

TEKNISK NOTAT

Måle- og integrationstider for kortvarige, lavfrekvente støjhændelser. Del 2 & 3: Lyttetests og forslag

Udført for Miljøstyrelsen

Sagsnr.: 121-30556

TC-101905

Side 1 af 96

Hørsholm, 28. april 2022

Akustik, støj og vibrationer

Kvalitetssikret af

Claus Backalarz

Søren Vase Legarth

Udarbejdet af

Torben Holm Pedersen

Per Finne

OVERSIGT

Titel	Måle- og integrationstider for kortvarige, lavfrekvente støjhændelser. Del 2 og 3
Sagsnr.	121-30556
TC-nr.	TC-101905
Kunde	Miljøstyrelsen Tolderlundsvej 5 5000 Odense C Tlf.: 72 54 40 00
Kontaktperson	Jens Schultz Thers E-mail: jesha@mst.dk
Revisioner	Originalrapport
Testlokation	Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm
Vores ref.	THP/PFi/CB/SVLE/ilc

Rapporten må kun gengives i sin helhed.

Gengivelse i uddrag kræver skriftlig accept fra FORCE Technology.

Rapporten er kun gyldig med to digitale signaturer fra FORCE Technology. Rapporten forefindes som original i FORCE Technologys database og sendes som elektronisk duplikat til kunden. Den hos FORCE Technology lagrede original har forrang som dokumentation for rapportens indhold og gyldighed.

Resume

Litteraturstudiet af kortvarige, lavfrekvente hændelser fra projektet del 1 viser, at der kun er et sparsomt antal tilgængelige undersøgelser, artikler, rapporter mv., hvilket indikerer, at dette er et område, som bør undersøges yderligere.

Formålet med denne del 2 og 3 er at undersøge sammenhængen mellem mulige målemetoder for kortvarige, lavfrekvente hændelser og genevirkningen belyst ud fra lyttetests og at give anbefaling af de bedst egnede metoder samt at komme med forslag til grænseværdier.

Lyttetesten er foregået i SenseLabs lyttebokse med lav baggrundsstøj over hovedtelefoner, som var kalibreret ned til 10 Hz. 21 personer (ikke ekspertlyttere) bedømte genevirkningen af i alt 66 stimuli af 1 minuts varighed hver med 1-4 støjhændelser. Lytterne svarede på en skala med verbale ankerpunkter, og databehandlingen blev udført på en bagvedliggende skala for genegrader 0 til 10. En genegrad på 0 svarer til slet ikke generet, og en genegrad på 2,5 svarer til lettere generet. Genen skulle bedømmes for en situation, hvor man sad og slappede af hjemme om aftenen. Det er ikke undersøgt, i hvor høj grad genevirkning i aftentimer korrelerer med søvnforstyrrelser om natten.

I lyttetesten indgik også en referencelyd: simuleret vejtrafikstøj hørt indendørs. Bl.a. ved sammenligning med responsen på denne med gældende grænser for trafikstøj i nye boliger blev det konkluderet, at en genegrad på 1 er et passende udgangspunkt for at overveje grænseværdier.

Lyttetestens resultater for genevirkningen blev sammenholdt med fysiske målinger på stimuli med mere end 35 forskellige støjindikatorer (der i denne sammenhæng betyder måleparameter, fx L_{Aeq} og $L_{pA,LF}$). Det var forskellige indikatorer, der gav den bedste overensstemmelse med genen for tog (inkl. metrotog) i tunneler og for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Derfor blev undersøgelsen opdelt i disse to grupper.

For strukturtransmitteret støj fra tog i tunneler viste lyttetesten, at de A-vægtede indikatorer er de bedst egnede. Resultaterne indikerer, at en grænseværdi på $L_{Aeq} = 20$ dB kombineret med en grænse på $L_{Amax,F} = 30$ dB bør overvejes. Det bør også overvejes at bruge et af de statistiske niveauer $L_{A01,F}$ eller $L_{A05,F}$ i stedet for maksimalværdier, da der er måletekniske fordele ved dette.

For de virksomhedsrelaterede støjtyper viste det sig, at en høretærskelvægtet indikator, L_{HTEq} med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) var den, der gav langt den bedste sammenhæng med genen. Uanset det gode resultat må grundlaget dog anses for at være for spinkelt til at ændre den nuværende målepraksis, men det vil være relevant at se nærmere på denne indikator.

Lyttetesten indikerede også, at det er fornuftigt at bibeholde en støjgrænse for $L_{pA,LF}$ (L_{ALFeq}) på 20 dB. Der bør fortsat være en grænse for L_r (som måske skal være mere restriktiv end den nuværende), og at det vil være en forbedring at benytte graderede tillæg ved beregning af L_r . Denne kan med fordel suppleres med en grænse for maksimalværdier (evt. formuleret som $L_{A01,F}$ eller $L_{A05,F}$) både om aftenen og om natten for at komme problematikken omkring gener fra kortvarige lyde til livs. Endelig kan det være relevant at lade de indendørs støjgrænser gælde generelt og ikke kun for bygningstransmitteret støj. Se sammenfatningen på side 46.

Lyttetesten giver ikke grundlag for at anbefale andre integrationstider end det referencerum på 10 minutter, når støjen er kraftigst, som anbefales i Orientering nr. 9, 1997, jf. [2].

Lyttetestens stærke side er, at den under samme betingelser kan sammenligne forskellige indikatorer. Da støjgene i høj grad er påvirket af ikke-akustiske faktorer er det uvist, i hvor høj grad de indikerede støjgrænser er repræsentative for personer, der i deres hjem er udsat for støjen. Resultaterne skal også tages med det forbehold, at testen kun har omfattet et begrænset antal typer af støjklender.

Praktiske og politiske hensyn kan også betyde, at en anden genegrad end 1 findes mere hensigtsmæssig, som det endelige valg for at fastsætte grænseværdier. Det er Miljøstyrelsens opgave at overveje dette.

Resultaterne er ikke direkte sammenlignelige med støjgrænser i andre lande, men de foreslåede grænser er nogenlunde i tråd med de grænser, der gælder i Norge, Sverige og Tyskland om end de er mere restriktive.

Den genevirkning, personer oplever i deres hjem, kan undersøges vha. socioakustiske undersøgelser efter ISO/TS 15666, jf. [14]. Det er undersøgelser, hvor man sammenholder resultatet af spørgeskemaundersøgelser af gene med den støjbelastning, personerne er udsat for. Da metro og andre tog i tunneler udgør forholdsvis ensartede støjklender, vil det give god mening at iværksætte en sådan undersøgelse.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning	6
1.1	Formål	6
2	Hidtidige konklusioner	6
2.1	Regler og grænseværdier.....	6
2.2	Genevirkning af kortvarige, lavfrekvente hændelser viser	7
2.3	Baggrund	7
2.4	Tidligere fundne målestørrelser og integrationstider	8
3	Lyttetest	10
3.1	Formål med lyttetesten	10
3.2	Metode	10
3.3	Lydkilder og stimuli.....	11
3.4	Teknisk udstyr.....	14
3.5	Lyttebokse	15
3.6	Assessorer	15
3.7	Fysiske målinger på stimuli.....	16
3.8	Testadministration	18
3.9	Overblik over resultater.....	19
3.10	Overvejelser om relationer mellem lyttetest og virkelighed	20
3.11	Korrelationsanalyser	24
3.12	Indledende analyser	25
3.13	Metro og tog i tunneler	25
3.14	Virksomhedsrelaterede støjtyper	31
4	Sammenligning med støjgrænser fra andre lande.....	42
4.1	Grænser for tog i tunneler	42
4.2	Grænser for virksomhedsrelateret støj	42

5	Sammenfatning og konklusion	43
5.1	Generelle forhold	43
5.2	Referencetidsrum	43
5.3	Anbefaling for indikatorer og støjgrænser for tog i tunneler	43
5.4	Anbefalede indikatorer og støjgrænser for virksomhedsrelaterede støjtyper	44
5.5	Sammenfatning	46
6	Referencer	47
Bilag 1	Begreber	48
Bilag 2	Instruktion til assessorer	50
Bilag 3	Teknisk udstyr	52
Bilag 4	Høretærskelvægtning	54
Bilag 5	Niveauregistreringer $L_{pA,F}$	55
Bilag 6	1/3-oktavanalyser – Lineære	61
Bilag 7	1/3-oktavanalyser – A-vægtede	67
Bilag 8	Målinger på stimuli	73
Bilag 9	Sammenlignelige indikatorer	74
Bilag 10	Relevant genegrad for støjgrænse	75
Bilag 11	Korrelationsanalyser	77
Bilag 12	Indledende analyser med x-y plots	81
Bilag 13	Logistisk regression	95
Bilag 14	Genegrad og procent generet	96

1 Indledning

Denne undersøgelse udgør anden og tredje del af et projekt med i alt 5 delprojekter, der alle hører under overskriften "Måle- og integrationstider for kortvarige, lavfrekvente støjhændelser" og skal ses som et forslag baseret på indledende litteraturstudie samt udførte lyttetests.

Det samlede projekt omfatter følgende delprojekter:

Del 1: Litteraturstudie, som omfatter regler i andre lande og litteratur om genevirkningen af kortvarige, lavfrekvente hændelser. Litteraturstudiet er udført, beskrevet og sammenfattet i et notat med angivelse af de fundne referencer, jf. [1].

Del 2: Forslag til en eller flere mulige målemetoder, som omfatter analyse af lavfrekvente impulser, og der gives forslag til grænseværdier for fx maksimalniveauer (inkl. integrationstider) eller andre indikatorer, som måtte vise sig relevante. De foreslåede målemetoder beskrives i et notat.

Del 3: Sammenhængen mellem mulige alternative målemetoder og genevirkningen belyses ud fra lyttetests. Resultaterne analyseres og konkluderes i et notat med anbefaling af den bedst egnede metode.

Del 4: Undersøgelse af lydudbredelse af lavfrekvente impulser (strukturlyd, luftlyd), så der allerede i planlægningssituationer kan blive en bedre forståelse for, hvornår lavfrekvente impulser kan blive et problem.

Del 5: Kommer til at omhandle metoder til støjdemping af lavfrekvent støj beskrevet ved cases.

1.1 Formål

Formålet med denne del 2 og 3 er:

- ud fra litteraturstudiet at foreslå én eller flere mulige målemetoder, som omfatter analyse af kortvarige, lavfrekvente hændelser,
- at undersøge sammenhængen mellem de foreslåede målemetoder og genevirkningen belyst ud fra lyttetests samt at komme med forslag til grænseværdier for kortvarige, lavfrekvente hændelser.

Analyser og konklusioner beskrives i et notat med anbefaling af den bedst egnede metode.

2 Hittidige konklusioner

2.1 Regler og grænseværdier

En gennemgang af forskellige landes regler og grænseværdier, som kan anvendes for kortvarige, lavfrekvente hændelser, efterlader et indtryk af, at der ikke er mange fællestræk. Danmark har som et af de eneste lande specifikke foreslåede grænseværdier for lavfrekvent støj målt som A-vægtet energimiddelværdi over 10 min. med 5 dB skærpelse for impulsholdig karakter. I Norge findes der kriterier for antal hændelser (maksimalt 10) for udendørs aktiviteter (veje, jernbaner, industri) og en særlig kriteriekurve for 1/1-oktavfrekvensbåndene 31,5, 63 og 125 Hz med maksimalværdier for 1/1-oktavbåndene. Disse er knyttet til lavfrekvent støj i boligmiljøet i forbindelse med lydklassedefinitioner. I Sverige har Socialstyrelsen anbefalede kriteriekurver for støjen mellem 31,5 Hz og 200 Hz.

Det er karakteristisk, at de fleste af de undersøgte lande har regler for maksimalværdier svarende til L_{pAmax} bestemt med hhv. tidsvægtning FAST eller SLOW. I Norge er der for en anlægssituation anvendt $LA5\%$, som betegner det støjniveau, der er overskredet i 5 % af tiden, og som også kan betragtes som en middelværdi af de 5 % højeste støjniveauer.

Anvendelse af $L_{A5\%}$ har den fordel, at værdien konvergerer, så bestemmelsen kommer tættere og tættere på den sande værdi, mens maksimalværdier ikke nødvendigvis konvergerer, men afhænger af antallet af midlede hændelser, og hvornår de forekommer.

I New South Wales i Australien anvendes begrebet "Intrusive Noise Level", hvor grænseværdien er defineret som et niveau over baggrundsstøjniveauet baseret på målinger af $L_{Aeq,15min}$ (baggrundsstøjen kan også bestemmes ud fra målinger af $L_{A90\%}$). Hvis der er tale om lavfrekvent støj korrigeres de målte støjniveauer med 2 dB om dagen og 5 dB om natten.

Sammenfattende kan det siges, at følgende indikatorer og kriterier anvendes i de undersøgte lande:

- Maksimalværdien (integrationstid SLOW, FAST eller som statistisk niveau $L_{A5\%}$).
- Kriterieværdier i de enkelte oktaver eller 1/3-oktaver ved de laveste frekvenser.
- Tillæg for impulskarakter.
- Antallet af hændelser.

2.2 Genevirkning af kortvarige, lavfrekvente hændelser viser

Litteraturstudiet af genevirkning af kortvarige, lavfrekvente hændelser viser, at den danske skærpelse af grænseværdierne med 5 dB i forbindelse med impulser kan retfærdiggøres. Der er dog indikationer i studierne, som gør, at det bør undersøges, hvorvidt en skærpelse på 5 dB er nok.

I forhold til kortvarige, lavfrekvente hændelser, som relaterer sig til støj fra forbikørsel (der ikke kan karakteriseres som en impuls), viser artiklerne mere blandede resultater.

En generel konklusion blandt flere studier er, at antallet og frekvensen af hændelser har indvirkning på den oplevede gene og også indvirkning på søvn, hvis det er støj om natten. Herudover er det også generelt, at metoder, som tager hensyn til den tidsmæssige variation, viser den bedste korrelation med den oplevede gene. I forhold til søvnforstyrrelser er maksimalniveauer en god metode.

Det kan også konkluderes, at analyser af kortvarige, lavfrekvente hændelser er komplekse. Definitionen er i dette tilfælde bred, og der kan være forskel på, om en metode er anvendelig til analyse af både impulser og forbikørsler som eksempler på to kortvarige, lavfrekvente hændelser, hvor de uafhængige variabler kan være vidt forskellige. Det er heller ikke givet, at en metode korrelerer med både genevirkning i dag-/aftentimer og søvnforstyrrelser om natten.

Eksempler på uafhængige variabler i analysen af kortvarige, lavfrekvente hændelser:

- Repetitionen af hændelser, herunder om frekvensen af hændelser er konstant eller varierende
- Frekvensindhold
- Stejlhed og henfaldstid
- Tydeligheden (relativt til baggrundsstøjen)
- Varighed.

Litteraturstudiet af kortvarige, lavfrekvente hændelser efterlader et indtryk af et sparsomt antal tilgængelige undersøgelser, artikler, rapporter mv., hvilket indikerer, at det er et område, som bør undersøges yderligere.

2.3 Baggrund

Miljøstyrelsen udgav i 1997 retningslinjer for måling og vurdering af lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø, jf. [2]. For lavfrekvent støj introduceredes et referencetidsrum på 10 min. og en indikator bestemt som et ækvivalentniveau $L_{pA,LF}$ (10 min.) i frekvensområdet 10-160 Hz. Hvis der er tydeligt hørbare impulser i støjen, skærpes de foreslåede grænser med 5 dB. De foreslåede grænseværdier for lavfrekvent støj er gældende indendørs og er mere restriktive om aftenen og natten end om dagen. Det bemærkes, at der ikke er anført retningslinjer for støj med tydeligt hørbare toner.

Der har på det seneste vist sig situationer i praksis, som tyder på, at et 10 min. ækvivalentniveau ikke er repræsentativt for den gene, støjen giver anledning til. Støjproblemerne er relateret til kortvarige hændelser som fx vibrationsgenereret støj fra forbikørsler med metrotog i tunneler eller støj fra fitnesscentre, hvor der sker hyppige kast eller tab af vægte. Der er formentlig andre lignende eksempler som fx støj fra pæleramning og skrotvirksomhed, der giver tilsvarende problemer. På baggrund af mere end 20 års erfaringer og indførelsen af blandt andet metro under store dele af København, er det erfaret, at der fremkommer mange borgerreaktioner, selvom grænseværdien for lavfrekvent støj i boliger om aftenen på 20 dB ikke overskrides. Noget tyder på, at målestørrelsen $L_{pA,LF}$ (10 min.) ikke tilgodeser alle typer af kilder, som kortvarigt udsender lavfrekvent støj til nabobygninger.

Et eksempel på lavfrekvent støj hos en nabo, hvor støjkilden er kast med vægte i et fitnesscenter, viser, at en hændelse med et L_{AE} -niveau (A-vægtet SEL) på ca. 32 dB og en $L_{pAmax,FAST}$ -værdi for hændelsen på ca. 38 dB kan ske ca. 33 gange indenfor 10 min., uden at støjgrænsen på $L_{pA,LF} = 20$ dB er overskredet. Det svarer til en hændelse hvert 18. sekund, hvor L_{pAmax} -niveauet overstiger baggrundsstøjen med mere end 15 dB, hvilket gør, at impulsen er tydeligt hørbar.

I situationer, hvor støjen ikke er kontinuert, men består af kortvarige hændelser, er genen ikke nødvendigvis bestemt af et 10 min. ækvivalentniveau, men måske mere relateret til maksimalniveauer, energiniveauet i hændelsen, varigheden af hændelsen og ikke mindst antallet af hændelser. Det nuværende tillæg for impulser på 5 dB er måske ikke tilstrækkeligt nuanceret og beskyttende, og erfaringsmæssigt er det ikke særlig relevant ved forbikørsler med metrotog, hvor stejlheden i lydtrykniveauet ved hændelsens opståen og henfald ikke er speciel høj, men hvor hændelsen alligevel er hørbar og generende, hvis baggrundsstøjniveauet er tilpas lavt.

Processen med analyse af kortvarige lavfrekvente hændelser eller impulser er heller ikke veldefineret i Orienteringen, jf. [2], hvilket kan give anledning til forskellige analysetilgange afhængigt af den person, som udfører analyserne.

For den lavfrekvente støj gælder generelt, at den både kan hidrøre fra den almindelige lufttransmitterede støj og fra strukturtransmitteret støj, altså fra vibrationer der er transmitteret gennem jorden til en bygning, eller – hvis støjkilde og beboelse er i samme bygning – direkte via bygningsdelene. Her kan bygningskonstruktionens svingninger få indvendige flader til at vibrere og i nogle situationer udsende hørbar lavfrekvent støj til rummet.

I mange andre lande vil grænseværdierne for metroer, sporvogne og letbaner typisk være lokalt reguleret. Det vil sige, at det er den lokale myndighed (bystyret), som stiller krav til et anlæg. Det kan derfor meget vel være, at der ingen nationale grænseværdier eksisterer. Omvendt kan det også betyde, at fx metroer i forskellige byer i samme land ikke er underlagt samme grænseværdier – i særdeleshed ikke, hvis metroerne er anlagt på forskellige tidspunkter.

Måleparametrene eller indikatorerne i nærværende rapport er angivet, som de typisk vil blive benævnt i Danmark. Men i litteraturen både fra Miljøstyrelsen og fra udlandet kan der forekomme afvigende notationer. I Bilag 1 er givet en liste over begreber med notationer og forklaringer.

2.4 Tidligere fundne målestørrelser og integrationstider

Tabel 1 sammenfatter de værdier, der er fundet i litteraturgennemgangen af andre landes regler og guidelines. Der er suppleret med værdier hentet fra [3]. Det ses, at målestørrelserne udgør et virvar af forskellige integrationstider, frekvensvægtninger og specialtilfælde i form af fx baggrundsstøj og kriterieværdier ved forskellige lave frekvensbånd.

	Indikator: A-vægtet lydtrykniveau i dB re 20 µPa						
Land	L _{pA,LF} [dB]	L _{Aeq} [dB]	L _{pAmax,SLOW} [dB]	L _{pAmax,FAST} [dB]	L _{A5%} [dB]	Relativt til baggrunds- støj (BG)	Kriteriekurve
Danmark	25/20 ¹						
Norge Lydklasse C		30 ²		32 45 ³	32 ⁴		Ja 31-125 Hz
Sverige		30	30	45/32 ⁵			Ja 31-200 Hz
Storbritannien			35 ⁶	35/40 ⁶			
Tyskland		25/30 ⁷		45/35 ⁸			Ja 10-80 (100) Hz
Australien			40/35 ⁹			BG+5dB ¹⁰	
Belgien		28					
Finland		30 ¹¹					
Holland		25/35 ¹²					
WHO		30 ¹³		45 ¹⁴			

Tabel 1 (1) 10 min. ækvivalentniveau i henholdsvis dagperioden kl. 07-18 og aften-/natperioden kl. 18-07. Impuls giver anledning til skærpelse af grænserne med 5 dB. (2) L_{Aeq,24h}. (3) Natværdi, kl. 23-07. (4) jf. Jernbaneværkets målsætning [4]. (5) 45 dB for alm. støj om natten, 32 dB for strukturtransmitteret støj om natten (kun ny infrastruktur). (6) Henholdsvis ved projektering og for eksisterende anlæg. SLOW-værdi henviser til lokal anbefaling for London Borough of Richmond upon Thames. (7) Dag- og natværdier. De generelle regler for strukturtransmitteret støj inde i bygninger, hvis støjilden er industri og kommerciel. Værdier må ikke overskrides med 10 dB. Se (8). Der gives tillæg for impulser KI på 3-6 dB. (8) Dag- og natværdier. (9) L_{A95%} for dag- og natværdier (10) "Intrusive noise Level" relativt til baggrundsstøjniveau (11) Natværdier kl. 22-07. (12) Med tilstrækkelig ventilation; 25 er den foretrukne grænse, men op til 35 kan tillades. (13) L_{Aeq,8h}-værdi. (14) Baseret på søvnforstyrrelser.

3 Lyttetest

3.1 Formål med lyttetesten

Som tidligere nævnt indikerer borgerreaktioner, at den vejledende målepraksis for lavfrekvent støj med et referencetidsrum på 10 min. ikke altid er repræsentativ for den gene, som kortvarige hændelser som fx vibrationsgenereret støj fra forbikørsler med metrotog eller støj fra fitnesscentre, hvor der sker hyppige kast eller tab af vægte, giver anledning til.

Formålet med lyttetesten er at belyse sammenhængen mellem mulige alternative målemetoder og genevirkningen af kortvarige, lavfrekvente hændelser med henblik på at give et kvalificeret forslag til måleprocedurer og integrationstider, forslag til grænseværdier for fx maksimalniveauet (inkl. integrationstider) eller andre indikatorer, som måtte vise sig relevante.

Forslag til grænseværdier skal fortsat bygge på, at beskyttelsesniveauet af borgerne fastsættes på et niveau svarende til antagelsen i den eksisterende Orientering fra 1997, [2], nemlig at støjgenen (fra lavfrekvent støj) vil være væsentlig allerede lidt over høretærsklen, hvor støjgenen fra ikke-lavfrekvent støj antages at være gradueret (således at den ikke nødvendigvis er generende, selvom den er hørbar).

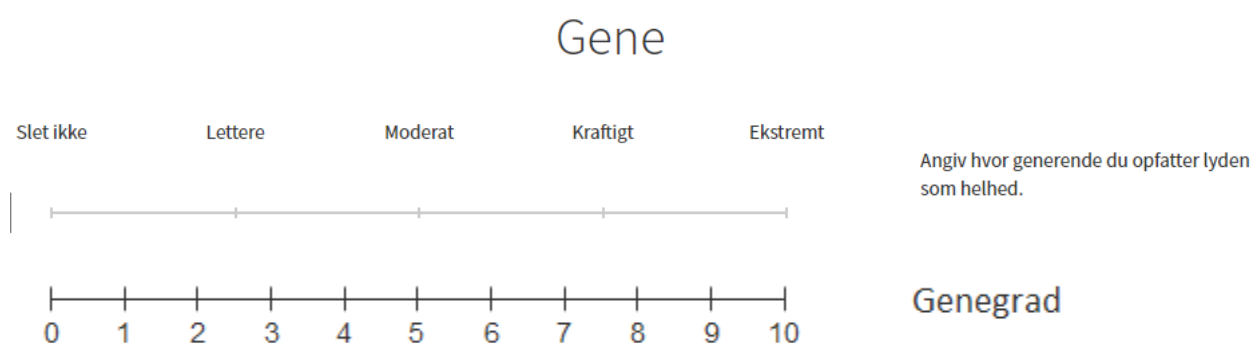
3.2 Metode

Lyttetesten blev udført efter principperne som beskrevet i [5], "Guideline: Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise".

Fokus er på kortvarige, lavfrekvente hændelser, som fx forbikørsler og andre typer af støj som kan indeholde impulser, men også mere konstante støjtyper inkluderes som en slags reference.

I lyttetests er det svært at tage hensyn til indvirkningen af ikke-akustiske og kontekstafhængige variable som forhistorien til støjildens etablering, holdninger til støjilden, frygt for værditab og skader på bygninger m.m. Derimod anses lyttetests for at kunne belyse den relative gene af forskellige stimuli under ens forhold.

Ved lyttetesten bruges en geneskala, som er standardiseret for socioakustiske undersøgelser i felten, jf. [6], se Figur 1.



Figur 1 Øverst: Svarskala til bedømmelse af genevirkning, som assessorerne ser den. Nederst: Genegraden svarende til geneskalaen ovenfor. Denne 0-10 skala bliver brugt ved data-behandlingen, men var ikke synlig for lytterne.

Instruktionen til lytterne var:

"Forestil dig, at du sidder og slapper af hjemme og hører disse lyde. For hvert lydeksempel skal du bedømme, hvor generende du mener støjen vil være, hvis den fortsætter på samme måde fx hele aftenen." Den fulde instruktion til lytterne (assessorerne) kan ses i 0.

Da konteksten ved en lyttetest er anderledes end ved feltundersøgelser, hvor borgerne typisk udspørges om oplevelser i eget hjem, kan man ikke antage, at brugen af skalaen er den samme som ved feltundersøgelser. For at belyse dette er der i lyttetesten inkluderet en almindelig kendt støjkilde som en reference. I den udførte lyttetest er simuleret konstant trafikstøj hørt indendørs brugt som reference, jf. [5].

En del af problemstillingen er de tilfælde, hvor der i en længere periode på fx 10 min. kun er nogle få kortvarige hændelser. Selv om hændelserne tydeligt høres og kan give anledning til gener, bidrager de ikke så meget til det samlede L_{Aeq} -niveau, som så bliver væsentligt lavere end lydniveauet under selve hændelserne.

På den ene side vil en lyttetest blive uhensigtsmæssig lang, hvis lytteseancen for hver støjtype, der ønskes undersøgt, er fx 10 min. På den anden side giver en meget kort periode – fx 10 sek. – ikke mulighed for at variere antallet og varigheden af hændelser.

Som et kompromis er benyttet stimuli af en længde på 1 min. Det giver mulighed for at variere antallet og varigheden af hændelserne inden for rimelige grænser.

Hvis der kun er en enkelt kortvarig hændelse i løbet af et minut, vil tiden som assessor nok føles lang, og det kan være svært at bedømme, hvorledes den inkluderede pause påvirker geneopfattelsen. Derfor er det besluttet, at lytterne under testen skal læse en bog, så de er optaget af andet end den direkte lytning. Efter hver stimulus bliver assessoren spurgt om, hvor generende lyden har været i det seneste minut.

Rent praktisk var der en diskret klokkelyd ved slutningen af hvert lydeksempel, som indikerede, at nu skulle der foretages en bedømmelse.

3.3 Lydkilder og stimuli

Lydkilderne i testen var indendørs optagelser af virkelige lydkilder hovedsageligt hidrørende fra miljøsager. Optagelserne blev hhv. dæmpet og forstærket, så der var stimuli ved forskellige niveauer af hver kilde. Niveauerne blev afpasset, så de A-vægtede maksimalværdier, $L_{pAmax,F}$, af de stimuli med de højeste niveauer var ca. 50 dB, dvs. 10 dB over den vejledende grænseværdi om natten for støj fra virksomheder ved bygningstransmitteret støj målt indendørs, jf. [7].

Alle optagelserne er foretaget med måleudstyr med lav egenstøj, bl.a. 1" målemikofoner. Alligevel forekommer der lidt hørbar elektrisk støj på optagelserne, især når de blev forstærket. Af reference [8] om støj fra metro-tog fremgår, at der er ingen eller kun ringe forskel på totalstøj og baggrundsstøj over 500 Hz. Dvs. at støjen over denne frekvens er domineret af baggrundsstøjen, herunder elektrisk støj i målesystemet. Derfor er alle optagelser lavpasfilteret med et filter, der dæmper frekvenser over 500 Hz med 12 dB/oktav, hvilket ikke påvirkede lyden af de primære støjkluder.

De valgte lydkilder og niveauer af stimuli er vist i Tabel 2. Man kan gruppere støjkluderne i to kategorier: Referencestøjen, som er trafikstøj (vejtrafikstøj hørt indendørs), og de lavfrekvente (LF) støjtyper. Sidstnævnte stammer fra (eller kunne stamme fra) enten virksomheder eller støj fra metro og andre tog i tunneler under boligerne, hvor lydene er optaget. LF-gruppen kan derfor yderligere opdeles i dels metro og andre tog i tunneler, "Tunnel", og dels i øvrige "Virksomhedsrelaterede" lavfrekvente støjtyper.

Kilde	Antal hændelser	Nominel $L_{pAmax, F}$, dB						Repeti- tioner
Bager	1		30		40		50	1
	2		30		40		50	1
	3		30		40		50	1
Fitness	1		30		40		50	1
	2		30		40		50	1
	3		30		40		50	1
Metro (tunnel)	1		30		40		50	1
	2		30		40		50	1
	3		30		40		50	1
	4		30		40		50	1
Tog (tunnel)	1		30		40		50	1
	2		30		40		50	1
	3		30		40		50	1
Trin	1		30		40		50	1
	2		30		40		50	1
	3		30		40		50	1
Trafik	Kontinuert	25	30	35	40	45	50	2
Varmeværk	Kontinuert	25		35		45		2

Tabel 2 Lydkilder, antal hændelser og de nominelle lydniveauer for de kilder, der blev brugt til lyttetesten. Det samlede antal stimuli er 66 inkl. repetitioner.

De enkelte stimuli var sammensat af et antal hændelser af varigheder på 10-12 sek. Niveauregistreringer og spektre af hændelserne kan ses i Bilag 5, Bilag 6 og Bilag 7. Nedenfor følger en nærmere beskrivelse af de enkelte stimuli.

Baggrundsstøj

Under pilottesten blev det bemærket, at det føltes urealistisk, at der slet ingen støj var mellem de lyde, der indgik i stimuli. Derfor blev der tilføjet baggrundsstøj med $L_{Aeq} = 20$ dB bestående af trafikstøj hørt indendørs (se "Trafik" nedenfor). Niveauet var så lavt, at det næsten ikke hørtes, men det gav alligevel en følelse af ikke at være i en lydtæt boks. Baggrundsstøjen blev mikset ind på en måde, så den var konstant til stede i hovedtelefonerne under hele lyttesessionen.

Bager

Optagelserne er foretaget i en lejlighed på 1. sal, som ligger lige over et bageri. Støjen fra bageriets aktiviteter høres i lejligheden som lavfrekvente bump og skramlen.

Der blev benyttet klip fra tre forskellige aktiviteter:

- A: Lavfrekvente bump og skramlen
- B: Lavfrekvente bump
- C: Lavfrekvent skramlen

De 60 sek. stimuli blev sammensat af de tre aktiviteter (ca. tider som angiver tiden fra start af stimulus til midten af klippet):

- En aktivitet: Bager A: 30 sek.
- To aktiviteter: Bager B: 20 sek. - Bager A: 40. sek.
- Tre aktiviteter: Bager C: 15 sek. – Bager A: 30 sek. – Bager B: 45 sek.

Fitness

Optagelserne er foretaget indendørs i en naboejendom til et fitnesscenter. Den primære kilde til støjen er kast af vægtstænger med forskellig vægt i forbindelse med træning i centret. Træningen foregår ved, at en vægtstang løftes fra gulvet op til fx skulderhøjde. Herfra kastes vægten ned på gulvet, som er et betongulv belagt med 2,5 cm tykke gummiplader.

Der er optagelser hhv. med 1 person, som udfører en øvelse og kast 3 gange med passende tidsrum imellem hvert kast, til der ikke er overlap mellem impulserne. Dette er klippet sammen så der er 3 løft på 10 sekunder. Det høres som 3 separate lavfrekvente lyde. Herudover er der udført 20 sekunders træningssessioner med 7 personer, hvor der udføres så mange kast som muligt under forudsætning af, at øvelsen stadig udføres korrekt. Der er udvalgt en periode på ca. 12 sek. Lyden er her lavfrekvent med varierende intensitet.

Der blev benyttet klip fra tre forskellige aktiviteter:

- A: 3 løft med 100 kg
- B: 3 løft med 180 kg
- C: Mange løft med 70 kg udført af 7 personer

De et minut lange stimuli blev sammensat af de tre aktiviteter som følger (ca. tider der angiver midten af klippet fra start af stimulus):

- En aktivitet: Fitness A: 30 sek.
- To aktiviteter: Fitness C: 20 sek. - Fitness A: 40 sek.
- Tre aktiviteter: Fitness B: 15 sek. – Fitness C: 30 sek. – Fitness A: 45 sek.

Metro

Optagelserne stammer fra lejligheder beliggende over den københavnske metro i lidt forskellige afstande. Der var lidt baggrundsstøj med meget lave frekvenser, derfor er optagelserne højpasfiltreret med en nedre afskæringsfrekvens på 10 Hz. Hver togpassage blev klippet til, så den netop omfattede den del af passagen, som hørbart kunne skelnes fra baggrundsstøjen. Lyden for hver togpassage blev fadet ud og ind i løbet af 2 sek. Der blev benyttet 4 forskellige togpassager:

- A og C: Optagelser hvor det oprindelige niveau, $L_{pAmax,F}$, var omkring 45 dB(A). Formentlig pga. resonanser i udbredelsesvejen havde lyden en tonal karakter med et maksimum i området 150-170 Hz.
- B og D: Det oprindelige niveau, $L_{pAmax,F}$, var omkring 37 dB(A). Lyden af disse klip var mere bredbåndet og lavfrekvent.

De et minut lange stimuli blev sammensat af de fire togpassager som følger (ca. tider som angiver maksimumniveauet fra start):

- En passage: Metro A: 30 sek.
- To passager: Metro B: 20 sek. - Metro A: 40 sek.
- Tre passager: Metro C: 15 sek. – Metro A: 30 sek. – Metro B: 45 sek.
- Fire passager: Metro D: 12 sek. – Metro C: 24 sek. – Metro B: 36 sek. – Metro A: 48 sek.

Tog

Optagelserne er foretaget i en bygning i København nær tunnelen mellem Nørreport og Østerport stationer. Lyden er mere lavfrekvent end lyden fra metroen. Lyden for hver togpassage blev fadet ud og ind i løbet af 2 sek. Der blev benyttet tre forskellige togpassager:

- A: Anden-generations S-tog med 6 vogne, 60 km/t
- B: Fjerde-generations S-tog med 16 vogne, 49 km/t. (Her kunne enkelte vognes passage skelnes)
- C: Elektrisk regionaltoget (ER) med 4 vogne, 61 km/t

De et minut lange stimuli blev sammensat af de tre togpassager som følger (ca. tider som angiver maksimumniveauet fra start):

- En passage: Tog A: 30 sek.
- To passager: Tog B: 20 sek. - Tog A: 40 sek.
- Tre passager: Tog C: 15 sek. – Tog A: 30 sek. – Tog B: 45 sek.

Trin

Optagelserne er udført i en lejlighed, hvor overboen simuleres af en person, der går på bare fødder. Der er tale om nabostøj, men lyden kunne i princippet også stamme fra en virksomhed. Gulvet er et trægulv på beton støbt på stedet, og bygningen er opført i årene 1955-1959 (Bygningstype E2). Der er udvalgt tre forskellige sekvenser af trin (A, B og C) fra samme optagelse. Al energien lå under 100 Hz, så for at dæmpe en del elektrisk støj på optagelsen blev den filtreret med et lavpasfilter ved 200 Hz (12 dB/oktav).

