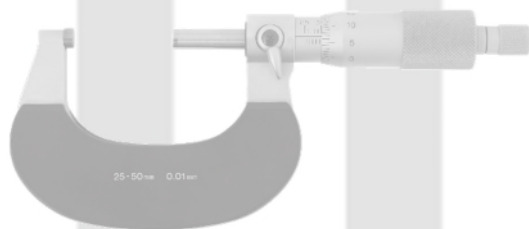


MÅLING AF AKUSTISKE MILJØPÅVIRKNINGER

UNDERVISNINGSELEMENT

01

—
UNDERVISNING
I MÅLETEKNIK

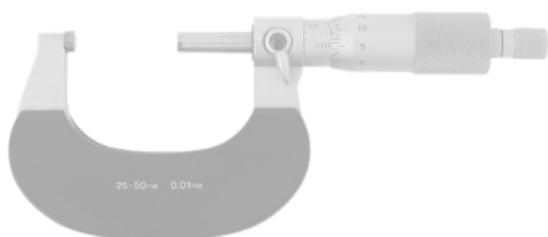


metrologi.dk

MÅLING AF AKUSTISKE MILJØPÅVIRKNINGER

kab@force.dk

1. udgave – oktober 2018



Copyright © 2017 metrologi.dk – Materialet må ikke anvendes til kommercielt brug, uden tilladelse fra metrologi.dk.

Metrologi.dk er finansieret af Styrelsen for Forskning og Innovation i perioden 2016 – 2018. Materiale er udarbejdet i et samarbejde mellem GTS-institutterne DFM A/S, FORCE Technology og DELTA - a part of FORCE Technology.

Læs mere om projektet på www.metrologi.dk.

Parterne i Metrologi.dk kan ikke gøres ansvarlig for fejl og mangler i indholdet af undervisnings materialet eller i indholdet på websitet, samt indholdet i de eksterne dokumenter og websites, der linkes til, medmindre andet følger af dansk rets almindelige regler.

Grafisk design af: Henriette Schäfer Høyrup og David Balslev-Harder.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning	1	4.4 Hørestyrkekurver	7
1.1 Indledende om lyd	1	4.5 Vægtningskurver	9
1.2 Indledende om støj	1	4.6 Dagligdags niveauer	11
2 Måling af lydtryk	2	5 Støjpåvirkningens effekter – høretab	12
3 Eksempler på lydtryksmålere	3	6 Støjpåvirkningens effekter – psykisk og fysiologisk	13
4 Menneskets lydopfattelse	6	7 Referencer	14
4.1 Det opfattede lydniveau	6	8 Forudsætninger og læringsudbytte	15
4.2 Lydtryksniveau	6	8.1 Forudsætninger	15
4.3 Tærskelniveauer	6	8.2 Læringsudbytte	15

1 Indledning

Uønskede akustiske miljøpåvirkninger vil vi i det følgende kort benævne støj. Egentlig bør man betegne det som akustisk støj, da begrebet støj også f.eks. anvendes i forbindelse med elektromagnetisk støj, som f.eks. kan forstyrre elektronisk kommunikation. I det følgende skal støj altså opfattes som akustisk støj.

Støj er et negativt ladet udtryk, - støj er noget uønsket. I det følgende vil betegnelsen lyd omfatte alt det, et menneske kan høre. Lyd omfatter således noget ønsket, det kan f.eks. være

- tale
- musik
- naturens lyde
- trafikens lyde

og det uønskede i form af støj.

Hvor kraftigt mennesket opfatter lyde, altså lydstyrken, kan beskrives ved lydtrykket.

1.1 Indledende om lyd

Lyd er de meget små trykvariationer som opstår, når et objekt vibrerer i luften. Mere specifikt udtrykt, - det vibrerer i atmosfæren.

Med små trykvariationer skal forstås, at deres amplitudeværdier er meget små sammenlignet med det normale atmosfæriske tryk p_{atm} ved jordoverfladen på 1 atmosfære [atm] = 760 mm kviksølvhøjde [mm Hg] = 101,3 kPa. Sidstnævnte er atmosfæretrykket i SI-enheder, som er de formelt korrekte at anvende.

Som eksempel på størrelsen af de små trykamplitudevariationer kan angives, at ved en normal samtale er trykvariationerne i størrelsesordenen 0,02 Pa til 0,2 Pa, hvilket jo er meget mindre end normalatmosfæretrykket $p_{atm} = 101,3$ kPa.

Lydtryksvariationerne forplanter sig i atmosfæren med lydhastigheden, som er $v_{atm} = 343$ m/s ved normalt atmosfæretryk og en temperatur på 20 °C.

Mennesker er optimalt i stand til at opfatte lydtryksvariationer i frekvensområdet 20 Hz til 20 kHz.

Lydtrykket vil generelt aftage med afstanden mellem det vibrerende objekt og øret.

1.2 Indledende om støj

Støj er af mindst lige så stor betydning som andre skadelige miljøpåvirkninger. FN's organisation World Health Organization (WHO) rangerer faktisk specifikt trafikstøj som det andet største miljøproblem i EU, - kun overgået af luftforurening (gasser som CO₂, NO_x og partikler), ref. [1].

Man kan ikke umiddelbart undgå støj

I princippet kan man (i hvert fald kortvarigt) undgå påvirkning med uønskede, og måske skadelige stoffer, ved at udelukke kontakt med dem, men dette er ikke så ligetil for akustiske påvirkninger. Vil man f.eks. undgå kraftigt lys kan man knibe øjnene sammen eller hvis man vil undgå at indånde støv, kan man holde vejret i adskillige sekunder. Man har ikke en sådan indbygget lukkeventil for hørelsen. Her er man nødt til at til-dække ørerne fysisk f.eks. med et par fingre eller bruge en mere specifik form for høreværn. Høreværn findes i mange udformninger, men det gælder altid, at høreværn er noget man skal påføre sig. Hvis man konstant bruger høreværn, vil ens kontakt med omgivelserne (f.eks. andre mennesker eller trafik) forringes.

