

HIFI4ALL.DK

Lyd & Højtalerbyg - 1. del

Arne Rodahl [10.09.2007]

Lydlære, akustik og psykoakustik - 1. del af Arne Rodahls artikelserie omhandlende den forunderlige verden omkring lyd og højtalerbyg.

1. del

LYDLÆRE

Når man vil bygge højtalere, er teoretisk viden et nødvendigt fundament til forståelse af teknikens sammenhæng. Hertil hører viden om lydens fysiske forhold relateret til højtalerbyg.

Definition: Ved lyd forstås hørbare mekaniske svingninger, d.v.s. ligevægtsforskydelser, der breder sig gennem et stof som følge af dets elastiske egenskaber og som kan registreres og opfattes af det menneskelige høreorgan.

Støj: Betegnelse for al lyd, som er uønsket af modtageren. Støj har ikke nødvendigvis nogle fysiske karakteristika, som adskiller den fra ønsket lyd, men med ordet støj forbindes som oftest lyd, der er ubehagelig, generende eller direkte skadelig at lytte til. Det kan f.eks. være på grund af lydens styrke, dens uharmoniske frekvenssammensætning eller dens uregelmæssighed.

Lydudbredelse gennem luft* foregår ved, at lydilden gennem mekanisk påvirkning sætter luftpartiklerne i svingninger omkring deres ligevægtsstilling. På grund af luftens elasticitet breder denne svingningsbevægelse sig til stadig fjernere beliggende luftpartikler.

**Atmosfærisk luft: 78,08 % kvælstof, 20,9 5% ilt, 0,94 % ædle luftarter, 0,03 % kultveilde*

Det er altså svingningsbevægelsen af de enkelte luftpartikler, - og ikke luftpartiklerne selv, der breder sig til omgivelserne. Processen kan sammenlignes med "domino-effekten".

Hørbar lyd: - er ændringer i lufttrykket ved trommehinden, som normalt er den ydre fysiske årsag til høreindtrykket, det vil sige den subjektive oplevelse af ændringer i lufttrykket. Ændringerne skal være hurtigere end ca. 20 gange pr. sekund og langsommere end ca. 20.000 gange pr. sekund for at kunne opfattes som lyd gennem øret. Ændringerne kan betegnes som svingninger eller lydbølger. Svingninger under 20 gange pr. sekund betegnes infralyd, mens svingninger over 20.000 gange pr. sekund, betegnes ultralyd.

Lydtryk: - er en trykvariation, som lyden forårsager og som overstiger det statiske lufttryk (Planche nr. 1, tegning 1). Lyd kan sammenlignes med ringe, der breder sig på en vandoverflade, når der kastes en sten i vandet. Lydbølger kan illustreres grafisk, hvor lydtrykket og partikelhastigheden i et fast punkt varierer med tiden. Afbildes lydtrykket i et givet punkt som funktion af tiden og vælges en lydkilde, som udsender en konstant ren tone (sinus), kan lydtrykket i et gældende punkt (fasen) beskrives ved hjælp af sinuskurven (Planche nr. 1, tegning 2).

