lydfelt", som det mest sandsynlige lydfelt for frit felts audiometri i praksis (fx realiseret i en lydboks). I det quasi-frie lydfelt har målerummets reflekterende flader "moderat" effekt på lydfeltet. Nedenstående betingelser opstilles for etablering og kontrol af et quasi-frit lydfelt:

- A) Højtaleren skal anbringes i hovedhøjde i forhold til en siddende testperson. Højtaleren skal pege mod referencepunktet, der er defineret som midtpunktet på en ret linje mellem testpersonens øregangsåbninger. Afstanden mellem referencepunktet og højtaleren skal være mindst 1 meter.
- B) Uden testpersonen og stolen i rummet, og med alt udstyr og personale anbragt hvor de vil være i testsituationen, kontrolleres, at lydtrykket fra højtaleren 15 centimeter til højre og venstre for referencepunktet og 15 centimeter over og under referencepunktet højst afviger +/- 2 dB fra lydtrykket i selve referencepunktet. (For samtlige testfrekvenser).
- C) Under de samme betingelser kontrolleres, at lydtrykket i højtalerens akseretning 10 centimeter foran og bagved referencepunktet ikke afviger med mere end +/- 1 dB fra den inverse afstandslov, se nedenstående tabel. (For samtlige testfrekvenser).

Afstand fra højtaler til referencepunkt	Lydtryk i referencepunkt - 10 cm		Lydtryk i referencepunkt + 10 cm	
	Afstand:	Lydtryk:	Afstand:	Lydtryk:
1,0 meter	0,9 m	$P_{ref} + 0,9 \text{ dB}$	1,1 m	$P_{ref} - 0,8 \text{ dB}$
1,5 meter	1,4 m	$P_{ref} + 0,6 \text{ dB}$	1,4 m	$P_{ref} - 0,6 \text{ dB}$
2,0 meter	1,9 m	$P_{ref} + 0,4 \text{ dB}$	2,1 m	$P_{ref} - 0,4 \text{ dB}$

**Tabel 2:** "Invers afstandslov".  $P_{ref}$  er lydtrykket i referencepunktet.

Før ovenstående test udføres med de aktuelle testsignaler (warbletoner), kan minima og maxima på grund af stående bølger eventuelt bestemmes ved hjælp af rentoner. Disse ekstremer vil være meget udtalte når der måles med rentoner, og skal naturligvis undgås ved valg af referencepunkt.

Eksempel på beregninger for kontrol af lydfelt, afstand fra referencepunkt til højtaler er 1,5 meter.

Målt lydtryk i referencepunkt:  $P_{ref} = 68,5 \text{ dB SPL}$

Grænseværdier for lydtryk 15 cm over, under, til højre og venstre for referencepunkt:

$$68,5 \pm 2 \text{ dB} = 66,5 - 70,5 \text{ dB SPL}$$

Grænseværdier for lydtryk 10 cm foran referencepunktet :

$$(68,5 + 0,6) \pm 1 \text{ dB} = 68,1 - 70,1 \text{ dB SPL}$$

Grænseværdier for lydtryk 10 cm bagved referencepunktet :

$$(68,5 - 0,6) \pm 1 \text{ dB} = 66,9 - 68,9 \text{ dB SPL}$$

Målerummet kontrolleres vha. en lydtrykmåler med C- vægtning i "FAST" indstilling.

Lydtrykmåleren bør være forsynet med et forlængerstykke eller placeres på et stativ, for at undgå refleksioner fra den person der holder lydtrykmåleren. Hvis udlæsningen på måleinstrumentet fluktuerer pga. warble signalet, benyttes maximalværdien som måleresultat.

Lydtrykket i referencepunktet bestemmes først ved den laveste testfrekvens, som skal benyttes (her har rummet den største indflydelse). Der måles i omegnen omkring referencepunktet. Hvis betingelserne ikke er opfyldt, må referencepunktet og/eller højttalerne samt udstyr og møbler flyttes til en anden position, hvorefter der måles igen.

Erfaringsmæssigt skal der flyttes minimum 0,5 meter, før der kan konstateres nogen målbar effekt.

Lydfeltet skal kontrolleres i hele frekvensområdet med de aktuelle testsignaler (f.eks. warble toner ved de audiometriske frekvenser i området 250 Hz til 8 kHz). Det kontrolleres, at afvigelserne i området omkring referencepunktet ikke overstiger de anførte værdier.