De et minut lange stimuli blev sammensat af de tre lydklip som følger (ca. tider som angiver midten af klipet fra start af stimulus):

- En aktivitet: Trin A: 30 sek.
- To aktiviteter: Trin C: 20 sek. - Trin A: 40 sek.
- Tre aktiviteter: Trin B: 15 sek. – Trin C: 30 sek. – Trin A: 45 sek.

Varmeværk

Optagelserne er foretaget indendørs på en første sal 160 m fra et fjernvarmeværk. Støjen er buldrende med et maksimum omkring 80 Hz. Niveauet ($L_{pA,LF}$) under optagelsen var 26 dB. Over ca. 160 Hz er der ikke væsentlig forskel på niveauet fra varmeværket og baggrundsstøjen, hvorfor der blev højpasfiltreret ved 200 Hz med et 12 dB/oktav filter. Der er udvalgt 1 minut uden hørbar baggrundsstøj.

Trafik

Trafikstøjen er en simuleret konstant trafikstøj hørt indendørs. Støjen består af lyserød støj, som først er filtreret til at give samme spektrum, som typisk udendørs baggrundsstøj forårsaget af trafik, se evt. [9]. Herefter er støjen filtreret efter en typisk lydisolationskurve, som er beskrevet i [5].

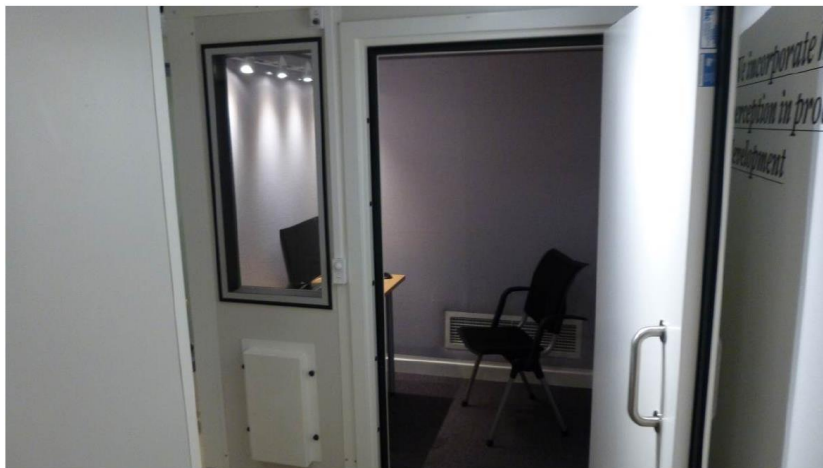
3.4 Teknisk udstyr

Lyttetesten blev afviklet ved brug af programmet SenseLabOnline 4.2.0-betamaster.1, som sørger for præsentation af stimuli i randomiseret rækkefølge for hver testperson, opsamling af afgivne bedømmelser og indledende statistisk behandling af data. Det øvrige tekniske udstyr fremgår af Bilag 3.

Stimuli blev afspillet på hovedtelefoner, der inden testen var kalibreret på et kunsthoved (HATS). For at sikre en korrekt gengivelse af frekvenser ned til 10 Hz blev der foretaget en frekvensvægtning af stimuli, som korrigerede for hovedtelefonernes frekvenskarakteristik. Dette resulterede i en flad frekvenskarakteristik med en gennemsnitlig afvigelse mindre end 1 dB i frekvensområdet 10-1000 Hz, se Bilag 3.

Målinger af $L_{pAmax,F}$ på de benyttede hovedtelefoner placeret på HATS viste, at afvigelserne fra de niveauer, der blev målt direkte på lydfilerne, var mindre end $\pm 0,5$ dB.

3.5 Lyttebokse



Figur 2 Den ene af de to lyttebokse benyttet til testen.

Lyttetesten blev afviklet i SenseLabs to lyttebokse hver på $4,7 \text{ m}^3$, som er placeret i et separat rum i kælderen ved siden af SenseLabs lytterum. Lokaliteterne er placeret, så de er forholdsvis uforstyrret af baggrundsstøj. Hver boks er forsynet med separat ventilation, der under testen var indstillet til 25 %.

Baggrundsstøjen i lytteboksene med lyset tændt og 25 % ventilation er typisk omkring 10-12 dB(A).

3.6 Assessorer

Assessorerne rekrutteret via Facebook var ikke trænede lyttere. Kriterierne for deltagelse var, at man (efter egen opfattelse) havde normal hørelse svarende til sin alder, og at man boede i en lejlighed. Deltagerne modtog et gavekort for deres deltagelse.

Der deltog i alt 22 personer, 14 mænd 8 kvinder i alderen 23-62 år med et gennemsnit på 39,5 år.

Ved postscreening af resultaterne blev svarene fra en assessor udeladt af databehandlingen, da alle assessorens svar havde genegraden nul.

3.7 Fysiske målinger på stimuli

Da der bruges forskellige notationer og forkortelser for målestørrelser (indikatorer) i forskellige publikationer og vejledninger, har vi i denne rapport med udgangspunkt i Vejledning nr. 6, 1984, jf. [10], forsøgt konsekvent at bruge denne notation i det følgende:

$L(p)[\text{frekvensvægtning}][\text{eq, max eller statistisk procentdel}], [\text{Tidsvægtning}]$.

Det betyder at rapporten for enkelte indikatorer afviger fra vejledningernes betegnelser. Index p , som refererer til lydtryk (til forskel for indeks w , som refererer til effekt), udelades generelt, da alle niveauer i rapporten er lydtrykniveauer. Betegnelserne er forklaret i bilag 1.

For alle stimuli er der gennemført målinger efter et "testbatteri" af bl.a. nedenstående indikatorer:

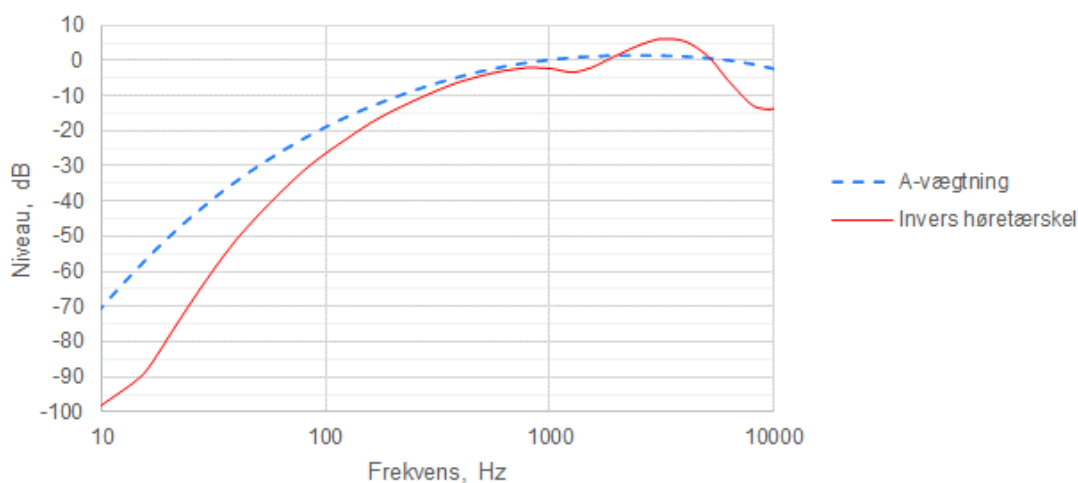
1. A-vægtet lydtrykniveau med tidsvægtning F
 - a. Maksimalværdi, $L_{Amax,F}$
 - b. 1 %, 5 % og 10 % fraktiler, $L_{A01,F}$ $L_{A05,F}$ $L_{A10,F}$
 - c. Ækvivalent støjniveau $L_{Aeq,1 \text{ minut}}$ (for en hel stimulus: 1 minut)
2. A-vægtet lydtrykniveau med tidsvægtning S:
 - a. Maksimalværdi, $L_{Amax,S}$
 - b. 1 %, 5 % og 10 % fraktilen, $L_{A01,S}$ $L_{A05,S}$ $L_{A10,S}$
3. A-vægtet lavfrekvensniveau med tidsvægtning F:
 - a. Maksimalværdi, $L_{ALFmax,F}$
 - b. 1 %, 5 % og 10 % fraktiler, $L_{ALF01,F}$ $L_{ALF05,F}$ $L_{ALF10,F}$
 - c. Ækvivalent støjniveau $L_{ALFeq, 1 \text{ minut}}$ (for en hel stimulus: 1 minut)
4. L_{Geq} , G-vægtet ækvivalent lydtrykniveau
5. Høretærskel-vægtet lydtrykniveau
 - a. L_{HTEq} , ækvivalent høretærskelvægtet niveau
 - b. L_{HTEq} (ISO) gradueret tone- eller impulstillæg
6. L_{Aeq} med gradueret impulstillæg, K_I , (for en hel stimulus: 1 minut)
7. L_{Aeq} med gradueret tonetillæg, K_T , (for en hel stimulus: 1 minut)
8. L_{Aeq} med (DK) gradueret tone- og impulstillæg, L_{rTI} (for: 1 minut)
9. L_{Aeq} med (ISO) gradueret tone- og impulstillæg, L_{rTI} (for: 1 minut)
10. L_{Aeq} med (ISO) gradueret tone- eller impulstillæg, $L_{rT/I}$ (for: 1 minut)
11. L_{Aeq} med (DK) 5 dB tone- og impulstillæg, L_r (for: 1 minut)
12. L_{ALFeq} med nogen af ovenstående tillæg
13. A-vægtet niveauregistrering med tidsvægtning F
14. Frekvensspektrum: 1/3-oktav (lineært og A-vægtet).

Der er lavet målinger af tonetillæg (gradueret) både med A-vægtning (ISO/ 1996-2/Orientering nr. 31, jf. [11]) og uden A-vægtning af spektret (Vejledning nr. 6, 1984, jf. [10]).

Når der er givet tillæg for impulser og toner, er der brugt de graduerede tillæg, medmindre det udtrykkeligt er nævnt, at der er tale om et 5 dB-tillæg, som gives for enten impulser eller toner, men ikke for begge dele.

Målingerne blev foretaget på de originale stimuli uden baggrundsstøj svarende til, at man ved en måling i felten havde korrigeret for baggrundsstøjen. Dog blev der taget hensyn til baggrundsstøjens maskerende virkning ved impuls- og toneanalyserne.

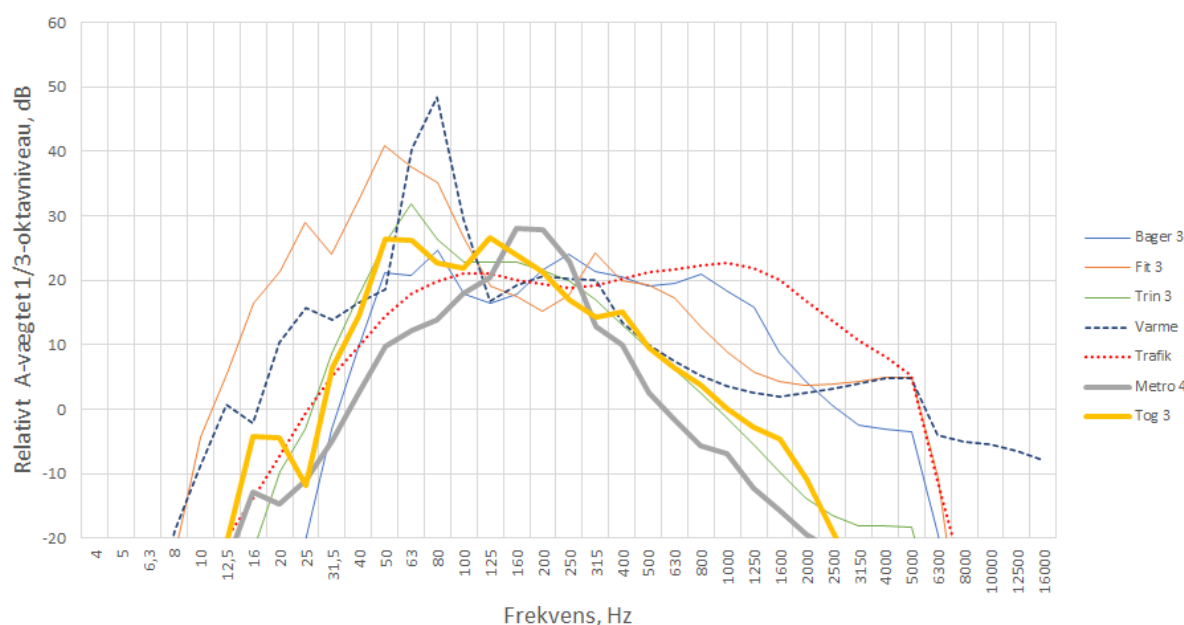
Af Figur 3 fremgår, at A-vægtningskurven afviger væsentligt fra høretærsklen ved lave niveauer og frekvenser. Derfor er der indført en indikator, L_{HTEq} , hvor ækvivalentniveauet beregnes på baggrund af en frekvensvægtning med høretærskelkurven i stedet for A-kurven, se Bilag 4.



Figur 3 A-vægtningskurven og den gennemsnitlige høretærskel for rene toner i et frit felt (inverteret). Kurven er konstrueret på baggrund af data fra forskellige kilder, bl.a. DS/EN ISO 389-7:2019, se [12], se Bilag 4. Ved frekvenser under 100 Hz giver A-vægtningen en væsentlig overvurdering af niveauernes i forhold til deres hørestyrke ved 1000 Hz. Ved 10 Hz overvurderer A-vægtningen niveauet med næsten 30 dB i forhold til høretærsklen.

For en nærmere beskrivelse af de forskellige indikatorer, integrationstider mv. henvises til Bilag 1. Niveau-registreringer kan ses i Bilag 5. 1/3-oktavanlyser kan findes i Bilag 6 (lineær frekvensvægtning) og Bilag 7 (A-vægtede)

Oversigt over de A-vægtede spektre for stimuli er vist på Figur 4. Resultaterne er for stimuli med det højest antal hændelser for hver enkelt kilde.



Figur 4 A-vægtede 1/3-oktavspektre af stimuli. For at lette sammenligningen er spektrene normeret til at have et gennemsnitligt niveau på 20 dB i området 100-400 Hz. De kontinuerede støjtyper er vist med punkterede linjer. Skinnetafik i tunneler er vist med fed streg.

Det ses, at fitness og varmeværket har det højeste lavfrekvente indhold. Det ses også, at optagelserne af metroen er mindre lavfrekvente end optagelserne af de øvrige tog. Referencestøjen, vejtrafik hørt indendørs (Trafik), har et højere indhold af frekvenser over 400 Hz end de andre støjtyper.

Et overblik over niveauerne med forskellige indikatorer er givet i Tabel 3.

	Nom	L _{eq}				Max		Tillæg			
Stimulus	dB	L _{Aeq}	L _{Geq}	L _{ALFeq}	L _{HTEq}	L _{pAmax,F}	L _{pALF-max,F}	KI	KT-ISO	KT-DK	5 dB-tillæg
Bager2	40	26,3	29,7	23,4	23,1	39,7	35,6	7,5	6,0	2,8	5
Fit2	40	26,5	68,3	27,1	15,9	39,7	39,7	8,0	0,0	0,0	5
Metro2	40	26,8	48,5	23,1	23,4	39,7	36,7	5,3	0,0	0,0	5
Tog2	40	30,8	60,0	30,7	24,9	39,7	39,3	3,1	0,0	4,1	5
Trin2	40	26,9	43,9	27,3	19,5	39,7	39,6	8,1	4,8	3,2	5
Trafik	40	38,7	62,3	33,7	35,7	39,7	36,1	0,0	0,0	0,0	0
Varme	35	28,3	53,1	28,8	19,8	34,7	34,7	4,9	6,0	0,0	5

Tabel 3 Oversigt over niveauerne i dB, for nogle af de forskellige indikatorer. Niveauerne er vist for stimuli med nominelle niveauer på 40 og 35 dB med 2 hændelser. L_{eq}-niveauerne for fx 1 hændelse er 3 dB lavere, mens maksimalniveauerne er de samme. Tillæggene er anderledes ved andre niveauer fordi høretærsklen og maskering fra den tilføjede baggrundsstøj ændrer på hørbarheden af toner og impulser.

En del af de øvrige resultater er anført i Bilag 8.

3.8 Testadministration

Lyttetesten blev gennemført i februar 2022, og varigheden for hver lytter var typisk omkring 1,5 timer.

Testen forløb som følger:

1. Instruktion.
2. Udfyldelse af kort spørgeskema om køn, alder og boligtype.
3. Orientering om de 14 stimuli repræsenterende de lydkilder og lydstyrker, som forekom i testen.
4. Bedømmelse af genevirkning på 66 stimuli (den egentlige test).

Instruktionen til lytterne fremgår af 0.

Lytterne skulle læse i en e-bog på en iPad under testen.

Bøgerne til brug under testen var udvalgt, så der var en god chance for, at en assessor kunne fristes til at læse i én af dem. Der var søgt neutrale tekster, som ikke gav anledning til stor fordybelse eller spænding. Følgende bøger, som på e-reolen var karakteriseret som lette bøger for voksne, var tilgængelige til læsning under testen:

- Den gamle mand og havet. Ernest Hemingway.
- Fuglene under himlen. Karl Ove Knausgård.
- Vildsvin. Hannah Lutz.

Hovedindtrykket fra debriefingen med assessorerne var, at testen var lidt lang, men at lydeksemplerne havde virket realistiske. Ingen havde kommentarer til det at læse under testen.

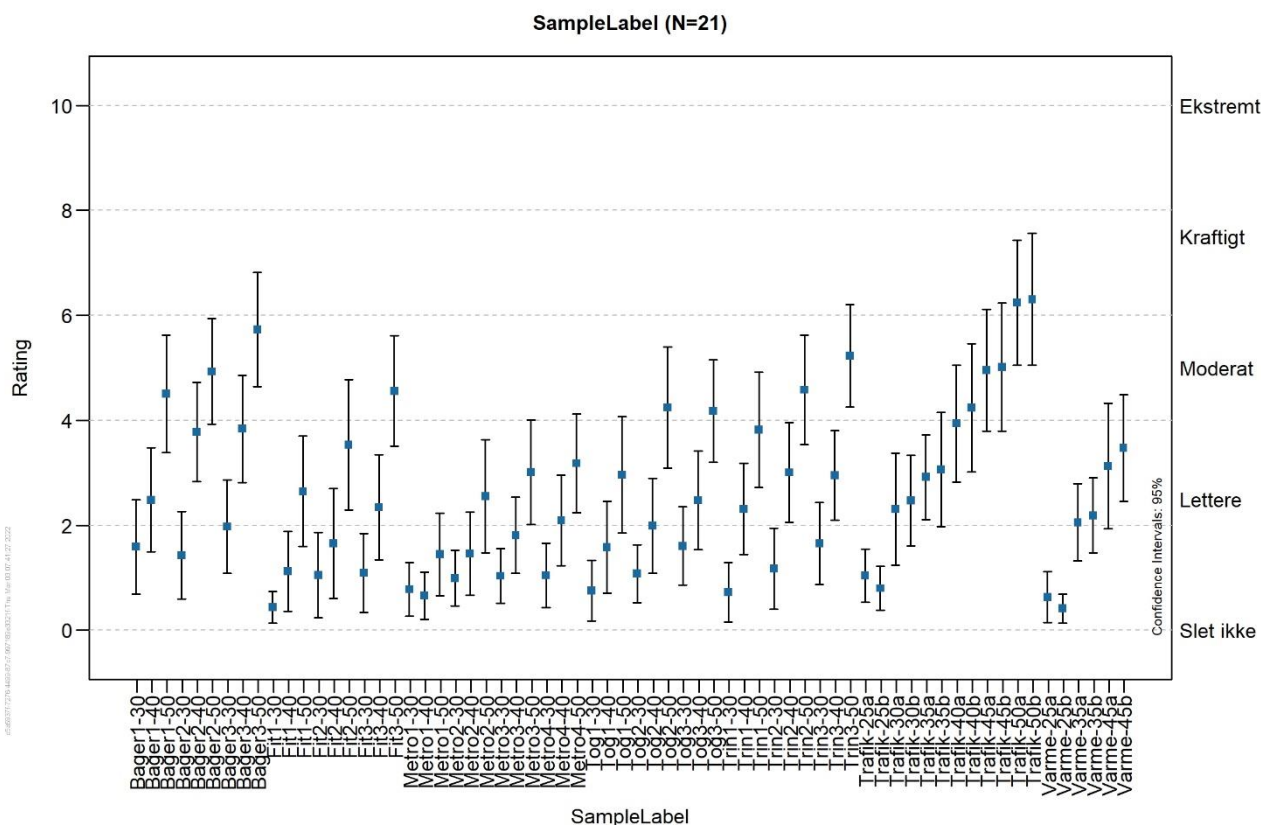
3.9 Overblik over resultater

Resultater og analyser i dette afsnit er udført ved at sammenstille den gennemsnitlige genegrad, dvs. midelværdierne af lytternes bedømmelser af gene for hver stimulus a 1 minut med forskellige fysiske indikatorer for de samme stimuli. Tallene for genegrad har følgende betydning:

- 0 Slet ikke generet
- 2,5 Lettere generet
- 5 Moderat generet
- 7,5 Kraftigt generet
- 10 Ekstremt generet

Figur 5 giver et overblik over resultaterne. Der er god variation i resultaterne, hvilket giver et godt grundlag for det videre arbejde. På figuren er også vist 95 % konfidensintervallerne for middelværdien af genebedømmelserne. Konfidensintervallerne er i gennemsnit $\pm 0,9$ genegrader. Dog er konfidensintervallerne på de fleste grafer i det følgende udeladt af hensyn til overskueligheden.

Som det fremgår af Tabel 2 er stimuli justeret til at have forskellige nominelle niveauer af $L_{Amax,F}$ svarende til ca. 25 til 50 dB, i det følgende benævnt som "nominelle niveau". Det skal bemærkes, at stimuli med samme nominelle niveau med indikatoren $L_{Amax,F}$ højst sandsynlig ikke har samme niveau med andre indikatorer.



Figur 5 Overblik over resultaterne fra lyttetesten. Middelværdier af genegraden med 95 % konfidensintervaller for stimuli, som er anført på x-aksen. Første ciffer efter kildens art angiver antal hændelser, og andet ciffer angiver det nominelle niveau for $L_{Amax,F}$.

Inden gennemgangen af resultaterne henledes opmærksomheden på nedenstående forhold, som er uddybet i Bilag 9:

- $L_{pAmax,F}$ og $L_{pALFmax,F}$ kan i denne sammenhæng bruges på lige fod med henholdsvis L_{A1} og L_{ALF1} . Forskellen mellem maksimalværdier og 1% fraktilen er mindre end 0,2 dB for de anvendte stimuli. Sidstnævnte er dog at foretrække af måletekniske grunde.
- $L_{ALF_{eq}}$ og $A(LF)$ kan i denne sammenhæng bruges på lige fod. ($L_{ALF_{eq}}$ er målt ved frekvensvægtning medens $A(LF)$ er beregnet ud fra 1/3-oktav målinger).

3.10 Overvejelser om relationer mellem lyttetest og virkelighed

Som det fremgår af projektets del 1, [1], har der vist sig situationer i praksis, som tyder på, at et 10 min. ækvivalentniveau ikke altid er repræsentativt for den gene, støjen giver anledning til. Problemerne er relateret til kortvarige hændelser, som fx vibrationsgenereret støj fra forbikørsler med metrotog i tunneler eller støj fra fitnesscentre, hvor der sker hyppige kast eller tab af vægte. Det har vist sig, at der er mange borgerreaktioner, selvom grænseværdien for lavfrekvent støj i boliger om aftenen på $L_{ALF_{eq}} = 20$ dB ikke overskrides. En kortvarig støjhændelse kan godt være tydeligt hørbar og måske også generende, men alligevel ligge under støjgrænsen, når den "fortyndes" ved midling over 10 min., som det anvises i Orientering 9, 1997, jf. [2].

3.10.1 Alternative indikatorers egnethed

Analyserne i de næste afsnit kan vise, hvilke af de testede indikatorer, der bedst egner sig til at beskrive genen ved lyttetesten. Da der er tale om en relativ sammenligning af indikatorerne i samme kontekst, er det rimeligt at antage, at de indikatorer, der findes bedst egnede ved lyttetesten, også er de bedst egnede i virkeligheden.

3.10.2 Integrationstid/måletidsrum/referencetidsrum

Hvert stimuli i lyttetesten varede "kun" 1 min. I løbet af det minut, den samlede stimulus varer (inklusive perioder uden støj), forekommer der 1-4 lydhændelser af ca. 10 sek. (To eksempler bestod af kontinuert støj og blev i databehandlingen karakteriseret ved 6 hændelser).

Det vurderes rimeligt at antage, at lyttetestens resultater kan repræsentere en situation, hvor man sidder og slapper af hjemme og læser i en bog. Testen belyser situationer, hvor der forekommer lyd i 16-100 % af tiden med forskellige antal hændelser.

Det er også rimeligt at antage, at de indikatorer, der giver den bedste korrelation med genen ved lyttetesten, også er egnede, når lyden kun varer en mindre procentdel af tiden. Men det er ikke sikkert, at de støjgrænser, som resultaterne eventuelt kan indikere, gælder, når procentdelen af lyd er mindre end de testede 16 %. Man kan overveje, om man ud fra dosis-responskurverne kan ekstrapolere ned til lavere procentsatser.

For ikke at komme for langt væk fra lyttetestens præmisser foreslås det, at det måletidsrum på 10 min., hvor støjen er kraftigst (anbefales i Orientering nr. 9, 1997, jf. [2]), fastholdes.

Desuden kan det overvejes at supplere den L_{eq} -baserede grænse med en grænse for maksimalniveauet.

3.10.3 Relevant genegrad for fastlæggelse af støjgrænse

Miljøstyrelsen ønsker, at eventuelle forslag til grænseværdier skal bygge på et uændret beskyttelsesniveau af borgerne, jf. Orientering 9 fra 1997, [2]. Antagelsen er, at støjgenen for lavfrekvent støj vil være væsentlig allerede ved niveauer lidt over høretærsklen til forskel for støjgenen fra ikke-lavfrekvent støj, som antages at være gradueret (således at støjen ikke nødvendigvis er generende, selvom den er hørbar).

Nedenfor gøres overvejelser om, hvordan ovennævnte beskyttelsesgrad kan relateres til resultaterne af lyttetesten.

Metode 1

En måde at anskue problemstillingen på er at sammenligne resultaterne fra lyttetesten med relevante støjgrænser i det virkelige liv.

Bygningsreglementet (BR18) indeholder lovpligtige grænseværdier for trafikstøj i nyt byggeri. Grænseværdien for støj fra vejtrafik og fra jernbaner indendørs i boligrum er $L_{den} = 33$ dB med lukkede vinduer, men med åbne friskluftventiler. Kravet på $L_{den} = 33$ dB er et minimumskrav kaldet lydklasse C. DS 490:2018 Lydklassificering af boliger angiver, jf. [13], at man kan arbejde med et højere kvalitetsniveau, lydklasse B og A, hvor grænseværdien for trafikstøj indendørs, L_{den} , er henholdsvis 28 dB og 23 dB.

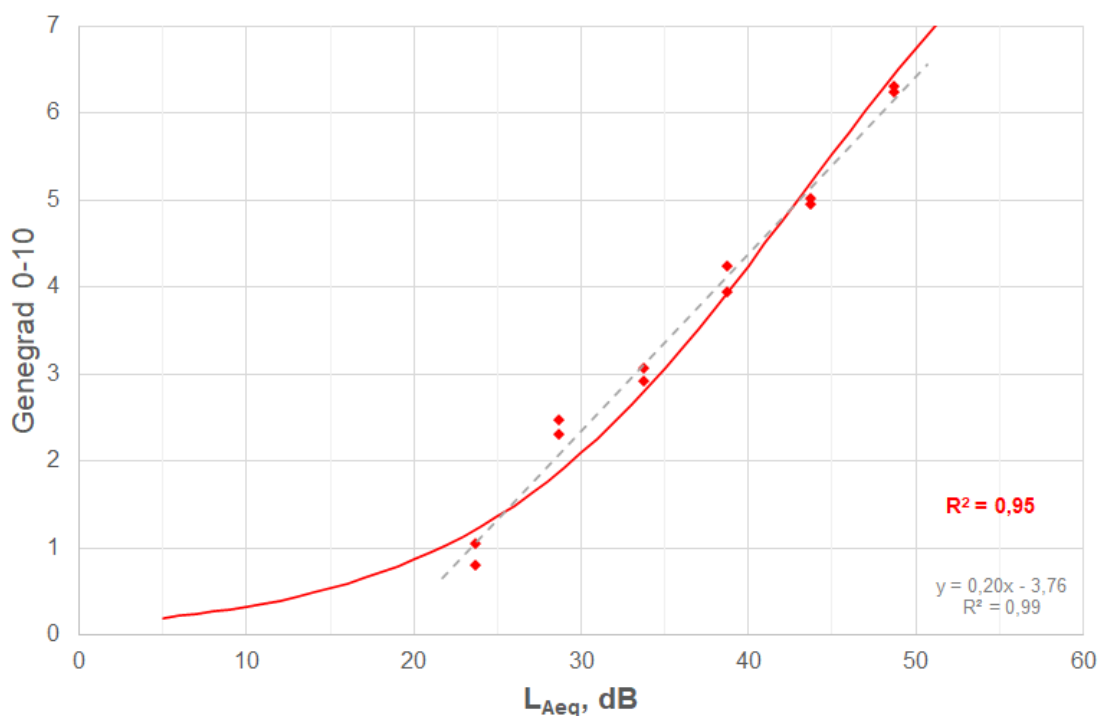
Assessorerne i testen blev bedt om at bedømme, hvor generende de mente støjen ville være, hvis den fortsatte på samme måde fx hele aftenen. Som tommelfingerregel kan man regne med, at støjniveauet L_{Aeq} er 5 dB lavere om aftenen end tallet for L_{den} . Dvs. at "grænseværdierne" om aftenen for de tre lydklasser er $L_{Aeq} = 28, 23$ og 18 dB.

Figur 6 viser lyttetestens resultater for genen af referencestøjen, vejtrafikstøj. Det ses, at for en genegrad på 1 ligger L_{Aeq} -niveauet på dosis-responskurven eller den lineære regression tæt på 23 dB (22 hhv. 23 dB).

Man kan således konkludere, at en genegrad på 1 i lyttetesten svarer til den støjgrænse, der er gældende for boliger i den mellemste lydklasse, B.

Ud fra denne betragtning er det rimeligt at antage, at en genegrad på 1 i lyttetesten er et rimeligt sted at overveje en grænseværdi.

Ved et niveau på $L_{Aeq} = 28$ dB, nogenlunde svarende til støjen om aftenen for lydklasse C, er genegraden 1,8. Her ligger støjen et stykke over høretærsklen, så denne genegrad vurderes at ligge højere end en beskyttelsesgrad svarende til antagelsen om, at støjgenen for lavfrekvent støj vil være væsentlig allerede lidt over høretærsklen.



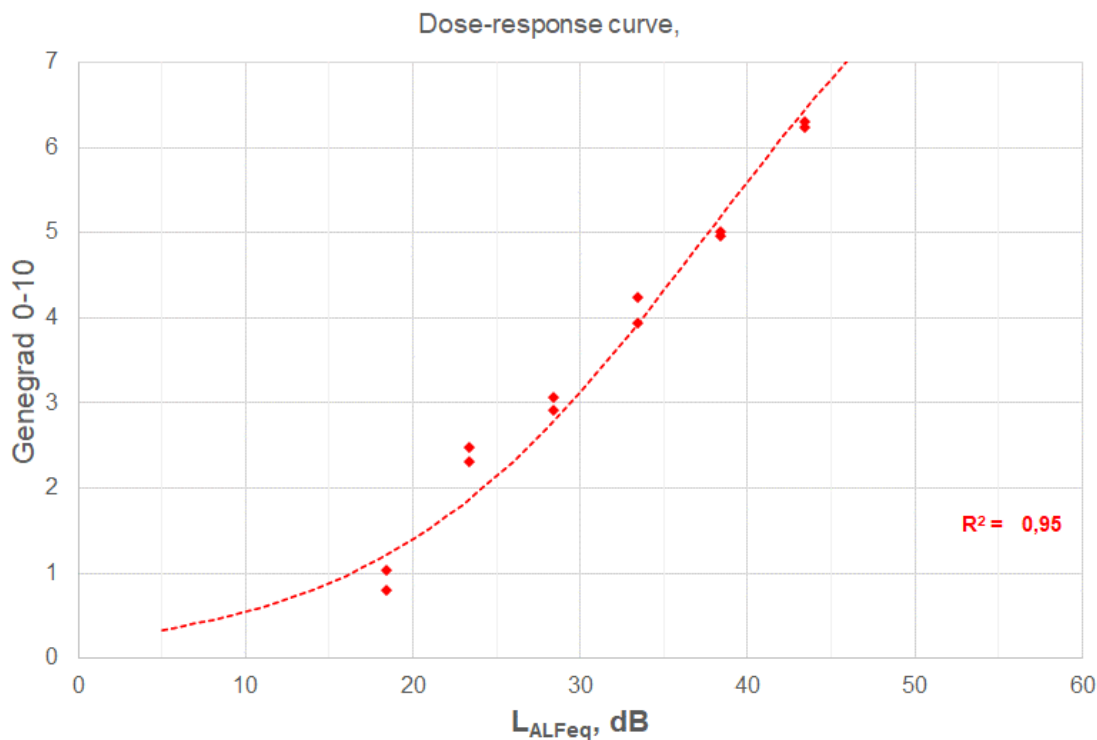
Figur 6 Lyttetestens dosis-responskurve (rød) for gene af vejtrafikstøj i forhold til L_{Aeq} . Andelen af forklaret varians, $R^2 = 0,95$. Konstanterne for dosis-responskurven er $s = 0,103$ og $f = 42,9$ dB, jf. Bilag 13 Ubestemtheden¹ på dosis-responskurven skønnes at være omkring $\pm 0,25$ gene-grad. Punkteret med gråt er vist en lineær regression for samme data.

Selv om vejtrafikstøjen hørt indendørs ikke er specielt lavfrekvent, se Figur 4, er der alligevel beregnet en dosis-responskurve mellem genen og L_{ALFeq} , se Figur 7. Det ses, at en genegrad på 1 svarer til 16 dB. Der vil senere i rapporten blive set på, om denne grænse også er relevant for de lavfrekvente støjtyper.

Metode 2 og 3

Metode 2 overvejer relationerne til høretærsklen for lavfrekvent lyd og metode 3 relaterer gengraderne til nuværende støjgrænser. Begge metoder er behandlet i Bilag 10.

¹ Beregnet som $\pm \frac{1}{2} CI/n^{1/2}$, hvor CI er det gennemsnitlige 95 % konfidensinterval for punkterne, og n er antallet af punkter.



Figur 7 Lyttetestens dosis-responskurve for Gene af vejtrafikstøj i forhold til L_{ALFeq} . Andelen af forklaret varians, $R^2 = 0,95$. Konstanterne for dosis-responskurven er $s = 0,103$ og $f = 37,6$ dB, jf. Bilag 10. En genegrad på 1 svarer til 16 dB.

Konklusion

Supplerende overvejelser om, hvilken genegrad der er relevant for fastsættelsen af grænseværdier, er diskuteret i Bilag 10. I henhold til lyttetestens resultater peger ovenstående overvejelser på, at en genegrad på ca. 1 er et passende udgangspunkt for at fastsætte grænseværdier for de forskellige indikatorer.

Det skal bemærkes, at støjgene er en effekt, der i høj grad er påvirket af ikke-akustiske faktorer. Der er ovenfor og i Bilag 10 gjort forskellige sammenligninger og antagelser, som indikerer, at en genegrad på 1 i lyttetesten er rimelig for en støjgrænse. Dette er udgangspunktet for at sammenligne lyttetestens resultater med virkeligheden. Selv om lytterne var almindelige borgere og bor i lejligheder, og selv om de skulle forestille sig at slappe af hjemme (og læse i en bog), er det ikke sikkert, at lyttetestens "støjgrænse" ved genegraden 1 direkte er repræsentativ for alle personer, som i deres hjem er udsat for lignende støj.