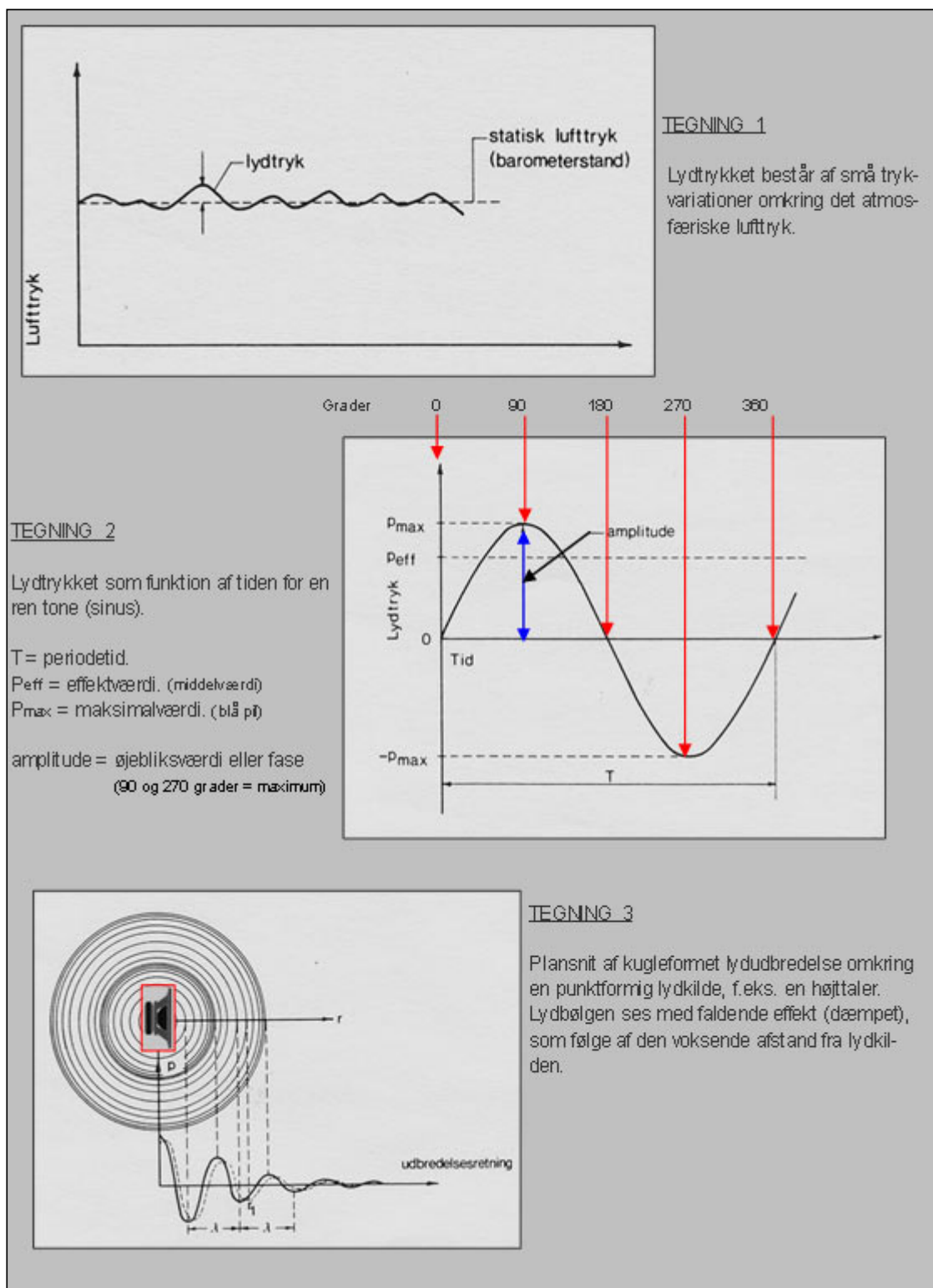


Planche nr. 1.

Frekvens: Antallet af hele svingningsperioder (bølgelængder), som bølgebevægelsen udfører pr. sekund, - kaldes frekvensen, betegnes "Hertz" og forkortes Hz.

Periodetid: - er den tid en svingning (sinus) bruger til at gennemløbe en svingningsperiode (bølgelængde) (Planche nr. 1, tegning 2).

Effektivt lydtryk: Lydtrykkets størrelse er bestemmende for tonens styrke. Til angivelse af lydtrykkets størrelse anvender man sædvanligvis effektivværdien af lydtrykket, betegnet P_{eff} (Planche nr. 1, tegning 2). Effektivværdien anvendes, fordi den ved sammensatte lyde er bestemmende for middel-værdien af lydtrykkets variation i tiden.

Lydhastighed: Den hastighed, med hvilken lydbølger breder sig, kaldes lydhastigheden. Lydhastigheden igennem

luft er uafhængig af frekvensen og er forskellig i forskellige stoffer. Endvidere varierer den med stoffets fysiske tilstand, f.eks. temperaturen. I luft er lyd hastigheden ved normal atmosfærisk tryk og stuetemperatur typisk 340 m pr. sek., hvilket benyttes som standard ved beregninger. Til sammenligning er hastigheden for lys og elektricitet ca. 300.000 km pr. sek.

Lydfelt: Kurven for lydtrykket, som funktion af afstanden (r), vil i et givet øjeblik have et forløb, som fremgår af kurven (Planche nr. 1, tegning 3). Den udstrålede effekt må passere en stadigt voksende sfærisk flade, efterhånden som afstanden fra lydkilden (højttaleren) øges, hvilket resulterer i fortynding af energimængden og dermed faldende lydtryk.