Referencepunktet kan fx markeres ved hjælp af et lod, nedhængt i en snor fra loftet, eller med triangulering af laserstråler.

Mærk også udstyrets placering i rummet op, f.eks. med tapestrimler på gulvet. Vær opmærksom på, at lydfeltet kan blive påvirket, hvis der anbringes nyt udstyr/møbler i målerummet.

Stolen i lyttepositionen bør være forsynet med hovedstøtte.

Mens standarden ikke angiver afstand mellem højttalere og væg, kan man i HearCom rapporten: "D-7-2: Specification of standard speech test/environmental conditions for Europe" finde betragtninger over blandt andet rumakustik og højttaleplacering ved en taletest. Her anbefales det at højttalere placeres med en afstand på 1,1 meter foran væggen for at minimere interaktionen mellem højttalere og rum.

## 4 Testsignaler

Rene toner kan ikke anbefales som testsignaler i forbindelse med tærskelbestemmelse i frit felt, med mindre målerummet er decideret lyddødt. Derfor er audiometeret typisk udstyret med Warbletoner og smalbandsstøj til formålet. Den internationale standard ISO 389-7 indeholder tærskelværdier for rene toner i frit felt, som kan benyttes til HL kalibrering af warble toner. I ISO 389-7 er også angivet tærskler for 1/3 oktav filtreret støj under diffusfeltsbetingelser. Forskellen mellem de to værdier kan benyttes til at kalibrere smalbandsstøjen på audiometeret.

### 4.1 Warbletoner (frekvensmodulerede/FM toner)

Benyttes for eksempel til tærskelbestemmelse og "functional gain" undersøgelser.

Center- og modulationsfrekvens, båndbredde og kurveformen for det modulerende signal er fastlagt af audiometerproducenten, og kan som regel ikke ændres af brugeren. ISO 8253-2 opstiller følgende kriterier for frekvensmodulerede toner:

<b>Krav til warbletoner (ISO 8253-2 stk 4.3)</b>
Centerfrekvenserne bør være som specificeret i IEC 645-1 eller ISO 266 og med mindre tolerance end $\pm 3\%$
Kurveformen for det modulerende signal bør være sinus eller trekant med symmetriske stigninger og fald på en lineær eller logaritmisk akse
Bærefrekvensen bør være indenfor $\pm 3\%$ af den nominelle frekvens
Modulationsfrekvensen bør være mellem 4 og 20 Hz og med mindre tolerance end $\pm 10\%$
Båndbredden bør være mellem $\pm 2,5\%$ og $\pm 12,5\%$ i forhold til centerfrekvensen med en tolerance på $\pm 10\%$
Ved en sinusmodulation må forvrængningen ikke overstige 5%
En triangulær modulations rampe skal ikke afvige fra lineær form med mere end 5% af amplituden. Varigheden af den stigende og faldende del skal ikke afvige mere end 10%

**Tabel 3:** Elektroakustiske krav til frekvensmodulerede toner i audiometre

Ovenstående krav vil normalt være overholdt for alle kommercielt tilgængelige audiometre.

#### 4.2 Smalbåndsstøj

Har samme anvendelsesområde som frekvensmodulerede toner. Referencetærskel værdier er dog kun tilgængelige for diffust felt (ISO 389-7) Smalbåndsstøj skal overholde kravene til centerfrekvens og båndbredde for smalbånd maskeringsstøj givet i IEC 645-1.

De fleste audiometre har maskeringsstøj som overholder disse krav, men det kan være problematisk at benytte denne støj som testsignal til frit felt audiometri. Hørehæmmede testpersoner kan ved de højfrequente 1/3 oktavs støjbånd, høre signalet i stopbåndet, men ikke nødvendigvis i pasbåndet. Dette forhold skyldes manglende afskæring nedadtil, hvor kravet er 12 dB pr. oktav. Eksempelvis skal niveauet ved 500 Hz blot være 12 dB lavere end ved 1000 Hz for at overholde IEC 645-1. Kravene til flankestøj er fastlagt med udgangspunkt i effektiv maskering af rentoner ved brug af hovedtelefoner, og er til det formål fuldt ud tilstrækkelige.