2 Måling af lydtryk

Instrumenter til måling af lydtryk betegnes lydtryksmålere. En meget stor anvendelse af lydtryksmålere er til målinger af støj, da støj, som ovenfor omtalt, skal opfattes som en skadelig miljøpåvirkning. Med skadelig skal også forstås noget, som opfattes som smertelig, idet et højt lydtryk kan opleves som smertelig (om end ikke direkte dødelig).

De fælles delkomponenter for alle lydtryksmålere er:

- En mikrofon, som omsætter lydtryksvariationerne i luften til et tilsvarende varierende elektrisk signal.
- Elektronik, som behandler det elektriske signal.
- Typisk et display, som kan give en visning af lydtryksvariationernes styrke. Displayet kan f.eks. også vise lydtryksvariationernes frekvensmæssige fordeling. Alternativt kan displayet være suppleret med eller erstattet af en dataudgang, hvortil en PC kan tilsluttes.

I det følgende kapitel omtales udvalgte lydtryksmålere.

3 Eksempler på lydtryksmålere

I det følgende vises "komplette" lydtryksmålere. Med komplette forstås instrumenter med alle de i kapitel 2 omtalte komponenter. Der er altså ikke vist lydtryksmålere uden display.

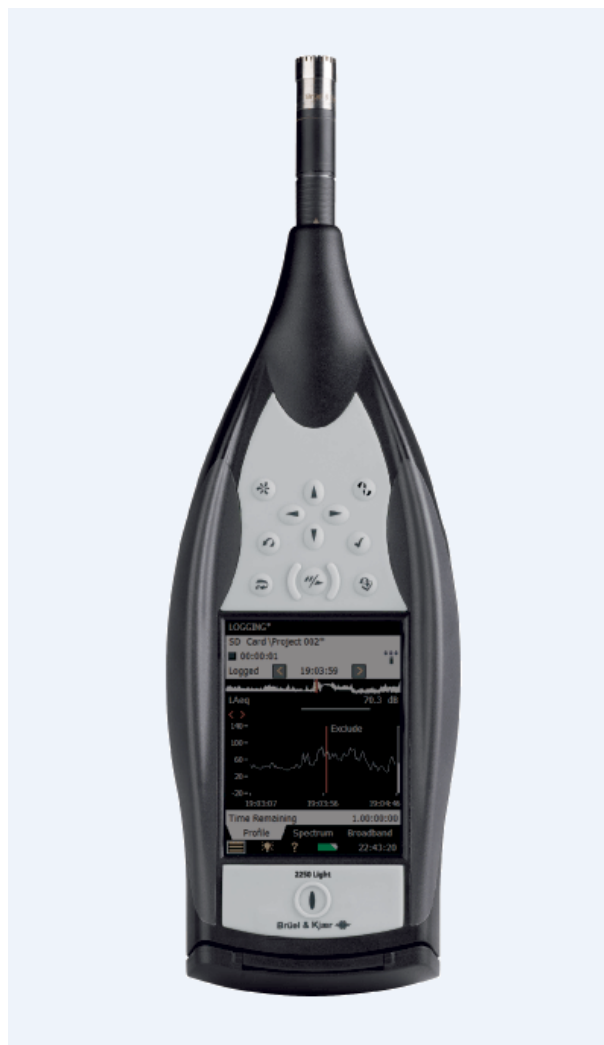
Ved figur 1 vises en lydtryksmåler i prisklassen et par tusinde kr. (ekskl. moms).



Figur 1: Testo 815 lydtryksmåler. Øverst ses mikrofonen omgivet af en beskyttende skumgummihætte. Størrelsen er højde 26 cm, bredde 6 cm og dybde 4 cm. Kilde: Testo Datablad for Testo 815 er givet ved ref. [2].

Ved figur 2 er vist en håndholdt lydtryksmåler af fabrikatet Brüel og Kjær, typebetegnelse 2250 Light.

Prisen er i størrelsesordenen 60.000 kr. Lydtryksmåleren er da også at betegne som værende i den absolutte referenceklasse, og kan leveres med mange muligheder for betjeningsindstillinger og signalbehandlingsmåder.



Figur 2: Brüel og Kjær 2250 Light lydtryksmåler.

Størrelsen er højde 30 cm, bredde 9 cm og dybde 5 cm.

Kilde: Brüel & Kjær

Den omfangsrige dokumentation for Brüel & Kjær 2250 Light lydtryksmåleren er at finde på hjemmesiden, ref. [3].

I enhver mobiltelefon sidder en mikrofon. Det er derfor ligefor at anvende denne som en del af en lydtryksmåler. Der er derfor udviklet apps (applikationer til brug i smartphones, og til generel anvendelse kan disse apps være meget relevante.

I det følgende vises udlæsninger fra to apps installeret på en Apple iPhone.

Den første er lydmåler-appen Decibel X Pro fra SkyPaw Co., hvis indledende skærmbillede vist ved figur 3. Decibel X versionen er gratis, til gengæld skal man acceptere at reklamer dukker op. Ved at købe Decibel X Pro versionen (pris ultimo 2018 ca. 45 kr.) undgår man disse reklamer.