Decibel: Forskellen på den kraftigste og svageste lyd menneskelig hørelse kan opfatte efter en lineær skala er 1.000.000.000 : 1. Anvendelse af en logaritmisk skala er derfor mere overskuelig. Hertil kommer øret tilnærmet logaritmisk opfattelse af lydstyrken. Af disse grunde benytter man inden for akustikken den logaritmiske decibel-skala. (dB).

Phon: - er måleenheden for hørestyrke, numerisk svarende til decibel (dB).

Son: - er måleenheden for lydindtryk, der svarer til en "normal hørende" persons vurdering af forholdet mellem den subjektive styrke af en given lyd og den subjektive styrke af en referencelyd med hørestyrke 40 phon. Skalaen for lydindtryk viser hørestyrken, 40 phon (dB) svarer til 1 son. Forøges lydindtrykket fra 1 son til 2 son, svarende til 10 dB, - opfattes det som dobbelt så kraftigt - se planche nr. 2.

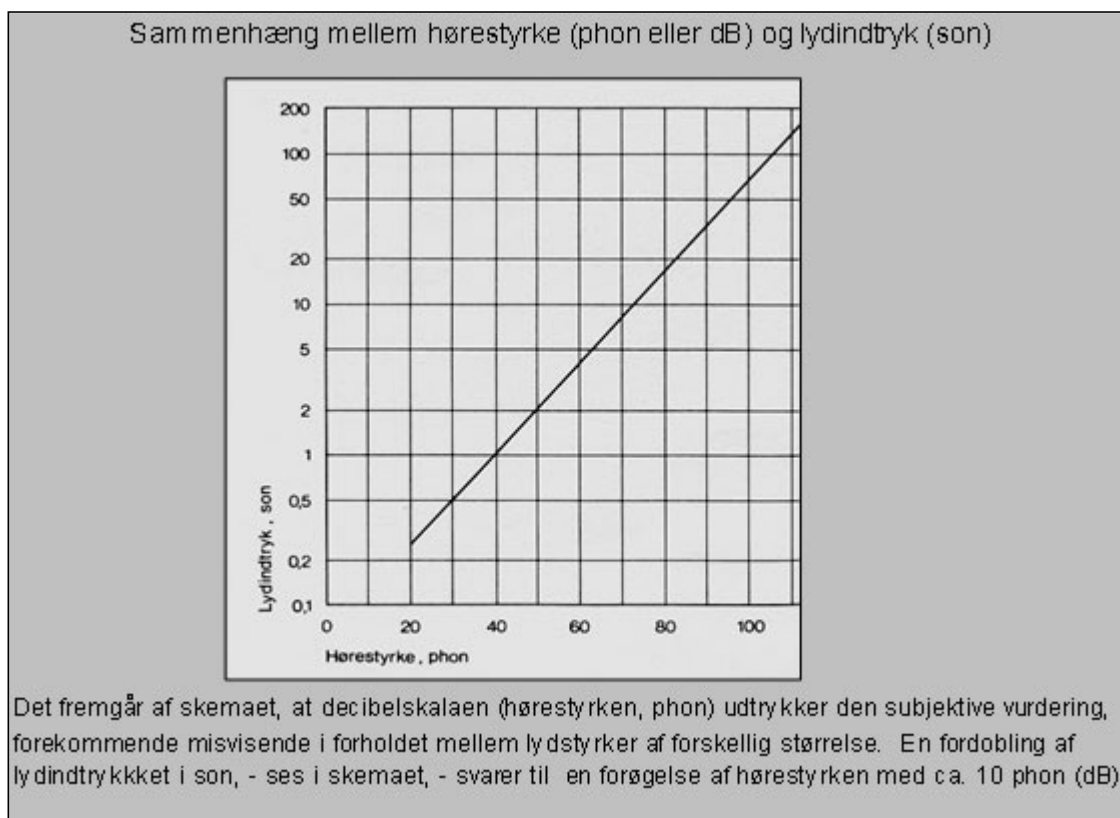


Planche nr. 2.

Bølgelængden: - betragtet et givet tidspunkt og langs en lige linie udgående fra en punktførmig lydkilde (f.eks. en højttaler). Lydbølgen er stationær og udsendt som en ren sinustone. Billedet af lydbølgen fra lydkilden og udefter vises som en dæmpet sinussvingning og beskrevet i afsnittet "Lydtryk", se planche nr. 1, tegning 3.