For smalbåndstøjsbåndbredder der overstiger 1/3 oktavs båndbredden kan referencelydtrykniveauer afvige fra dem som er gældende for båndbredder op til 1/3 oktavs båndbredden. Det kan således ikke anbefales at benytte signaler med højere båndbredder end 1/3 oktav.

### 4.3 Tale

Taleaudiometri i frit felt anvendes bl.a. til vurdering af hørehandicap i arbejdsskadesager og bestemmelse af høreevne (discrimination score = Ds) med og uden høreapparat. Disse målinger udføres ofte med støj til maskering af talesignalet, da tale i støj ofte er svært at høre for folk med høreproblemer

Det mest udbredte danske materiale for taleaudiometri er DANTALE 1. Materialet udkom på CD første gang i 1988, og materialet benyttes i dag i praksis på alle danske hørelinikker til DS måling (over hoved/insert telefoner som en del af den audiometriske udredning. Ud over talematerialet omfatter CDén et støjsignal, som kan anvendes ved taleforståelighedsmåling i støj.

### 4.4 Tale i støj

Typisk vil man i Danmark benytte en opstilling med en tale-højttaler centralt og to støjhøjttalere i  $\pm 45$  graders vinkel, som illustreret i figur 3. ISO 8253-3 foreskriver, at signalerne fra de to støjhøjttalere skal være ukorrelerede (for at opnå den mest homogene maskering med støjsignalet)<sup>6</sup>.

Der findes en andre danske talemateriale (fx Dantale II og HINT) typisk opbygget med en mere sætningsagtig struktur og bestemmende signal/støjforholdet af tale i støj, ofte benævnt SNR. Tilknøttet disse materialer er specifikke opstillinger, kalibreringssignaler og – forskrifter. En oversigt over de mest kendte af disse materialer, samt forslag til frit felts opstillinger med disse er givet i Bilag 5.

## 5 Kalibrering

### 5.1 Warble toner

Som udgangspunkt for kalibrering af warble tone lydtrykniveauerne benyttes frit felts-værdierne for rene toner fra ISO 389-7, Table 17 for frontalt indfald, binaural lytning.

Freq./ Hz	125	250	500	1000	2000	4000	6000	8000
dB SPL	22,1	11,4	4,4	2,4	-1,3	-5,4	4,3	12,6

**Tabel 4:** Værdier fra ISO 389-7, Table 1. I praksis kan ikke opnås bedre nøjagtighed end en  $\frac{1}{2}$  dB.

I praksis placeres målemikrofonen i referencepunktet og audiometret indstilles til f.eks. 60 dB HL.

Kalibreringsniveauet for den enkelte frekvens beregnes som summen af indstillingen og værdien fra tabellen f.eks.:

250 Hz, audiometerindstilling 60 dB HL, kalibreringsniveau =  $60 + 11,0 = 71$  dB SPL

<sup>6</sup> : Erfaringsmæssigt vil parallel tilslutning af de to støjhøjttalere til den ene kanal ikke give anledning til korrelerede støjsignaler, grundet den uensartede forsinkelse fra tilslutningen til de to højttaleres påvirkning af lydfeltet. Alternativt anvendes tre kanaler hvor det sikres at støjen i de to støjkanaler er ukorreleret ved kilden.

<sup>7</sup> ISO 8253-2:2009 stk.4.8

Den monaurale frit felt tærskel ligger 3 dB højere end angivet i tabellen. Ved monaural tærskelbestemmelse i frit felt, blokeres den ene øregang. En insert hovedtelefon kan evt. benyttes til maskering.

For off-axis målinger hvor talehøjtaleren ikke befinder sig på centerlinien findes korrektionstabeller for 45 og 90 graders lydindfald i bilag 2.

## 5.2 Smalbåndsstøj

Som nævnt ved omtalen af smalbåndsstøj som testsignal anbefales det ikke at benytte audiometrets maskeringsstøj som testsignal. Det vil endvidere være problematisk at benytte et støjsignal til bestemmelse af monaurale høretærskler, hvis der er behov for kraftigere maskering, end der kan opnås ved at blokere øregangen.

Kalibreringsværdier for smalbåndsstøj er derfor udeladt i dette dokument. Hvis der i forbindelse med specielle anvendelser er behov for kalibrering af smalbåndsstøj, henvises til tærsklerne for diffust felt i ISO 389-7 standarden og øvrig litteratur (bilag 4).