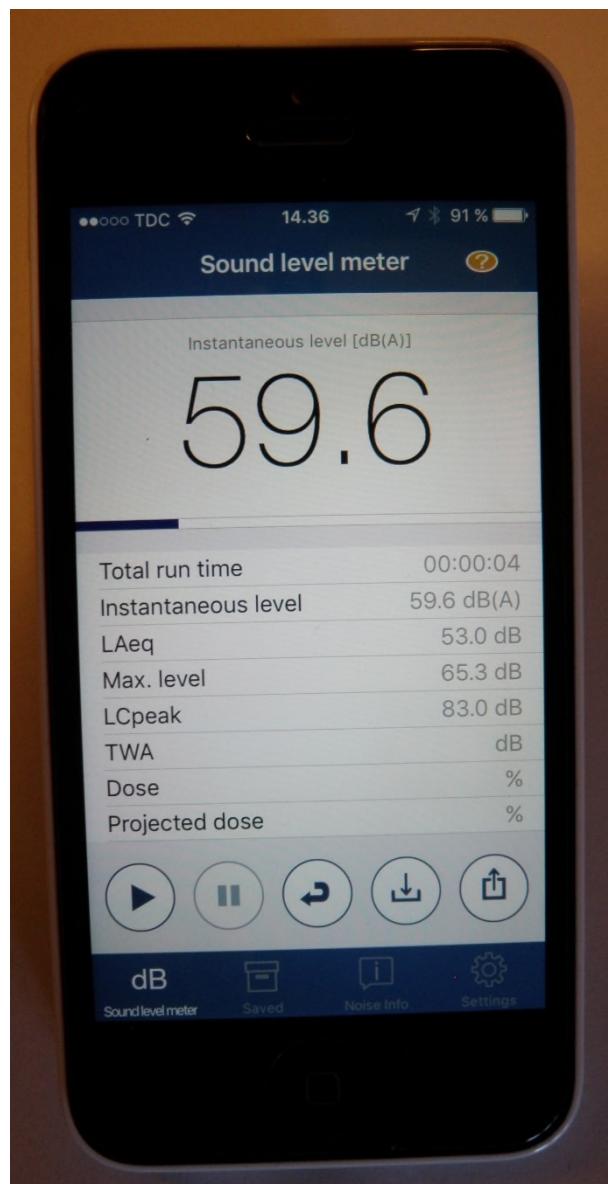


Figur 3: Decibel X Pro lydmåler-app. Indledende skærmbillede vist på en Apple iPhone.

Decibel X Pro er intuitiv nem at bruge. Appen er omtalt nærmere på SkyPaw's hjemmeside, ref. [4].

Den anden er lydmåler-appen fra National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH er et føderalt amerikansk agentur, som er ansvarligt for at forske og komme med anbefalinger til forebyggelse af arbejdsrelaterede skader og sygdom.

Det indledende skærmbillede for NIOSH-appen er vist ved figur 4.



Figur 4: NIOSH lydmåler-app. Indledende skærmbillede vist på en Apple iPhone.

NIOSH-appen er udførligt omtalt på hjemmesiden ref. [5], hvor der også henvises til yderligere dokumentation.

For begge apps gælder, at de anvender mobiltelefonens indbyggede mikrofon. Det er dermed denne mikrofonns egenskaber, som primært fastlægger

egenskaberne for begge apps. Begge apps har mulighed for at justere mikrofonens følsomhed, så man kan foretage en justering op mod en kalibreret lyd-måler eller kalibreret lydkilde.

En væsentlig ekstra feature ved NIOSH-appen er mulighed for at anvende en ekstern mikrofon, som tilsluttes telefonen vha. minijackstikket.

Frekvenskarakteristikken for mobiltelefonernes indbyggede mikrofon er generelt ikke særlig velkendt. Denne usikkerhed kan derfor minimeres meget ved at anvende NIOSH-appens mulighed for at tilkoble en ekstern mikrofon med kendte parametre, her tænkes specielt på frekvenskarakteristikken.

Til sammenlignende målinger, hvor samme mobiltelefon anvendes, vil en lydmåler-app dog være brugbar. Man skal dog her, som en generel ting, huske på, at støj i høj grad er en psykoakustisk oplevelse. To målinger kan have samme udvisning, men de to oplevelser af støjen meget forskellige. Mere om det i det følgende kapitel 4.

Ved ref. [6] og ref. [7] er forskellige lydmåler-apps undersøgte.

4 Menneskets lydopfattelse

Menneskets lydopfattelse er ikke et objektivt målesystem. Her spiller både fysiologiske og psykologiske faktorer ind.

- Opfattelsen af lydstyrken afhænger af frekvensen og den opfattede lydstyrke er ikke en lineær funktion af lydtrykket. Dette omtales i afsnittene 4.1, 4.2 og 4.4.
- Der eksisterer et minimum af lydsignal, som øret kan opfatte. Tilsvarende er der lydsignaler, som er så kraftige, at man føler smerte i øret ved dem. Dette omtales i afsnit 4.3.
- Måleteknisk prøver man efterligne de ulineariteter, som omtales i afsnittene 4.1, 4.2 og 4.4 ved at bruge de såkaldte vægtningskurver. Dette omtales i afsnit 4.5.

4.1 Det opfattede lydniveau

Den menneskelige lydopfattelse dækker over et stort område af frekvenser. Som omtalt i afsnit 1.1 dækker frekvensområdet optimalt fra 20 Hz til 20 kHz. Området dækker altså over tre dekader.

Det område som mennesket lydtryksmæssigt kan opfatte går fra den svageste lyd, som betegnes som høretærsklen, til den modsatte ende af den opfattede lyd, som betegnes smertetærsklen.

Både høretærsklen og smertetærsklen er frekvensafhængige. Forholdet mellem lydtrykket ved smertetærsklen og lydtrykket ved høretærsklen omfatter over seks dekader, altså absolut betragtet et meget stort anvendeligt område for lydtrykket.