Bølgelængden opgives i centimeter og meter og betegner den korteste afstand, målt i lydets udbredelsesretning, mellem to punkter i bølgebevægelsen med samme svingningstal eller den distance lydbølgen gennemløber i periodetiden, T , se planche nr. 1, tegning 2.

Beregning af bølgelængden ved en given frekvens: Lydens hastighed 340 m/sek., divideret med frekvensen resulterer i bølgelængden.

Eksempler:

- Frekvensen 100 Hz har en bølgelængde på 3,40 meter.
- Frekvensen 1000 Hz har en bølgelængde på 34 centimeter.

- Frekvensen 10.000 Hz har en bølgelængde på 3,4 centimeter.

Lydudbredelse: Hvis afstanden fra en lyd giver (højttaler) øges fra 1 m til 2 m, mindskes lydtrykniveauet med 6 dB. Øges afstanden fra 35 m til 70 m, vil lydtrykniveauet ligeledes mindskes med 6 dB. Heraf kan udledes, at fordobles afstanden, mindskes lydtrykniveauet med 6 dB.

AKUSTIK

Når lyden forlader en lydkilde skal den først passere lytterummet inden den når vore ører. Lytterummet sætter sit præg på den lyd vi opfatter. Man siger, at rummet sætter sit fingeraftryk på lyd gengivelsen. Det betyder, at samme lydkilde lyder forskellig i forskellige rum. Lydbølger udsendt fra en lydkilde, vil bevæge sig væk fra denne direkte til vore ører. Lydbølgerne vil tillige ramme rummets grænseflader, d.v.s. vægge, gulv, loft og inventar. En del af lydbølgerne energi bliver reflekteret og kastet tilbage, mens resten absorberes af grænseflader og inventar. Det meget komplicerede lydfelt, der dannes i rummet som følge af de mange refleksioner, vil have en vis "levetid" grundet lydens relative lave hastighed. Når lydfeltet udklinger, karakteriseres det som rummets akustiske fingeraftryk. Lyd der frembringes udendørs er mindre påvirket af akustiske forhold. De faktorer, der spiller ind for at danne rummets akustiske fingeraftryk, er mange, men i det følgende skal vi se lidt på nogle af de vigtigste faktorer.

Geometrisk rumakustik: - arter sig forskelligt alt efter hvilke frekvenser, der skal beskrives. Når de mellemste og højeste frekvensers bølgelængder sættes i relation til rummets dimensioner, - kan lydens udbredelse betragtes på næsten samme måde, som var det lysstråler. Rummet bliver som et akustisk spejlkabinet, hvor lydstrålerne reflekteres fra vægge, loft, gulv og inventar, og skaber en række ekkoer, som ændrer lyden. Eksempelvis kan man ikke sammenligne akustikken i et badeværelse med akustikken i en stue.

Lydbølger bevæger sig i lige linier ved mellem og høje frekvenser. Har et rum hårde overflader, reflekteres lydbølgerne og danner et kompliceret lydfelt. Har et rum absorberende flader vil man opdage at disse absorberer lydbølger forskelligt, afhængig af frekvens og fladernes hårdhed.

Når de laveste frekvenser sættes i relation til rummets dimensioner opstår der såkaldte "stående bølger", idet der imaginært ikke er plads til bølgelængden. De stående bølger opstår mellem parallelle flader, f.eks. mellem loft og gulv eller mellem parallelle vægge, idet disse ikke er i stand til at absorbere lydbølgerne nævneværdig. Der opstår en mangfoldighed af stående bølger, der høres som resonanser ved bestemte frekvenser, afhængig af rummets dimensioner. Eksempelvis kan nævnes, at der i et rum med dimensionerne på 6,4 x 4,3 x 2,4 m opstår resonansfrekvenser ved 27, 40, 49, 54, 71, 76, 81, 86, 97 Hz, der gengives med væsentlig kraftigere niveau.

Hele problematikken med absorptionsegenskaber og stående bølger, sætter et betydeligt præg på den lyd vi opfatter i boligens lytterum.