3.11 Korrelationsanalyser

For at få et overblik over sammenhængen mellem gene og de forskellige indikatorer er der indledningsvist lavet korrelationsanalyser. De komplette analyser er vist i Bilag 11. Ud over korrelationen med gene er det også muligt at se, hvordan indikatorerne korrelerer indbyrdes.

På baggrund af tabellerne i Bilag 11 er de mest interessante indikatorer udvalgt og analyseret, og resultaterne er vist i Tabel 4.

Der er tre afdelinger i tabellen med alle niveauer: "Alle kilder" (uden referencestøjen), "Tunnel" (Metro og andre tog i tunneler) og virksomhedsrelaterede kilder, som står for lavfrekvente kilder uden metro, tog og uden referencestøjen, vejtrafikstøj (i praksis er det støj fra bager, fitnesscenter og varmeværk).

Metrik	Alle kilder	Alle kilder	Metrik	Tunnel	Metrik	Virksomhed
	35-40 dB	Alle niveauer		Alle niveauer		Alle niveauer
L _{Aeq} +K _I +K _T (ISO)	0,77	0,89	L _{ALFeq}	0,93	L _{HTEq}	0,95
L _{Aeq} +K _I	0,70	0,88	L _{Aeq}	0,92	L _{Aeq} +K _I	0,94
L _{ALFeq} +K _I +K _T (ISO)	0,60	0,86	L _{ALFeq} +K _I	0,92	L _{Aeq} +K _I +K _T (ISO)	0,91
L _{ALFeq} +K _I	0,47	0,85	L _{Aeq} +K _I	0,89	L _{Aeq}	0,89
L _{HTEq}	0,40	0,82	L _{HTEq}	0,89	L _{AmaxF}	0,88
L _{Aeq}	0,40	0,83	L _{ALFeq} +K _I +K _T (ISO)	0,86	L _{ALFeq} +K _I +K _T (ISO)	0,85
L _{ALFeq}	0,21	0,80	L _{ALFmaxF}	0,84	L _{ALFeq} +K _I	0,84
L _{AmaxF}	0,0	0,8	L _{Aeq} +K _I +K _T (ISO)	0,83	L _{ALFmaxF}	0,83
L _{ALFmaxF}	-0,1	0,8	L _{pAmaxF}	0,79	L _{ALFeq}	0,82

Tabel 4 Korrelationskoefficienter med gene uden referencestimuli (Trafik) for de mest relevante indikatorer. Venstre tabel: Alle kilder. De to højre tabeller: Tunnel: (Metro og tog), Virksomhed: Alle LF-kilder undtagen Tunnel.

Det ses, at korrelationen stiger, når kilderne deles op i tunnel og virksomhedsrelaterede kilder.

For tunnel bemærkes at:

- L_{ALFeq} har størst korrelation.
- L_{Aeq} ligger næsten lige så højt.
- L_{Geq} ligger højt, men da den ikke duer i andre sammenhænge, er den ikke så interessant.
- L_{HTEq} ligger relativt højt på listen.
- Indikatorerne med tone og impuls-korrektion er rykket ned på listen.

For de virksomhedsrelaterede kilder bemærkes:

- L_{HTEq} ligger øverst på listen.
- L_{Aeq} med impuls og evt. tonekorrektion ligger højt.
- De lavfrekvensbaserede mål ligger længere nede af listen, men det nuværende mål L_{ALFeq} med impuls-korrektion har stadig en høj korrelationskoefficient.

Det ses, at det ikke er de samme indikatorer, der ligger højest for de to grupper af støj-kilder, tunnel og de virksomhedsrelaterede. Det kunne tyde på, at det kunne give mening at behandle dem hver for sig.

3.12 Indledende analyser

I Bilag 12 er vist de indledende dataanalyser baseret på x-y grafer, hovedsageligt med lineær regression/lineære trendlinjer.

Flere af resultaterne indikerer, at det måske er hensigtsmæssigt at opdele støjklilderne i to grupper:

- Tunnel: Metro og andre tog i tunneler
- LF: Virksomhedsrelaterede støjklilder.

For hver af de to grupper af støjklilder blev der foretaget en foreløbig rangordning af indikatorernes egnet. Der tegner sig et klart billede af de bedst egnede indikatorer for tunnel, medens billedet for de virksomhedsrelaterede støjklilder ikke er helt så klart.

I de næste afsnit ses på dosis-responskurverne (forklaret i Bilag 13) for de mest relevante indikatorer.

Et lidt specielt resultat bør fremhæves selv om det ikke direkte er relevant her. Det viste sig, at sammenhængen mellem genen og det G-vægtede infralydniveau, som er en indikator, der henvises til i Orientering nr. 9 1997, jf. [2], er så ringe, at denne indikator er uegnet i den aktuelle situation, se Bilag 12, Figur 30. Sammenhængen er også så dårlig, at det bør give anledning til en mere generel undersøgelse af denne indikator's egnet i andre situationer. Det skal dog nævnes, at det i orienteringen bemærkes, at indikatoren ikke er egnet til lavfrekvent lyd.

3.13 Metro og tog i tunneler

3.13.1 Dosis-responskurver for tog i tunneler

På graferne bruges forkortelser for lydkilderne:

- M: Metro
- R: Tog (Rail)

Figur 8 viser sammenhængen mellem L_{ALFeq} og genegrad. På den øverste figur ses, at konfidensintervallerne for alle punkter omfatter dosis-responskurven, som er beregnet på baggrund af data for både metro og tog. Det kan ses som en indikation af, at kurven kan omfatte alle de testede togtyper.

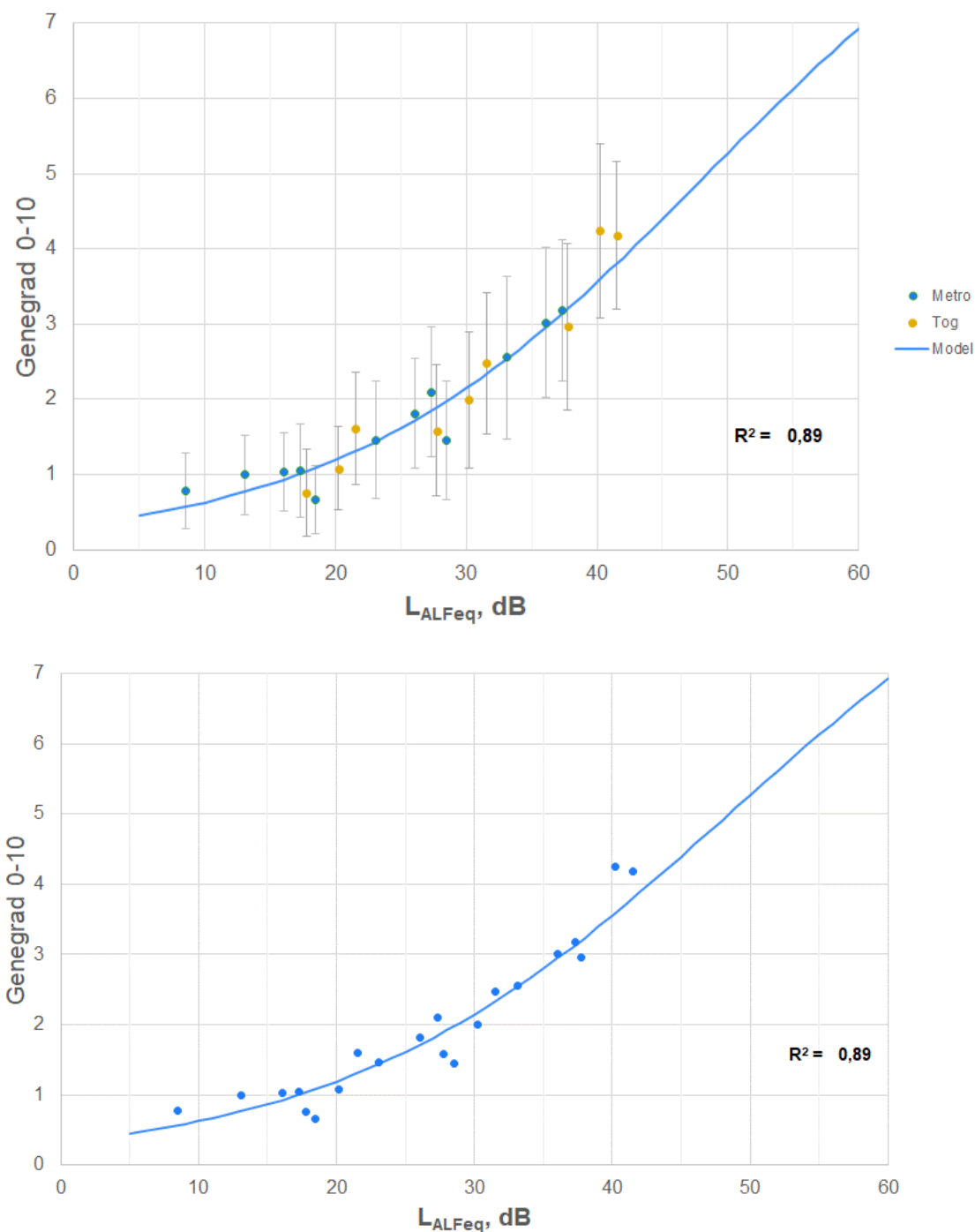
Hvis det antages, at en genegrad på 1 repræsenterer den relevante grænse, jævnfør overvejelserne i afsnit 3.10, indikerer det, at en grænse baseret på indikatoren L_{ALFeq} bør ligge på 17 dB.

Figur 9 viser sammenhængen mellem $L_{ALFmax,F}$ og genegrad. En genegrad på 1 indikerer, at en grænse baseret på indikatoren $L_{ALFmax,F}$ bør ligge på 30 dB. Af den øverste graf fremgår dog, at for et givet niveau af $L_{ALFmax,F}$ stiger genen med stigende antal tog, og dermed også med stigende L_{ALFeq} . Det viser, at en grænse baseret for maksimalværdi bør suppleres med en grænse for L_{ALFeq} .

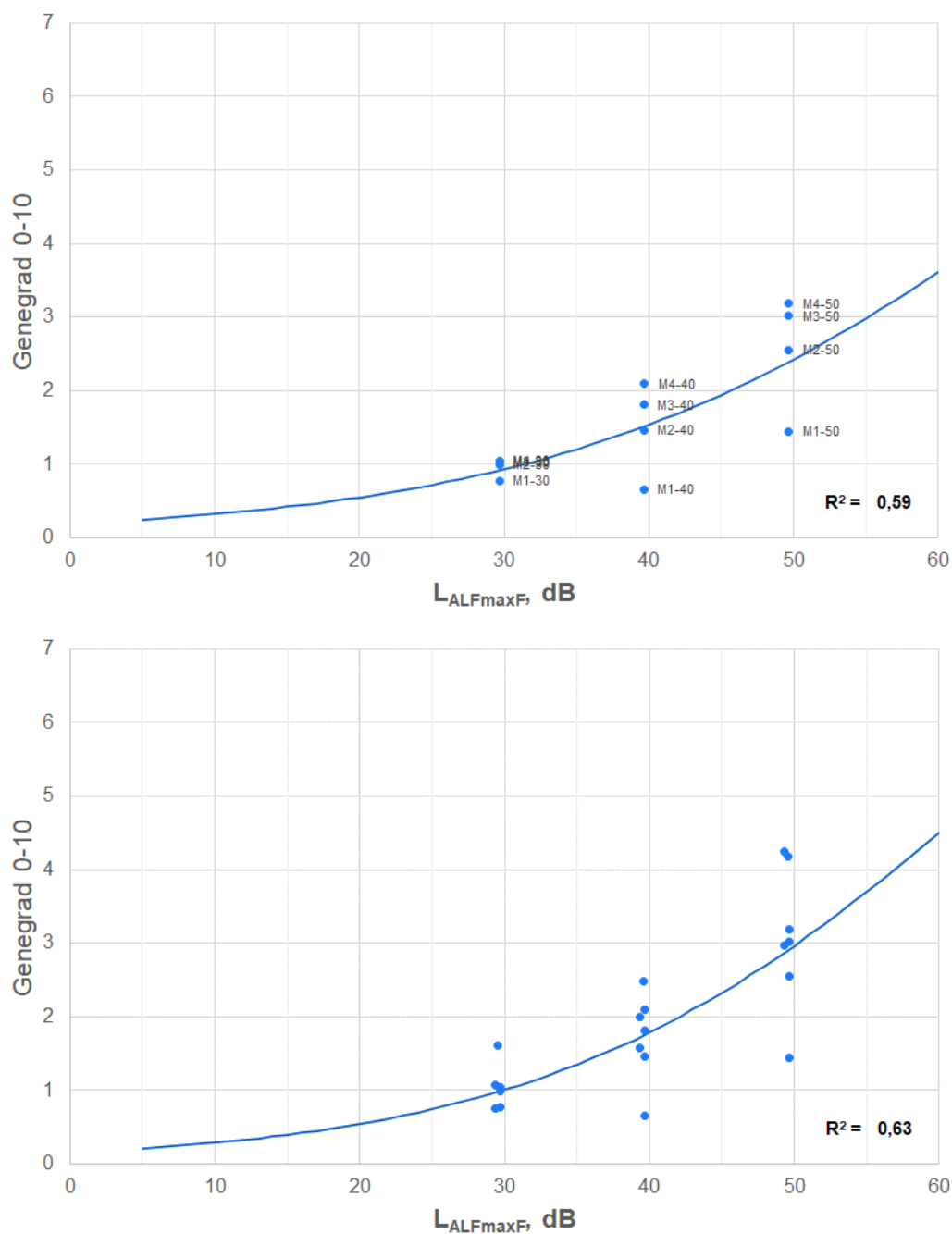
Figur 10 og Figur 11 viser data for L_{Aeq} og $L_{Amax,F}$ på samme måde, som er vist for de lavfrekvente værdier. Ved at sammenligne Figur 8 med Figur 10 ses, at resultater for L_{Aeq} og L_{ALFeq} ligner hinanden meget, og at andelen af forklaret varians også næsten er den samme. Tilsvarende ses, at resultaterne for maksimalværdierne $L_{Amax,F}$ på Figur 9 (nederst) og $L_{ALFmax,F}$ på Figur 11 ligner hinanden.

En genegrad på 1 indikerer en grænse for L_{Aeq} på 20 dB og en grænse for $L_{Amax,F}$ på 30 dB.

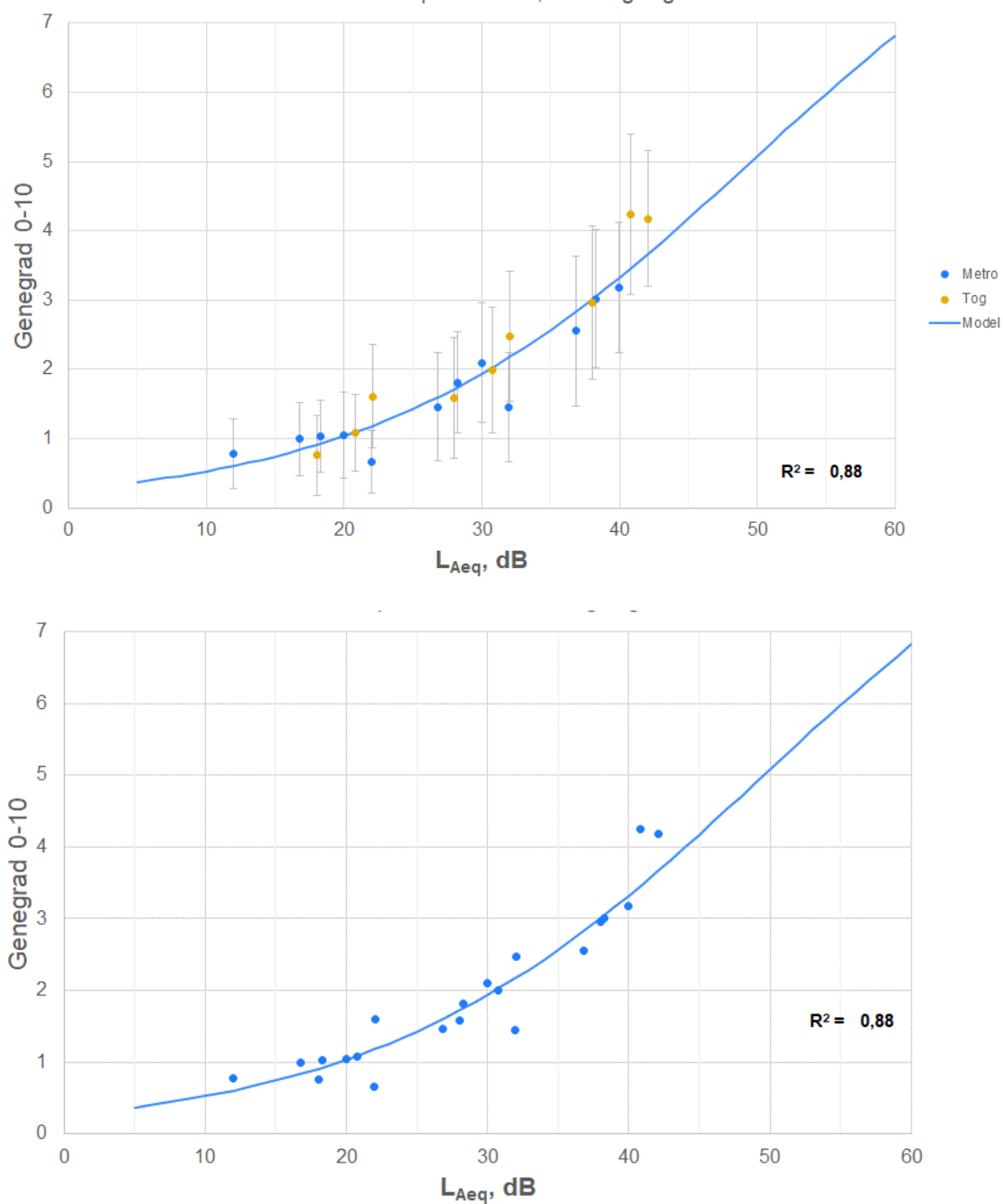
Endelig viser Figur 12 sammenhængen mellem L_{HTEq} og genegrad. Det ses, at der er lidt større spredning på data, hvilket også resulterer i en lidt lavere andel af forklaret varians, som dog stadig er forholdsvis stor.



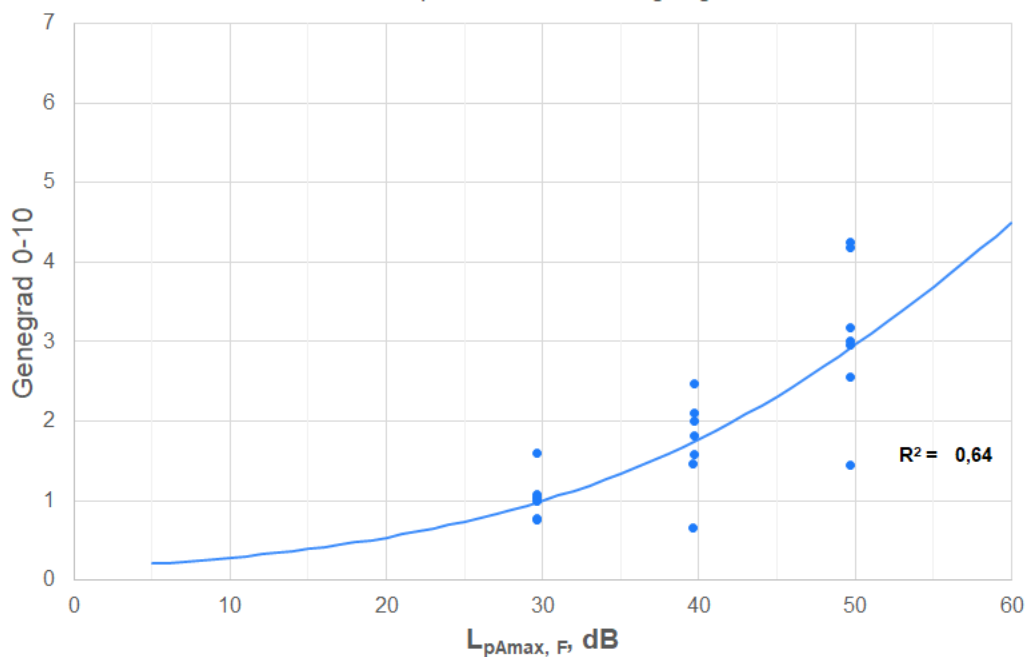
Figur 8 *L_{ALFeq} og genegrad. Øverst er vist data for metro og tog hver for sig med 95 % konfidensintervaller. Nederst er vist de samme punkter uden opdeling. Den fælles dosis-responskurve kan beskrives ved parametrene $S = 0,070$ og $f = 48,5$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 17 dB. Ubestemtheden på kurven er +/- 0,17 genegrad (svarende til ca. +/- 2 dB).*



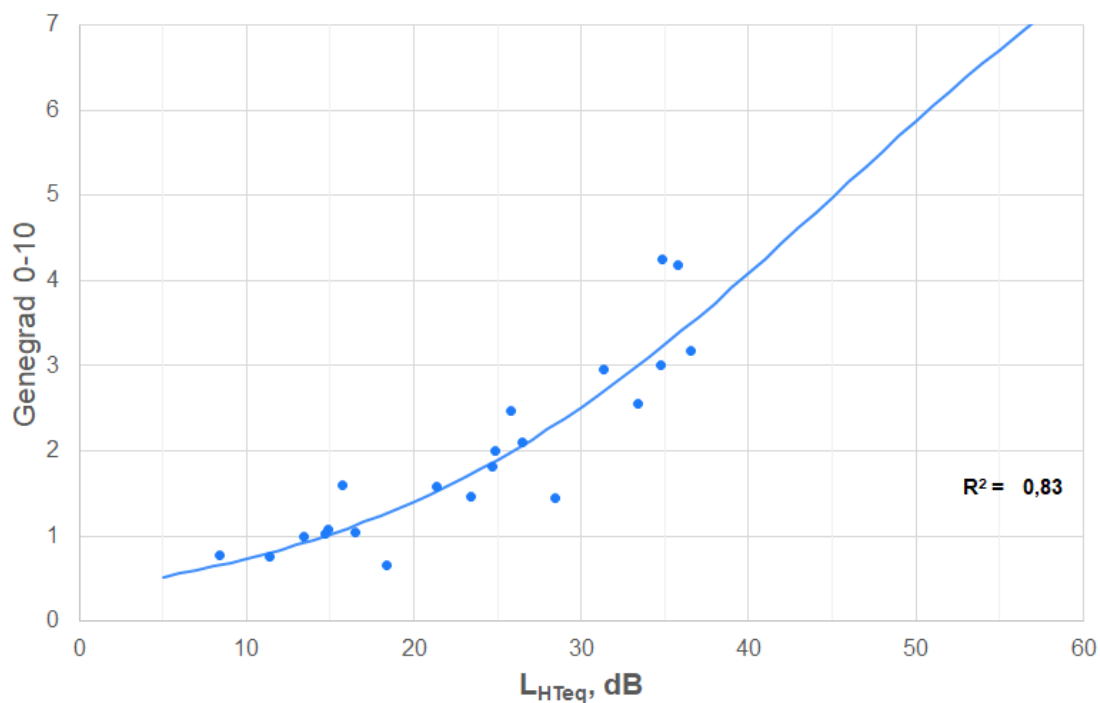
Figur 9 $L_{ALFmax,F}$ og genegrad. Øverst er vist data for metroen alene. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Nederst er vist data for metro og tog samlet. Den fælles dosis-respons-kurve (nederst) kan beskrives ved parametrene $S = 0,066$ og $f = 63,0$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet (nederst) 30 dB.



Figur 10 L_{Aeq} og genegrad. Øverst er vist data for metro og tog hver for sig med 95% konfidensintervaller. Nederst er vist de samme punkter uden opdeling. Den fælles dosis-responskurve kan beskrives ved parametrene $S = 0,073$ og $f = 49,6$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 20 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,17$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



Figur 11 $L_{Amax, F}$ og genegrad. Data er for metro og tog samlet. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,066$ og $f = 63,0$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 30 dB.



Figur 12 L_{HTeq} og genegrad. Data er for metro og tog samlet. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,072$ og $f = 45,1$ dB, jævnfør Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 15 dB.

3.13.2 Mulige indikatorer og støjgrænser for tog i tunneler

Resultaterne fra afsnit 3.13.1 er sammenfattet i Tabel 5.

	L_{ALFeq}	L_{Aeq}	L_{HTEq}	$L_{ALFmax,F}$	$L_{pAmax, F}$
R^2	0,89	0,88	0,83	0,59	0,64
Niveau, ved genegrad = 1	17 dB	20 dB	15 dB	30 dB	30 dB

Tabel 5 *Lydtrykniveauer for forskellige indikatorer ved en genegrad på 1 for "Tunneler".
Resultaterne relaterer sig til en aftensituation. Ubestemtheden på niveauerne er +/- 2-3 dB.*

Som nævnt tidligere i dette afsnit er resultaterne for de A-vægtede niveauer og de ALF-vægtede niveauer meget ens. Det skyldes, at de fleste af de kilder, der er med i undersøgelsen, har en væsentlig del af energien ved eller under 160 Hz. Hermed vil de to indikatorer give næsten samme resultater.

Som det fremgår af de A-vægtede frekvensanalyser i Bilag 7 er der især for metroen også væsentlig energi ved 200 Hz og lige over.

Hvis man baserer en grænseværdi alene på de ALF-vægtede indikatorer, vil energien ved 200 Hz, som også bidrager til genen, ikke blive medregnet, hvilket er uheldigt. Reference [8] viser, at dette er en generel problemstilling, som ikke kun angår de eksempler, der er udvalgt til lyttetesten.

Det må derfor konkluderes, at de A-vægtede indikatorer er bedst egnede. Lyttestens resultater indikerer, at en grænseværdi på $L_{Aeq} = 20$ dB kombineret med en grænse på $L_{Amax,F} = 30$ dB bør overvejes.

3.13.3 Sammenligning med nuværende danske støjgrænser

Tabel 6 viser grænserne for trafikstøj i nye boliger.

	Trafikstøj i nye boliger		
	Klasse C	Klasse B	Klasse A
Døgn	$L_{den}=33$	$L_{den}=28$	$L_{den}=23$
Aften	$(L_{Aeq}=28)$	$(L_{Aeq}=23)$	$(L_{Aeq}=18)$
Nat	$(L_{Aeq}=23)$	$(L_{Aeq}=18)$	$(L_{Aeq}=13)$

Tabel 6 Lovpligtige grænseværdier, L_{den} , for trafikstøj i nyt byggeri (Bygningsreglementet, BR18). Grænserne gælder for støj fra vejtrafik og fra jernbaner indendørs i boligrum med lukkede vinduer, men med åbne fristluftventiler. Kravet på $L_{den} = 33$ dB er et minimumskrav for lydklasse C. Grænserne for trafikstøj om aftenen og natten er tilnærmede skøn. De aktuelle værdier afhænger af døgnfordelingen af trafikken det pågældende sted.

Kravet om L_{den} for trafikstøj på højst 33 dB er et minimumskrav, som gælder for lydklasse C. Dansk Standard DS 490:2018, Lydklassificering af boliger, jf. [13], angiver også, at man kan arbejde med et højere kvalitetsniveau, lydklasse A og B, hvor grænseværdien for trafikstøj indendørs er henholdsvis L_{den} på 28 dB og 23 dB. Som tommelfingerregel kan man regne med, at støjniveauet L_{Aeq} er 5 dB lavere om aftenen end for L_{den} . Dvs. at grænseværdien for de tre lydklasser "svarer til" $L_{Aeq} = 28, 23$ og 18 dB om aftenen.

Det ses, at en grænse for L_{Aeq} på 20 dB nogenlunde svarer til den grænse, der er gældende for boliger, som er lidt bedre end lydklasse B. Ud fra denne betragtning forekommer det rimeligt, at grænsen bør ligge omkring $L_{Aeq} = 20$ dB.

3.14 Virksomhedsrelaterede støjtyper

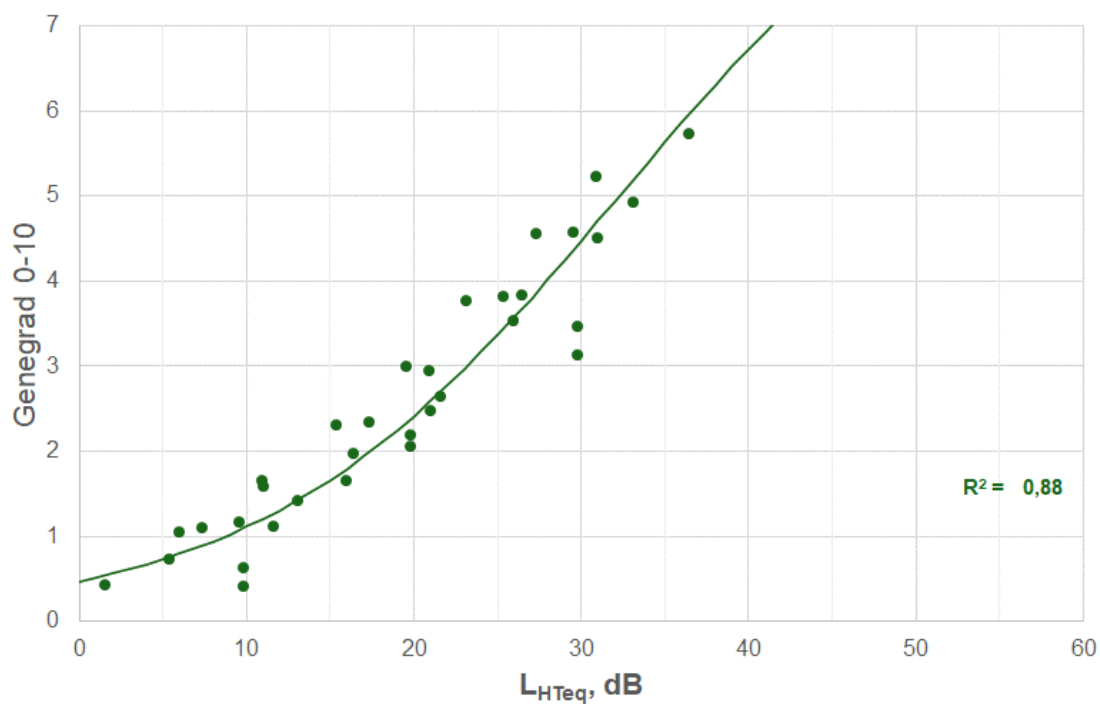
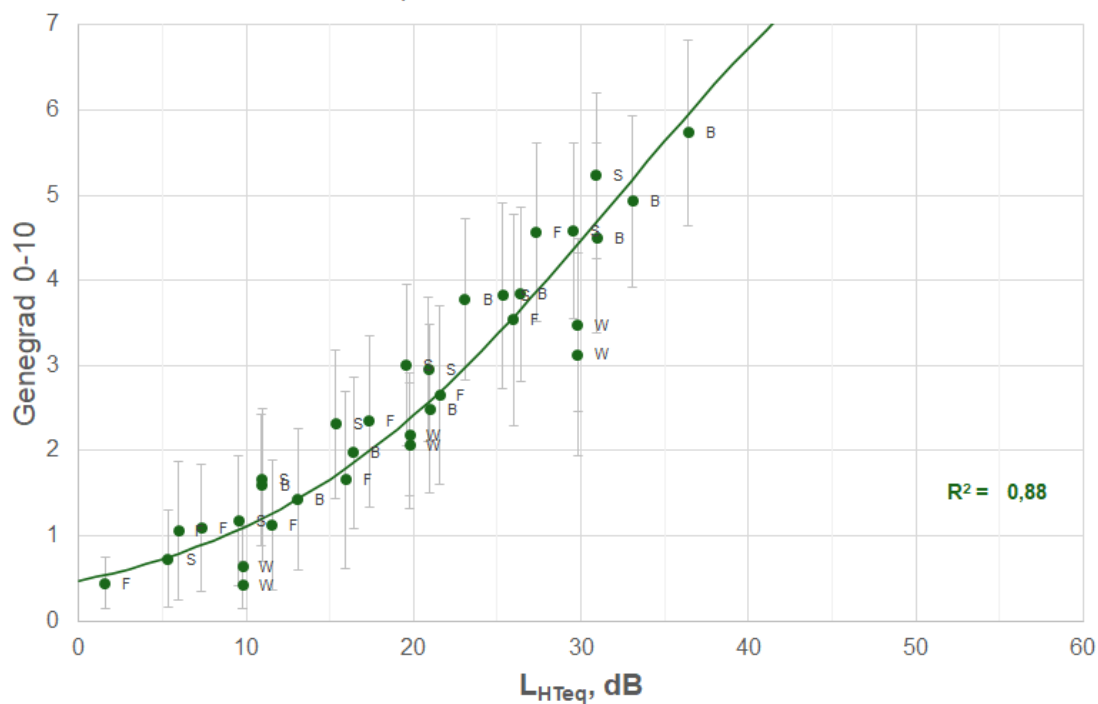
3.14.1 Dosis-responskurver for virksomhedsrelaterede støjtyper

På graferne bruges forkortede navne for lydkilderne:

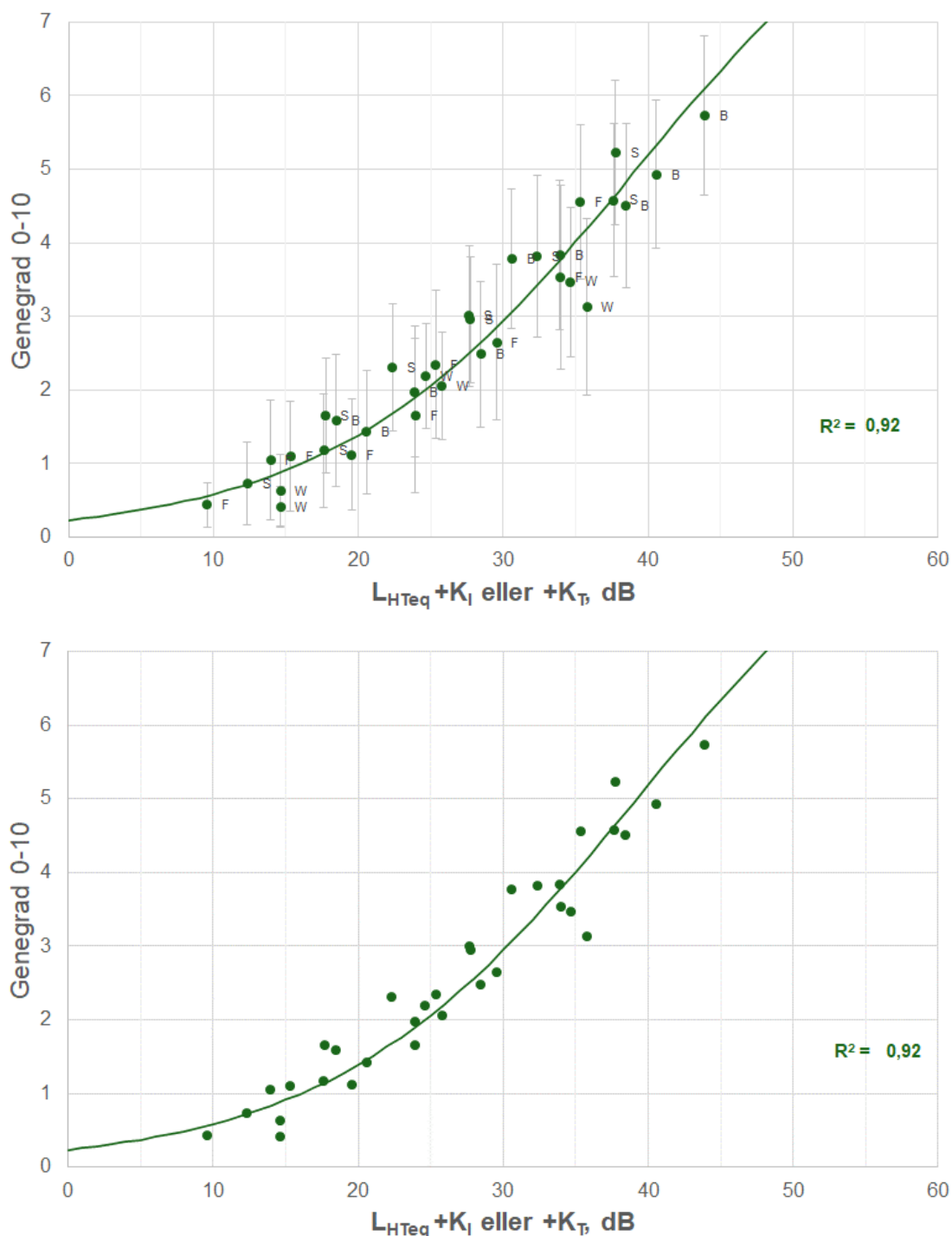
- B: Bager
- F: Fit (-ness)
- S: Trin (Steps)
- W: Varme (-værk)

Figur 13 viser sammenhængen mellem den høretærskelvægtede (se Bilag 4) L_{eq} -værdi (som betegnes L_{HTEq}), og gene. Det ses, at varmeværket ligger lavt i forhold til de øvrige kilder. Af Tabel 3 fremgår, at varmeværket får det mindste tillæg, hvis der gives et graderet tillæg for enten impulser eller toner, men ikke begge dele.