4.2 Lydtryksniveau

Den menneskelige opfattelse af lydstyrken er ikke lineær. For normalt kraftige lyde betyder det, at en forøgelse af det fysiske lydtryk på ca. 3 gange opleves som en fordobling af lydstyrken. Dette sammenholdt med at det anvendelige område for lydtrykket som før omtalt omfatter mere end seks dekader, har

bevirket, at man i stedet for at udtrykke lydtrykket som en værdi med enheden Pa, har defineret et lydtryksniveau i forhold til et referencelydtryk. På engelsk betegnes lydtryksniveauet som Sound Pressure Level (SPL), og dette akronym vil i flæng blive benyttet fremover i dette kompendie.

Ud fra målinger på mange mennesker (unge mennesker, 18 – 25 år) har man fundet, at høretærsklen ved ca. 2 kHz er et lydtryk med den effektive værdi af trykvariationerne på 20 µPa.

De 20 µPa er valgt som referenceværdien p_0 .

Lydtryksniveauet med enheden dB (decibel) defineres som:

Ligning 1:

$$\text{SPL dB} = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0},$$

hvor \log_{10} er ti-tals logaritmen, p er det fysiske lydtryk med enheden Pa og referencelydtrykket $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

Eksempel 1: SPL_0 dB for høretærsklen ved ca. 2 kHz bliver derved

$$\text{SPL}_0 \text{ dB} = 20 \cdot \log_{10} \frac{20 \mu\text{Pa}}{p_0} \text{ dB} = 0 \text{ dB}.$$

Smertetærsklen SPL_{pain} dB ved de ca. 2 kHz er ca. 132 dB.

Eksempel 2: For de ca. 2 kHz bliver forholdet SH mellem lydtrykkene ved henholdsvis smertetærsklen og høretærsklen derved

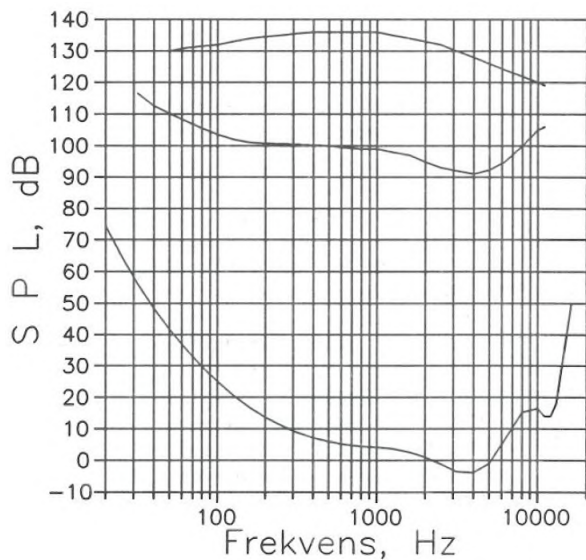
$$\text{SH} = \frac{p_{\text{pain}}}{p_0} = 10^{\frac{132}{20}} = \text{ca. } 4 \cdot 10^6 \text{ gange}.$$

Denne store værdi illustrerer det praktiske ved at vælge en dB-skala for lydtryksniveau.

Det skal her også nævnes, at de i kapitel 3 præsenterede lydtryksmålere mere korrekt skulle benævnes som lydtryksniveaumålere, idet deres visning altid er i dB-enheden for lydtryksniveau.

4.3 Tærskelniveauer

Figur 5 viser de frekvensafhængige lydtryksniveauer for smerte- og høretærskel.



Figur 5: De frekvensafhængige lydtryksniveauer for smertetærskel (øverste kurve) og høretærskel (nederste kurve). Den midterste kurve viser den omtrentlige ubehagstærskel. Kilde: Ref. [1].

Det bemærkes, at høretærskelniveauet varierer meget med frekvensen. Man kan se, at niveauet er lavest i frekvensområdet 3 til 4 kHz, svarende til at den menneskelige hørsel er mest følsom i dette frekvensområde. Høretærskelniveauet stiger markant for frekvenser lavere end ca. 400 Hz og over ca. 10 kHz.

Niveauet for smertetærsklen er ikke særlig velundersøgt, da målinger af denne art er etisk vanskelige at udføre. Kurveforløbet erstattes ofte af en enkelt repræsentativ værdi for smertetærsklen "Threshold Of Pain" (TOP) på 120 dB.

Tilsvarende erstattes kurven for ubehagstærsklen med en værdi for "Uncomfortable Level" (UCL) på 100 dB. Der defineres yderligere en værdi "Most Comfortable Level" (MCL) på 65 dB. Det er omkring denne værdi, at niveauet for almindelige samtaler ligger.