I en koncertsal er akustikken konstrueret, d.v.s. at alle flader (loft, vægge, gulv, m.m.) er udført af materialer med en ganske nøje udvalgt hårdhedsgrad / absorptionsevne, ligesom fladernes forskellige vinkler er nøje beregnet. Det er således de mellemste og højeste frekvenser, grundet disses udbredelse i rette linier og deraf følgende refleksioner, der betyder mest for koncertsalens akustik. De laveste frekvenser er mindre problematiske, idet stående bølger ikke er fremtrædende. Det skal tillige tilføjes at der i koncertsalens akustiske konstruktionsberegninger også medregnes tilskuernes absorption af lyden.

I mindre rum, f.eks. i boligen, er akustikken stort set tilfældig, idet der ganske naturligt prioriteres mindre med rummets lyd mæssige egenskaber.

Betragter vi boligens lytterums akustiske egenskaber, kan dette gøres ud fra to tidligere nævnte frekvensmæssige kriterier:

1. Mellem og høje frekvenser
2. Lave frekvenser

En gennemsnitlig stues akustiske egenskaber for de mellemste og højeste frekvenser er mindre problematiske, idet de fleste stuer har en tilpas blanding af reflekterende og absorberende flader. Anderledes er det med stuens egenskaber for de lave frekvenser, hvor opnåelse af en bare nogenlunde jævn basgengivelse stort set er uopnåeligt. Afvigelser på 10-20 dB er ganske normale.

Problemerne inddeles i to områder: Stående bølger og refleksionsforstærkning. Problemet med stående bølger som følge af parallelle flader er tidligere omtalt og da de fleste stuer har parallelle flader, vil problemet til stadighed være en del af lydbilledet. Problemer med refleksionsforstærkning kan være de mest markante, men til gengæld et fænomen, der kan "bruges" og ændres til noget positivt med enkelte forsøg. Som det fremgår af navnet opstår der en forstærkning af de laveste frekvenser, grundet refleksioner fra væg, gulv og loft, når højttaleren er placeret tæt ved disse. Refleksionerne fremkommer ved, at de lave frekvenser udbredes som ringe i vand, altså 360 grader. Det betyder, at lave frekvenser fra højttaleren udbredes i alle retninger og rammer vægflader, hvorefter de igen reflekteres og adderes til de direkte lydbølger. Teoretisk resulterer dette fænomen i en akustisk forstærkning fra 100 Hz og nedefter med ca. 6 dB pr. vægflade, svarende til en fordobling. Er højttaleren placeret tæt ved to

vægflader, bliver forsærkningen 12 dB og tre vægflader 18 dB.

Fænomenet kan som omtalt benyttes, idet man kan konstruere højttaleres frekvensforløb under den magiske grænse på ca. 100 Hz, således at vægfladers akustiske refleksion udnyttes. De bedst egnede højttalere til at udnytte denne forstærkning med største præcision er væghøjttalere, idet man fra konstruktørens side, kender højttalerens placeringssted, se planche nr. 3.

En tommelfingerregel: I rum på 20–30 m² vil summen af stående bølger og refleksionsforstærkning typisk øge niveauet af de laveste frekvenser med ca. 12–18 dB! Forstærkningen aftager når rumstørrelsen øges.