## 5.3 Taleaudiometri

Ved undersøgelse af tale i støj anbefaler ISO 8253-3 65dB SPL taleniveau og 65dB SPL støjniveau.

Før opstillingen kalibreres i niveau, bør systemets frekvensgang kontrolleres (og evt. udglattes).

Hertil benyttes lyserød støj fx fra DANTALE 1 materialets kalibreringssignaler (CDéns spor 20, index 6) samt udstyr til at måle et 1/3 oktav spektrum. Hvis udstyr af den art ikke er til rådighed, kan en konventionel lydtrykmåler benyttes sammen med en lydfil med 1/3 oktav støjbånd.

IEC 645-2 opstiller nedenstående krav til systemets maximale afvigelse fra ret frekvensgang:

Frekvensområde	Tolerance*
250 Hz - 4 kHz	+/- 5 dB
4 kHz - 6,3 kHz	+/- 8 dB

**Table 5:** krav til maksimal afvigelse fra ret frekvensgang (IEC 645-2 stk. 10.1)

Ved kalibrering af niveau i frit felt kan 1 kHz warble tone fra DANTALE CDéns spor 20, index 1 benyttes. Vær opmærksom på, at dette signal er indspillet ved Lref + 10 dB, og således er 10 dB kraftigere end talesporet. 1 kHz warble tonen på Cdén har kun en varighed på 10 sekunder.

Da CD'en er ved at have udspillet dens rolle som kommercielt produkt, ser man flere og flere audiometerproducenter som leverer talematerialet som lydfiler. For at kunne kalibrere audiometeret med disse filer skal kalibreringssignalerne følge talematerialet som lydfiler. Det er meget vigtigt at niveauet for disse kalibreringssignaler oplyses, især fordi det sker at niveauerne er blevet ændret i processen med at få signalerne overført til en lydfil, fx er det sket, at 10 dB offset'et på warble tonerne er blevet fjernet.

I IEC 645-2 angives enten at niveauet justeres, så audiometrets visning svarer til lydtrykniveauet i dB SPL, eller til at vise dB HL, ved at indføre en offsetværdi på 20 dB HL. Dette svarer til den omtrentlige tærskel for taleforståelse for de fleste let forståelige talematerialer.<sup>8</sup> Det er vigtigt, at betjeningspersonalet ved hvilken forskrift der er anvendt.

Ved taleaudiometri med hovedtelefoner indstilles niveauet typisk med et offset, så udlæsningen bliver i HL. Det betyder at man beregner kalibreringsniveauet i HL til hovedtelefoner med 1 kHz tonen fra DANTALE (spor 20 index 4) som indstillingen på audiometeret + HL offset fx:  $55 + 20 = 75$  dB HL.<sup>9</sup> I frit felt kan kalibreringsniveauet beregnes på følgende vis:

I HL i frit felt med anvendelse af 1 kHz warble tone fra DANTALE (spor 20, index 1):

Audiometerindstilling 45 dB + HL offset + kalibreringsoffset over  $L_{ref} = 45 + 20 + 10 = 75$  dB HL.

I SPL med warble tonen fra DANTALE:

Audiometerindstilling 65 dB HL+ kalibreringsoffset =  $65 + 10 = 75$  dB SPL

Støjsignalerne fra de to "sidehøjtalere" kalibreres hver for sig med 3 dB lavere niveau, hvilket giver det korrekte resulterende niveau med to (ukorrelerede) højtalere. Ved anmeldelse af høreskader til

Arbejdsskadestyrelsen anbefales som nævnt et lydtrykniveau på 65 dB SPL og 0 dB signal/støjforhold.

Kalibreringen kan eventuelt kontrolleres i referencepunktet med begge højtalere samtidigt, ved at måle lydtrykniveauet for løbende tale eller støjsignalet vha. en integrerende lydtrykmåler (Leq værdi).

DANTALE støjen (højre kanal) og løbende tale (venstre kanal, spor 12-14) er indspillet ved nominelt niveau ( $L_{ref}$ ). Det aflæste lydtrykniveau ved en kontrolmåling med disse signaler, skal således svare direkte til audiometrets visning i dB HL.

I ISO 8253-3 anbefales generelt at benytte C-vægtning ved måling af lydtrykniveauer for tale.