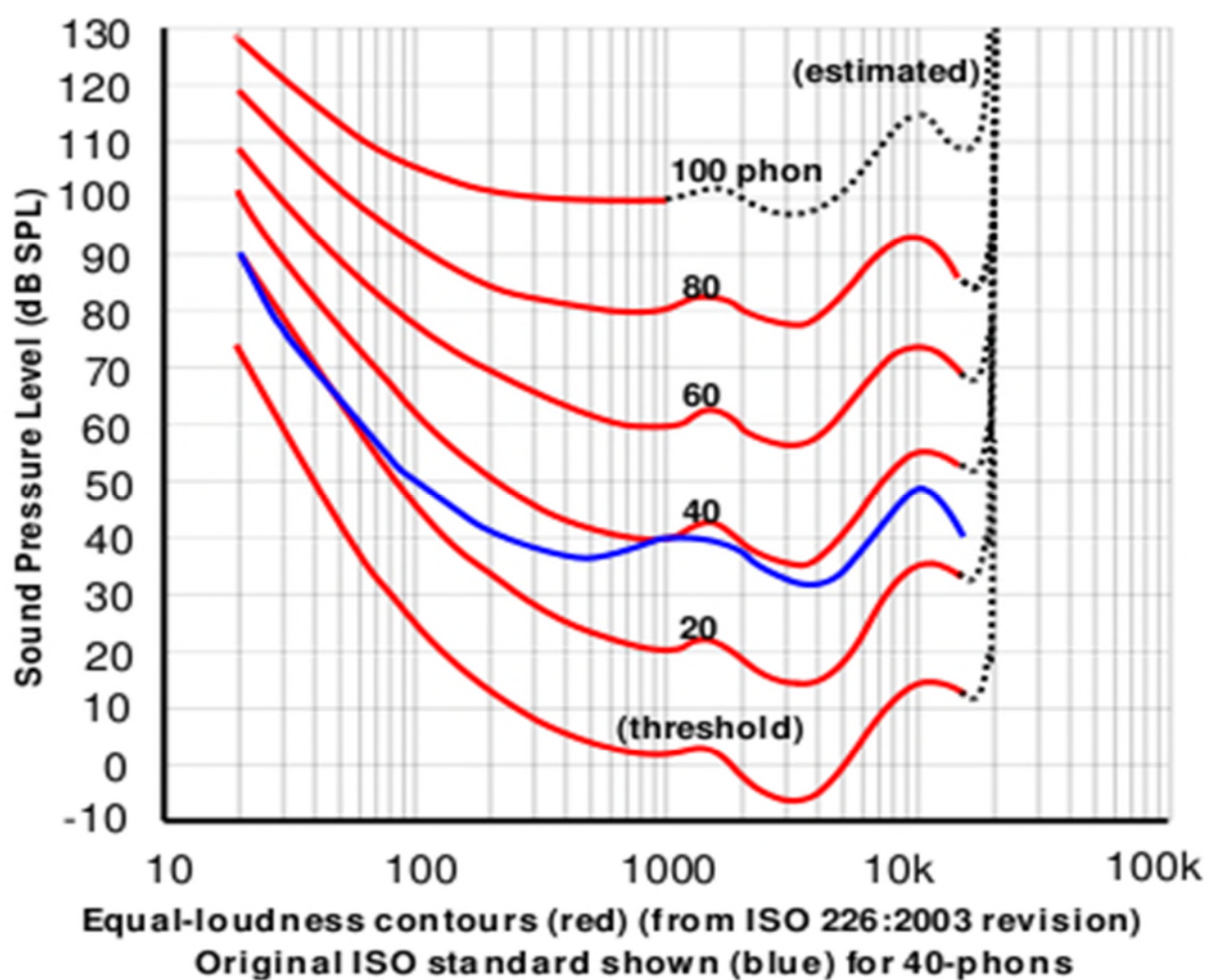
Eksempel 3: MCL værdien på 65 dB svarer til et lydtryk p_{MCL} på

$$\frac{p_{MCL}}{p_0} = 10^{\frac{65}{20}} = 1,8 \cdot 10^3 \Leftrightarrow p_{MCL} = 1,8 \cdot 10^3 \cdot 20 \mu P$$

= 0,036 Pa, svarende til at der i afsnit 1.1 omtaltes, at ved en normal samtale er trykvariationerne i størrelsesordenen 0,02 Pa til 0,2 Pa.

4.4 Hørestyrkekurver

Den frekvensafhængige opfattelse for lydtryksniveauer mellem høretærskelniveauet og smertetærskelniveauet er vist ved figur 6, som viser de såkaldte hørestyrkekurver (på dansk også kaldet ørefølsomhedskurver eller phon-kurver). Den engelske betegnelse er "Equal loudness level contours".



Figur 6: Frekvensafhængige hørestyrkekurver. Den blå kurve er fra den tidligere ISO standard 226:1987. Kilde: Wikipedia contributors. "Equal-loudness contour." Wikipedia, The Free Encyclopedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 27 Nov. 2018. Hjemmeside tilgået 10. dec. 2018.

For alle kurverne gælder, at de tilhørende værdier på henholdsvis 20, 40, 60, 80 og 100 dB SPL, angiver lydtryksniveauet ved 1000 Hz.

De følgende eksempler illustrerer hvorledes hørestyrkekurverne skal opfattes.

Eksempel 4: Man ønsker at finde det lydtryksniveau en tone med frekvensen 100 Hz skal have, for at opfattes lige så kraftig som en tone med frekvensen 1000 Hz, hvis lydtryksniveau er 40 dB.

Her følges den røde kurve mærket "40" fra 1000 Hz ned af i frekvens til 100 Hz nås. Her aflæses, at lydtryksniveauet for de 100 Hz skal være ca. 61 dB. Altså skal det objektive lydtryksniveau øges med 21 dB før en tone med frekvensen 100 Hz subjektivt opfattes lige så kraftig som en tone på 1000 Hz med lydtryksniveauet 40 dB.

Eksempel 5: Nu ønsker man at finde det lydtryksniveau en tone med frekvensen 3000 Hz skal have, for at opfattes lige så kraftig som en tone med frekvensen 1000 Hz, hvis lydtryksniveau er 60 dB.

Her følges den røde kurve mærket "60" fra 1000 Hz op i frekvens til 3000 Hz nås. Her aflæses, at lydtryksniveauet for de 3000 Hz skal være ca. 56 dB. Altså skal det objektive lydtryksniveau sænkes med 4 dB før en tone med frekvensen 3000 Hz subjektivt opfattes lige så kraftig som en tone på 1000 Hz med lydtryksniveauet 60 dB.

Eksemplet understreger, at den menneskelige hørelse er mest følsom i området 3000 til 4000 Hz.

Den enkelte blå kurve på figur 6 viser, at man gennem årene ved nye målinger har fundet det nødvendigt at justere på forløbet af hørestyrkekurverne.