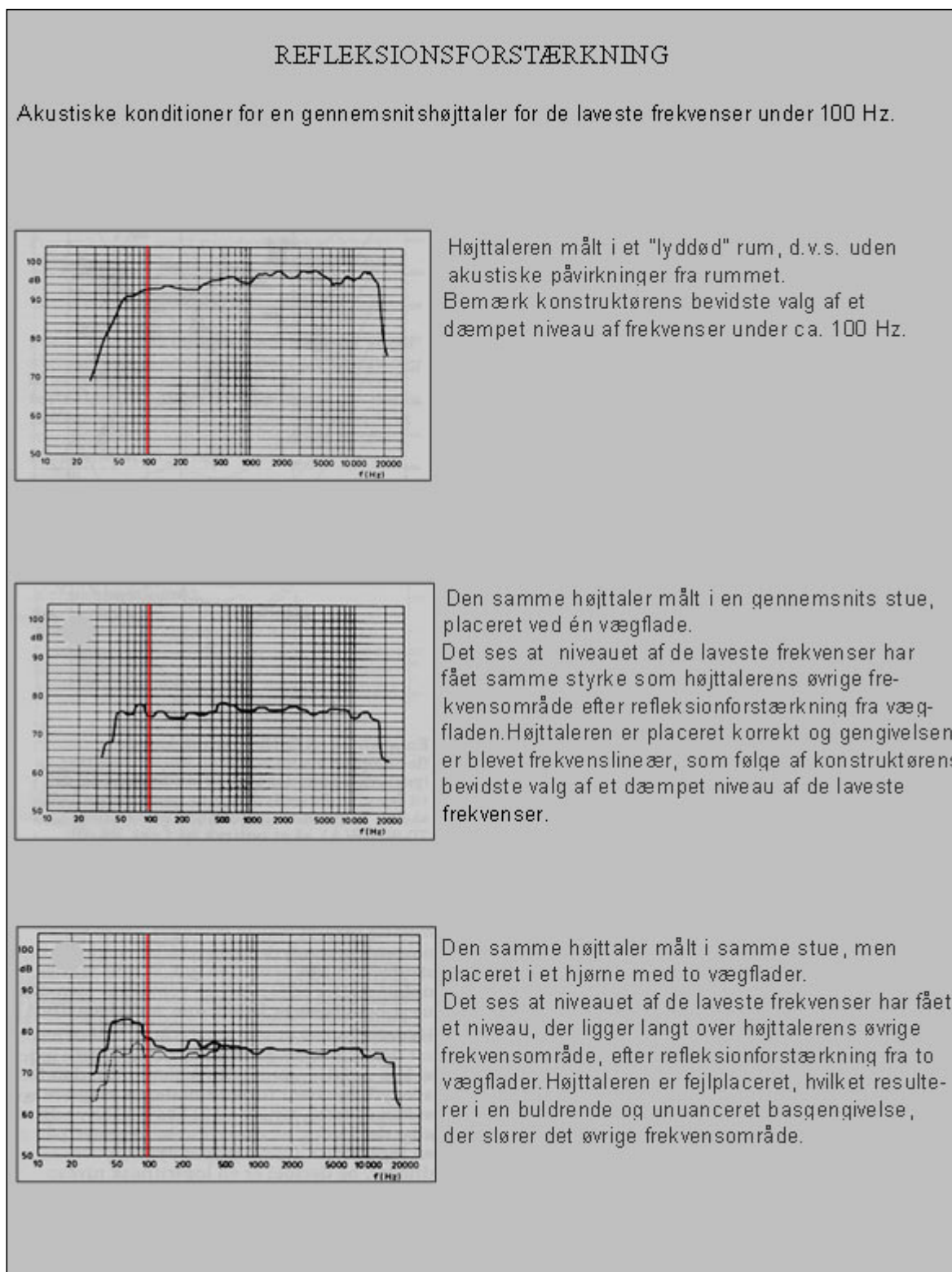


Planche nr. 3.

PSYKOAKUSTIK

I forbindelse med konstruktion af højttalere benyttes udtrykket, "elektroakustik", hvilket betegner objektive, tekniske beregninger og målinger, bl.a. via en computer. Tekniske beregninger og målinger rækker dog langt fra til udviklingen af kvalitetshøjttalere, den menneskelige høreelse må med på råd og her kommer subjektive vurderinger til at spille en væsentlig rolle. Disse vurderinger betegnes psykoakustik, - en videnskabelig disciplin omhandlende alle aspekter for, hvordan mennesker opfatter lyd.

Vigtige aspekter er højttalerens frekvensbalance, dynamisk formåen, gengivelse af detaljer, lydperspektiv (bredde og dybde) og bevægelse i lydbilledet. Aspekter som mennesker med en normal høreelse samt en smule erfaring og lyttetræning kan opfatte.

Det skal dog understreges, at der til udviklingsarbejde hos producenter af kvalitetshøjttalere benyttes "specialister" med mange års erfaring og træning i psykoakustik.

Frekvensbalance: Subjektive betegnelser for højttalere: "Varm lyd", der opfattes som en vis overvægt af de dybe toner. "Slank lyd", basgengivelse opfattes tilbagetrukket. "Nasal lyd", mellemtonelejet opfattes anmassende. "Spids lyd", der opfattes en overvægt af diskant, måske som følge af resonanser eller "ringning". "Luftig lyd", alle fine detaljer høres i diskanten.

Dynamisk formåen: Højttaleres evne til at gengive den fulde styrkeforskel mellem de svageste og kraftigste i passager samt reaktionsevnen til at gengive impulser (stigetid og faldetid).