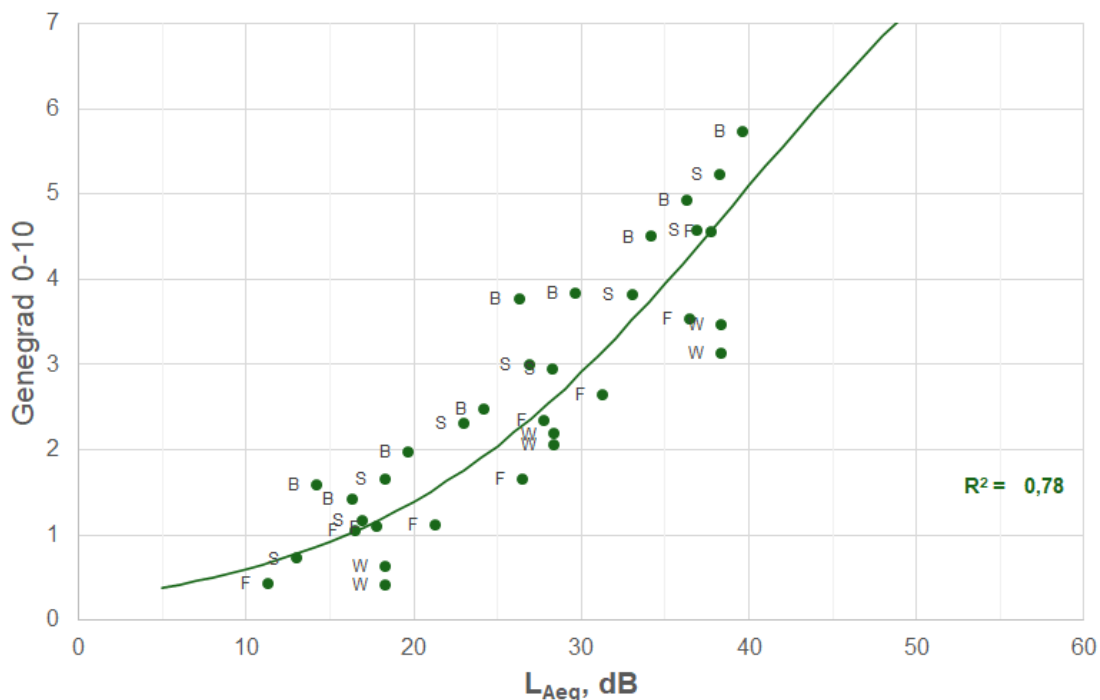
Figur 14 viser sammenhængen med L_{HTEq} med impuls eller tonetillæg (det af de to tillæg der er størst) og gene. Det ses, at med denne indikator er varmeværket faldet bedre på plads blandt de andre støjtyper. Andelen af forklaret varians er da også steget fra 0,88 til 0,92.



Figur 13 $L_{H_{Teq}}$ og genegrad med 95 % konfidensintervaller (øverst). Bogstavbetegnelserne for lydkilder er forklaret først i afsnittet. Nederste kurve: Samme data uden konfidensintervaller og bogstaver. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,093$ og $f = 32,3$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 9 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



Figur 14 $L_{H_{Teq}}$ med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) og genegrad med 95 % konfidensintervaller (øverst). Bogstavbetegnelserne for lydkilder er forklaret først i afsnittet. Nederste kurve: Samme data uden konfidensintervaller og bogstaver. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,093$ og $f = 32,3$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 16 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).

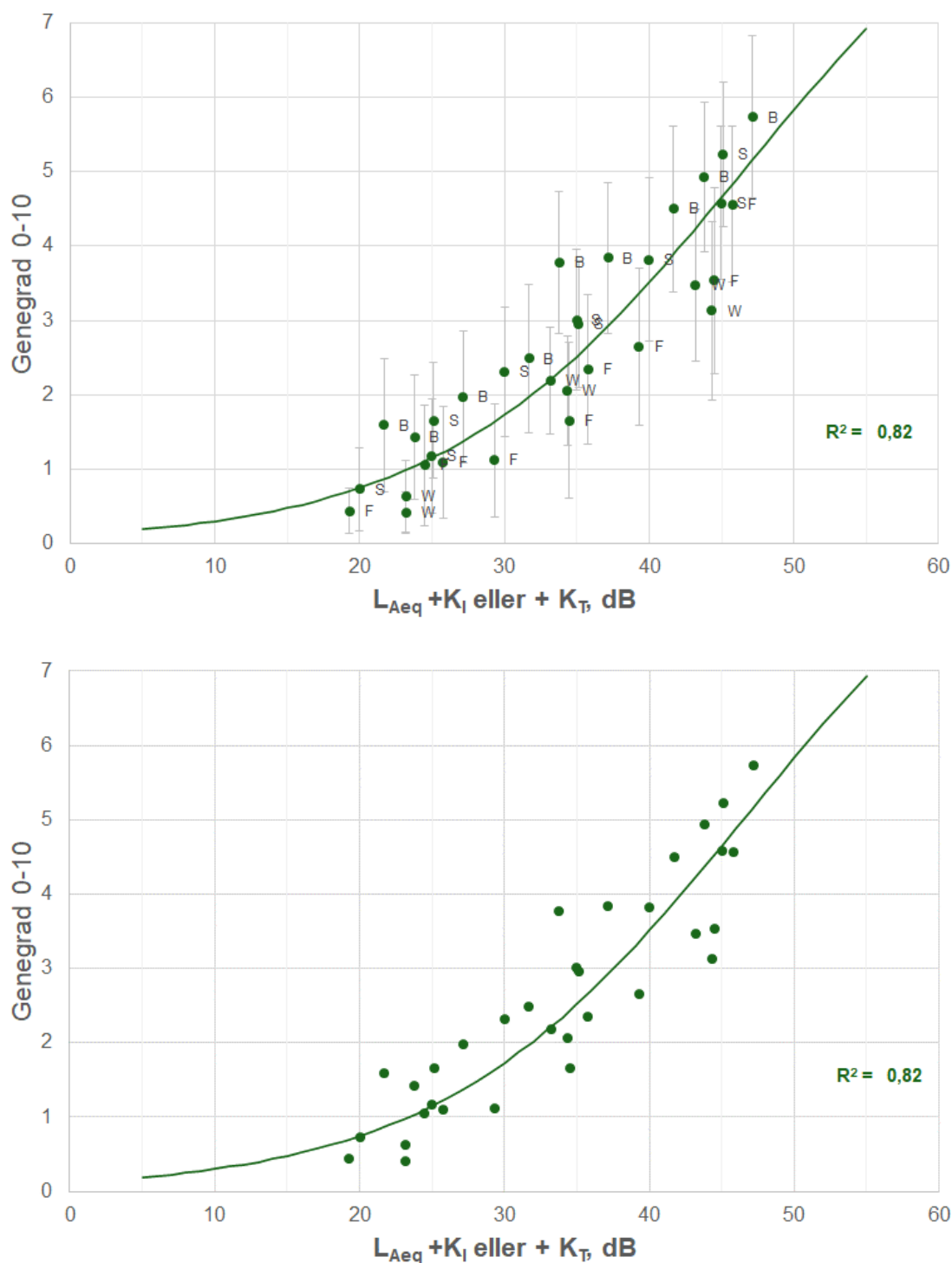


Figur 15 L_{Aeq} og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,093$ og $f = 39,6$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 16 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).

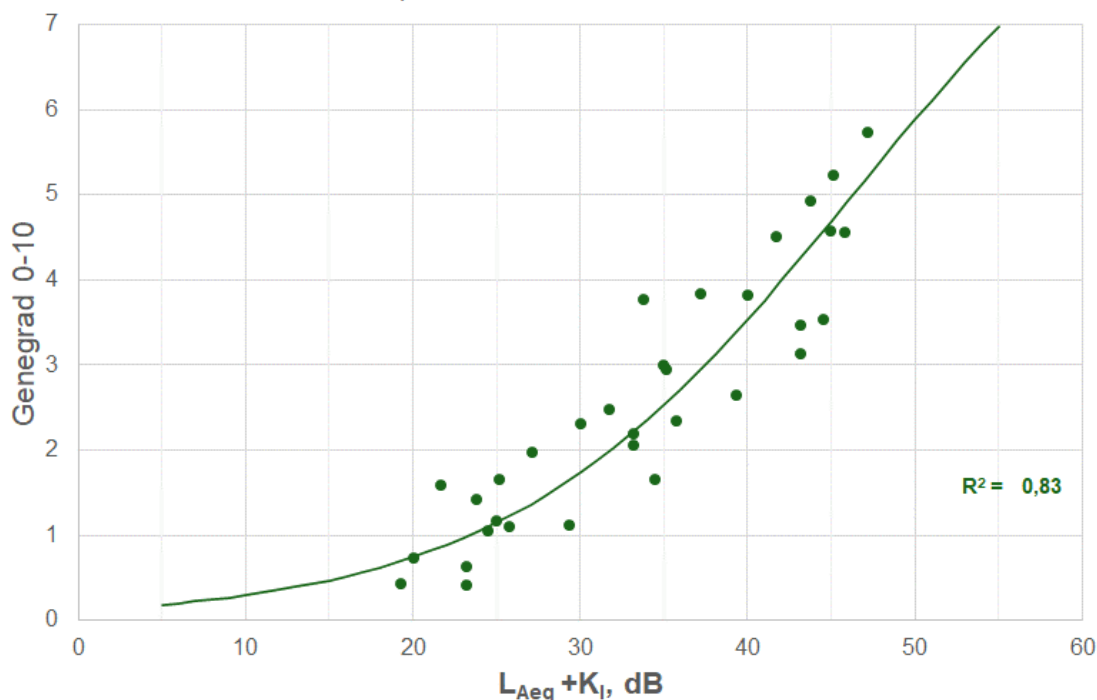
På Figur 15 ses sammenhængen mellem gene og L_{Aeq} . Der er en fordeling af støjklenderne, der ligner den ved L_{HTEq} , og derfor forsøges også her med impuls- eller tonetillæg, se Figur 16. Det ses, at punkterne spreder mindre omkring kurven end for L_{Aeq} alene, og R^2 stiger fra 0,78 til 0,82.

Figur 17 viser det tilsvarende resultat alene med graderet impulstillæg. Det viser samme billede som Figur 16, hvor også tonetillægget er medtaget, og andelen af forklaret varians er næsten også den samme.

Da det fra mange andre sammenhænge vides, at både impulser og toner giver forøget gene, vil det være hensigtsmæssigt at inkludere tonetillægget, selv om grundlaget i nærværende lytteforsøg er spinkelt.



Figur 16 L_{Aeq} med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) og genegrad med 95 % konfidensintervaller (øverst). Bogstavbetegnelserne for lydkilder er forklaret først i afsnittet. Nederst: Samme data uden konfidensintervaller og bogstaver. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,095$ og $f = 46,5$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 23 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



Figur 17 L_{Aeq} med gradueret impulstillæg (4,9 dB) og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,096$ og $f = 46,3$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 23 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).

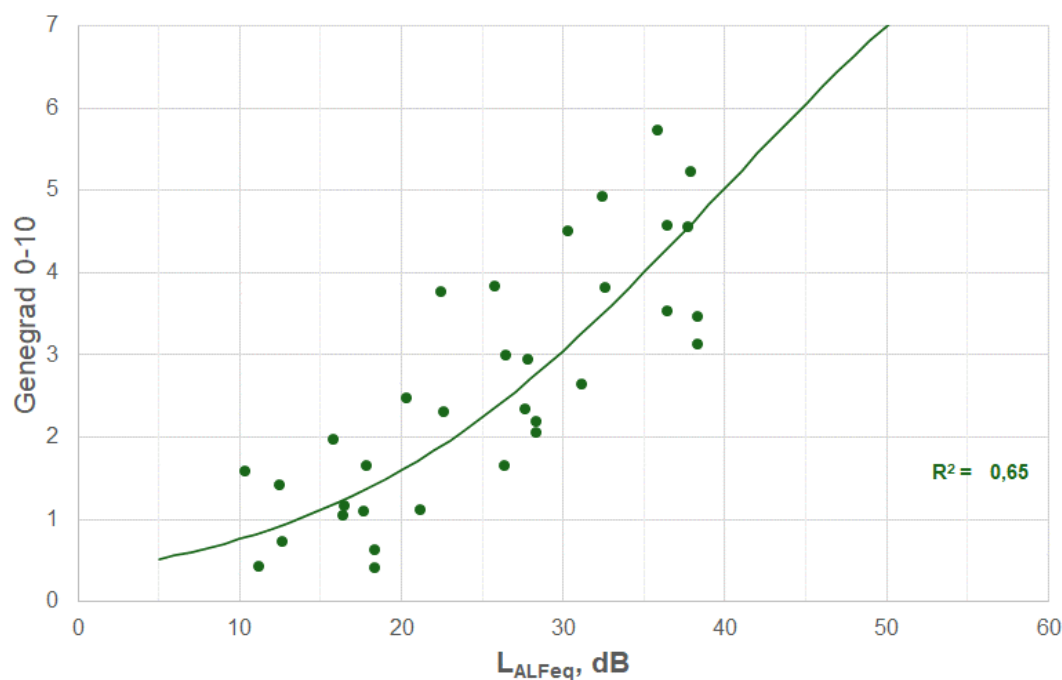
Figur 18 viser sammenhængen mellem L_{ALFeq} og genegrad. Det ses, at sammenhængen er en del ringere end for de rent A-vægtede indikatorer.

Af Figur 19 ses, at det kun bliver marginalt bedre, hvis man adderer impuls- eller tonetillæg (det, der er størst) til de enkelte støjkloder, og at der stadig er en tydelig systematisk fordeling af kloderne med bageren øverst og fitness samt varmeværk nederst.

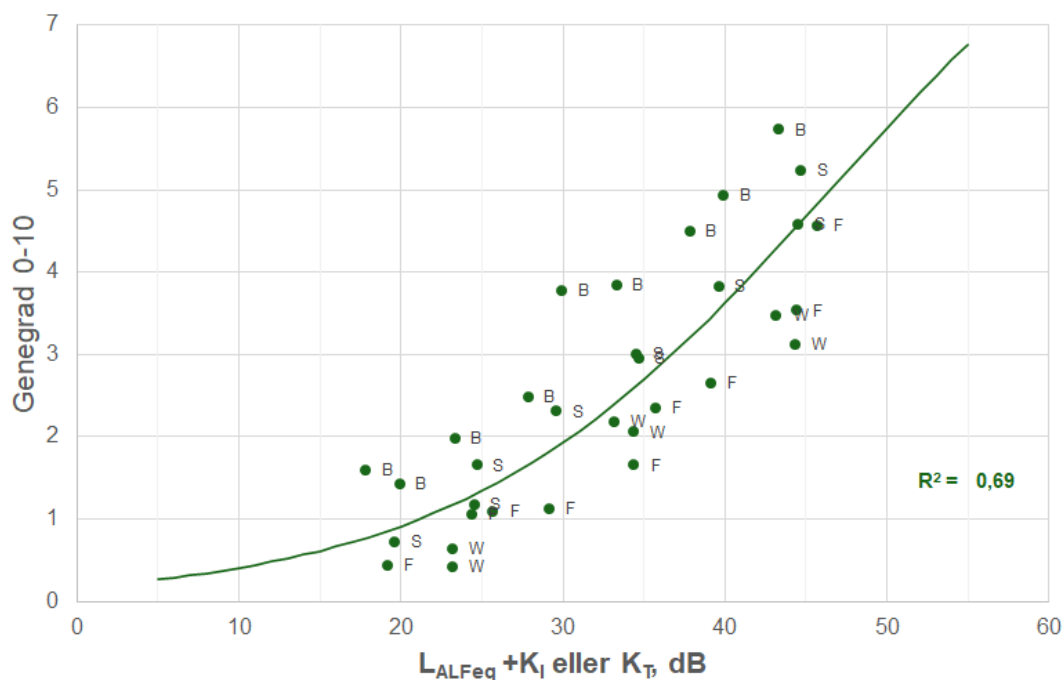
Sammenlignes med Figur 20, som viser L_{ALFeq} med impulstillæg, ses stort set samme resultat, om korrektionen for toner er medtaget (Figur 20). Det skyldes her, at der kun er en stimulus (varmeværket), hvor det betyder en lille forskel.

Endelig viser Figur 21 sammenhængen mellem L_{ALFeq} og gene, hvis der gives et 5 dB impuls- eller tonetillæg. Ved sammenligning med Figur 19 ses, at andelen af forklaret varians falder, når man går fra graduerede impuls- og tonetillæg til faste tillæg på 5 dB.

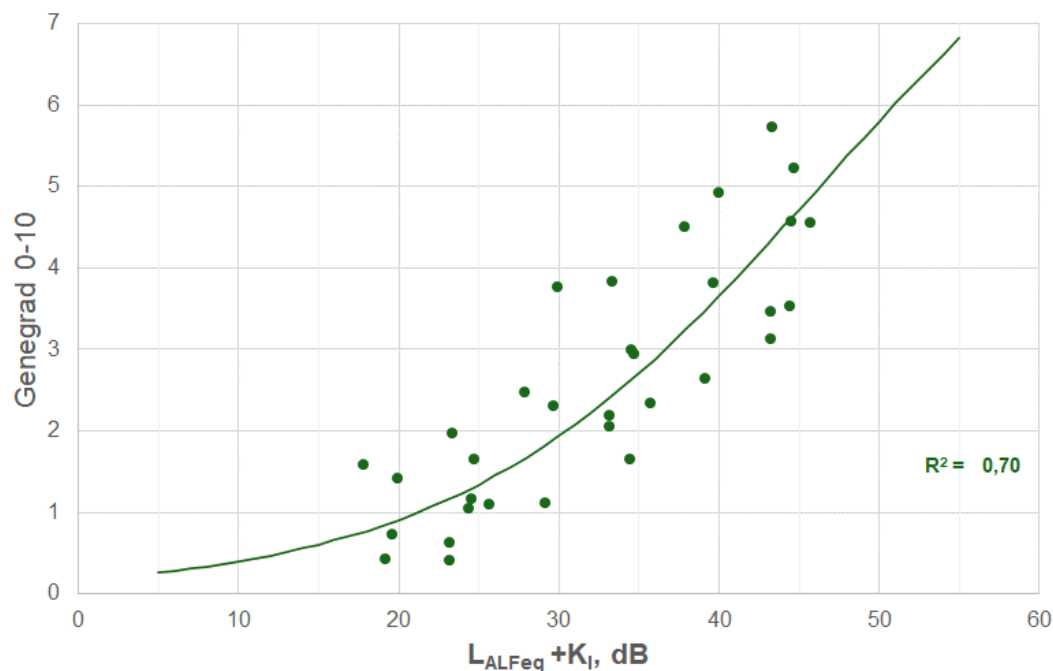
Konklusionerne fra Figur 22 og Figur 23 er indført i Tabel 7.



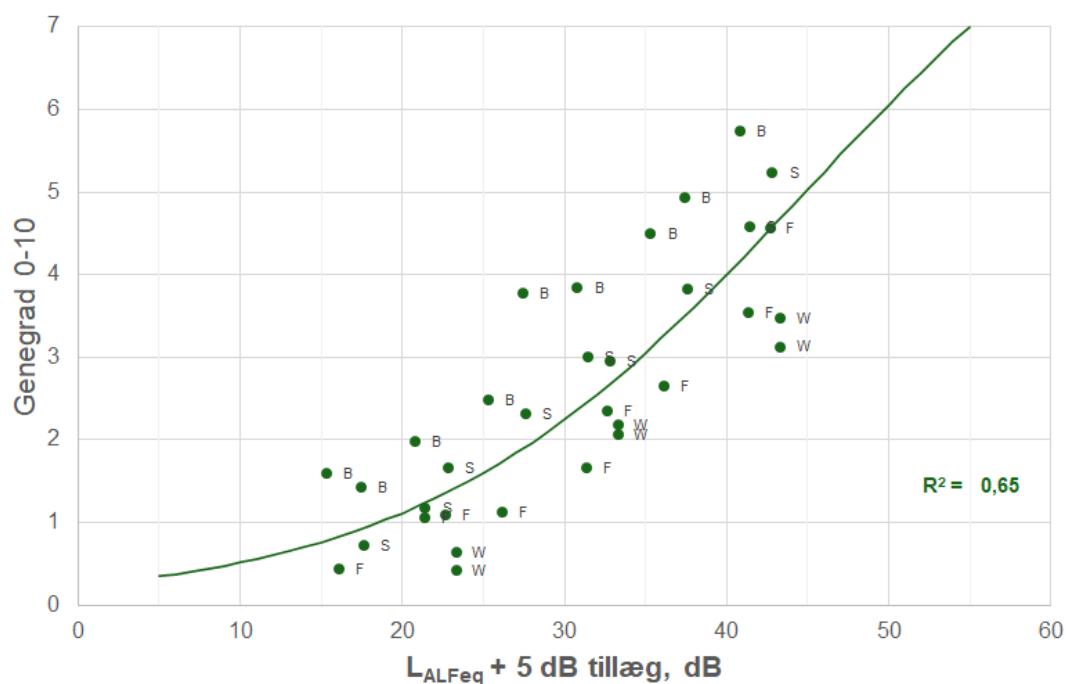
Figur 18 L_{ALFeq} og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,084$ og $f = 39,9$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 14 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



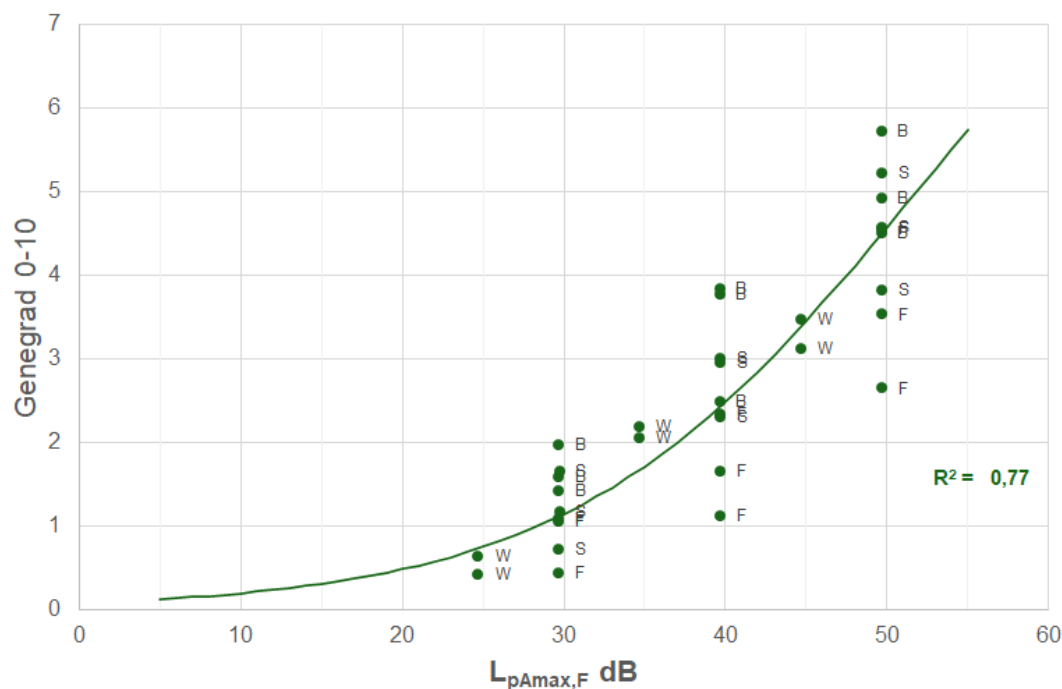
Figur 19 L_{ALFeq} med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,087$ og $f = 46,5$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 21 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



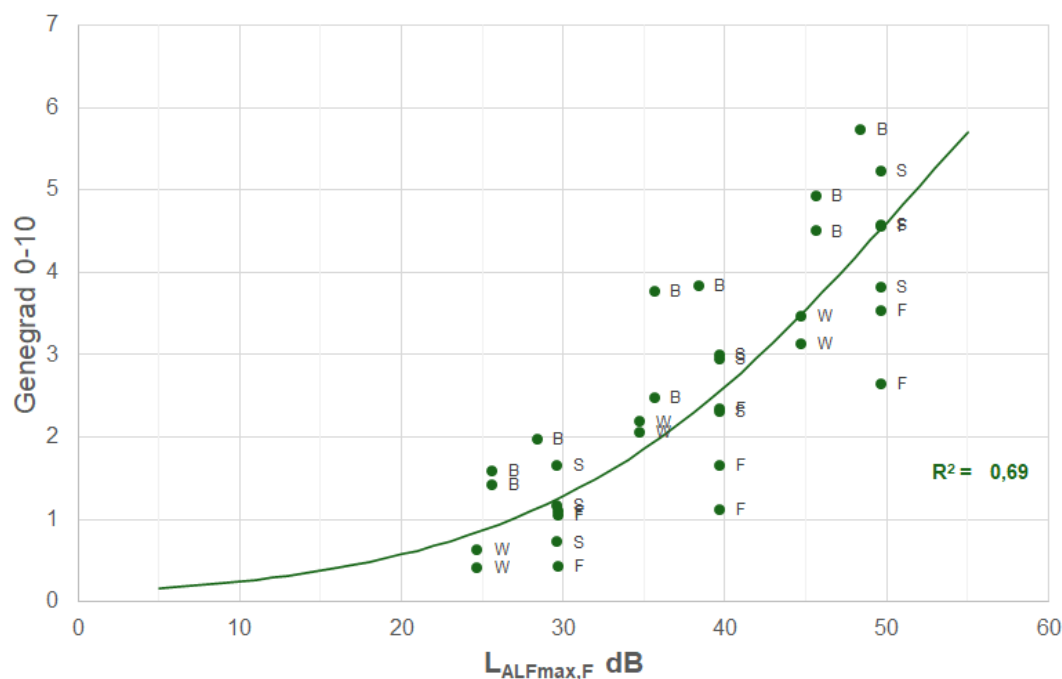
Figur 20 L_{ALFeq} med gradueret impulstillæg og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,088$ og $f = 46,3$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 21 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



Figur 21 L_{ALFeq} med 5 dB impuls- og/eller tonetillæg og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,084$ og $f = 44,9$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 19 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



Figur 22 $L_{Amax,F}$ og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,094$ og $f = 51,8$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 28 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).



Figur 23 $L_{ALFmax,F}$ og genegrad. Dosis-responskurven kan beskrives ved parametrene $S = 0,088$ og $f = 51,8$ dB, jf. Bilag 13. Andelen af forklaret varians for kurven er vist i nederste højre hjørne. Ved en genegrad på 1 er niveauet 27 dB. Ubestemtheden på kurven er $\pm 0,15$ genegrad (svarende til ca. ± 2 dB).

3.14.2 Mulige indikatorer og støjgrænser for virksamhedsrelaterede støjtyper

Tabel 7 sammenfatter resultaterne fra afsnit 3.14.1.

	$L_{H\text{Teq}}$	$L_{H\text{Teq}} + K_I$ eller $+K_T$	$L_{A\text{eq}}$	$L_{A\text{eq}} + K_I$ eller $+K_T$	$L_{A\text{eq}} + K_I$	$L_{AL\text{Feq}}$	$L_{AL\text{Feq}} + K_I$ eller $+K_T$	$L_{AL\text{Feq}} + K_I$	$L_{AL\text{Feq}} + 5 \text{ dB}$ tillæg	$L_{pA\text{max},F}$	$L_{ALF\text{max},F}$
R^2	0,88	0,92	0,78	0,82	0,83	0,65	0,69	0,70	0,65	0,77	0,69
Niveau, ved genegrad 1	9 dB	16 dB	16 dB	23 dB	23 dB	14 dB	21 dB	21 dB	19 dB	28 dB	27 dB

Tabel 7 Lydtryk niveauer for forskellige indikatorer ved en genegrad på 1 for virksamhedsrelaterede støjtyper. Resultaterne relaterer sig til en aftensituation. Ubestemtheden på niveauerne er +/- 2-3 dB.

Det ses, at de høretærskelvægtede indikatorer har langt den højeste andel af forklaret varians, dvs. det er de indikatorer, der bedst forklarer genen. Speciel $L_{H\text{Teq}}$ med impuls- eller tonetillæg (det, der er størst) har opnået en meget høj andel af forklaret varians i denne lyttetest.

$L_{A\text{eq}}$ med impuls- eller tonetillæg (det, der er størst) har også opnået en stor andel af forklaret varians. Lytte-testen indikerer, at en støjgrænse for de støjtyper, der var med i testen på omkring 23 dB kan overvejes.

Måske vil det være hensigtsmæssigt at supplere med en grænse for maksimalværdien $L_{A\text{max},F}$ på omkring 28 dB.

De A-vægtede lavfrekvensbaserede indikatorer har ikke opnået så gode resultater som de rent A-vægtede indikatorer.

$L_{AL\text{Feq}}$ med impuls- eller tonetillæg (det, der er størst) er måske den mest relevante af de lavfrekvente indikatorer med en acceptabel andel af forklaret varians på 0,7. Resultaterne indikerer, at man kan overveje en støjgrænse på omkring 21 dB.

$L_{AL\text{Feq}}$ med impulstillæg (den p.t. anvendte indikator) giver samme resultater.

Måske vil det være hensigtsmæssigt at supplere med en grænse for maksimalværdien $L_{ALF\text{max},F}$ på omkring 27 dB.

3.14.3 Sammenligning med nuværende danske støjgrænser

	Støjgrænser i dB			
	L_r	$L_{pAmax,F}$	L_{ALFeq}	$L_{ALFmax,F}$
Dag	30	-	25 (20)	-
Aften	30	-	20 (15)	-
Nat	25	40	20 (15)	-

Tabel 8 Grænser for støj fra virksomheder i dB.
 De anførte grænser gælder i beboelsesrum for bygningstransmitteret støj målt indendørs for støjbelastningen L_r , dvs. L_{Aeq} med evt. 5 dB impuls- eller tonetillæg for den mest støjende time om aftenen og mest støjende halve time om natten. Den lavfrekvente støj måles over 10 minutter, når støjen er kraftigst. De i parentes anførte 5 dB lavere grænser for de lavfrekvente niveauer gælder, hvis der er impulser i støjen.

Tabel 8 viser grænserne for bygningstransmitteret virksomhedsstøj i beboelsesrum.

Tabel 7 viser, at næst efter de høretærskelbaserede indikatorer er L_{Aeq} med gradueret impuls- eller tonetillæg (det der er størst) den indikator, der bedst passer med genen. Testen indikerer en grænse på omkring " L_r " = 23 dB, evt. suppleret med en grænse for maksimalværdien $L_{Amax,F}$ på omkring 28 dB.

Inden for ubestemtheden kunne de ovenfor nævnte grænser også være L_{Aeq} = 25 dB og $L_{Amax,F}$ = 30 dB. Dvs. at lyttetesten indikerer en grænse, der er 5 dB mere restriktiv for L_r og 10 dB for maksimalværdien.

Den nuværende L_r er L_{Aeq} med et fast 5 dB-tillæg for evt. tydeligt hørbare toner eller impulser. Alle de virksomhedsrelaterede stimuli i denne test får et 5 dB-tillæg enten på grund af toner eller impulser, jf. Tabel 3. Det gælder også de nominelle niveauer, som ikke er vist i tabellen. Dvs. at andelen af forklaret varians er den samme som for L_{Aeq} , se Tabel 7, altså lidt ringere end for L_{Aeq} med et gradueret tillæg. For L_r med et evt. 5 dB-tillæg vil grænsen for genegrad på 1 være 21 dB. Det er 9 dB skærpet i forhold til den nuværende grænseværdi for aften.

De A-vægtede lavfrekvensbaserede indikatorer opnåede ikke så gode resultater som de rent A-vægtede indikatorer. Lyttetesten indikerer, at for L_{ALFeq} med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) kan man overveje en støjgrænse på omkring 21 dB, hvilket svarer ret godt til den nuværende grænse på 20 dB for L_{ALFeq} med impulstillæg.

For at komme problematikken med de kortvarige lavfrekvente lyde til livs, vil det måske vil det være hensigtsmæssigt at supplere med en grænse for maksimalværdien $L_{ALFmax,F}$ (på omkring 27 dB). Men da det lavfrekvente lydtrykniveau efter Orientering nr. 9, 1997, jf. [2], skal beregnes ud fra en 1/3-oktavanalyse, kan man ikke umiddelbart måle maksimalværdier.

4 Sammenligning med støjgrænser fra andre lande

4.1 Grænser for tog i tunneler

Ifølge [1] er der flere svenske grænser. Trafikforvaltningsmål for strukturtransmitteret støj anfører at $L_{pAmax,SLOW} = 30$ dB som udgangspunkt ikke må overskrides i beboelsesrum. Ved nye anlæg skal det ved støj-beregninger tilstræbes at ligge 3-5 dB(A) under grænseværdien, dvs $L_{pAmax,SLOW} = 25-27$ dB. Målingerne på stimuli benyttet ved lyttetesten viser, at maksimalværdierne med tidsvægtning F ligger 2-3 dB højere end med tidsvægtning S. Dvs. hvis der adderes 2 dB fås A-vægtede maksimalværdier på 27-29 dB med tidsvægtning F. Trafikverket angiver en grænse om natten på 32 dB.

De tilsvarende norske grænser er $L_{pAmax,FAST} = 27-32$ dB for boliger i lydklasserne B-C.

I Storbritannien skal der under planlægningen man så vidt muligt imødekomme et krav på $L_{pAmax,FAST} = 35$ dB (3-5 dB margin tilføjes i planlægningsfasen), men støjen fra nedgravede eller underjordiske jernbaner anses ikke for at være betydelig, hvis ikke støjen i en bolig overstiger $L_{pAmax,FAST} = 40$ dB. Noget tyder dog på at det ikke gælder alle steder, idet en lokal støjgrænse for London Borough of Richmond upon Thames angiver en grænse på $L_{pAmax,SLOW} = 35$ dB.

Australien (State of New South Wales): Her mener man, at strukturtransmitteret støj ved eller under 30 dB(A) L_{Amax} ikke vil resultere i klager, selv når støjkilden er ny og forekommer i områder med lave støjniveauer i omgivelserne.

WHO (1995 udgave) anbefaler grænseværdier for soveværelser på $L_{Amax,F} = 45$ dB.

Lyttetesten indikerer en grænse for maksimalværdien $L_{Amax,F}$ på 30 dB for strukturtransmitteret støj fra tog (inklusive metro) i tunneler. Dette er på linje med grænserne i Sverige og Norge. Andre lande har lempeligere grænser.

For tog i tunneler indikerer lyttetesten en grænseværdi på $L_{Aeq} = 20$ dB. Der er ikke fundet specifikke grænseværdier for L_{Aeq} for tog i tunneler i andre lande.