Der er en vis variation mellem hørestyrkekurverne, men overordnet er der tale om et ensartet frekvensmæssigt forløb. Under ca. 500 Hz kan man iagttage de største indbyrdes variationer.

Dette ensartede forløb udnyttes ved måling af lydtryksniveauer.

4.5 Vægtningskurver

Hvis man skal opbygge et lydsystem, som skal bruges til at reproducere musik, tale eller andre ønskede lyde, så kan man bruge en lydtryksmåler til at sikre sig, at de forskellige enheder justeres ind således, at lydsystemet gengiver med en retlinet lyd karakteristisk. I et sådant skal ingen dele af frekvensbåndet gengives kraftigere eller svagere end andre.

Sagen er en anden, når man skal bruge en lydtryksmåler til at måle støj. Her vil man gerne have det målte til at svare til den oplevede hørestyrke.

Fra figur 6 ses, at den oplevede hørestyrke afhænger af frekvensen. Høreopfattelsen er mest følsom i området 3 til 4 kHz. Udenfor dette frekvensområde bliver høreopfattelsen mindre og mindre følsom.

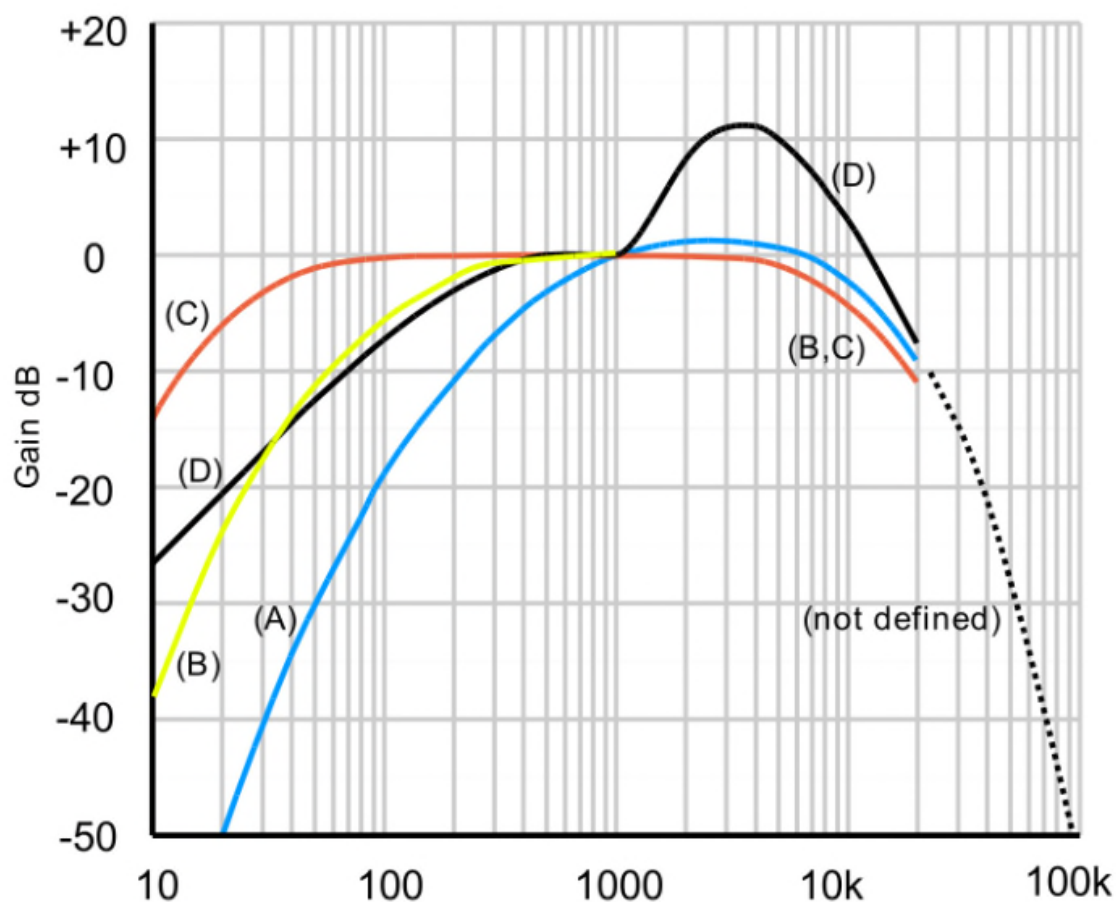
En lydtryksmåler er principielt et frekvenslineært opfattende måleinstrument; hvis en 100 Hz tone optræder med et lydtryksniveau på 40 dB og bagefter en 1000 Hz tone med samme niveau, så vil lydtryksmåleren i begge tilfælde vise 40 dB.

Som man kan udlede af eksempel 4, så vil 100 Hz tonen høremæssigt opfattes som værende 21 dB lavere end 1000 Hz tonen.

Hvis man derfor skal have et måleinstrument, som viser det høreopfattede, så skal instrumentet have en frekvenskarakteristik som afspejler denne variation i høreopfattelsen.

Dette tilnærmer man ved at indsætte standardiserede filtre i signalbehandlingsvejen i lyd måleren.

Disse filterkarakteristikker, også kaldet vægtningskurver, er vist ved figur 7.



A-weighting (blue), B (yellow), C (red), and D-weighting (blk)

Figur 7: Standardiserede frekvensafhængige filterkarakteristikker. Kilde: Wikipedia contributors. "A-weighting." Wikipedia, The Free Encyclopedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 13 Nov. 2018. Hjemmeside tilgået 10. dec. 2018.

Til måling af støj er A-kurven langt den mest benyttede. Denne kurve er tilnærmet høresterkekurven 40 dB SPL fra figur 6.