Gengivelse af detaljer: Musikken har mange detaljer, detaljer der ikke kan måles, detaljer der giver musikken "sjæl". I flæng kan nævnes små hørbare nuancer: Vejtrækning fra en sangerinde, fingrenes vandring over guitarstrengene, klapperne fra klarinetten, læbelyden fra saxofonen, anslaget fra klaverets hamre, når de rammer strengene o.s.v.

Lydperspektiv: Stereo-højttalere er i stand til at efterligne den menneskelige høreelse, hvad angår imaginære placeringer af lydkilder. Ved hjælp af fase- og styrkedifferencer er to højttalere i stand til at placere lydkilder såvel i bredde som i dybde. En indlevelse i musikernes placering f.eks. i koncertsalen via to højttalere fordrer en vis forestillingsevne til at fantasere et tredimensionelt lydperspektiv. En god hjælp til sådan en indlevelse er at lukke øjnene, hvorved et visuelt billedes tendens til af overskygge forestillingsevnen af et lydbillede mindskes.

For helhedens skyld skal Surround sound systemet nævnes, idet systemet ikke så meget bygger på den menneskelige høreelse virkemåde med to kanaler, men derimod har til opgave at skabe lydeffekter i forbindelse med bl.a. film.

Bevægelse i lydbilledet: Samme konditioner som i lydperspektiv, blot med den forskel, at lydkilderne flytter sig i lydbilledet.

Hørelsens dynamiske område: - er forskellen på det svageste og det kraftigste lydniveau, hvor hørelsen fungerer. Man kan også kalde det for ørets arbejdsområde. Jo mere lydniveauet nærmer sig ydergrænserne af ørets arbejdsområde, des mere ændrer hørelsen karakter. Således opfattes de mellemste frekvenser kraftigere end de lave og høje frekvenser jo lavere lydniveauet bliver. I den modsatte ende af skalaen, når lydniveauet bliver kraftigere, begynder det langsomt at genere så meget, at lyttetræthed indtræffer. Når lydniveauet overstiger ca. 120 dB føles smerte i øret og ved 150 dB kan der opstå permanent døvhed. Ved 190 dB kan den menneskelige anatomi påvirkes i en sådan grad, at dette kan medføre døden, se planche nr. 4.

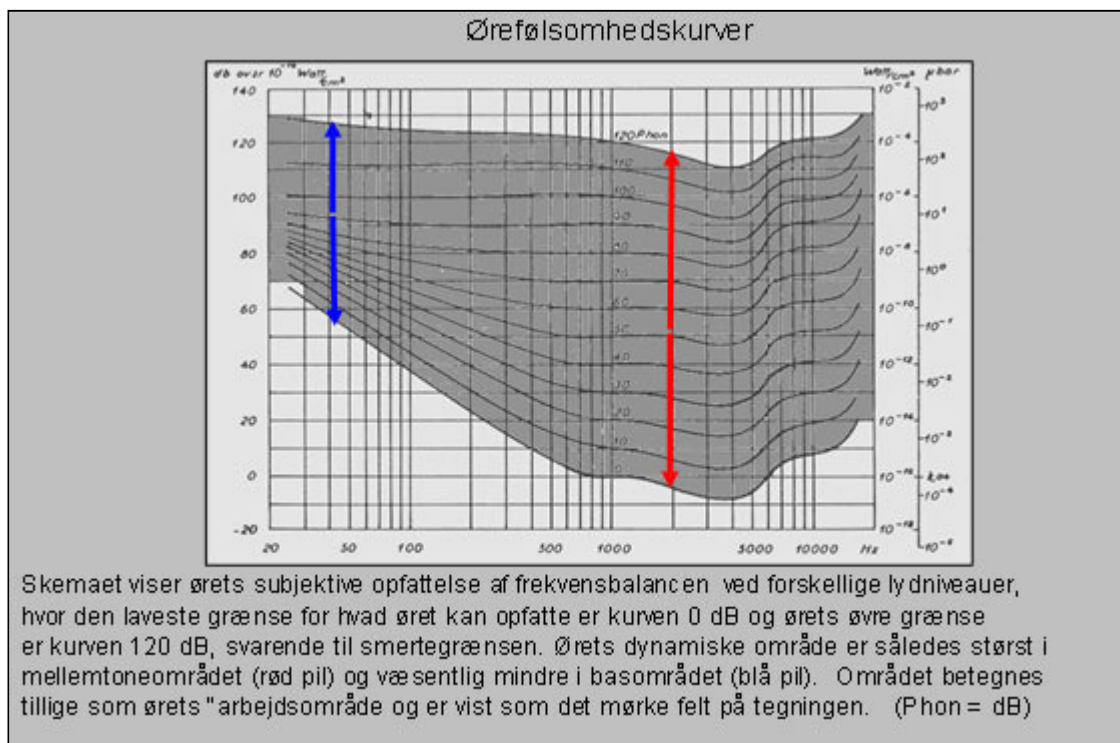


Planche nr. 4.