4.2 Grænser for virksomhedsrelateret støj

Ifølge [1] er grænserne i Tyskland indendørs (ikke specifikke for kortvarige, lavfrekvente hændelser), for L_r fra industri og kommercielle kilder:

	Grænseværdi	Referencetidsrum
Dag (kl. 06-22):	35 dB(A)	16 timer
Nat (kl. 22-06):	25 dB(A)	1 time

Kortvarige maksimalværdier må ikke overskride ovennævnte med mere end 10 dB(A).

Ved bygningstransmitteret støj i Danmark er grænsen for L_r (indendørs) 30 dB om aftenen og 25 dB om natten, hvilket er på linje med ovenstående. Hvis der var en tysk grænse for aften, ville den logisk set ligge på $L_r = 30$ dB med en maksimalværdi på 40 dB.

I Norge er der for udendørs støjklender (ikke tunneler mv.) for klasse C-boliger grænseværdier for støjens ækvivalentniveau på 30 dB om natten (dette svarer til den danske grænse for aften). For maksimalniveauer i soverum om natten er grænsen på $L_{pAmax,FAST} = 45$ dB (hvis ti hændelser eller flere overskrider denne). I Danmark er de tilsvarende grænser om natten 5 dB mere restriktiv. Hvis der er tale om trafikstøj er den omregnede grænseværdi omkring 23 dB om natten for nye boliger i lydklasse C (se afsnit 3.10.3).

WHO anbefaler grænseværdier indendørs i boliger på $L_{Aeq} = 30$ dB for kontinuert støj og $L_{pAmax,FAST} = 45$ dB.

Lyttetesten indikerer en indendørs grænse for L_r (L_{Aeq} med gradueret impuls- eller tonetillæg) på 23 dB (evt. 25 dB) om aftenen. Dertil kommer en indikation af en grænse for det lavfrekvente område L_{ALFeq} med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) på omkring 21 dB, hvilket ret godt svarer til den nuværende danske grænse på 20 dB for med impulstillæg.

Lyttetestens indikerede altså en grænse for L_r om aftenen som er omkring 5 dB mere restriktiv end en tilsvarende tysk grænse (gennemsnit af dag og nat). WHO's grænse er uden tillæg for impulser eller toner. Hvis der blev givet tillæg for disse karakteristika, ville WHO's grænse nogenlunde svare til lyttetestens indikation.

Lyttetesten indikerer en grænse for maksimalværdien $L_{Amax,F}$ på omkring 28 dB (evt. 30 dB) om aftenen for virksomhedsstøj hvor den tyske grænse ville være omkring 40 dB.

Det konkluderes at lyttetestens indikationer for virksomhedsstøj er 0-15 dB skrapere end de refererede udenlandske grænser. De nugældende danske grænser er 5-7 dB skrapere end de udenlandske.

5 Sammenfatning og konklusion

5.1 Generelle forhold

Som nævnt i afsnit 3.10 anses lyttetestens stærke side at være, at den under samme betingelser kan sammenligne, hvor godt forskellige indikatorer passer med den oplevede gene. Støjgene er i høj grad påvirket af ikke-akustiske faktorer. Der er gjort forskellige sammenligninger og antagelser, som indikerer, at en genegrad på 1 i lyttetesten er et rimeligt udgangspunkt for fastsættelse af en støjgrænse. Det vides dog ikke om denne grænse er repræsentativ for personer, der i deres hjem er udsat for tilsvarende støj og resultaterne skal også tages med det forbehold, at testen kun har omfattet et begrænset antal typer af støjkilder.

Lyttetestens resultater relaterer sig til en situation, hvor man sidder og slapper af hjemme om aftenen.

En genegrad på 1 i lyttetesten svarer nogenlunde til den støjgrænse, der er gældende for trafikstøj i nye boliger i den mellemste lydklasse, B. En genegrad på 1,8 svarer nogenlunde til lydklasse C. Ved denne genegrad er støjen et stykke over høretærsklen. Derfor vurderes denne genegrad at ligge højere end en beskyttelsesgrad svarende til antagelsen om, at støjgenen for lavfrekvent støj vil være væsentlig allerede lidt over høretærsklen.

Praktiske og politiske hensyn kan også betyde, at en anden genegrad end 1 findes mere hensigtsmæssig som det endelige valg for at fastsætte grænseværdier. Det er Miljøstyrelsens område at overveje dette.

5.2 Referencetidsrum

Lyttetesten giver ikke grundlag for at anbefale andre integrationstider end det referencetidsrum på 10 minutter, når støjen er kraftigst, som anbefales i Orientering nr. 9, 1997, jf. [2]. For ikke at komme for langt væk fra lyttetestens præmisser, vil det give mening at fastholde et referencetidsrum på 10 minutter.

5.3 Anbefaling for indikatorer og støjgrænser for tog i tunneler

Lyttetesten viser, at de A-vægtede indikatorer er bedst egnede. Lyttetestens resultater indikerer, at en grænseværdi på $L_{Aeq} = 20$ dB kombineret med en grænse på $L_{Amax,F} = 30$ dB bør overvejes for strukturtransmitteret støj fra tog (inklusive metro) i tunneler. Grænsen for L_{Aeq} svarer til bygningsreglementets klasse A-B for nye boliger. En maksimalværdi på 30 dB er på linje med grænserne i Sverige og Norge. Som det er diskuteret i Bilag 9, bør det overvejes at bruge et af de statistiske niveauer $L_{A01,F}$ eller $L_{A05,F}$ (målt over et antal togpassager), i stedet for maksimalværdier, da der er måletekniske fordele ved det.

For de stimuli, der indgik i lyttetesten, var niveauet af $L_{A05,F}$ i gennemsnit 1 dB lavere end $L_{A01,F}$, som i gennemsnit var 0,2 dB lavere end $L_{Amax,F}$.

Som nævnt vides det ikke, om de indikerede støjgrænser er repræsentative for den gene, som personer, der er udsat for støjen deres hjem, oplever. For at finde en dosis-responskurve for en given støjkilde, udfører man sædvanligvis socioakustiske undersøgelser efter ISO 15666, jf. [14], dvs. undersøgelser hvor man sammenholder spørgeskemaundersøgelser hos personer i deres hjem med den støjbelastning, de er udsat for. Da metro og andre tog i tunneler udgør forholdsvis ensartede støjklilder, ville det give god mening at iværksætte en sådan undersøgelse også set i lyset af, at første fase af projektet viste, at sådanne undersøgelser ikke findes.

5.4 Anbefalede indikatorer og støjgrænser for virksomhedsrelaterede støjtyper

For de virksomhedsrelaterede støjtyper er den høretærskelvægtede indikator, $L_{H\text{Teq}}$ med impuls- eller tonetillæg (det der er størst), den der i lyttetesten gav klart den bedste sammenhæng med genen. Uanset det gode resultat, må grundlaget dog anses for at være for spinkelt til at ændre den nuværende målepraksis, men det vil være relevant at se nærmere på denne indikator.

L_{Aeq} med gradueret impuls- eller tonetillæg (det der er størst) er den indikator, " L_r ", der næstbedst passer med genen. Ud fra en genegrad på 1 giver testen en grænse på omkring " L_r " = 23 dB, evt. suppleret med en grænse for maksimalværdien $L_{Amax,F}$ på omkring 28 dB.

Inden for ubestemtheden kunne de ovenfor nævnte grænser også være " L_r " = 25 dB og $L_{Amax,F}$ = 30 dB. Dvs. at lyttetesten indikerer en grænse, der er 5 dB mere restriktiv for L_r og 10 dB mere restriktiv for maksimalværdien (om natten) end de nuværende grænser.

Lyttetesten indikerer en grænse på 21 dB for den nuværende definition af L_r med evt. fast 5 dB tillæg for toner eller impulser. Det faste tillæg viste en ringere forklaring af genen end de graduerede tillæg.

For specielt at imødekomme problemet med de kortvarige hændelser vil det være hensigtsmæssigt at supplere med en grænse for maksimalværdien $L_{Amax,F}$, som efter lyttetesten skulle være omkring 30 dB. Som nævnt i Bilag 9 vil det dog af måltekniske årsager være hensigtsmæssigt at definere denne grænse i termer af $L_{A01,F}$ eller $L_{A05,F}$ i stedet.

Lyttetesten peger på en skærpelse, men den er måske et utilstrækkeligt grundlag til at ændre grænseværdier på. Resultaterne viser dog, at det vil være en forbedring at benytte graduerede tillæg suppleret med en grænse for maksimalværdi, også om aftenen.

De A-vægtede lavfrekvensbaserede indikatorer opnåede ikke så gode resultater som de rent A-vægtede indikatorer. Lyttetesten indikerer, at for L_{ALFeq} med impuls- eller tonetillæg (det der er størst) kan man overveje en støjgrænse på omkring 21 dB, hvilket er i god overensstemmelse med den nuværende grænse på 20 dB for L_{ALFeq} med impulstillæg.

Det kunne måske også være hensigtsmæssigt at supplere med en grænse for maksimalværdien $L_{ALFmax,F}$ (på omkring 27 dB). Men da det lavfrekvente lydtrykkniveau efter Orientering nr. 9, 1997, jf. [2], skal beregnes ud fra en 1/3-oktavanalyse, kan man ikke umiddelbart måle lavfrekvente maksimalværdier.

Støjgrænserne for den lavfrekvente støj indendørs gælder kun for bygningstransmitteret støj. Grænserne for virksomhedsstøj indendørs kan sammenlignes med de udendørs støjgrænser fx i boligområder med åben og lav boligbebyggelse om aftenen på L_r = 40 dB (45 dB i etageboligområder) og $L_{Amax,F}$ om natten på 50 dB hhv. 55 dB. Det ses, at de indendørs støjgrænser for de A-vægtede niveauer er 10-15 dB lavere end udenørsstøjgrænserne.

Af vindmøllebekendtgørelsen, jf. [16], fremgår, at lydisolationen er et sted mellem 5 dB og 21 dB alt efter frekvens og boligtype, så de 10-15 dB's forskel mellem støjgrænserne ude og inde er af en rimelig størrelse. Hvis støjen stammer fra en virksomhed uden for boligen og støjgrænserne er fastsat udendørs, kan de indendørs lavfrekvente niveauer dog blive +/- 10 dB forskellig fra de indendørs fastsatte støjgrænser alt efter lydkildens spektrum uden for husets facade. Det kunne derfor være hensigtsmæssigt at overveje indendørs støjgrænser for virksomhedsstøj for støj, der ikke alene er bygningstransmitteret, hvor det indendørs niveau beregnes efter samme principper som for vindmøller.

Samlet konkluderes, at det anbefales at bibeholde en støjgrænse for L_{ALFeq} på 20 dB. Der bør fortsat være en grænse for L_r (som måske skal være mere restriktiv end den nuværende). Det vil være en forbedring at benytte graduerede tillæg ved beregning af L_r . Denne kan med fordel suppleres med en grænse for maksimalværdier (evt. formuleret som $L_{A01,F}$ eller $L_{A05,F}$) både om aftenen og om natten for at komme problematikken omkring gener fra kortvarige lyde til livs. Endelig kan det være relevant at lade de indendørs støjgrænser gælde generelt og ikke kun for bygningstransmitteret støj.

5.5 Sammenfatning

For at give et samlet overblik er ovenstående konklusioner samlet i Tabel 9 og sammenlignet med de nuværende grænseværdier.

	L_r, dB	L_{Aeq}, dB	$L_{Amax,F}$, dB	L_{ALFeq}, dB	Reference- tidsrum, minutter	Vejledning
Nuværende, trafikstøj	-	23	-	-	-	DS 490:2018, [13]
Lyttetest, tog i tunneler	-	20	30	-	10	
Nuværende, Virksomheder	30	-	-	-	60	Vejl. 5, 1984, [7]
Nuværende, Virksomheder, LF	-	-	-	20/15	10	Or. 9, 1997, [2]
Lyttetest, Virksomheder	23 (25)		28 (30)	21 (20)	-	

Tabel 9 Overblik over nuværende grænseværdier for aftenperioden og de grænser, som lyttetesten indikerer. Det nuværende L_r betegner L_{Aeq} med et 5 dB tillæg for impulser eller toner. Lyttetesten anbefaler L_{Aeq} med et graderet tillæg for impulser eller toner (det der er størst). Det nuværende krav til trafikstøj gælder for nye boliger i lydklasse B, jævnfør Tabel 6. Den anførte grænse for aften er skønnet ud fra et krav til L_{den} . Niveauerne i parentes kunne være grænseværdier indenfor ubestemtheden af lyttetesten. Den nuværende grænse for LF-støj er 15 dB hvis der er impulser i støjen. Betegnelser for indikatorerne er forklaret i Bilag 1.

Der er i tabellen anført en grænse for $L_{Amax,F}$. Dette kunne med fordel være en grænse for et af de statistiske niveauer $L_{A01,F}$ eller $L_{A05,F}$ i stedet. For de stimuli, der indgik i lyttetesten, var niveauet af $L_{A05,F}$ i gennemsnit 1 dB lavere end $L_{A01,F}$, som i gennemsnit var 0,2 dB lavere end $L_{Amax,F}$.

Der er gjort forskellige sammenligninger og antagelser, som indikerer, at en genegrad på 1 i lyttetesten er et rimeligt udgangspunkt for fastsættelse af en støjgrænse. Det vides dog ikke, om denne grænse er repræsentativ for personer, der i deres hjem er udsat for tilsvarende støj. Praktiske og politiske hensyn kan betyde, at en anden genegrad end 1 findes mere hensigtsmæssig som udgangspunkt for grænseværdier.

Set i relation med problemstillingen med de korte lavfrekvente lyde vil en supplerende med en grænse for maksimalværdi, også om aftenen, være en fordel. En supplerende grænse for maksimalværdier, der er 10 dB højere end for L_{Aeq} , giver en ekstra beskyttelse for støjhændelser, der varer mindre end 10 % af tiden. Tilsvarende giver en maksimalværdi, der er 5 dB højere end L_{Aeq} en ekstra beskyttelse for støjhændelser der varer mindre end en tredjedel af tiden.

Lyttetesten giver ikke et direkte grundlag for at anbefale andre referencetidsrum end de nuværende, men for ikke at komme for langt fra lyttetestens præmisser, kunne et referencetidsrum på 10 minutter overvejes.

Det foreslås at overveje indendørs støjgrænser også for virksomhedsstøj, der ikke alene er bygningstransmitteret. Hvis det ikke er bygningstransmitteret støj, kan støjen måles indendørs eller beregnes efter samme principper som for vindmøllestøj.

6 Referencer

- [1] M. Herlufsen, M. B. Hansen, and P. Finne, "Måle- og integrationstider for kortvarige lavfrekvente støjhændelser. Del 1: Litteraturstudie," 2021.
- [2] Miljøstyrelsen, "Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø". Orientering nr. 9/1997. 1997.
- [3] M. van den Berg et al., "DOSE-EFFECT RELATIONSHIPS FOR NIGHT TIME NOISE," 2004.
- [4] Holmestrand kommune, "Detalj- og reguleringsplan Holmestrand- Nykirke - Program for miljøoppfølging i anleggsperioden - Holmestrand Kommune," 2011.
- [5] T. H. Pedersen and R. S. H. Skov, "Guideline: Listening tests for measurement of the relative annoyance and the annoyance potential of noise," 2020.
- [6] ISO, DS/ISO/TS 15666:2021 "Akustik – Vurdering af støjgener ved hjælp af sociologiske og socio-akustiske undersøgelser Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys". 2021, p. 26.
- [7] Miljøstyrelsen, Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 5 1984 "Ekstern støj fra virksomheder". 1984, p. 60.
- [8] C. Backalarz, "Måling af støj fra Metro Cityringen i 16 boliger i 2020," 2020.
- [9] T. H. Pedersen, T. Gadegaard, K. Kjems, and U. Skov, "White paper on external warning sounds for electric cars - Recommendations and guidelines," 2011.
- [10] Miljøstyrelsen, "Måling af ekstern støj fra virksomheder, Vejledning nr. 6/1984." 1984.
- [11] T. H. Pedersen, "Forslag til revideret objektiv metode til bestemmelse af tydeligheden af toner i støj". Orientering nr. 31 fra Miljøstyrelsens REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER, no. 31. 2001, pp. 1–20.
- [12] DS/EN ISO 389-7:2019 "Akustik – Nulpunktsreference ved kalibrering af audiometre – Del 7: Høretærskler i frit felt og diffust felt".
- [13] DS 490:2018 "Lydklassifikation af boliger".
- [14] ISO, ISO/TS 15666:2003(E) "Akustik – Vurdering af støjgener ved hjælp af sociologiske og socio-akustiske undersøgelser Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys" Deskriptorer : 2003, p. 26.
- [15] T. H. Pedersen, "Low Frequency Noise From Large Wind Turbines - A procedure for evaluation of the audibility for low frequency sound and a literature study," 2008.
- [16] Miljø- og fødevareministeriet, "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller", vol. 2019, no. BEK 135. Denmark, 2019, pp. 1–24.
- [17] T. H. Pedersen, "Objektiv målemetode for impulsers tydelighed og forslag til bestemmelse af genetillæggets størrelse," Orientering fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for støjmålinger, no. 32, p. 12, 2001.
- [18] ISO, ISO/DPAS 1996-3: "Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 3: Objective method for the measurement of prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq} ", no. March. 2022, p. 18.
- [19] World Health Organization (WHO), "Environmental Noise Guidelines for the European Region". 2018, p. 160.
- [20] T. H. Pedersen, "The 'Genlyd' Noise Annoyance Model Dose-Response Relationships Modelled by Logistic Functions," 2007.

Bilag 1 Begreber

Der bruges forskellige notationer og forkortelser for målestørrelser (indikatorer) i forskellige publikationer og vejledninger. Som nævnt i afsnit 3.7 har vi i denne rapport konsekvent forsøgt at bruge følgende notation for støjindikatorer (lydtrykniveauer):

$L_{[frekvensvægtning][eq, max eller statistisk procentdel], [Tidsvægtning]}$.

$L_{Aeq,t}$: Middelværdien af støjen i tidsperioden t . Midlingstiden er typisk 10, 30 og 60 minutter. For nogle typer støj er midlingstiden 8 timer. Tidligere benyttede man også 24 timer som midlingstid for vej- og jernbanestøj. Det er underforstået, at målingerne/beregningerne af $L_{Aeq,t}$ foregår med tidsvægtningen F (FAST). L_{Aeq} dækker det hørbare område fra ca. 20-20.000 Hz. A'et betyder at støjen er A-vægtet (se afsnittet A-vægtning herunder). Eq betyder, at der er tale om en værdi, der er det ækvivalente konstante niveau af støjen i perioden t (hvilket svarer til middelværdien af støjen beregnet med udgangspunkt i lydenergien).

Tidsvægtning F (FAST) og S (SLOW): Disse begreber beskriver tidsvægtningen af lydtrykniveauet, dvs. hvor hurtigt lydtrykmåleren registrerer ændringer i lydtrykniveauet. F har en tidskonstant på 125 ms, nogenlunde svarende til en effektiv midlingstid på 250 millisekunder (og midlingstiden er den mest benyttede i forbindelse med miljøstøj, fordi den bedst svarer til hørelsens lydopfattelse af varierende støj og lydstyrke af korte lyde). Tidsvægtning S har en tidskonstant på 1 sek., som nogenlunde svarer til en effektiv midlingstid på 2 sekunder. Tidligere – og før lydtrykmålere løbende kunne måle og beregne L_{Aeq} – var S -indstillingen en måde at få nålen i viserinstrumentet til at bevæge sig med en hastighed, så lydtrykniveauet lettere kunne aflæses. S benyttes i dag i Danmark til at angive maksimalværdien for togstøj (L_{Amax}) og indenfor vibrationsmåling af helkropsvibrationer som fx gulves svingninger. Der findes andre tidsvægtninger, fx I , som bl.a. benyttes indenfor skudstøj, men F og S er de mest almindelige indenfor miljøstøj.

$L_{Amax,F}$ ($L_{pAmax,F}$, $L_{pAF,max}$, $L_{Amax,F}$, $L_{pA,max,FAST}$): Det maksimale A-vægtede støjniveau målt med tidsvægtning F . Denne værdi benyttes for bl.a. industristøj, hvor det normalt er en del af grænseværdierne/vilkårene, at $L_{pAmax,FAST}$ i natperioden i boligkvarterer ikke må overstige grænseværdien for L_{Aeq} med mere end 15 dB. Dette skal sikre naboerne mod at blive vækket af få kortvarige, støjende hændelser, der kun bidrager lidt til L_{Aeq} .

L_{ALFeq} (L_{pALF}): Det A-vægtede støjniveau i det lavfrekvente område 10-160 Hz. I praksis er der tale om L_{Aeq} (middelværdien) i det nævnte lavfrekvente område. Hvis der ikke er (særligt meget) lydenergi uden for dette område, er L_{Aeq} og $L_{pA,LF}$ omtrent ens. Dette er fx gældende for støjen fra nogle af metro-togene målt i boligerne over tunnelrørene. Andre har nogen lydenergi i området 200-300 Hz. I Danmark er referencetidsrummet for $L_{pA,LF}$ på 10 minutter.

$L_{Geq,t}$: Middelværdien af støjen i tidsperioden t (i dette tilfælde 1 minut) med G-vægtningsfilter. G-vægtningen er beregnet til måling af infralyd og er konstrueret på grundlag af eksperimentalt målte høretærskler. Filtret er forsynet med en skarp afskæring opad ved 20 Hz. G-vægtningsfiltret kan således ikke benyttes ved måling af lavfrekvent støj eller støj i det normale område.

L_r : r står for Rating (level), dvs. L_{Aeq} korigeret for eventuelle tillæg som følge af støjens karakter som f.eks. indhold af toner og/eller impulser.

$L_{A1\%}$ ($L_{A01,F}$): Det A-vægtede støjniveau L_{pA} med tidsvægtning F , der er overskredet i 1 % af tiden. Kan benyttes som et statistisk udtryk for maksimalværdier af støjhændelser (hvilket også L_{05} L_{10} benyttes til) eller som et skøn på de højest forekommende øjebliksværdier.

$L_{A95\%}$ (L_{A95F}): Det A-vægtede støjniveau L_{pA} , med tidsvægtning F , der er overskredet i 95 % af tiden. Benyttes af og til at angive et estimat af baggrundsstøjniveauet "mellem" støjhændelser.

L_{ALF01,F}: Det A-vægtede lavfrekvente støjniveau $L_{pA,LF}$, der er overskredet i 1 % af tiden. Kan benyttes som et statistisk udtryk for maksimalværdier.

L_{den}: En sammenvægtet middelværdi inden for tidsperioderne: dag (kl. 7-19), aften (kl. 19-22) og nat (kl. 22-07). Ved sammenvægtningen gives et "genetillæg" på 5 dB til støjen i aftenperioden og 10 dB til støjen i natperioden. Tidsrum for dag, aften og nat kan variere fra land til land.

K_I betegner et gradueret tillæg til L_{Aeq} for tydeligt hørbare impulser i støjen beregnet ifølge og [17] og [18].

K_T betegner et gradueret tillæg for tydeligt hørbare toner i støjen beregnet efter [11].

Bilag 2 Instruktion til assessorer

Gene af støj indendørs

Du skal bedømme genen af udefra kommende støj, som høres indendørs. Læs denne instruktion omhyggeligt

Lydeksemplerne i denne test består af en eller flere lyde evt. med pauser, som forekommer i løbet af et minut, hvorefter der lyder en klokke. (klokken skal ikke indgå i bedømmelsen). Du bedes læse i en bog mens du lytter. Se bagsiden af denne instruktion.

Træning

Vi bruger ikke dine svar til noget her.

Du vil først blive præsenteret for 14 lyde fra testen. Det er lyde af forskellig styrke med eller uden pauser imellem lydene. Lydene stammer fra naboer eller virksomheder og trafik uden for en bolig. Lyt til lydene, prøv skalaen og sig til hvis du har spørgsmål.

Bedømmelser

Her bliver det alvor og dine svar er vigtige.

Forestil dig, at du sidder og slapper af hjemme og hører disse lyde.

For hvert lydeksempel skal du bedømme, hvor generende du mener støjen vil være, hvis den fortsætter på samme måde fx hele aftenen.

Graden af gene angives på følgende skala: Slet ikke - Lidt - Moderat - Meget - Ekstremt.

Du kan frit placere svarene på skalaen – også mellem de markerede punkter.

Vigtigt: Lyt til hele lydeksemplet (inkl. evt. perioder uden støj) og vent med bedømmelsen til klokken lyder.

Der er ingen rigtige eller forkerte svar, det er din bedømmelse vi ønsker.

Betjening:

Afspil: Tryk på pilknappen med musen

Bedøm: Klik på skalaen med musen og flyt markeringen til den passer

Tryk: Next med musen og start ny afspilning med pilknappen.

God fornøjelse, SenseLab.

Mens du lytter, skal du læse i en bog på en iPad.

Du kan vælge en af nedenstående som er "Lette bøger for voksne".

Den gamle mand og havet. Ernest Hemingways gamle klassiker

Den gamle fisker Santiago er taget ud på havet for at fiske, men efter 84 døgn er der stadig ikke kommet nogen fangst. Det går ham til at sejle endnu længere ud, og snart står han med sin største fangst nogensinde. Her får du en historie om mennesket, havet, viljestyrke og kampen mod naturen.

Fuglene under himlen. Karl Ove Knausgård

En kvinde er flyttet tilbage til sit barndomshjem for at passe sin svagelige mor. Morens stemme er næsten forsvundet, benene kan ikke bære hende længere, men alligevel udgår der en voldsom kraft fra hende. En dag kommer kvindens datter uventet på besøg. Hun bærer på et mørke, og alt ændrer sig.

Vildsvin. Hannah Lutz

Vildsvin er en fascinerende og gådefuld roman om mennesker og vildsvin i de sydsvenske produktionsskove. Det er Hannah Lutz' debut og er skrevet i en overrumplende poetisk prosa med en mørk understrøm.

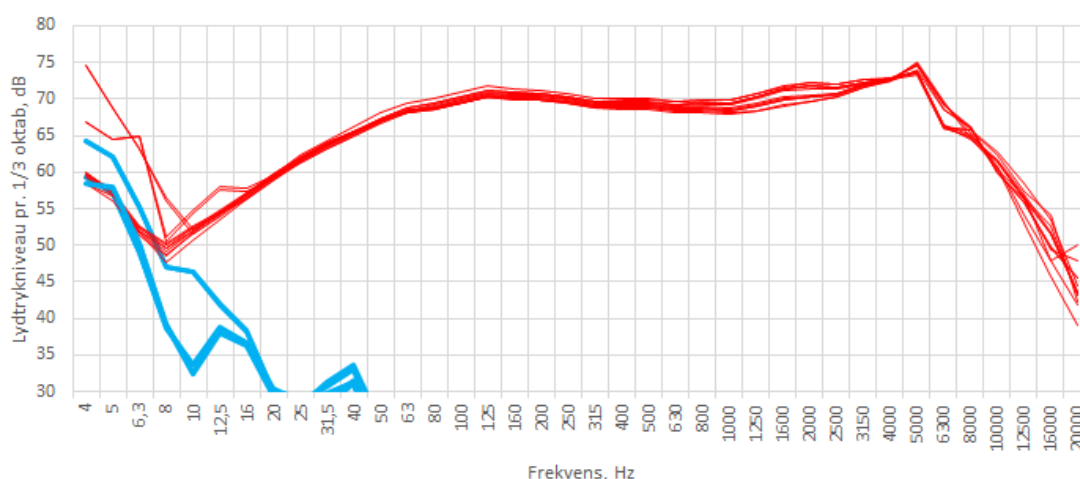
Bilag 3 Teknisk udstyr

Det benyttede udstyr fremgår af Tabel 10.

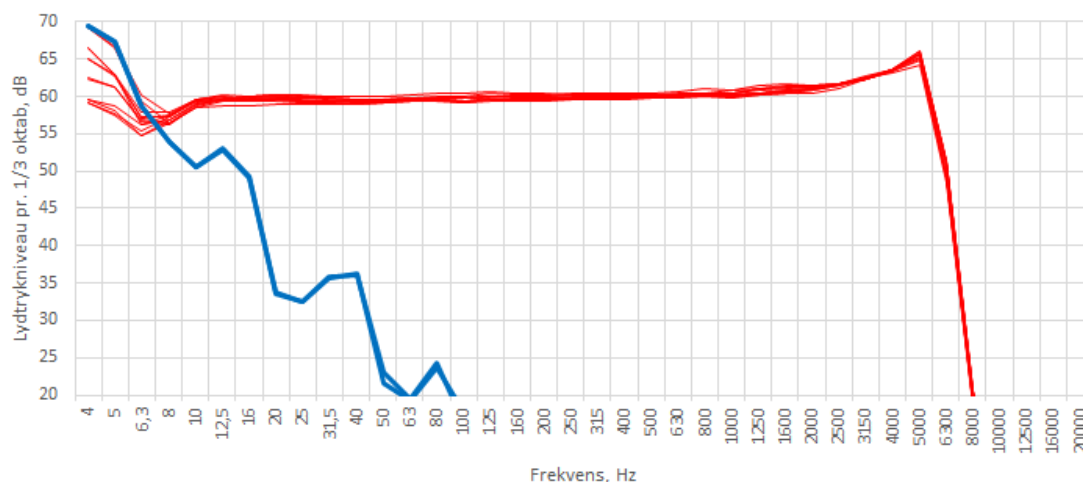
Udstyr	Producent	Model	Bemærkning
PC	Lenovo	Custom	I kontrolrum
Lyttetestsoftware	SenseLab	Senselabonline	I kontrolrum
Digital/Analog interface	RME	M-32 DA	I kontrolrum
Hovedtelefoner	Sennheiser	HD 650, nr. 1642	I lytteboks
Akustisk kalibrator	Brüel & Kjær	Type 4230	Kalibreret 08-12-2021
Kunsthoved	Brüel & Kjær	HATS type 4100	Kalibreret 04-02-2021
Måleforstærker	Brüel & Kjær	Type 2610	Kalibreret 08-02-2021
Analysesoftware	DELTA/CTXI	NoiseLab Capture 4.0.4 NoiseLab Batch 4.1	

Tabel 10 Anvendt måleudstyr ved lyttetesten.

For at dokumentere hovedtelefonernes frekvensrespons er der foretaget 1/3-oktavanalyse af lyserød støj afspillet over hovedtelefonerne monteret på B&K Hats 4100. (Mikrofonerne på denne er B&K ½" Falcon Range mikrofoner type 4190, som har et frekvensområde på 3,15 Hz til 20 kHz).



Figur 24 Frekvensanalyse målt på HATS B&K 4100 af lyserød støj på den benyttede hovedtelefon før equaliseringen. De røde kurver viser resultater for venstre og højre øre ved 6 genplaceringer af hovedtelefonerne på HATS'en. De blå kurver er eksempler på varierende baggrundsstøj pga. byggeaktiviteter andet sted i bygningen under forberedelse af lyttetesten.



Figur 25 *Frekvensanalyse målt på HATS B&K 4100 af lyserød støj på den benyttede hovedtelefon efter equaliseringen. De røde kurver viser resultater for venstre og højre øre ved 6 genplaceringer. De blå kurver er eksempler på varierende baggrundsstøj pga. byggeaktiviteter andet sted i bygningen under forberedelse af lyttetesten.*

For at sikre en flad frekvenskarakteristik er der foretaget en equalisering af den benyttede hovedtelefon som resulterede i en flad karakteristisk med en gennemsnitlig afvigelse mindre end 1 dB i frekvensområdet 10-1000 Hz, se Figur 25.

Målinger af $L_{pAmax,F}$ på de hovedtelefoner placeret på HATS viste at afvigelserne fra de niveauer der blev målt direkte på lydfilerne var mindre end +/- 0,5 dB.

Bilag 4 Høretærskelvægtning

Båndene i 1/3-oktav frekvensspektret vægtes (dæmpes) i henhold til den omvendte høretærskel; dette kaldes HT-vægtning. Dæmpningen i dB er givet ved ligning 1-3, der tilnærmer høretærsklen, jf. [15].

2-20 Hz $Att_{2-20\text{Hz}} = -1,0183 \cdot 10^{-2} \cdot f^3 + 3,8537 \cdot 10^{-1} \cdot f^2 - 6,3935 \cdot f + 133,48$ **Ligning 1**

20-200 Hz $Att_{20-200\text{Hz}} = 1,5948 \cdot 10^{-11} \cdot f^6 - 1,3537 \cdot 10^{-8} \cdot f^5 + 4,5945 \cdot 10^{-6} \cdot f^4 - 8,0269 \cdot 10^{-4} \cdot f^3 + 7,7761 \cdot 10^{-2} \cdot f^2 - 4,2624 \cdot f + 137,99$ **Ligning 2**

200-500 Hz $Att_{200-500\text{Hz}} = -1,3635 \cdot 10^{-7} \cdot f^3 + 2,2850 \cdot 10^{-4} \cdot f^2 - 1,399 \cdot 10^{-1} \cdot f + 34,306$ **Ligning 3**

Afvigelsen af disse tilnærmelser fra høretærsklen er mindre end 0,4 dB. Dæmpningen for en række frekvenser er vist i Tabel 11.

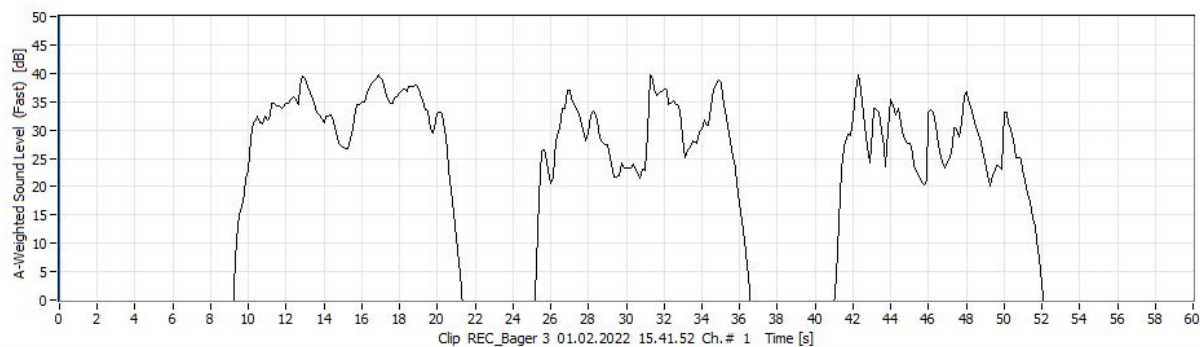
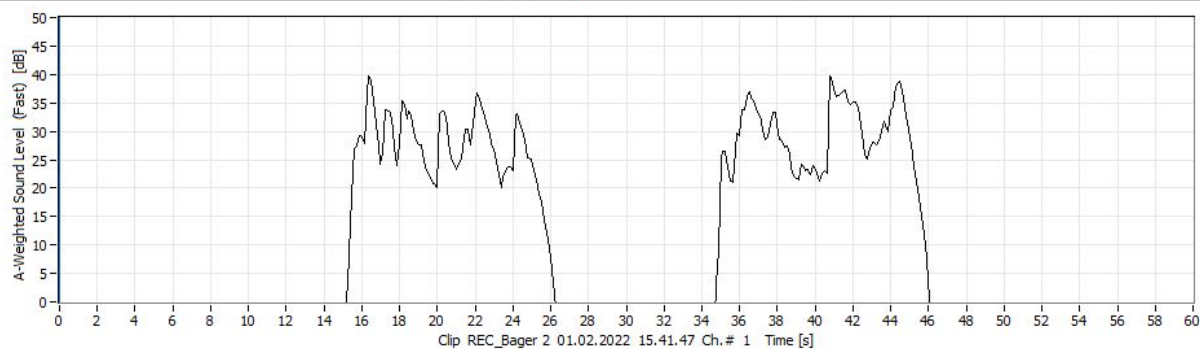
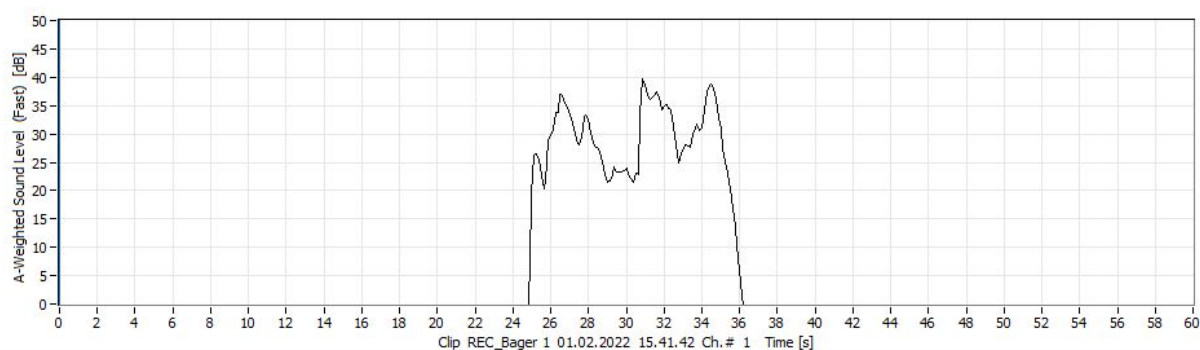
Freq. Hz	Att. dB	Freq. Hz	Att. dB	Freq. Hz	Att. dB
1.6	-124.3	20.0	-78.2	251	-11.4
1.8	-123.3	22.4	-73.6	282	-10.0
2.0	-122.2	25.1	-69.0	316	-8.6
2.2	-121.0	28.2	-64.3	355	-7.3
2.5	-119.7	31.6	-59.8	398	-6.2
2.8	-118.3	35.5	-55.3	447	-5.2
3.2	-116.8	39.8	-51.1	501	-4.4
3.5	-115.2	44.7	-47.2	501	-4.4
4.0	-113.5	50.1	-43.6	631	-3
4.5	-111.7	56.2	-40.3	794	-2.2
5.0	-109.8	63.1	-37.3	1000	-2.4
5.6	-107.9	70.8	-34.5	1259	-3.5
6.3	-105.9	79.4	-31.9	1600	-1.7
7.1	-103.9	89.1	-29.3	1995	+1.3
7.9	-101.9	100.0	-26.7	2512	+4.2
8.9	-99.9	112.2	-24.1	3162	+6
10.0	-97.9	125.9	-21.7	3981	+5.4
11.2	-95.9	141.3	-19.7	5012	+1.5
12.6	-93.7	158.5	-18.1	6310	-6
14.1	-91.4	177.8	-16.7	7943	-12.6
15.8	-88.4	200	-14.4	10000	-13.9
17.8	-84.4	224	-12.9	12589	-12.3

Tabel 11 Justeringer for 1/3-oktavnåb ved beregning af det HT-vægtede niveau, jf. [15].