For at indikere, at der anvendes en A-vægtning bør dette anføres sammen med angivelsen af det målte lydtryksniveau. Oftest gøres dette ved at angive målingen med enheden dB(A) eller blot dBA.

Desværre er A-angivelsen oftest udeladt, - det opfattes som indforstået. Det hænger sammen med at kurverne B, C og D nærmest ikke benyttes mere.

Eksempel 6: På figur 3 vises til højre lige over viser måleinstrumentet, at A-vægtningen benyttes ved udlæsningen af tallene. Tilsvarende vises øverst på figur 4, at "Instantaneous level" har enheden [dB(A)], som indikerer, at A-vægtningen benyttes.

Lidt historisk vedr. betegnelsen af vægtningskurver.

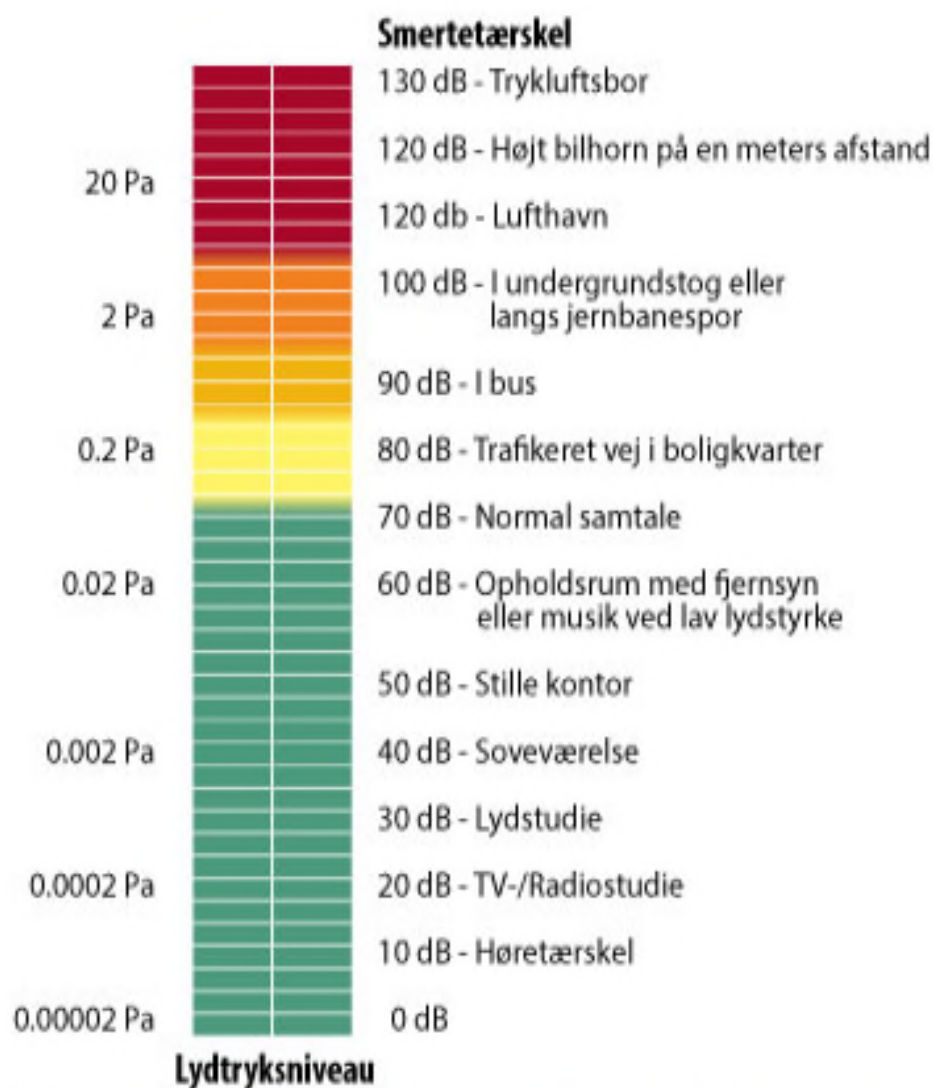
Kurverne B, C og D er nu altså kun af historisk interesse, og at de overhovedet er vist på figur 7, tjener kun til at forklare, hvorfra A-betegnelsen stammer. Der har altså eksisteret andre vægtningskurver end A!

Anvendes A-vægtningen ville man således tro, at man fik en høresterkeoplevelse, som for lydtryksniveauer omkring 40 dB SPL (og noget derover), ville svare til det oplevede høresterkeniveau. Dette er normalt ikke tilfældet. Den væsentligste grund til dette er at vægtningskurverne er konstruerede på baggrund af rene toner, mens støj er et særdeles mere kompliceret lydbillede.

4.6 Dagligdags niveauer

For at få et overblik over hvor på skalaen for lydtryksniveau forskellige dagligdags lyde befinder sig, kan man betragte figur 8.

Hvor højt er det?



Kilde: United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration

Figur 8: Oversigt over, hvor dagligdags lyde befinder sig på skalaen for lydtryksniveau. Den viste fordanskede figur stammer fra Rockfon: <http://www.rockfon.dk/egenskaber/akustik/hvad+er+rumakustik+betinget+af-c7-/lydtryksniveau>. Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018.

Bemærk, at figur 8 sætter Threshold Of Pain (TOP) til 130 dB. I afsnit 4.3 blev denne værdi sat til 120 dB. Dette understreger at TOP ikke er veldefineret, men befinder sig i niveauet 120 til 130 dB.

Desuden er der ikke anført hvilken vægtningskurve, som dB-værdierne referer til. Som nævnt i afsnit 4.5 er det ofte underforstået, at A-vægtningen er anvendt.