For lister med enkeltord kan lydtrykniveauet estimeres ved gennemsnitsværdien af maximal lydtrykniveauerne minus 5 dB, med lydtrykmåleren stillet i "Impulse" og "C"-vægtning.

---

8 : IEC60645-2, Note i stk. 8.3

9 : ANSI-standard S3.6-2004 angiver forskellige offset værdier afhængig af hovedtelefonens RETSPL ved 1 kHz. Det giver 20 dB for TDH-39 og 12,5 dB for insert telefoner. IEC angiver kun 20 dB som offset – transducer afhængighed er ikke nævnt.

## Bilag 1 – Litteraturliste

Arlinger SD, Jerlvald LB  
Reliability in warble-tone sound field audiometry  
Scand. Audiol. 16, 21-27 (1987)

Anderson CD  
New ideas in sound field systems  
Hear. instrum. 30, 12-13 43 (1979)

Barry SJ, Resnick SB  
Absolute thresholds for frequency modulated signals: effects of rate, pattern and percentage of modulation  
J. Speech. Hear. Disord. 43, 192-199 (1978)

Bio-logic Systems Corp.  
HINT Pro: Hearing in Noise Test User's and Service Manual. Mundelein, Illinois: Bio-logic Systems Corp (House Ear Institute) (2005)

Brixen Eddy Bøgh, Voetmann Jan  
Praktisk Elektroakustik 2. udgave  
Musikforlaget Fog (2004)

Byrne DJ, Dillon H  
Comparative reliability of warble tone thresholds under earphones and in sound field.  
Aust. J. Audiol. 3, 12-14 (1981)

Dillon H, Walker G  
the perception of normal hearing persons of intensity fluctuations in narrow band stimuli and its implication for sound field calibration procedures  
Aust. J. Audiol. 2, 72-82 (1980)

Dillon H, Walker G  
The effect of acoustic environment on the reliability of sound field audiometry  
Aust. J. Audiol. 3, 67-78 (1981)

Dillon H, Walker G  
Comparison of stimuli used in sound field audiometric testing  
J. Acoust. Soc. Am. 71, 161-172 (1982)

Dillon H, Walker G  
The selection of modulation waveform for frequency modulated sound field stimuli  
Aust. J. Audiol. 4, 56-61 (1982)

Dillon H, Walker G  
An optimum bandwidth for audiometric sound field stimuli  
Paper presented at annual ASHA convention, Toronto Canada. AHA 24, 778 (1982)



Duffy J  
Sound field audiometry and hearing aid advisement  
Hear. Instrm. 29, 6-12 (1978)

Elberling C, Ludvigsen C, Lyregaard PE  
DANTALE - Compact Disk, Teknisk Rapport  
Laboratoriet for Akustik, DTH (1988)

Etymotic research Inc.  
QuickSIN Speech-in-noise-test ver. 1.3  
Etymotic Research Inc. 61 Martin Lane, Elk Grove Village il. 60007 [www.etymotic.com](http://www.etymotic.com) (2006)

Goldberg H  
Discrete frequency sound field audiometry  
Hear. Aid J. 32, 7-ff (1979)

Goldberg H  
Sound field audiometric measurements  
Audecibel 1, 183-186 (1981)

HearCom  
Deliverable D-7-2: Specification of standard speech test/enviromental conditions for Europe"  
[www.hearcom.org](http://www.hearcom.org) (deliverables) (2006)

HörTech  
OLSA, Oldenburger Satztest, Bedienungsanleitung (2011)  
HörTech GmbH, Marie-Curie-str. 2, D-26129 Oldenburg [www.hoertech.de](http://www.hoertech.de)

Keidser, Gitte  
Reference-data for DANTALE (Normalthørende)  
Laboratoriet for Akustik, DTH (1991)

Lippmann R, Adams D  
A 1/3 octave-band noise generator for sound field audiometric measurements  
J. Speech Hear. Disord. 47, 84-88 (1982)

Morgan D, Kirks D, Bower D  
Suggested threshold sound pressure levels for frequency modulated warble tones in the sound field  
J. Speech Hear. Disord 44, 37-54 (1979)

Orchik D, Mosher N  
Narrow band noise audiometry: the effect of filter slope  
J. Am. Aud. soc. 1, 50-53 (1975)