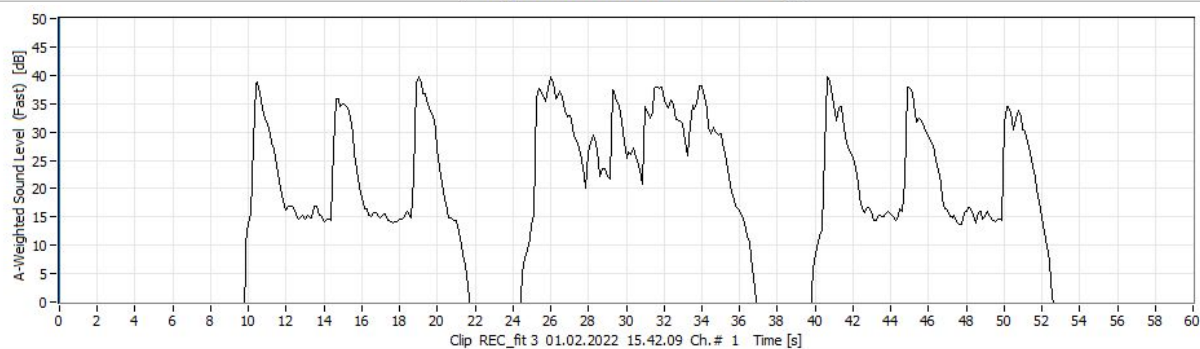
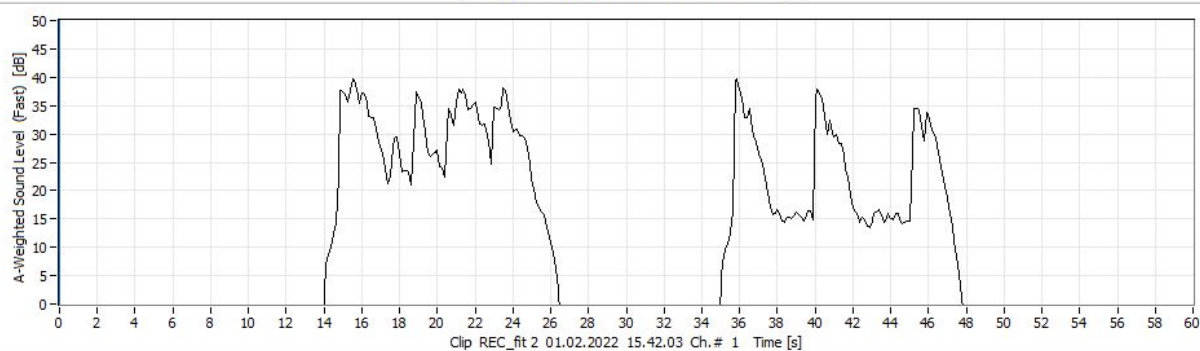
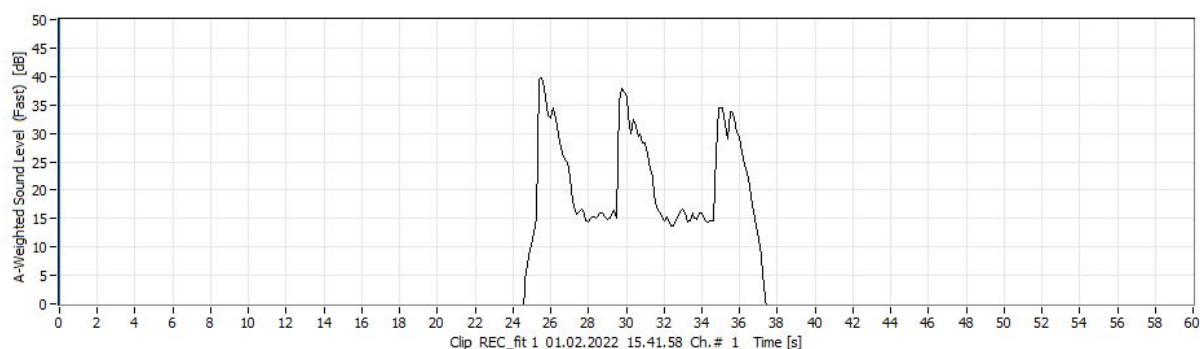
Bilag 5 Niveauregistreringer $L_{pA,F}$

Niveauregistreringerne af de et minut lange stimuli viser det A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning F, som funktion af tiden.

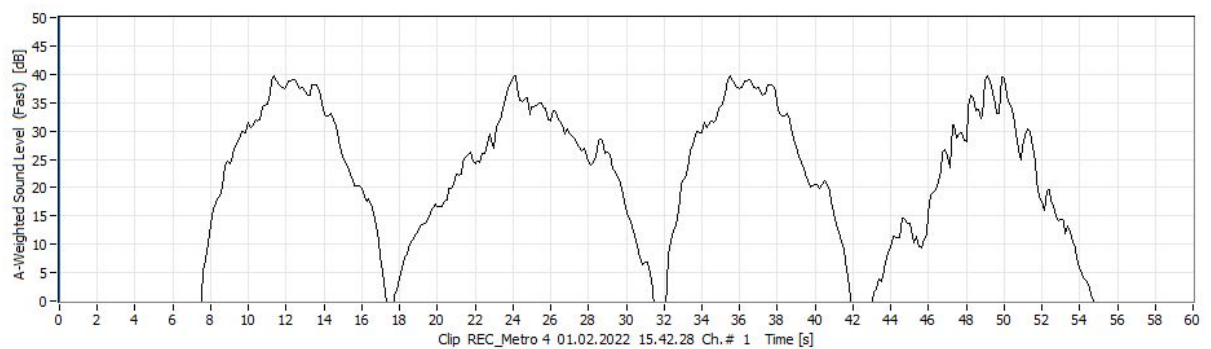
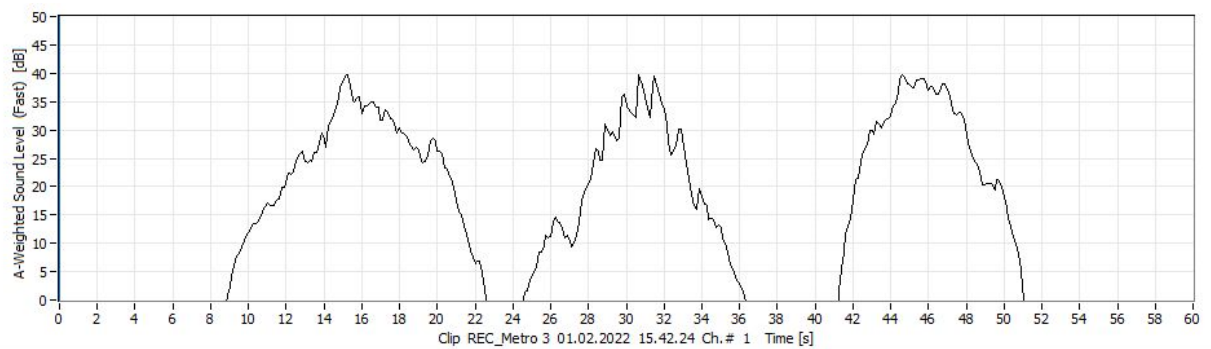
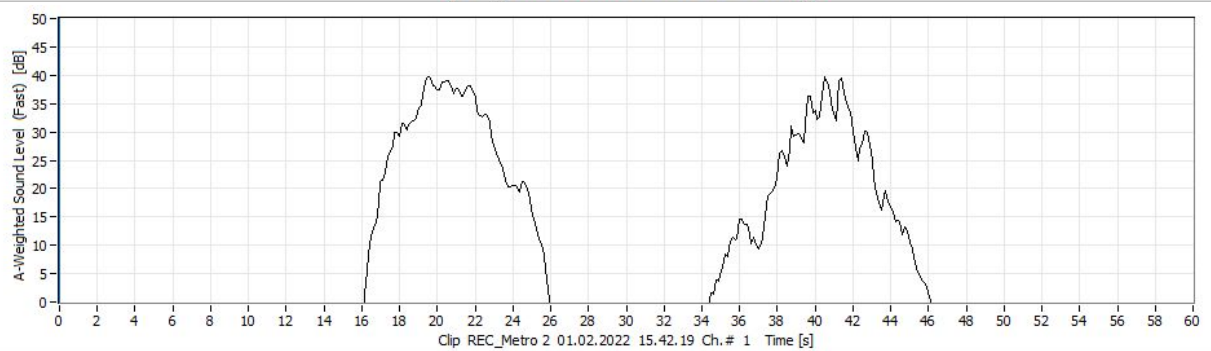
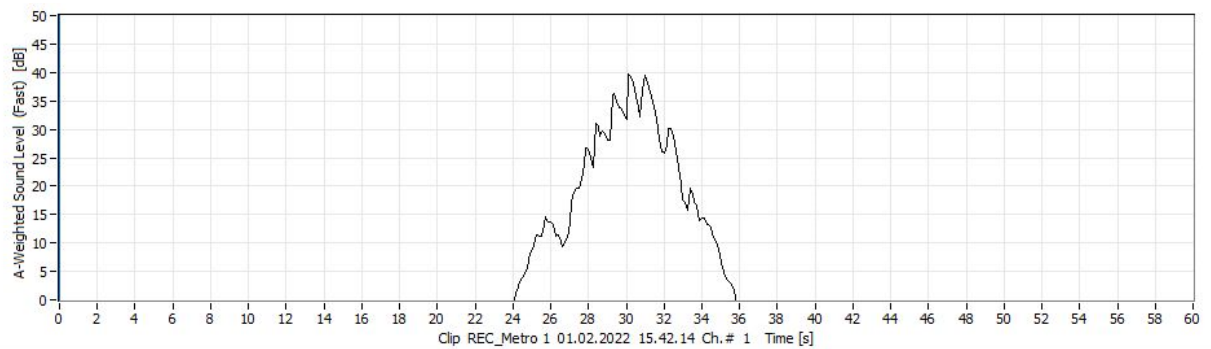
Bager



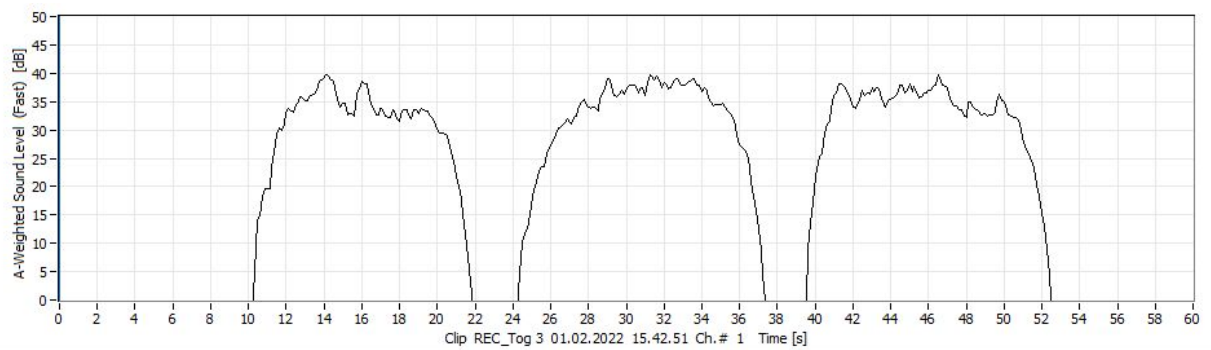
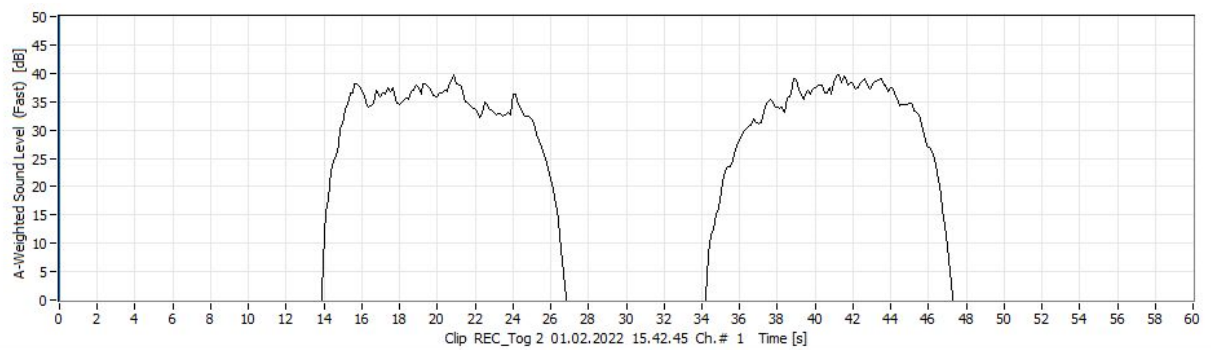
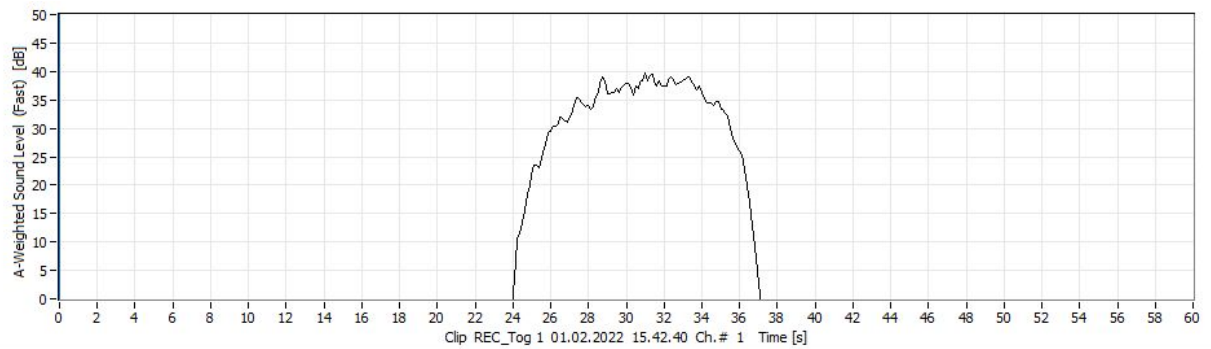
Fitness



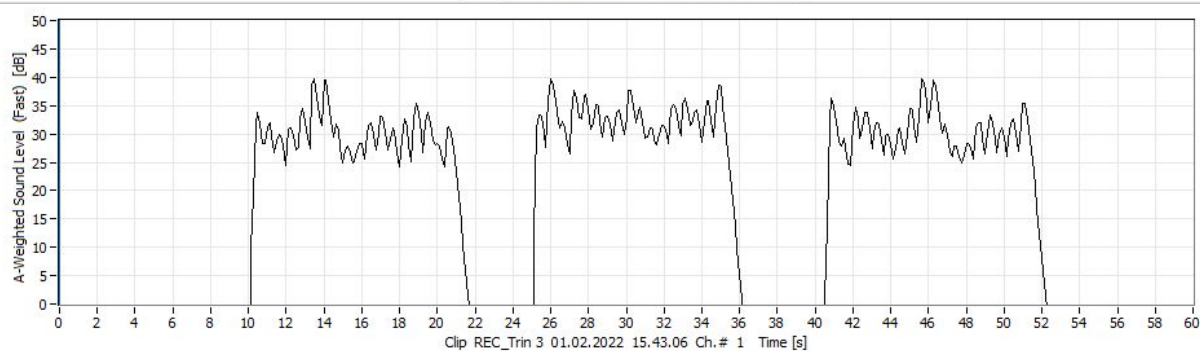
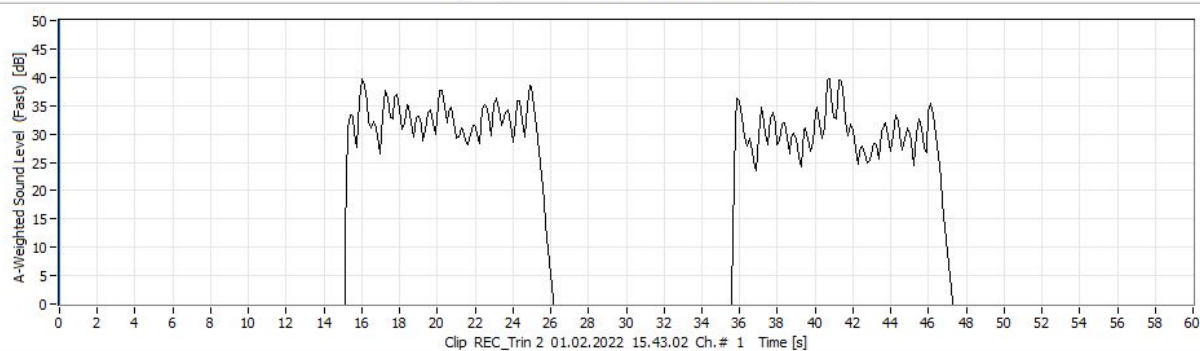
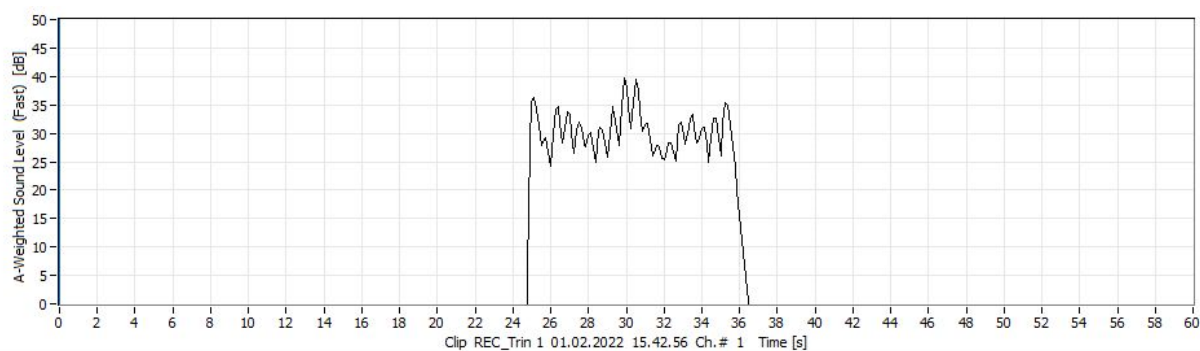
Metro



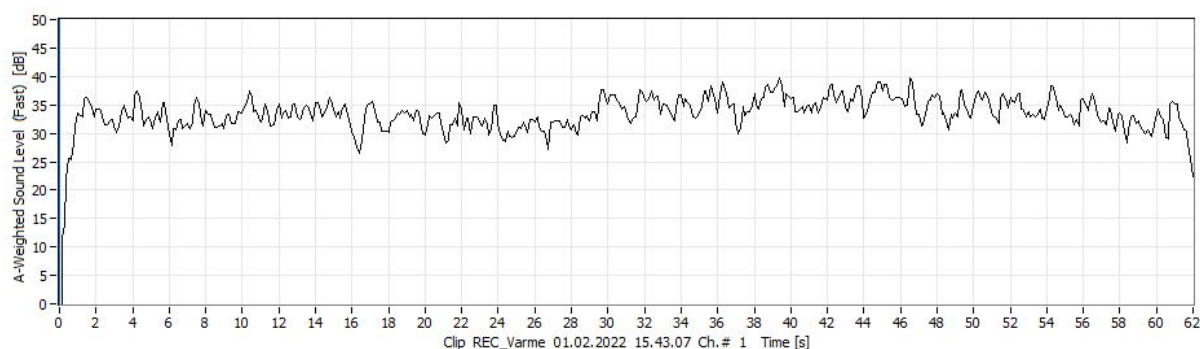
Tog



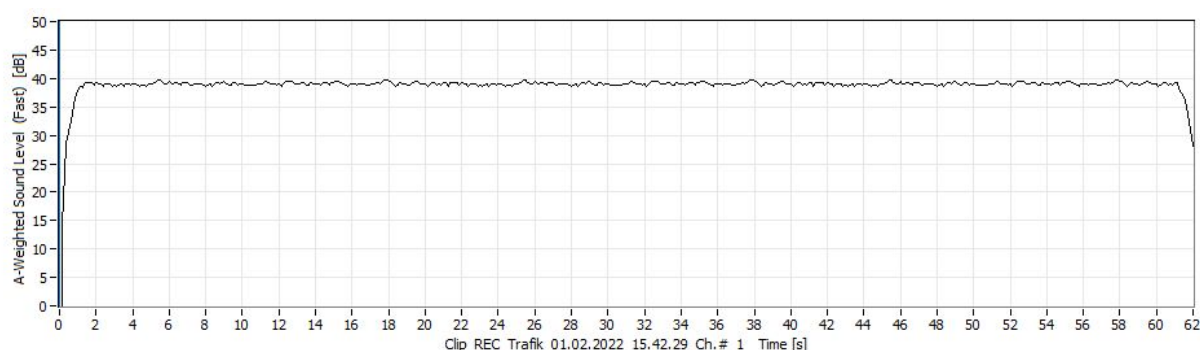
Trin



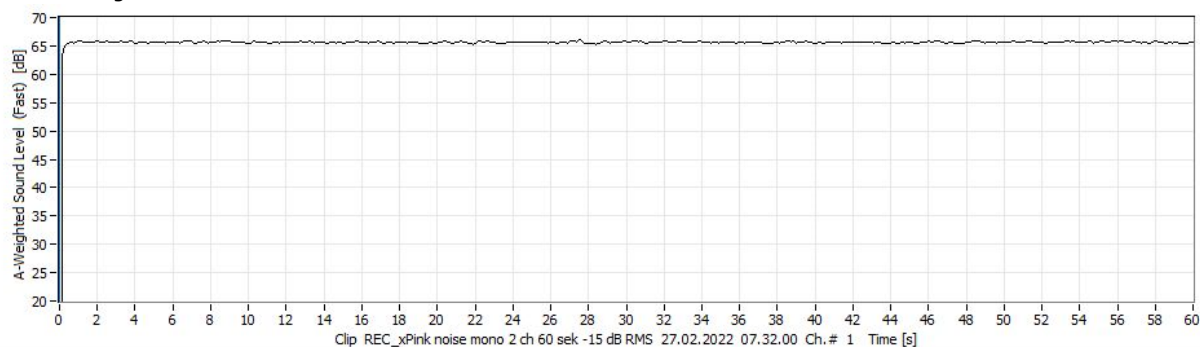
Varmeværk



Referencestøj: Vejtrafik hørt indendørs



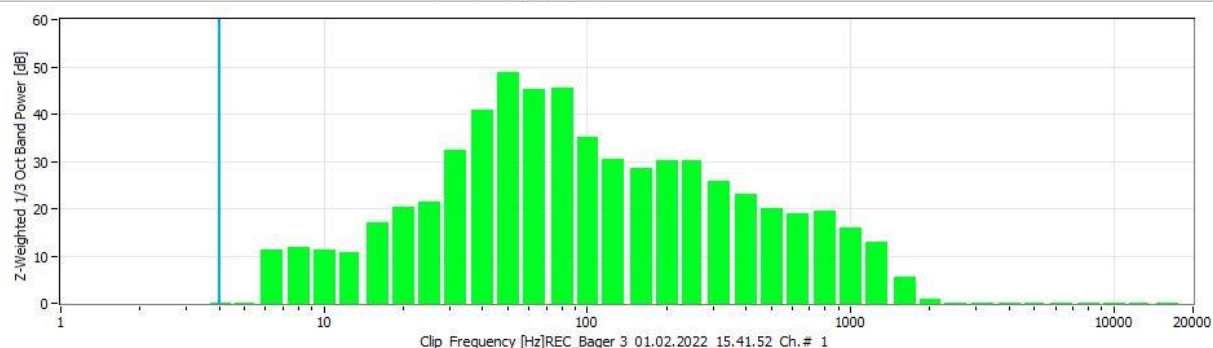
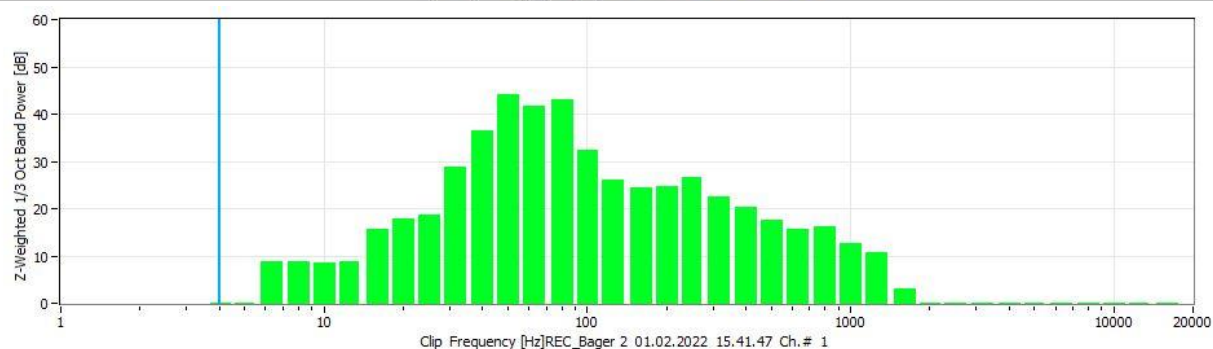
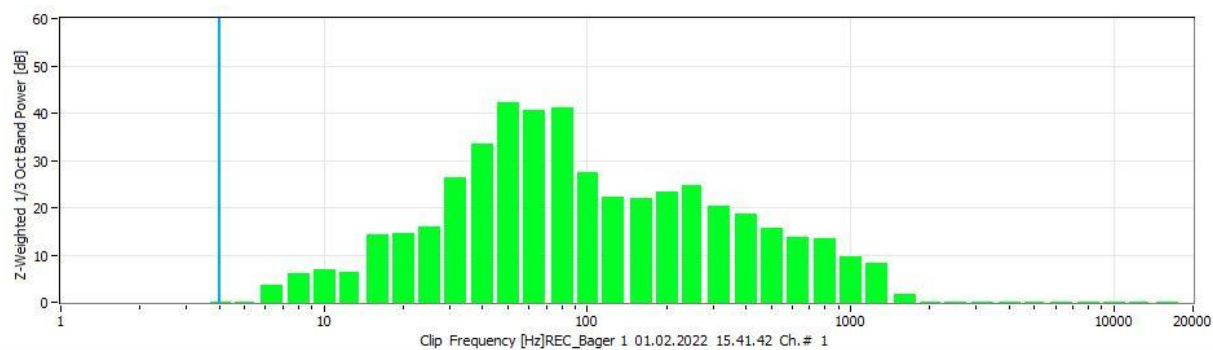
Lyserød støj



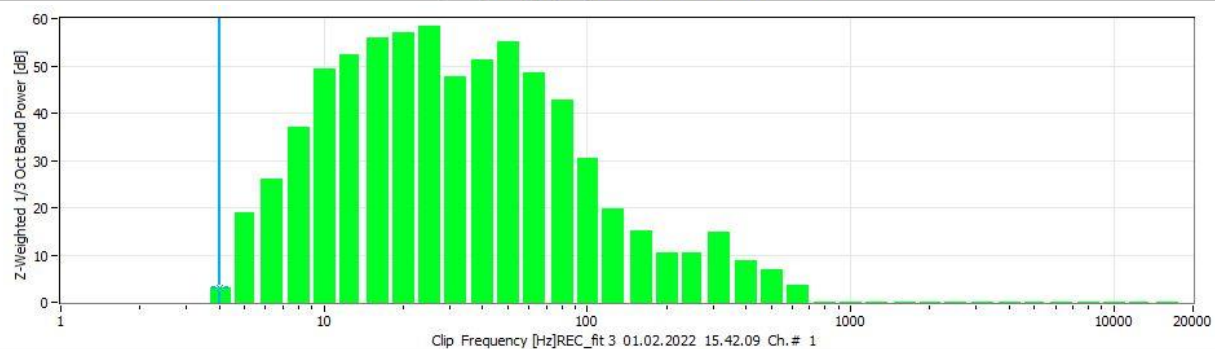
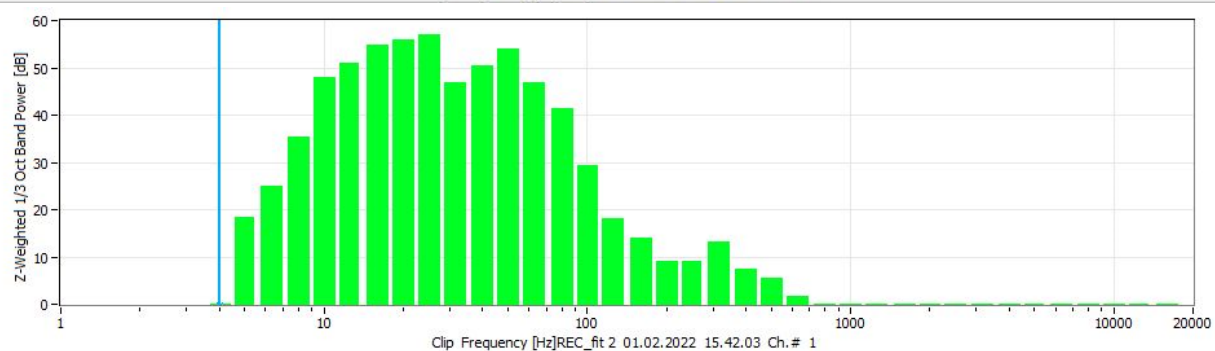
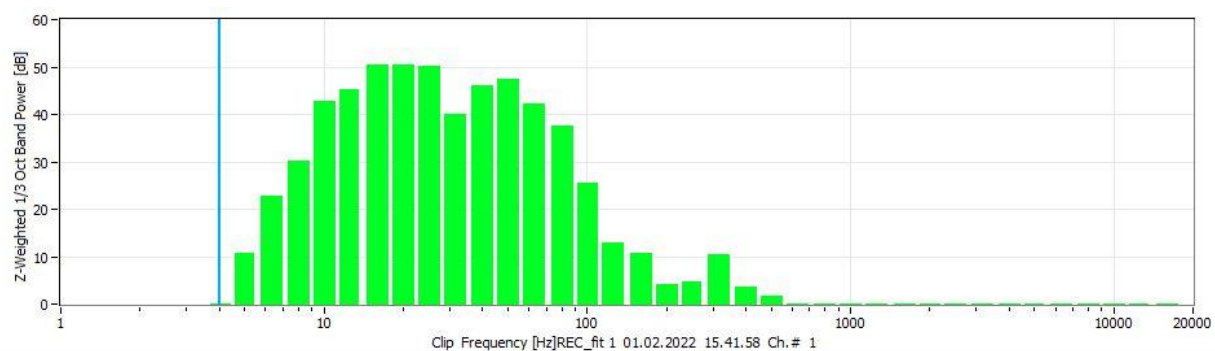
Bilag 6

1/3-oktavanalyser – Lineære

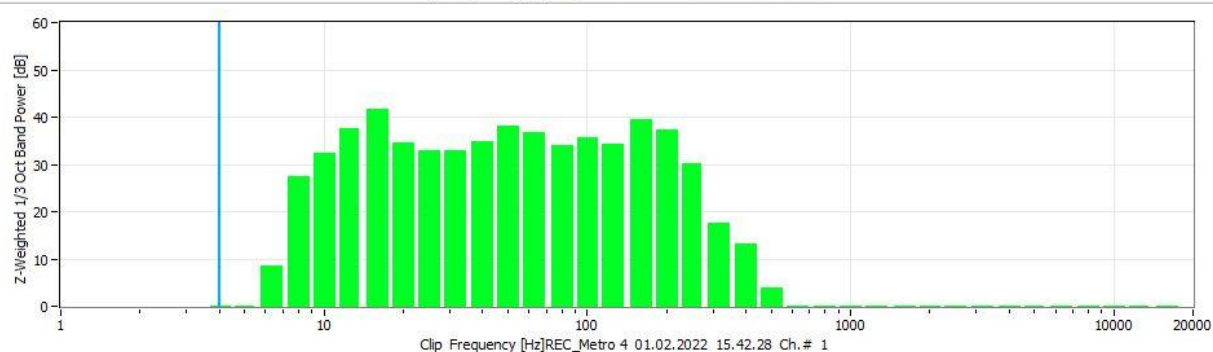
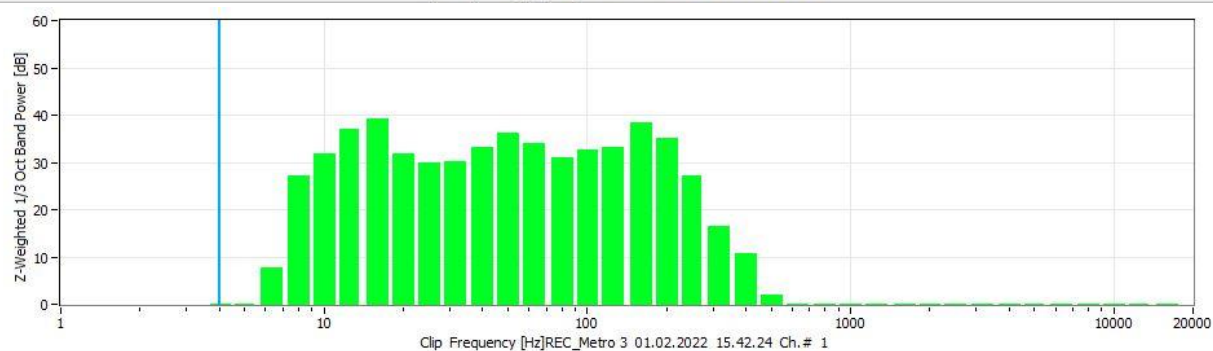
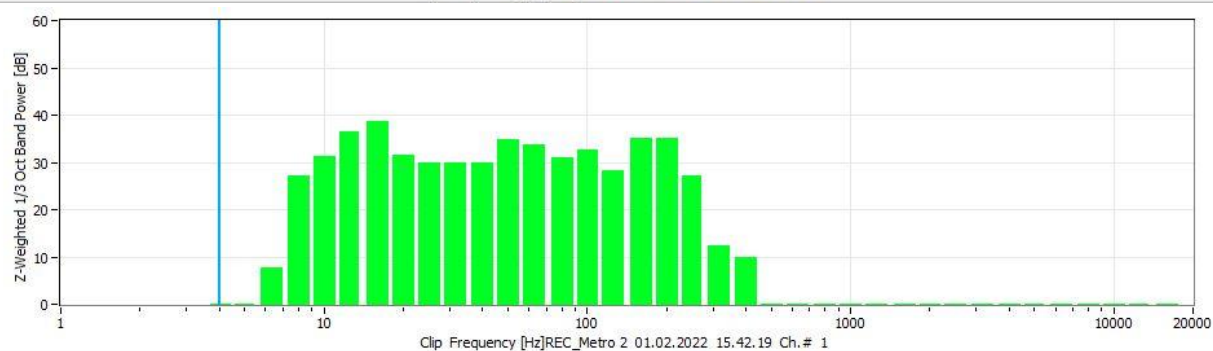
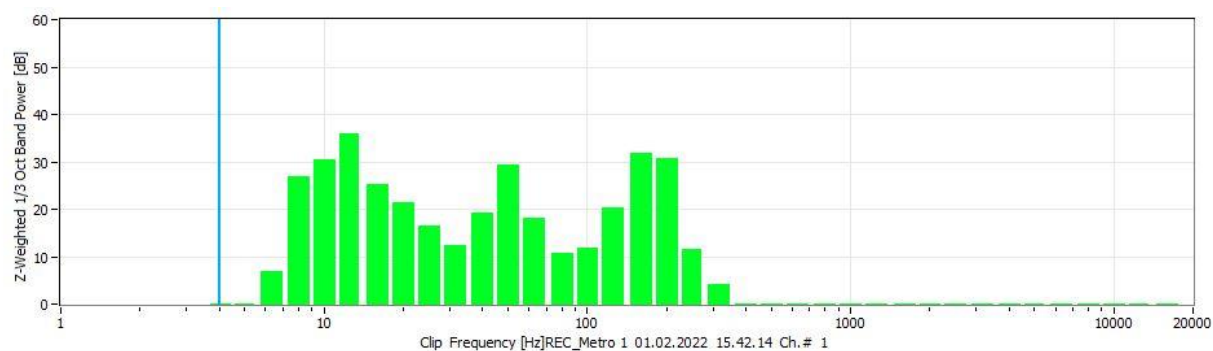
Bager