5 Støjpåvirkningens effekter – høretab

Arbejdstilsynet har udgivet en vejledning: Et støjsvagt arbejdsmiljø, ref. [6].

I denne behandles bl.a. støjmåling, beregning af støjbelastning, grænseværdier for støj, støjdæmningsmuligheder, støjpåvirkningens uheldige effekter i form af høretab og visse akustiske begreber (dog ikke svarende til omfanget i ovenstående kapitel 4).

En væsentlig detalje, som desværre forekommer overset, er tidsforsinkelsen af den menneskelige hørelse. Med hørelse forstås her hele kæden af det fysiske ydre (uden for trommehinden) og indre øre (inden for trommehinden) sammen med hjernens behandling. Tidsforsinkelsen betyder, at et kraftigt impulsagtigt lydssignal af varighed på f.eks. 10 ms, vil ikke blive opfattet som værende særligt kraftigt. Var varigheden f.eks. ½ sekund eller mere, ville hørelsen opfatte det impulsagtige lydssignal som kraftigt. Tidskonstanten hørende til denne tidsforsinkelse er på ca. 100 ms.

Et eksempel, som beskriver virkningen af denne tidsforsinkelse

Betydningen af dette er beskrevet i ref. [1] ved følgende eksempel:

Signalet fra en startpistol når op på et niveau omkring 150 dB SPL målt ved øret på operatøren, men varigheden er kun ca. 1 ms.

Hvis signalet varede væsentligt længere, ville man slet ikke kunne holde ud at høre på det.

Dette er en af grundene til at impulsstøj (skud, knaldfyrværkeri, industristøj m.m.) er farligere for hørelsen end man umiddelbart fornemmer. Impulsstøjens amplitude påvirker det fysiske indre øre med sin fulde styrke, og kan således varigt beskadige de lydopfattende fine dele (de såkaldte hårceller) af det indre øre. Styrkefornemmelsen foregår først, når lydsignalet når hjernen via de nervebaner, som forbinder det indre øre med hjernen.

6 Støjpåvirkningens effekter – psykisk og fysiologisk

Høretab som følge af høj lydpåvirkning, herunder specielt støj, er velkendt. Det er bl.a. omtalt i ref. [8].

Men støj har desværre også andre sundhedsskadelige følger. Men støj har desværre også andre sundhedsskadelige følger.

I det følgende refereres fra ref. [7].

Her anføres, at trafikstøj øger risikoen for hjertekarsygdomme og muligvis også andre folkesygdomme. Det anføres at Miljøstyrelsen i 2003 vurderede, at mellem 200 til 500 mennesker alene i Danmark dør for tidligt på grund af trafikstøjgener. Til sammenligning var der 183 trafikdræbte i 2017.

Det angives, at den formodede sundhedsskadelige mekanisme er at støj stresser. Derved øges risikoen for blodpropper i hjertet og forhøjet blodtryk.

Der er muligvis også risiko for at trafikstøj kan påvirke menneskers vægt, fedtfordeling, øget risiko for diabetes og visse former for kræft.

For trafikstøjens påvirkning af børn er der studier, som finder, at trafikstøj fører til dårligere læseforståelse, dårligere hukommelse og hyperaktivitetssymptomer.

Støjgener skal således tages alvorligt. Som tidligere anført i afsnit 1.2 anser WHO specifikt trafikstøj som et seriøst støjproblem.

Der er forskellige grader af grænseværdier for hvor kraftig trafikstøj må være.

Der er således både vejledende grænseværdier og lovpligtige grænseværdier.

Endelig anføres i ref. [7] at reduktionen af trafikstøj ved f.eks. hastighedsreduktion og omlægning af vejføring, også medfører nedsat luftforurening i form af partikler og gasser som CO₂ og NO_x.

7 Referencer

- [1] Torben Poulsen, Lydopfattelse (note nr. 2108), 1. udgave 1993. Laboratoriet for Akustik, DTU, 2800 Lyngby.
- [2] Datablad for Testo 815 lydtryksmåler <https://media.testo.com/media/e3/62/86b94d3c219f/testo-815-Data-sheet.pdf> Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018.
- [3] Datablad for Brüel & Kjær 2250 Light lydtryksmåler <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2151.ashx> Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018.
- [4] Omtale af Decibel X app <http://skypaw.com/decibel10.html> Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018.
- [5] Omtale af NIOSH app <https://www.cdc.gov/niosh/topics/noise/app.html> Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018. Yderligere litteraturhenvisninger er angivet nederst på samme hjemmeside under "Frequently Asked Questions (FAQ) → Relevant Publications and Studies".
- [7] Vejledning fra Arbejdstilsynet: Et støjsvagt arbejdsmiljø, 4. oplag, september 2002. <https://amid.dk/media/4355/stojsvagt-arbejds miljo.pdf> Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018.
- [8] Trafikstøj – Et overset samfundspøblem. En hvidbog om løsninger og udfordringer, maj 2016. <https://www.gate21.dk/silentcity/hvidbog/> Hjemmeside tilgået 16. dec. 2018.

8 Forudsætninger og læringsudbytte

8.1 Forudsætninger

Det forudsættes, at læseren kan fysik og matematik på gymnasialt niveau, herunder logaritmeregning.

8.2 Læringsudbytte

Efter indlæring af dette undervisningselement vil læseren:

- Have en idé om udvalget af lydtryksmålere, som kan spænde fra apps til smarte mobiltelefoner til de mest avancerede instrumenter.
- Have viden om menneskets lydopfattelse, herunder hvordan opfattes lydets hørestyrke og de ulineariteter som hørelsen har.
- Have en ide om, hvordan hørelsen kan påføres høretab.
- Have en ide om, hvilke sygdomme støj (her specielt trafikstøj) kan påføre mennesker.