Orchik D, Rintelmann W  
Comparison of pure-tone, warble-tone and narrow band noise thresholds of young norman hearing children  
J. Am. Aud. Soc. 3, 214-220 (1978)

Petersen, Tove Helene  
Implementering af Dantalematerialet ved fastlæggelse af høreskadeerstatninger  
Afgangsprojekt fra Københavns Universitet 1992

Reilly N  
Frequency and amplitude modulation audiometry  
Arch. Otolaryngol. 68, 363-366 (1958)

Rochlin, Gail D  
Status of Sound Field Audiometry among Audiologists in the United States  
J. Am. Acad. Audiol. 4: 59-68 (1993)

Salomon Gerhard, Parving Agnete, Danielsen Kurt  
Definitioner og gradueringer af høreskader og kommunikationshandicap til brug med mediko-  
legale kompensationer  
Ugeskrift for læger 147, 685-691 (1985)

Staab W, Rintelmann W  
Status of warble-tone in audiometers  
Audiology 11, 244-255 (1972)

Walker G  
The pure tone in sound field testing: Experimental results and suggested procedures  
Aust. J. Audiol. 1, 49-60

Walker G, Dillon H, Byrne D  
Sound Field Audiometry : Recommended Stimuli and Procedures  
Ear and Hearing Vol. 5, No. 1 (1984)

Wilber LA  
Calibration: pure tone, speech and noise signals  
In : Katz J, ed. Handbook of Clinical Audiology. 3rd Ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 116-150  
(1985)

## Bilag 2 - Korrektionstabeller for 45° og 90° lydindfald

ISO 8253-2 Annex B

1/3 oktav centerfrekvens/ Hz	Lydindfald 45°/dB	Lydindfald 90°/dB	1/3 oktav centerfrekvens/ Hz	Lydindfald 45°/dB	Lydindfald 90°/dB
125	0.5	1.0	1600	3,5	4,5
160	1	1,5	2000	3.0	2.0
200	1	1,5	2500	3,5	2
250	1.0	2.0	3000	5	2,5
315	1,5	2,5	3150	5	2
400	2,5	3,5	4000	4.0	-0.5
500	3.0	4.5	5000	6	4
630	3,5	5	6000	7,5	9,5
800	3,5	5	630010	7.5	10
1000	4.0	5.5	8000	5.5	8.5
1250	4	6	10000	4,5	6
1500	3,5	5	12500	1,5	8

Tabellen angiver det øgede lydtryk til det nærmeste øre fra en højttaler placeret i vinklen hhv. 45 eller 90 grader i forhold til direkte frontalt lydindfald

Tabellen kan benyttes til korrektion af korrektion af kalibreringsniveauer ved tone- og taleaudiometri (afsnit 5.1), hvis ISO standard (0° lydindfald) ikke benyttes.

Eksempel på beregning af kalibreringsniveau i HL for 250 Hz højttaler med 90° lydindfald :

audiometerindstilling 60 dB HL, MAF v. 250 Hz fra tabel 4 = 11,4 dB SPL, korrektion fra ovenstående tabel 2,0 dB.

Kalibreringsniveau =  $60 + 11,4 - 2,0 = 69,4$  dB SPL

---

10 : Standarden angiver ingen værdi for 6000 Hz

### Bilag3- Kalibreringssignaler tilknyttet Dantale 1 talematerialet:

Spor 20	
index 1	1000 Hz, FM-moduleret Lref+10 dB
2	250 Hz, FM-moduleret Lref+ 10 dB
3	4000 Hz, FM-moduleret Lref+ 10 dB
4	1000 Hz, Rentone Lref
5	4000 Hz, Rentone Lref
6	Lyserød Støj.Lref

## Bilag 4 - Standardoversigt

Relevante standarder i forbindelse med audiometri.