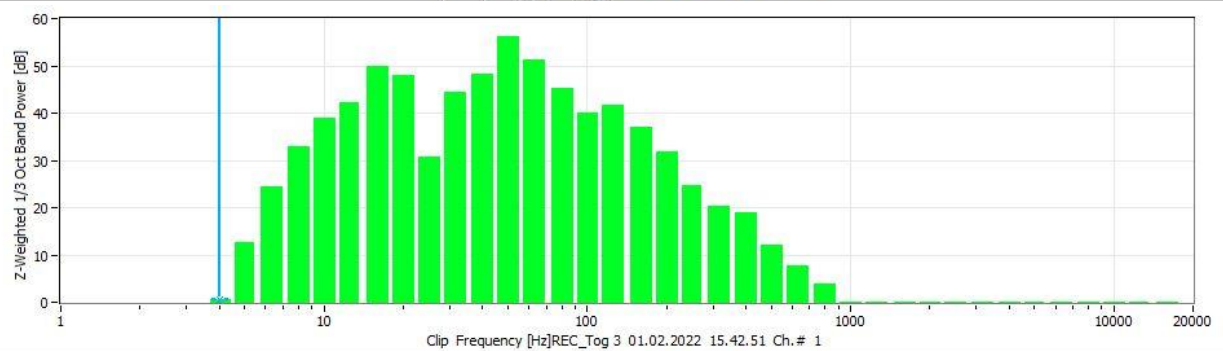
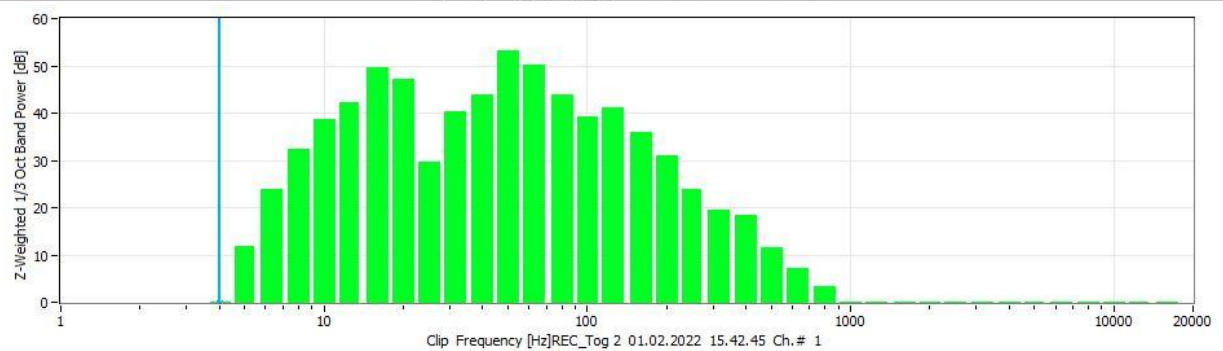
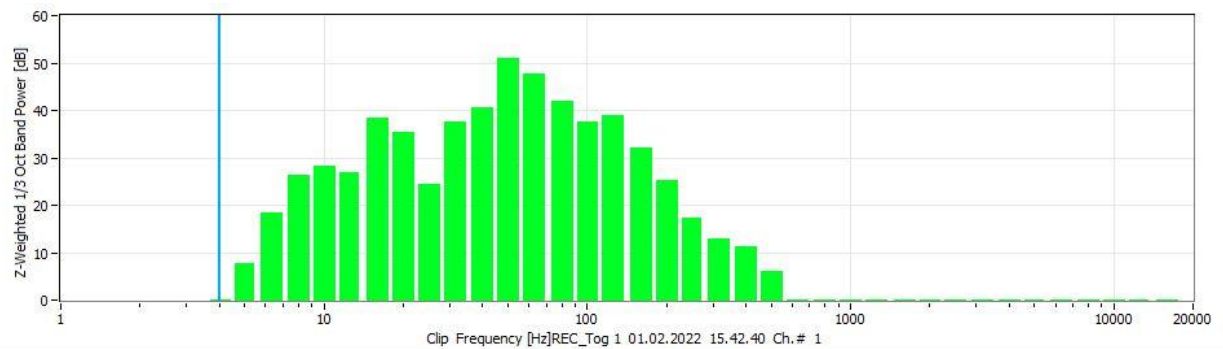
Fitness



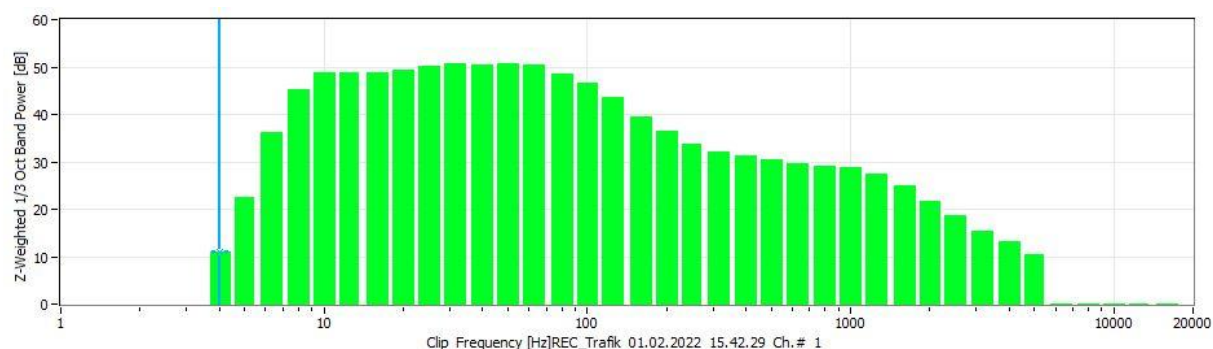
Metro



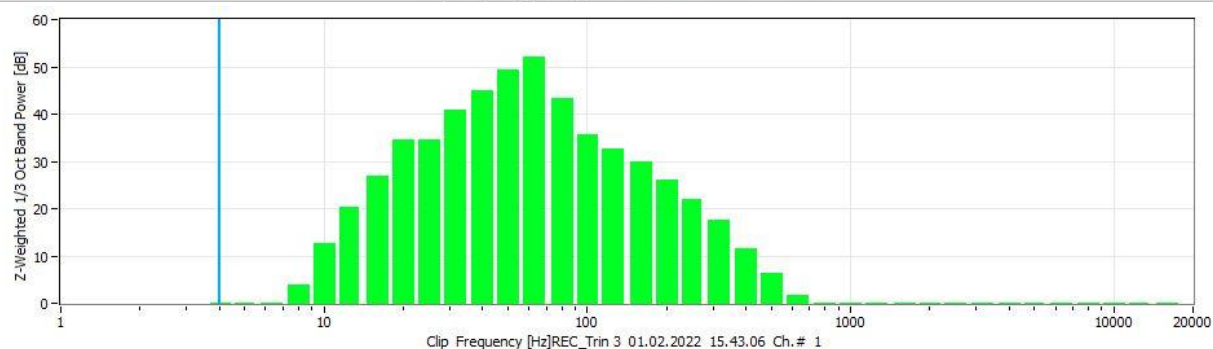
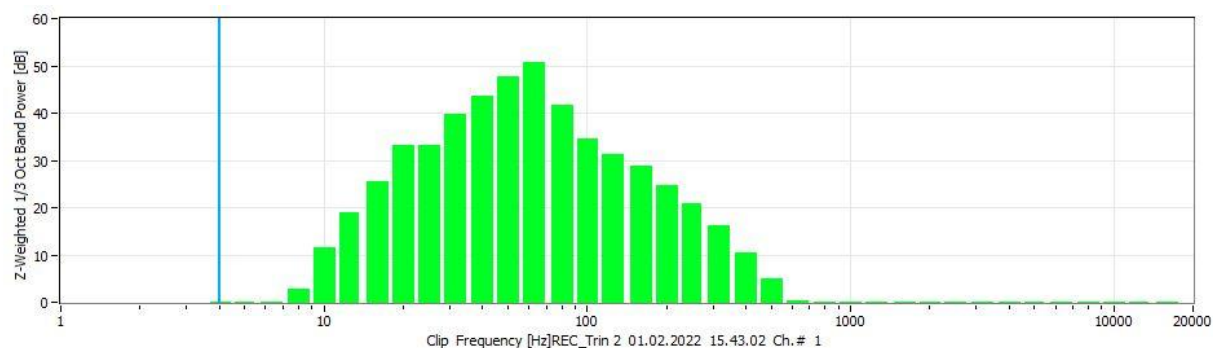
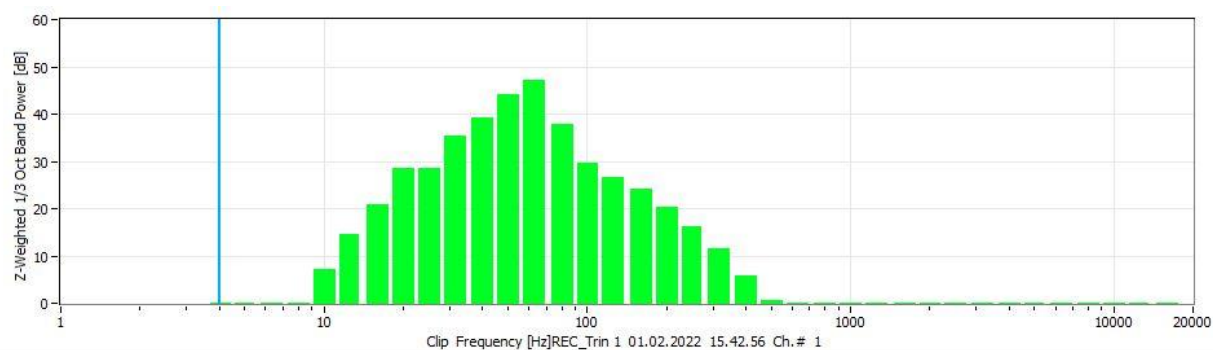
Tog



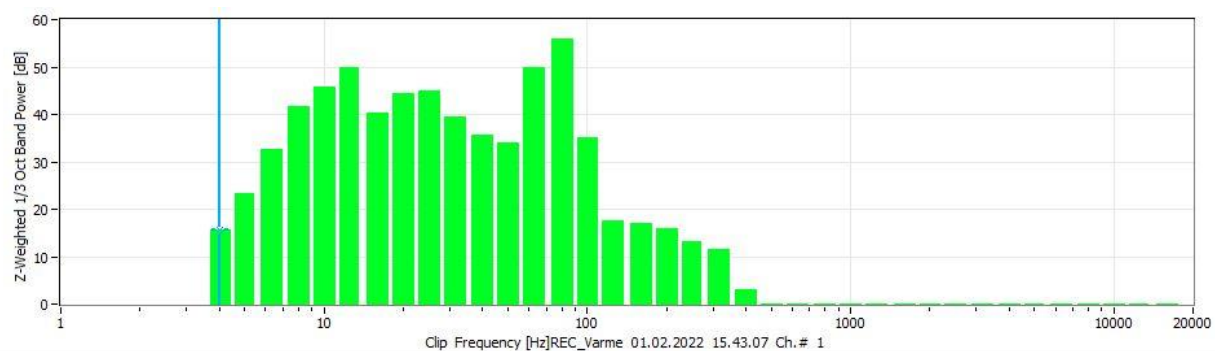
Trafik



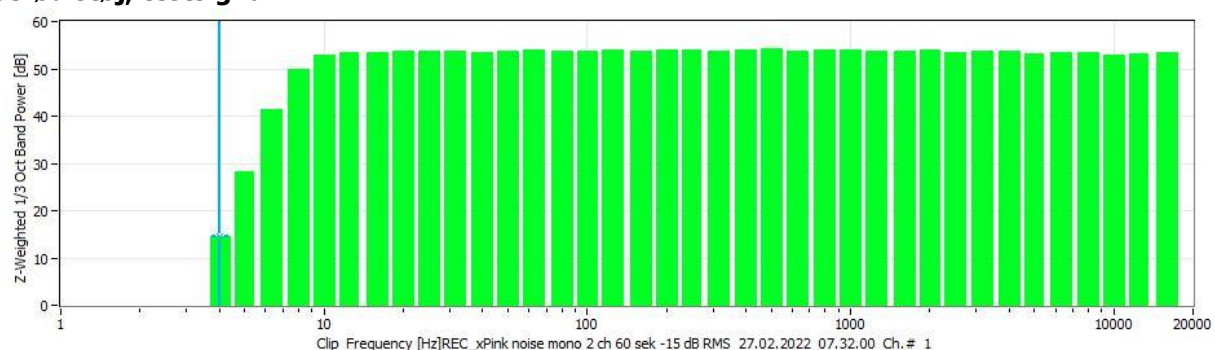
Trin



Varmeværk



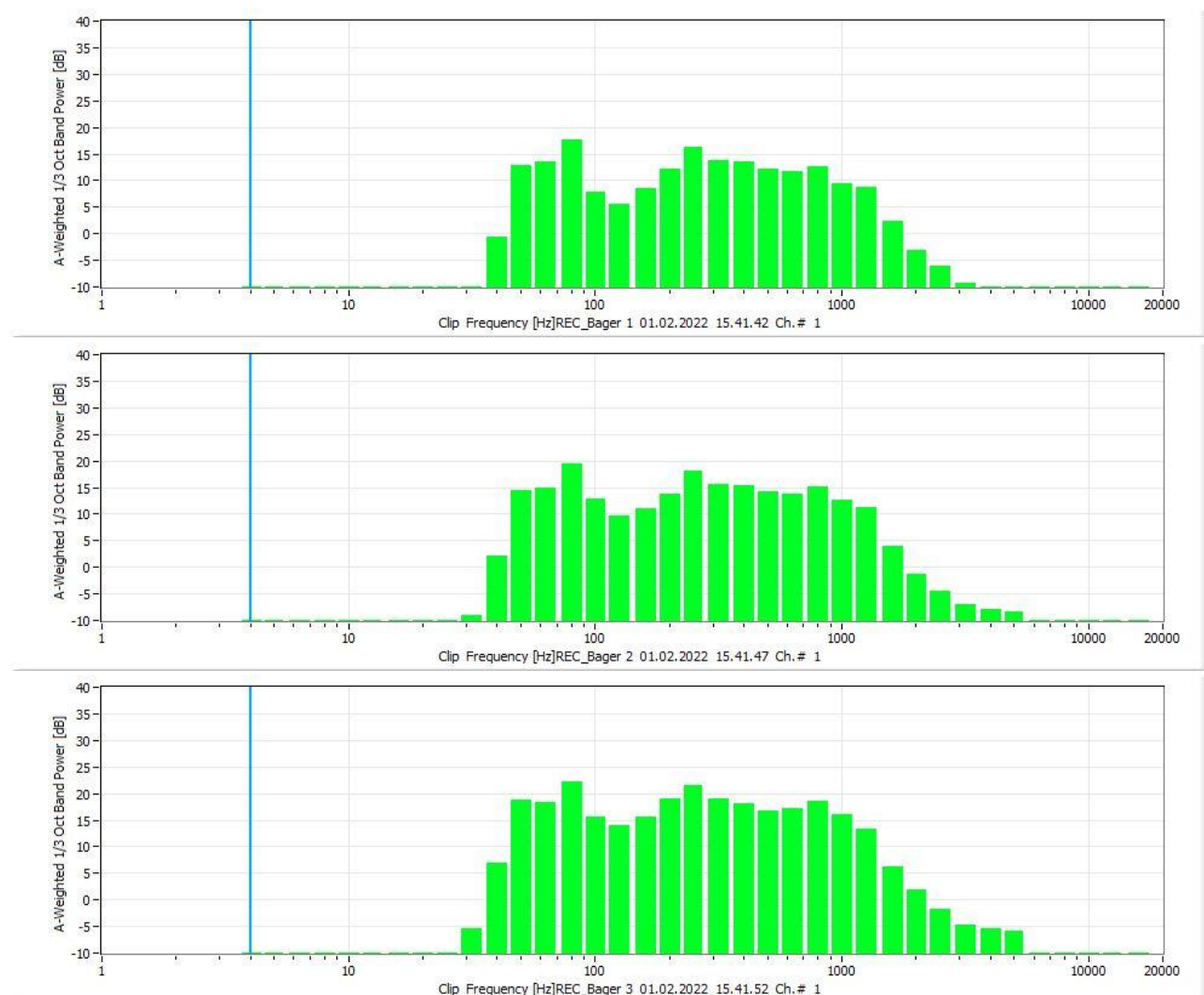
Lyserød støj, testsignal



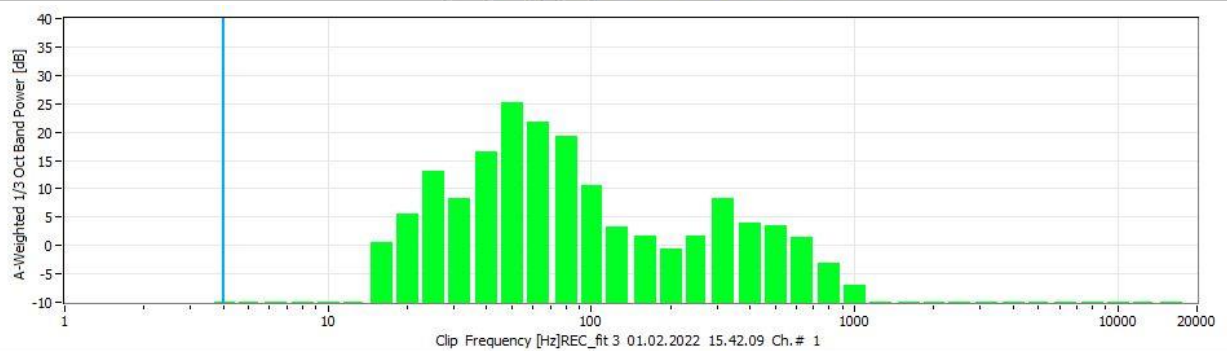
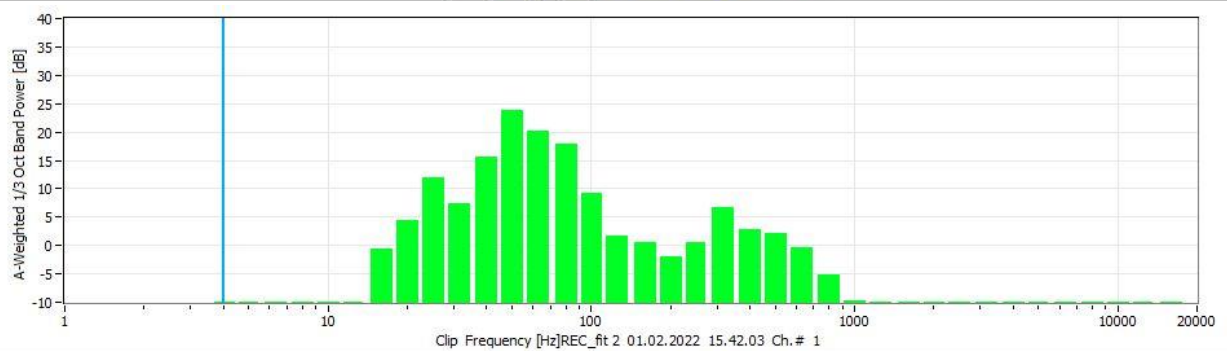
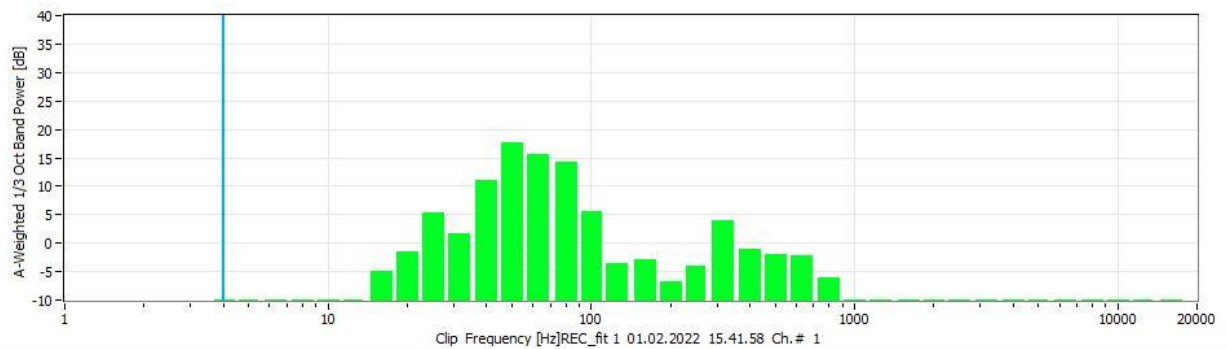
Bilag 7

1/3-oktavanalyser – A-vægtede

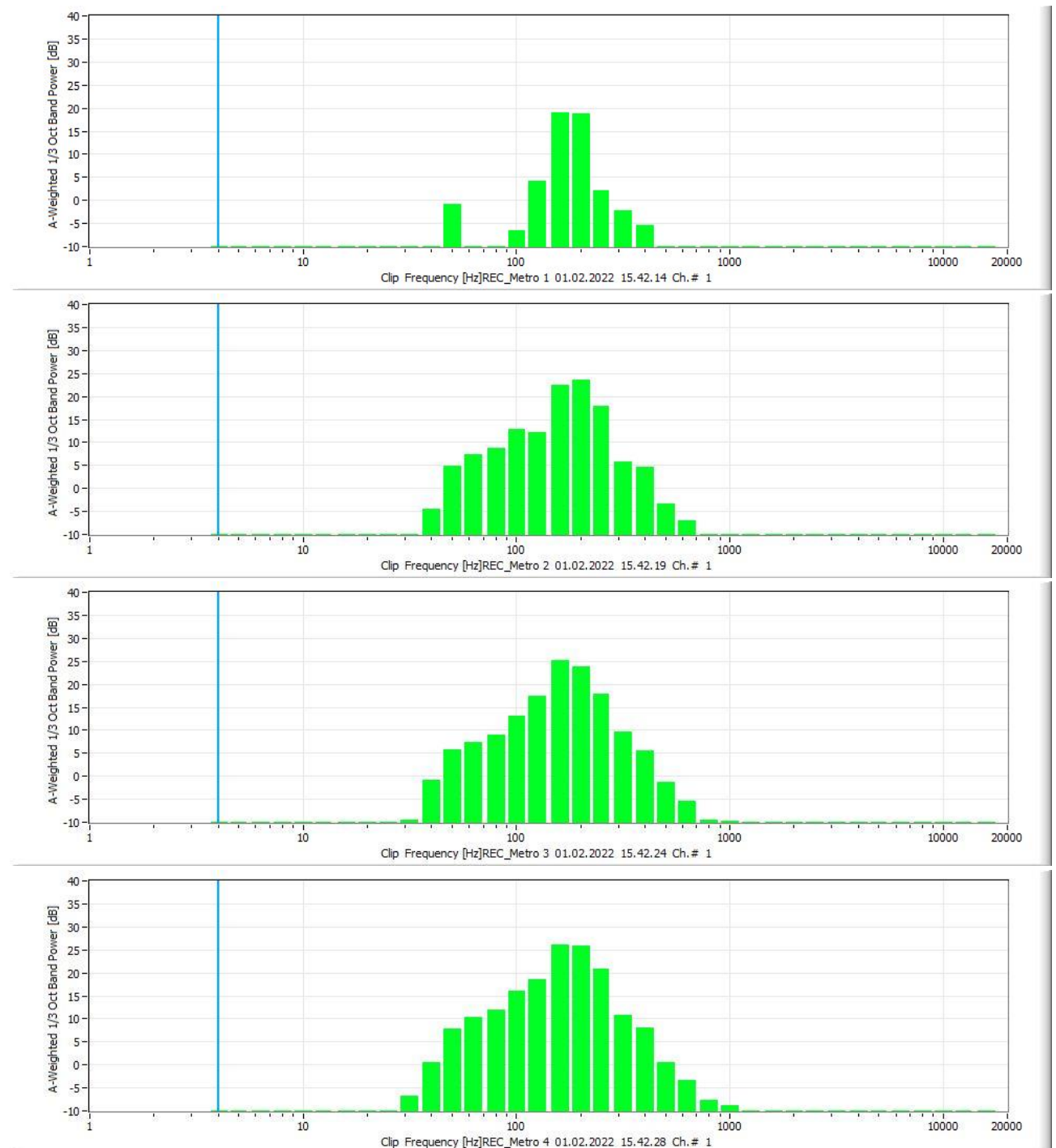
Bager



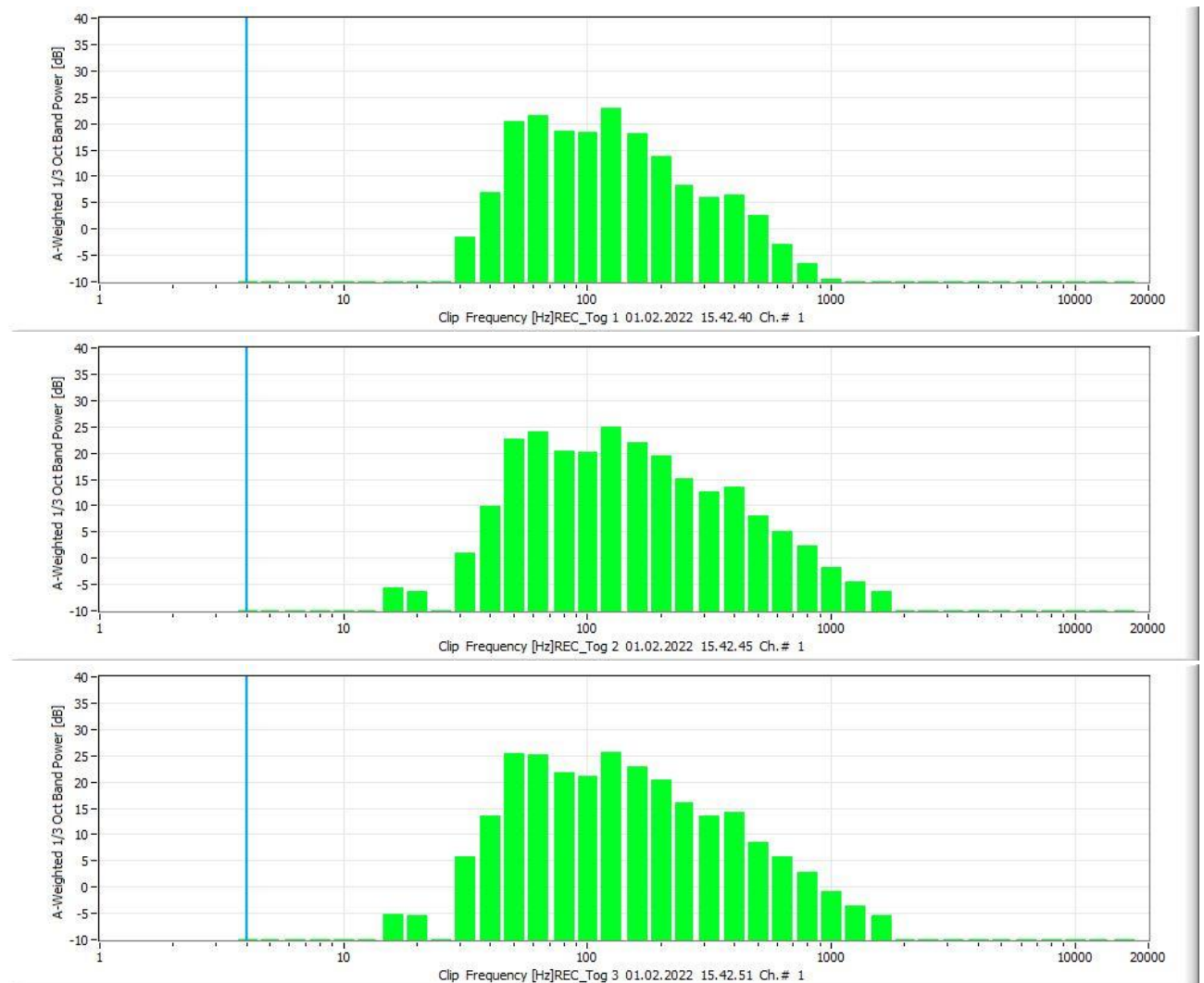
Fitness



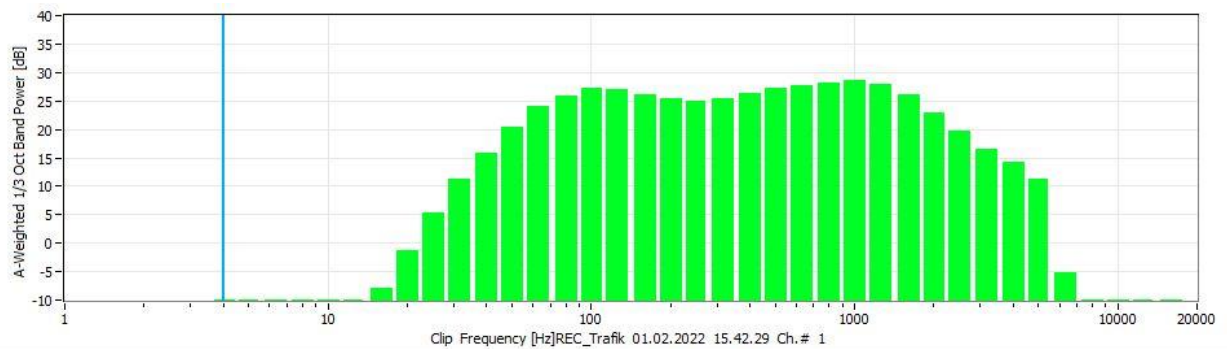
Metro



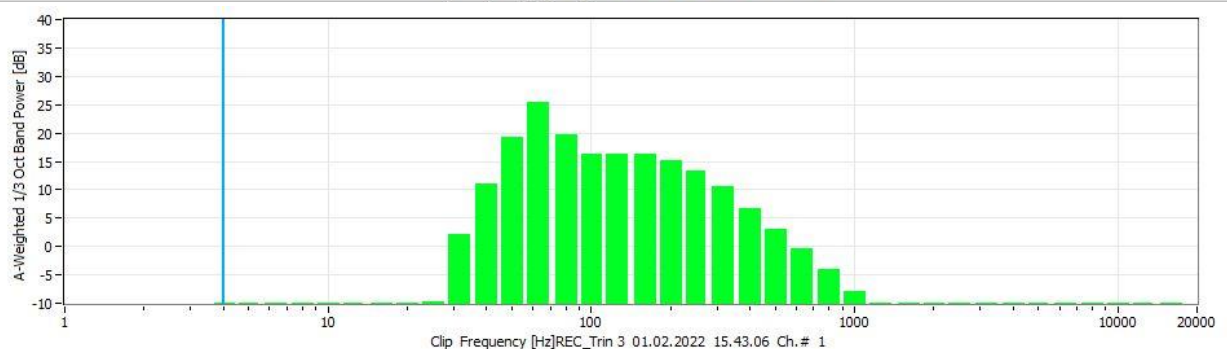
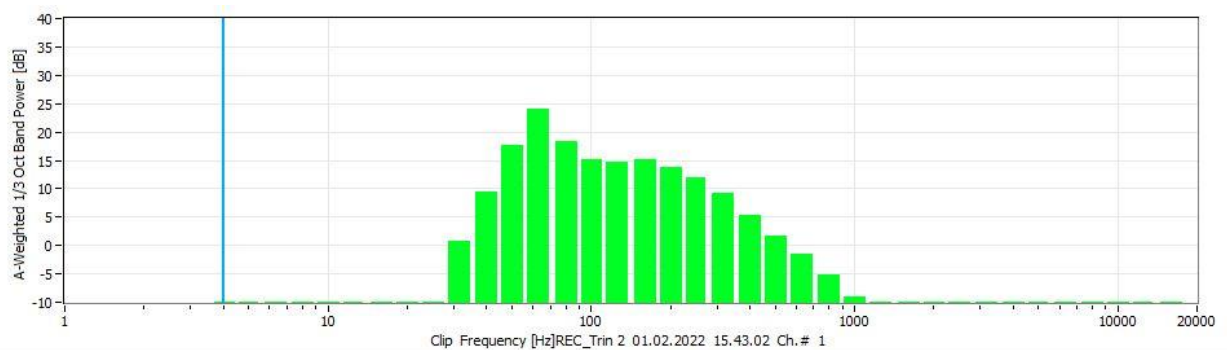
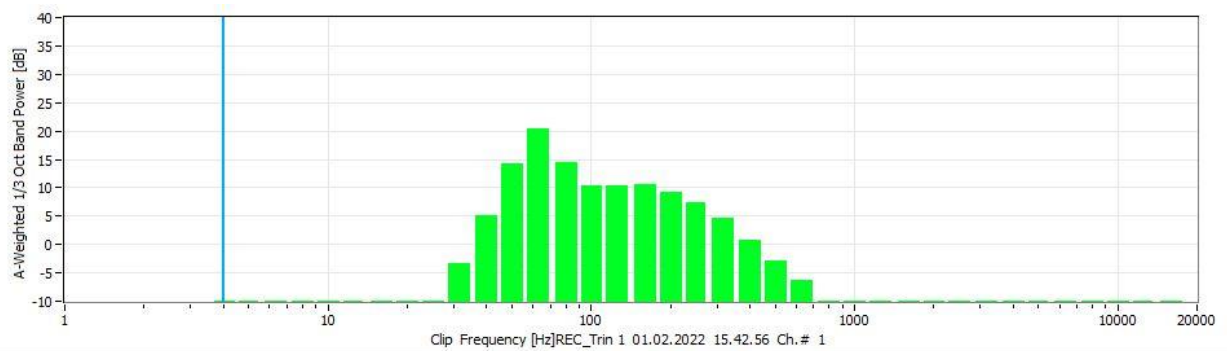
Tog



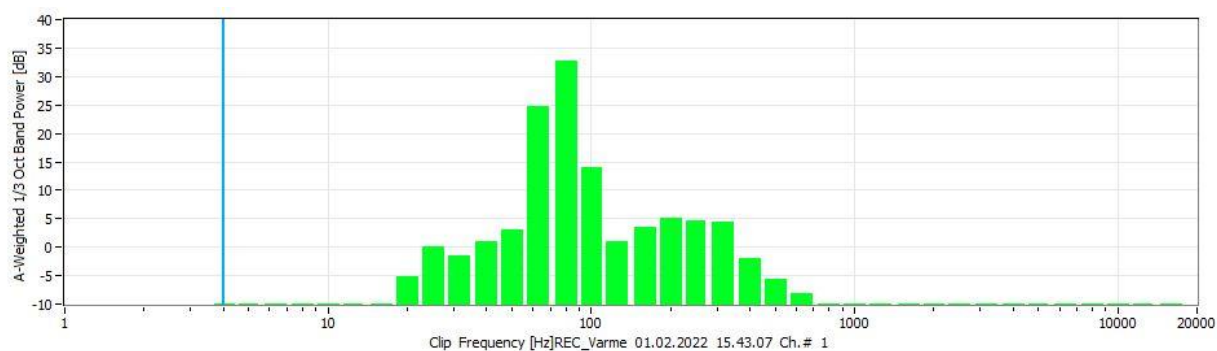
Trafik



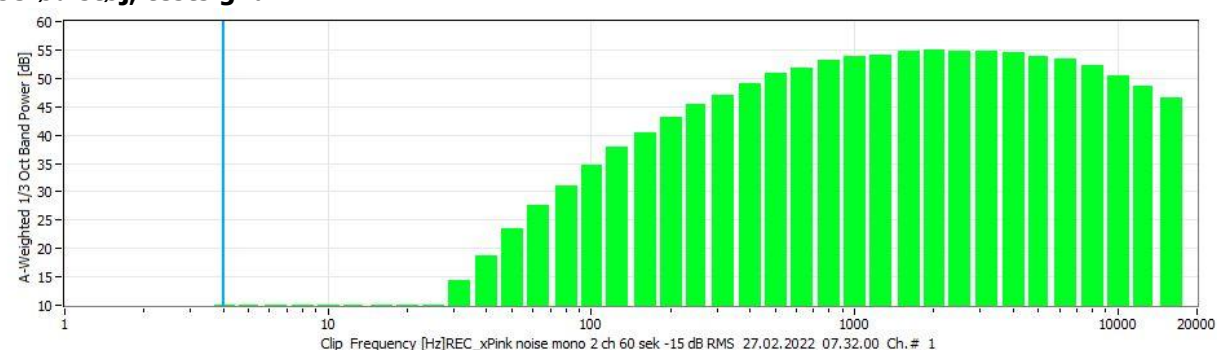
Trin



Varmeværk



Lyserød støj, testsignal



Bilag 8

Målinger på stimuli

Måleresultater for de væsentligste indikatorer. "Gene" angiver middelværdien af genebedømmelserne fra de 21 assessorer. CI/2 angiver 95 % konfidensintervallet. For de øvrige betegnelser se Bilag 1.