Ørets hukommelse: Indholdet af det, øret opfanger, f.eks. en tale, en sangtekst eller en melodis harmonier, - lagres i hjernen. Hvorimod øret "glemmer" største delen af den opfattede akustik og frekvensbalance på et musikstykke det lige har hørt i løbet af få sekunder. Ved test af en højttaler er det derfor en god idé, at benytte en anerkendt kvalitetshøjttaler som reference til a/b test i forbindelse med psykoakustiske vurderinger. Til denne sammenlignende test benyttes et specielt omskiftersystem, der kompenserer for evt. niveauforskelle, således at øret opfanger lyden fra højttalerne med ens styrke og dermed ørets samme psykologiske linearitet.

En lille kuriositet: En kendt højttalerkonstruktør John Bowers (billedet til højre), benyttede til tider "live musik" som referencer i a/b test ved udvikling af nye højttalere. En mindre gruppe klassiske musikere eller en jazztrio, (akustiske instrumenter), indspillede først musikken på et mastertape, hvorefter det blev afspillet over den testede højttaler og sammenlignet med den originale musik. Højttalere og musikere var placeret bag et gardin så lyttepanelet ikke kunne se hvad der var lydkilden. - Så stiller man virkelig krav til en højttaler!

Testmateriale: Til psykoakustiske test benyttes udvalgte musikeksempler og anden form for akustiske referencer, f.eks. tale. Det er vigtigt at udvælge egnede musikeksempler og se bort fra egen musiksmag. Forslag på musikeksempler kan findes i [HIFI4ALL.DK's](http://www.hifi4all.dk) Ordbog under Test-musik.

Det kan anbefales at benytte musik hovedsagelig frembragt af akustiske instrumenter og sang. Herved opnår man den nødvendige reference til den originale lyd. Valg af musik til vurdering af højttalerens klangfarve: Bedst egnet er musik med få instrumenter, der dækker størstedelen af frekvensspektret, kontrabas, klaver og trommer. Til vurdering af det vigtige mellemtoneleje er kvindesang god til den øvre del og mandesang god til den nedre del af frekvensafsnittet, - ligesom soloklaver er velegnet.

Musik til vurdering af højttalerens nuanceringssevne i diskantområdet er instrumenter med mange overtoner velegnede til test. Her kan nævnes blæserinstrumenter, fløjte, klarinet, obo, saxofon og trompet. Næroptagelser med soloviolin, hvor man hører buens harpiks. Trommeslagerens bækkenspil (anslag). I mellemtoneområdet er menneskestemmer velegnede til vurdering, specielt ved næroptagelser. I basområdet foretrækkes den akustiske kontrabas til vurdering. Her hører man fingrenes anslag mod strengene, ligesom man får testet højttalerens evne til at starte og stoppe på en transient.

Musik til vurdering af højttalerens dynamiske formåen bør indeholde



store niveauforskelle og forskellige former for lydimpulser. Musik med stort dynamisk indhold findes i vidt omfang blandt symfoniske værker, men findes indenfor alle genrer af musik i kvalitetsoptagelser. Af musik til vurdering af impulsforarbejdning er klaveret velegnet (anslag på strenge) samt trommer (slag på trommeskind eller reifeslag).

Musik til vurdering af lydperspektiv. Højtalerens evne til imaginært at placere de enkelte instrumenter eller instrumentgrupper i rum eller koncertsal i et tredimensionelt perspektiv.

*Copyright © Arne Rodahl 2007
Eftertryk og erhvervsmæssig udnyttelse
uden forfatterens godkendelse er ikke tilladt.*

Udskriften er kun til privat brug - anden brug kræver skriftlige aftale med HIFI4ALL.DK!

Copyright © HIFI4ALL.DK- Alle rettigheder forbeholdes.