Kan rekvireres hos:

Dansk Standard, [www.ds.dk](http://www.ds.dk), Kollegievej 6, Kollegievej 6, telefon 39 96 61 01

### IEC

60318-1:2009	Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 1: Ear Simulator for the measurement of supra-aural and circumaural earphones
60318-3:2014	Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 3: Acoustic coupler for the calibration of supra-aural earphones used in audiometry
60318-4:2010	Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 4: Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by means of ear inserts
60318-5:2006	Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 5: 2 cm <sup>3</sup> coupler for the measurement of hearing aids and earphones coupled to the ear by means of ear inserts
60318-6:2007	Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 6: Mechanical coupler for the measurement on bone vibrators
60645-1:2017	Electroacoustics - Audiometric equipment - Part 1: Equipment for pure-tone and speech audiometry
60645-3:2007	Electroacoustics- Audiometric equipment – Part 3: Test signals of short duration
60645-5:2005	Electroacoustics- Audiometric equipment – Part 6: Instruments for the measurement of aural acoustical impedance/admittance
60645-6:2010	Electroacoustics- Audiometric equipment – Part 6: Instruments for the measurement of otoacoustic emissions
60645-7:2010	Electroacoustics- Audiometric equipment – Part 7: Instruments for the measurement of auditory evoked potentials
60942:2018	Sound Calibrators

### ISO

226:2004	Equal loudness contours
266:1997	Acoustics - Preferred frequencies for measurements

- 389-1:2008 Reference zero, pure tone air conduction
- 389-2:1997 Reference zero, Pure tones and insert earphones
- 389-3:2016 Reference zero, Bone vibrators
- 389-4:1999 reference levels for narrow band noise for masking
- 389-5:2006 Hearing thresholds in the frequency range 8 -16 kHz.
- 389-6:2007 Test signals of short duration
- 389-7:2019 Reference zero, threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening  
Conditions
- 389-8:2004 Circumaurale hovedtelefoner
- 389-9:2009 Preferred test conditions for the determination of reference hearing threshold levels
  
- 7029:2017 Acoustics - Threshold of hearing
  
- 8253-1:2010 Test methods - pure tone air and bone
- 8253-2:2009 Test methods - sound field, pure tone and narrow-band
- 8253-3:2012 Test methods - speech
  
- OIML
- R-104:1993 International recommendation - pure-tone audiometers

## Bilag 5- Opstillinger til taleaudiometri i støj

Der findes efterhånden en del talemateriale (også på dansk) som bestemmer SNR eller signal/støjforholdet mellem talen og et maskeringssignal (støj), Disse er typisk adaptive så signal/støjforholdet ændres, afhængigt af hvor god genkendelsen af talen er.

Disse talemateriale er oftest konstrueret som sætninger eller nøgleord i bæresætninger, der afvikles en ad gangen i en baggrundsstøj der kan være moduleret i varierende grad, normalt med en frekvensvægtning der ligner langtidsmidlet tale.

For hvert talemateriale kan man finde et normalmateriale med angivelse af det gennemsnitlige SNR for normalthørende, som kan bruges som reference til den aktuelle testpersons måling. Oftest vil disse taletests dog finde anvendelse som validering af høreapparatbehandling med en test uden høreapparat og efterfølgende en test med det tilpassede høreapparat.

Taletests med høreapparat vil typisk blive afviklet som frit felts test, da brugen af høreapparater og hovedtelefoner samtidig er besværlig. Der er i litteraturen mange forskellige forslag til opstilling af højttalere til testen, fra en enkelt højttaler til både støj og tale i front til adskillige støjhøjttalere fordelt i horisontalplanet. Selv med samme test opleves forskellige højttaleropsætninger.

Da signal/støjforholdet i flere af disse tests ændres i forhold til hørbarheden af talematerialet kan der være behov for en beregning af næste niveau af tale og støj afhængig af besvarelsen af sidste præsentation. Beregningen i HINT er relativt simpel, men med det danske materiale vil den typisk blive afviklet af et computerprogram, fremfor over et audiometer. Det samme gør sig gældende for Dantale II hvor der findes flere danske udgaver.

Hvis formålet med testen alene er at bestemme signal/støjforholdet i et frit felt, uden hensyntagen til information om retningen af kilderne, skal lydfeltet være homogent omkring hovedet, hvilket i et quasi-frit felt nemt opnås med den i ISO8253-3 foreslåede opstilling med to støjhøjttalere i 45 grader omkring talehøjttaleren i center position. Dette vil dog også kunne opnås med en højttaler til at afspille både tale og lyd, omend lydniveauet vil aftage med afstanden til højttaleren, hvis efterklangstiden bliver for lav. Med højere efterklangstider bliver støjen typisk fordelt mere homogent i rummet, men det giver risiko for stående bølger mellem reflekterende flader.

Ønsker man med taletestopstillingen at undersøge retningsinformation om lydkilden, f. eks ved brug af retningsmikrofon i høreapparatet, er placeringen af højttalerne afgørende. Desuden er en lav efterklangstid vigtig for at sikre at den direkte lyd fra højttalerne dominerer over den reflekterede lyd. Ved denne type test vil støjhøjttaleren(ne) typisk blive placeret i en vinkel på 90 grader eller mere fra centerpositionen. Det fælleseuropæiske projekt HearCom har i 2006 udgivet en rapport der beskriver udfordringerne ved en frit-felts opstilling til evaluering af høreapparat funktioner.<sup>11</sup> Rapporten peger på en 5 højttalers opstilling men nævner også at rumakustik og små forskelle i opstillingen vil gøre det svært at opnå fuld sammenlignelighed mellem opstillingerne.

Der findes mange forskellige talemateriale på dansk. Nogle er oversættelser fra andre sprog som ikke er verificerede på dansk, og andre (fx auditesten) er ikke specifikt udviklet til test af taleforståelighed. De mest kendte danske verificerede talemateriale med tilhørende talestøj er:

Dantale I

25-enkelt-ords voksenlister, børnelister og løbende tale (Samsø historien)

---

11 "D-7-2: Specification of standard speech test/environmental conditions for Europe"

## Dantale II

Også kendt som "Hagermann listerne" og "Oldenburger Satztest". Internationalt benævnt som "matrixtest". 10 gange fem ord i en fast sætningsstruktur, som "Ole fik fem røde stole" Sætningsopbygningen og det lille udfaldsrum, gør det mulig at lave en selv-test udgave hvor man vælger den rigtigt sætning i en matrice på en skærm.

### HINT (Hearing in noise test)

Hverdagsagtige sætninger fx "vil du med ud at lege", udtalt med naturlig artikulation. Er mere realistiske i forhold til virkelige situationer for høreapparatbrugeren. Scores sætningsvis.

### DAT (Dagmar Asta og Thea)

Med tre kvindestemmer er indspillet en bæresætning "Dagmar/Asta/Thea tænker på X og Y i går", hvor X og Y er testordene. Afspillet samtidig udgør de både test signalet og maskerings-signalet, ved at talesignalet fx er ordene fra Asta, mens de to andre sætninger udgør maskeringen. Materialet er især velegnet til at teste retningshørelse og effekten af såkaldt "informational masking", hvor informativt indhold i maskeren tager fokus fra talen.

På engelsk(amerikansk) findes et meget brugt talemateriale kaldet Quicksin. På dette materiale findes spor af 5 ords sætninger i moduleret talestøj (babbelnoise) i et signal-støjforhold der falder 5 dB for hver sætning. Det finder hurtigt en (grov) tærskel for taleforståeligheden, som sammenlignet med en normal-værdi kan bruges som mål for tabet af taleforståelighed eller skelnetabet om man vil. Der findes endnu ikke en tilstrækkeligt verificeret dansk udgave.

I manualer for både den tyske udgave af Dantale II (Oldenburger satz-test) og den amerikanske HINT beskrives to-kanals opstillinger med en støjhøjtaler i 90 graders vinkel fra centerhøjtaleren. Manualen for Quicksin beskriver to-kanals opstillinger med højtalere i 0 og 180 grader eller med testpersonen med siden til talehøjtaleren i 45 graders vinkel og støjhøjtaleren i 135 grader. Ræsonnementet bag disse forslag er at mange testbokse har højtalerne placeret i hjørnerne af rummet.

Konklusionen på valg af højtaleropstilling i rummet må for nu være at der ikke findes en standard, og heller ikke en egentlig "best-practice" for de enkelte talemateriale. Selv med valget af en højtaler opstilling vil nøjagtigheden af den enkelte højtaler og placeringen af den have betydning for lydfeltet og dermed høreapparatets mulighed for signalbehandling.

Da valideringen af høreapparatet oftest foretages som en relativ test med og uden høreapparatet (eller med forskellige høreapparater), vil den opnåede forskel mellem de enkelte test være pålidelig for den samme opstilling. Blot skal der vælges en opsætning som giver høreapparatets signalbehandling mulighed for at virke, og opstillingen inklusive rummets akustik skal beskrives grundigt.