Stimulus	Gene	CI/2	Antal	LAeq	LGeq	LALFeq	Lin	LAmx	LA01F	LA05F	LA10F	L50F	LAmxS	LA01S	LA05S	LA10S	LALFmaxF	LALF01	LALF05F	HT-vægtet	KI	KT-ISC	KT-DK	
Virksomhedsrelaterede støjtyper																								
Bager1-30	B	1,6	0,9	1	14,2	17,0	11,3	36,6	29,7	29,5	28,6	26,9	25,8	24,9	24,8	24,7	24,3	25,6	25,4	25,0	11,0	7,5	0,0	0,0
Bager1-40	B	2,5	1,0	1	24,2	27,0	21,3	46,6	39,7	39,5	38,6	36,9	35,8	34,9	34,8	34,7	34,3	35,6	35,4	35,0	21,0	7,5	4,3	1,8
Bager1-50	B	4,5	1,1	1	34,2	37,0	31,3	56,6	49,7	49,5	48,6	46,9	45,8	44,9	44,8	44,7	44,3	45,6	45,4	45,0	31,0	7,5	6,0	6,0
Bager2-30	B	1,4	0,8	2	16,3	19,7	13,4	38,4	29,7	29,5	28,6	26,4	24,7	24,9	24,8	24,6	23,4	25,6	25,3	24,6	13,1	7,5	0,0	0,0
Bager2-40	B	3,8	0,9	2	26,3	29,7	23,4	48,4	39,7	39,5	38,6	36,4	34,7	34,9	34,8	34,6	33,4	35,6	35,3	34,6	23,1	7,5	6,0	2,8
Bager2-50	B	4,9	1,0	2	36,3	39,7	33,4	58,4	49,7	49,5	48,6	46,4	44,7	44,9	44,8	44,6	43,4	45,6	45,3	44,6	33,1	7,5	6,0	6,0
Bager3-30	B	2,0	0,9	3	19,7	22,0	16,6	42,2	29,7	29,5	29,0	27,3	26,2	27,0	26,9	26,6	25,9	28,4	28,0	25,4	16,4	7,5	0,0	0,0
Bager3-40	B	3,8	1,0	3	29,7	32,0	26,6	52,2	39,7	39,5	39,0	37,3	36,2	37,0	36,9	36,6	35,9	38,4	38,0	35,4	26,4	7,5	0,7	1,0
Bager3-50	B	5,7	1,1	3	39,7	42,0	36,6	62,2	49,7	49,5	49,0	47,3	46,2	47,0	46,9	46,6	45,9	48,4	48,0	45,4	36,4	7,5	1,2	5,8
Fit1-30	F	0,4	0,3	1	11,3	12,9	11,8	47,0	29,7	29,4	28,1	24,5	22,5	23,0	22,9	22,5	21,6	29,6	29,4	28,2	1,6	8,0	0,0	0,0
Fit1-40	F	1,1	0,8	1	21,3	22,9	21,8	57,0	39,7	39,4	38,1	34,5	32,5	33,0	32,9	32,5	31,6	39,6	39,4	38,2	11,6	8,0	0,0	0,0
Fit1-50	F	2,6	1,1	1	31,3	32,9	31,8	67,0	49,7	49,4	48,1	44,5	42,5	43,0	42,9	42,5	41,6	49,6	49,4	48,2	21,6	8,0	0,0	0,0
Fit2-30	F	1,1	0,8	2	16,5	18,3	17,1	52,7	29,7	29,5	28,4	26,6	25,0	25,4	25,3	25,0	23,7	29,7	29,5	28,4	5,9	8,0	0,0	0,0
Fit2-40	F	1,7	1,0	2	26,5	28,3	27,1	62,7	39,7	39,5	38,4	36,6	35,0	35,4	35,3	35,0	33,7	39,7	39,5	38,4	15,9	8,0	0,0	0,0
Fit2-50	F	3,5	1,2	2	36,5	38,3	37,1	72,7	49,7	49,5	48,4	46,6	45,0	45,4	45,3	45,0	43,7	49,7	49,5	48,4	25,9	8,0	0,0	0,0
Fit3-30	F	1,1	0,7	3	17,8	19,4	18,3	53,9	29,7	29,4	28,5	26,5	24,7	25,4	25,3	24,9	23,7	29,7	29,4	28,5	7,3	8,0	0,0	0,0
Fit3-40	F	2,3	1,0	3	27,8	29,4	28,3	63,9	39,7	39,4	38,5	36,5	34,7	35,4	35,3	34,9	33,7	39,7	39,4	38,5	17,3	8,0	0,0	0,0
Fit3-50	F	4,6	1,0	3	37,8	39,4	38,3	73,9	49,7	49,4	48,5	46,5	44,7	45,4	45,3	44,9	43,7	49,7	49,4	48,5	27,3	8,0	0,9	0,2
Trin1-30	S	0,7	0,6	1	13,0	14,1	13,5	40,0	29,7	29,5	28,5	24,8	23,2	24,6	24,6	24,0	22,6	29,6	29,4	28,4	5,3	7,0	0,0	0,0
Trin1-40	S	2,3	0,9	1	23,0	24,1	23,5	50,0	39,7	39,5	38,5	34,8	33,2	34,6	34,6	34,0	32,6	39,6	39,4	38,4	15,3	7,0	3,7	1,9
Trin1-50	S	3,8	1,1	1	33,0	34,1	33,5	60,0	49,7	49,5	48,5	44,8	43,2	44,6	44,6	44,0	42,6	49,6	49,4	48,4	25,3	7,0	6,0	5,1
Trin2-30	S	1,2	0,8	2	16,9	18,3	17,3	43,7	29,7	29,5	28,4	25,8	24,4	24,6	24,5	23,7	22,9	29,6	29,4	28,3	9,5	8,1	0,0	0,0
Trin2-40	S	3,0	1,0	2	26,9	28,3	27,3	53,7	39,7	39,5	38,4	36,6	34,4	34,6	34,5	33,7	32,9	39,6	39,4	38,3	19,5	8,1	4,8	3,2
Trin2-50	S	4,6	1,0	2	36,9	38,3	37,3	63,7	49,7	49,5	48,4	46,6	44,4	44,6	44,5	43,7	42,9	49,6	49,4	48,3	29,5	8,1	6,0	4,9
Trin3-30	S	1,7	0,8	3	18,3	19,4	18,7	45,1	29,7	29,5	28,4	25,4	24,0	24,6	24,5	23,9	23,0	29,6	29,4	28,3	10,9	6,8	0,0	0,0
Trin3-40	S	3,0	0,9	3	28,3	29,4	28,7	55,1	39,7	39,5	38,4	35,4	34,0	34,6	34,5	33,9	33,0	39,6	39,4	38,3	20,9	6,8	5,7	3,8
Trin3-50	S	5,2	1,0	3	38,3	39,4	38,7	65,1	49,7	49,5	48,4	45,4	44,0	44,6	44,5	43,9	43,0	49,6	49,4	48,3	30,9	6,8	6,0	5,1
Varme-25a	W	0,6	0,5	6	18,3	19,4	18,8	43,6	24,7	24,3	23,1	21,7	21,0	21,8	21,6	21,2	20,7	24,7	24,3	23,1	9,8	4,9	1,4	0,0
Varme-25b	W	0,4	0,3	6	18,3	19,4	18,8	43,6	24,7	24,3	23,1	21,7	21,0	21,8	21,6	21,2	20,7	24,7	24,3	23,1	9,8	4,9	1,4	0,0
Varme-35a	W	2,1	0,7	6	28,3	29,4	28,8	53,6	34,7	34,3	33,1	31,7	31,0	31,8	31,6	31,2	30,7	34,7	34,3	33,1	19,8	4,9	6,0	0,0
Varme-35b	W	2,2	0,7	6	28,3	29,4	28,8	53,6	34,7	34,3	33,1	31,7	31,0	31,8	31,6	31,2	30,7	34,7	34,3	33,1	19,8	4,9	6,0	0,0
Varme-45a	W	3,1	1,2	6	38,3	39,4	38,8	63,6	44,7	44,3	43,1	41,7	41,0	41,8	41,6	41,2	40,7	44,7	44,3	43,1	29,8	4,9	6,0	0,0
Varme-45b	W	3,5	1,0	6	38,3	39,4	38,8	63,6	44,7	44,3	43,1	41,7	41,0	41,8	41,6	41,2	40,7	44,7	44,3	43,1	29,8	4,9	6,0	0,0
"Tunnel", metro og andre tog i tunneler																								
Metro1-30	M	0,8	0,5	1	12,0	13,6	8,5	30,0	29,7	29,5	28,8	25,9	23,5	25,6	25,5	25,3	24,3	26,7	26,5	25,8	8,4	5,3	0,0	0,9
Metro1-40	M	0,7	0,4	1	22,0	24,6	18,5	40,0	39,7	39,5	38,8	35,9	33,5	35,6	35,5	35,3	34,3	36,7	36,5	35,8	18,4	5,3	4,6	4,5
Metro1-50	M	1,4	0,8	1	32,0	34,6	28,5	50,0	49,7	49,5	48,8	45,9	43,5	45,6	45,5	45,3	44,3	46,7	46,5	45,8	28,4	5,3	6,0	5,1
Metro2-30	M	1,0	0,5	2	16,8	18,5	13,1	35,3	29,7	29,5	28,8	27,7	26,6	27,3	27,2	27,0	26,1	26,7	26,5	25,7	13,4	5,3	0,0	0,0
Metro2-40	M	1,5	0,8	2	26,8	28,5	23,1	45,3	39,7	39,5	38,8	37,7	36,6	37,3	37,2	37,0	36,1	36,7	36,5	35,7	23,4	5,3	0,0	0,0
Metro2-50	M	2,6	1,1	2	36,8	38,5	33,1	55,3	49,7	49,5	48,8	47,7	46,6	47,3	47,2	47,0	46,1	46,7	46,5	45,7	33,4	5,3	0,0	0,0
Metro3-30	M	1,0	0,5	3	18,3	19,1	16,1	36,4	29,7	29,5	28,7	27,3	25,7	27,3	27,2	27,0	25,6	29,2	28,9	28,5	14,7	5,3	0,0	0,0
Metro3-40	M	1,8	0,7	3	28,3	29,1	26,1	46,4	39,7	39,5	38,7	37,3	35,7	37,3	37,2	37,0	35,6	39,2	38,9	38,5	24,7	5,3	0,0	0,0
Metro3-50	M	3,0	1,0	3	38,3	39,1	36,1	56,4	49,7	49,5	48,7	47,3	45,7	47,3	47,2	47,0	45,6	49,2	48,9	48,5	34,7	5,3	0,0	0,0
Metro4-30	M	1,0	0,6	4	20,0	21,3	17,3	38,3	29,7	29,5	28,8	27,6	26,6	27,3	27,2	27,1	26,7	29,2	28,9	28,5	16,5	5,3	0,0	0,0
Metro4-40	M	2,1	0,9	4	30,0	31,3	27,3	48,3	39,7	39,5	38,8	37,6	36,6	37,3	37,2	37,1	36,7	39,2	38,9	38,5	26,5	5,3	0,0	0,0
Metro4-50	M	3,2	0,9	4	40,0	41,3	37,3	58,3	49,7	49,5	48,8	47,6	46,6	47,3	47,2	47,1	46,7	49,2	48,9	48,5	36,5	5,3	0,0	0,0
Tog1-30	R	0,8	0,6	1	18,0	18,7	18,3	43,8	29,7	29,5	28,9	28,3	27,8	28,0	27,8	27,7	27,4	29,3	29,2	28,7	11,4	2,2	0,0	0,0
Tog1-40	R	1,6	0,9	1	28,0	28,7	28,3	53,8	39,7	39,5	38,9	38,3	37,8	38,0	37,8	37,7	37,4	39,3	39,2	38,7	21,4	2,2	0,3	3,2
Tog1-50	R	3,0	1,1	1	38,0	38,5	38,3	63,8	49,7	49,5	48,9	48,3	47,8	48,0	47,8	47,7	47,4	49,3	49,2	48,7	31,4	2,2	1,2	4,8
Tog2-30	R	1,1	0,5	2	20,8	20,8	20,7	47,5	29,7	29,5	28,8	27,9	27,4	28,0	27,8	27,6	27,3	29,3	29,2	28,6	14,9	3,1	0,0	0,2
Tog2-40	R	2,0	0,9	2	30,8	30,0	30,7	57,5	39,7															

Bilag 9 Sammenlignelige indikatorer

Maksimalværdier kontra statistiske niveauer

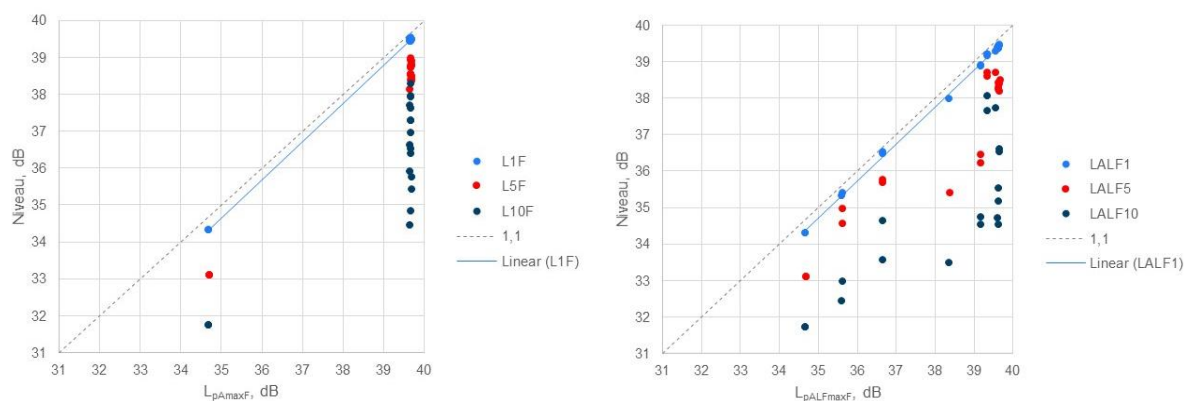
$L_{pAmax,F}$ og $L_{pALFmax,F}$ betegner maksimalværdierne med tidsvægtning F af henholdsvis det A-vægtede lydtryk-niveau og det lavfrekvente A-vægtede niveau. Tilsvarende betegner de statistiske fraktiler L_{A1} og L_{ALF1} det A-vægtede lydtrykniveau og det lavfrekvente A-vægtede niveau, som er overskredet 1 % af tiden.

Måleteknisk er maksimalniveauer en usikker størrelse, som ikke nødvendigvis konvergerer, idet der i princippet altid kan komme en større maksimalværdi, hvis man venter længe nok.

De statistiske niveauer, fx L_1 (det niveau som er overskredet 1 % af tiden), er ud fra et måleteknisk synspunkt mere attraktive, fordi de med tiden vil konvergere mod en stabil værdi. Ud fra den betragtning er de at foretrække frem for maksimalværdierne.

Figur 26 viser, at for de stimuli, der er med i denne test, er forskellen mellem maksimalværdierne og L_1 -værdierne minimal, medens der er noget mere spredning på L_5 - og L_{10} -værdierne.

Der er heller ikke forskel på korrelationen med gene for maksimalværdier og L_1 -værdier.



Figur 26 Sammenhæng mellem A-vægtede maksimalværdier (venstre figur) og A-vægtede fraktiler og tilsvarende (højre figur) for de A-vægtede lavfrekvensniveauer for stimuli med nominelle niveauer på 35-40 dB. Det blå punkt i øverste højre hjørne af venstre figur består af 17 sammenfaldende punkter. De blå punkter på højre figur er ligeledes 17 mere eller mindre overlappende punkter.

$L_{ALF_{eq}}$ kontra $A(LF)$

Det A-vægtede lavfrekvente ækvivalentniveau er målt på to forskellige måder:

- $A(LF)$ er beregnet ud fra 1/3-oktaverne 10-160 Hz i et A-vægtet spektrum.
- $L_{ALF_{eq}}$ er målt som det A-vægtede niveau af et båndpasfiltreret signal mellem 9 Hz og 178 Hz (grænsefrekvenserne for 10 og 160 Hz 1/3-oktaverne).

Førstnævnte er den metode der er beskrevet i [2], men forskellen mellem de to er for alle stimuli mindre end 0,9 dB. De to indikatorer kan dermed bruges på lige fod i databehandlingen.

Bilag 10 Relevant genegrad for støjgrænse

Metode 1 er diskuteret i afsnit 3.10.3. Metode 2 og 3 er en fortsættelse af overvejelserne fra afsnit 3.10.3 om, hvordan Miljøstyrelsens sædvanlige beskyttelsesgrad kan relateres til resultaterne af lyttetesten

Metode 2

Det er i lyttetesten ikke forsøgt at klarlægge høretærsklen for de forskellige stimuli, selv om de svageste ikke ligger så langt over. I testen benyttes en geneskala med verbale ankerpunkter, som omsættes til en genegrad på en numerisk skala fra 0-10, se Figur 1. "Slet ikke generet" svarer til 0 og "Lettere generet" svarer til 2,5.

Ifølge Bilag 14 svarer en gennemsnitlig genegrad på 1 til ca. 15 % lidt generet. Man skal skelne mellem "Lidt generet" og "Lettere generet", sidstnævnte er et skalapunkt på geneskalaen. Til gruppen (mindst) "Lidt generet" regnes de, der angiver en genegrad større end 3, ca. svarende til kategorierne "Moderat generet", "Kraftigt generet" og "Ekstremt generet".

Af Figur 5 i afsnit 3.9 fremgår, at den gennemsnitlige genegrad stiger fra ca. 1 og opefter. Det kan tolkes som, at tærsklen for den gennemsnitlige gene er ca. 1. Det kunne derfor give mening at antage, at denne tærskel nogenlunde svarer til antagelsen om, at støjgenen (lavfrekvent støj) vil være væsentlig allerede lidt over høretærsklen.

På baggrund af ovenstående antages, at en genegrad på ca. 1 i lyttetesten repræsenterer et rimeligt udgangspunkt for en støjgrænse for de forskellige indikatorer.

Til sammenligning kan det nævnes, at for vejtrafikstøj er det fundet, se Bilag 14, at en gennemsnitlig genegrad på 3 svarer til ca. 10 % stærkt generet. Til gruppen stærkt generet regnes de, der angiver en genegrad på 8-10, dvs. kategorierne "Kraftigt generet" og "Ekstremt generet". Ifølge WHO, jf.[19], er 10 % stærkt generet den grænse, hvor der er en relevant risikoforøgelse.

Metode 3

Endelig kan man se på, hvilken genegrad de nuværende støjgrænser for virksomhedsstøj svarer til for de kontinuerte støjeksempler. Der er desværre kun varmeværket, som med sin pulserende toneagtige lyd er lidt speciel, og så referencestøjen (vejtrafik hørt indendørs (Trafik)), som jo ikke er specielt lavfrekvent, at tage udgangspunkt i. Ikke desto mindre er de nuværende støjgrænser sammenlignet med dosis-responskurverne fra lyttetesten i Tabel 12.

	L_r	L_{ALFeq}^*
Støjgrænse, aften	30	20
Varmeværk, genegrad 1	26	26
Varmeværk, genegrad 1,5	31	30
Vejtrafik, genegrad 1	22	17
Vejtrafik, genegrad 1,5	27	21
Vejtrafik, genegrad 2	30	24

*inklusive evt. 5 dB tillæg for impulser

Tabel 12 Støjgrænser for virksomhedsstøj fra [7] og [2] samt lydtrykniveauer for forskellige genegrader udledt fra Figur 6 og Figur 7 (trafikstøj) samt Figur 16 og Figur 21 (virksomhedsrelateret støj).

Det ses at:

- For varmeværket svarer grænsen for virksomhedsstøj, L_r , til en genegrad på 1,4
- For varmeværket svarer grænsen for virksomhedsstøj, L_{ALFeq} , til en genegrad på ca. 0,5
- For trafikstøjen svarer grænsen for virksomhedsstøj, L_{Aeq} , til en genegrad på 2
- For trafikstøjen svarer grænsen for virksomhedsstøj, L_{ALFeq} , til en genegrad på ca. 1,4.

Disse resultater peger altså på, at den relevante genegrad kan ligge både under og over 1. Metoden er formentlig brugbar, men det foreliggende grundlag er for spinkelt og ufuldstændigt til at konkludere på.

Bilag 11 Korrelationsanalyser

Tabel 13 viser korrelationerne mellem gene og forskellige indikatorer. Tabel 14 og Tabel 15 viser korrelationsstabellerne for alle indikatorerne indbyrdes og med gene.

Den venstre del af Tabel 13 er for et meget begrænset niveauområde, og viser korrelationerne når niveauet ikke er med til at forklare variationen i gene. Dvs. at det er mere lydens karakteristika end det er niveauet, der bestemmer korrelationen. Den beskriver altså hvor godt de forskellige indikatorer forklarer genen fra forskellige lyde med et ensartet niveau.

Det ses at:

- L_{Aeq} med tillæg for impulser og evt. toner ligger højest
- L_{ALFeq} med tillæg for impulser og evt. toner ligger pænt
- L_{HFeq} , L_{ALFeq} og L_{Aeq} er brugbare
- L_{Geq} (infralyd) er ikke egnet.

Den højre del af Tabel 13 viser korrelationskoefficienterne når de forskellige niveauer tages med i betragtning. Da niveauerne nu er med til at forklare variationen af genen, stiger korrelationen mellem gene og indikatorerne, da genen alt andet lige stiger med niveauet.

Nominelt 35-40 dB		Alle niveauer					
Metrik	Alle kilder	Metrik	Alle kilder	Metrik	Tunnel	Metrik	Virks.
LAeq+KI+KT (ISO)	0,77	LAeq+KI+KT (ISO)	0,89	A(LF)	0,93	LHTeq	0,95
LAeq+KI	0,70	LAeq+KI	0,88	G(infra)	0,93	LAeq+KT-DK	0,94
LALFeq+KI+KT (ISO)	0,60	LAeq+KT-DK	0,86	LALFeq	0,93	LAeq+KI	0,91
LAeq+KT-ISO	0,59	LALFeq+KI+KT (ISO)	0,86	LAeq	0,92	LAeq+KI+KT (ISO)	0,91
LALFeq+KI	0,47	LALFeq+KI	0,85	LALFeq+KI	0,92	L50F	0,91
LALFeq+KT (ISO)	0,41	LAeq+KT-ISO	0,84	Lin	0,90	L10S	0,91
LAeq+KT-DK	0,41	LAeq	0,83	LAeq+KI	0,89	L50S	0,91
LHTeq	0,40	LALFeq+KT-DK	0,83	LALFeq+KT-DK	0,89	LpAmaxS	0,91
LAeq	0,40	LHTeq	0,82	LAeq+KT-DK	0,89	L1S	0,91
A (LF)	0,30	L50F	0,81	LHTeq	0,89	L5S	0,91
LALFeq+KT-DK	0,25	A(LF)	0,81	LALFeq+KT (ISO)	0,87	L10F	0,90
LALFeq	0,21	LpAmaxF	0,81	LALF50	0,86	LAeq	0,89
Antal	0,20	L1F	0,81	LAeq+KT-ISO	0,86	L5F	0,89
Lin	0,14	L5F	0,81	LALFeq+KI+KT (ISO)	0,86	LALFeq+KT-DK	0,88
L50F	0,10	L10F	0,81	L50S	0,85	L1F	0,88
L5F	0,05	LALFeq+KT (ISO)	0,80	LALF10	0,85	LpAmaxF	0,88
L10F	0,05	LpALFmaxF	0,80	L50F	0,85	LAeq+KT-ISO	0,86
L1F	0,05	LALFeq	0,80	LpALFmaxF	0,84	LALFeq+KI+KT (ISO)	0,85
LpAmaxF	0,04	LpAmaxS	0,80	LALF1	0,84	LALFeq+KI	0,84
L50S	0,00	L1S	0,80	L10S	0,84	LALF10	0,84
LpAmaxS	-0,02	LALF1	0,79	LALF5	0,84	LALF50	0,84
L1S	-0,02	L50S	0,79	LpAmaxS	0,83	LpALFmaxF	0,83
L5S	-0,04	L5S	0,79	L1S	0,83	LALF1	0,83
L10S	-0,04	L10S	0,79	L5S	0,83	A(LF)	0,82
LpALFmaxF	-0,05	LALF5	0,79	LAeq+KI+KT (ISO)	0,83	LALF5	0,82
LALF1	-0,07	LALF10	0,78	L10F	0,82	LALFeq	0,82
LALF5	-0,14	LALF50	0,78	L5F	0,80	LALFeq+KT (ISO)	0,80
LALF50	-0,16	Lin	0,72	LpAmaxF	0,79	Lin	0,64
LALF10	-0,19	G(infra)	0,28	L1F	0,79	G(infra)	0,15
G (infra)	-0,48	Antal	0,05	Antal	0,30	Antal	-0,06

Tabel 13 Korrelationskoefficienter med gene for LF-stimuli, dvs. alle stimuli undtagen referencestimuli (Trafik). Venstre tabel omfatter stimuli med nominelle niveauer $L_{pAmax,F}$ på 35-40 dB, medens højre tabel omfatter alle niveauer ($L_{Amax,F} = 25-50$ dB). Med gult er markeret de mest interessante indikatorer, som er sammenstillet i Tabel 4. Indikatorerne er forklaret i afsnit 3.7.

	Gene	LAeq+Kj+KT(ISO)	LAeq+Kj	LAeq+KT-DK	LALFeq+Kj+KT(ISO)	LALFeq+Kj	LAeq+KT-ISO	LAeq	LALFeq+KT-DK	LHTEq	L50F	A (LF)	LpAmaxF	L1F	L5F	L10F	LALFeq+KT(ISO)	LpALFmaxF	LALFeq	LpAmaxS	L1S	LALF1	L50S	L5S	L10S	LALF5	LALF10	LALF50	Lin	G (infra)	Antal
Gene	1.00	0.89	0.88	0.86	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.81	0.81		0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.72	0.28	0.05	
LAeq+Kj+KT(ISO)	0.89	1.00	0.97	0.95	0.99	0.96	0.98	0.94	0.93	0.89	0.91	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.96	0.91	0.92	0.90	0.90	0.91	0.90	0.90	0.89	0.90	0.90	0.79	0.47	0.17	
LAeq+Kj	0.88	0.97	1.00	0.96	0.96	0.99	0.95	0.98	0.95	0.92	0.95	0.96	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.95	0.96	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.94	0.94	0.85	0.57	0.14	
LAeq+KT-DK	0.86	0.95	0.96	1.00	0.93	0.95	0.97	0.98	0.99	0.96	0.96	0.96	0.93	0.93	0.93	0.95	0.95	0.93	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96	0.95	0.96	0.93	0.95	0.95	0.80	0.52	0.09
LALFeq+Kj+KT(ISO)	0.86	0.99	0.96	0.93	1.00	0.97	0.97	0.93	0.95	0.85	0.88	0.94	0.89	0.89	0.89	0.88	0.98	0.91	0.94	0.88	0.88	0.91	0.88	0.87	0.87	0.91	0.91	0.91	0.85	0.56	0.20
LALFeq+Kj	0.85	0.96	0.99	0.95	0.97	1.00	0.95	0.97	0.96	0.87	0.92	0.98	0.92	0.91	0.91	0.92	0.95	0.95	0.98	0.92	0.92	0.95	0.92	0.91	0.91	0.94	0.94	0.95	0.91	0.66	0.18
LAeq+KT-ISO	0.84	0.98	0.95	0.97	0.97	0.95	1.00	0.96	0.96	0.92	0.90	0.95	0.88	0.88	0.88	0.89	0.99	0.89	0.95	0.90	0.90	0.89	0.91	0.90	0.90	0.88	0.90	0.91	0.78	0.50	0.25
LAeq	0.83	0.94	0.98	0.98	0.93	0.97	0.96	1.00	0.98	0.96	0.95	0.98	0.92	0.92	0.92	0.94	0.95	0.93	0.99	0.95	0.95	0.93	0.96	0.95	0.95	0.92	0.94	0.95	0.83	0.59	0.18
LALFeq+KT-DK	0.83	0.93	0.95	0.99	0.95	0.96	0.96	0.98	1.00	0.91	0.93	0.98	0.91	0.91	0.91	0.92	0.97	0.93	0.98	0.93	0.93	0.93	0.95	0.93	0.93	0.93	0.95	0.96	0.85	0.60	0.12
LHTEq	0.82	0.89	0.92	0.96	0.85	0.87	0.92	0.96	0.91	1.00	0.94	0.89	0.89	0.89	0.89	0.93	0.87	0.87	0.90	0.94	0.94	0.86	0.95	0.94	0.94	0.85	0.88	0.88	0.65	0.40	0.12
L50F	0.81	0.91	0.95	0.96	0.88	0.92	0.90	0.95	0.93	0.94	1.00	0.91	0.98	0.98	0.99	1.00	0.87	0.97	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.78	0.54	-0.10
A (LF)	0.81	0.92	0.96	0.96	0.94	0.98	0.95	0.98	0.98	0.89	0.91	1.00	0.88	0.88	0.88	0.90	0.97	0.92	1.00	0.91	0.91	0.92	0.93	0.91	0.91	0.92	0.94	0.95	0.90	0.67	0.22
LpAmaxF	0.81	0.91	0.94	0.93	0.89	0.92	0.88	0.92	0.91	0.89	0.98	0.88	1.00	1.00	1.00	0.99	0.86	0.99	0.89	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.99	0.98	0.97	0.78	0.53	-0.15
L1F	0.81	0.91	0.94	0.93	0.89	0.91	0.88	0.92	0.91	0.89	0.98	0.88	1.00	1.00	1.00	0.99	0.86	0.98	0.89	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.78	0.53	-0.16
L5F	0.81	0.91	0.94	0.93	0.89	0.91	0.88	0.92	0.91	0.89	0.99	0.88	1.00	1.00	1.00	0.99	0.85	0.98	0.89	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.77	0.52	-0.16
L10F	0.81	0.91	0.94	0.95	0.88	0.92	0.89	0.94	0.92	0.93	1.00	0.90	0.99	0.99	0.99	1.00	0.86	0.98	0.91	1.00	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.78	0.54	-0.12
LALFeq+KT(ISO)	0.80	0.96	0.93	0.95	0.98	0.95	0.99	0.95	0.97	0.87	0.87	0.97	0.86	0.86	0.85	0.86	1.00	0.89	0.97	0.87	0.87	0.88	0.89	0.87	0.87	0.88	0.90	0.91	0.83	0.58	0.28
LpALFmaxF	0.80	0.91	0.95	0.93	0.91	0.95	0.89	0.93	0.93	0.87	0.97	0.92	0.99	0.98	0.98	0.98	0.89	1.00	0.93	0.97	0.97	1.00	0.96	0.97	0.97	1.00	0.99	0.98	0.84	0.62	-0.09
LALFeq	0.80	0.92	0.96	0.96	0.94	0.98	0.95	0.99	0.98	0.90	0.92	1.00	0.89	0.89	0.89	0.91	0.97	0.93	1.00	0.92	0.92	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.94	0.95	0.88	0.68	0.22
LpAmaxS	0.80	0.90	0.94	0.96	0.88	0.92	0.90	0.95	0.93	0.94	1.00	0.91	0.99	0.99	0.99	1.00	0.87	0.97	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.77	0.55	-0.09
L1S	0.80	0.90	0.94	0.96	0.88	0.92	0.90	0.95	0.93	0.94	1.00	0.91	0.99	0.99	0.99	1.00	0.87	0.97	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.77	0.55	-0.09
LALF1	0.79	0.91	0.94	0.93	0.91	0.95	0.89	0.93	0.93	0.86	0.97	0.92	0.99	0.99	0.98	0.98	0.88	1.00	0.93	0.97	0.97	1.00	0.96	0.97	0.97	1.00	0.99	0.98	0.84	0.62	-0.10
L50S	0.79	0.90	0.94	0.96	0.88	0.92	0.91	0.96	0.95	0.95	1.00	0.93	0.97	0.97	0.98	0.99	0.89	0.96	0.93	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98	0.98	0.78	0.56	-0.06
L5S	0.79	0.90	0.94	0.95	0.87	0.91	0.90	0.95	0.93	0.94	1.00	0.91	0.98	0.98	0.99	1.00	0.87	0.97	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98	0.97	0.76	0.54	-0.09
L10S	0.79	0.89	0.94	0.96	0.87	0.91	0.90	0.95	0.93	0.94	1.00	0.91	0.98	0.98	0.98	1.00	0.87	0.97	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98	0.98	0.76	0.54	-0.08
LALF5	0.79	0.90	0.93	0.93	0.91	0.94	0.88	0.92	0.93	0.85	0.97	0.92	0.99	0.98	0.98	0.97	0.88	1.00	0.92	0.97	0.97	1.00	0.96	0.97	0.96	1.00	0.99	0.99	0.85	0.63	-0.13
LALF10	0.78	0.90	0.94	0.95	0.91	0.94	0.90	0.94	0.95	0.88	0.98	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98	0.90	0.99	0.94	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00	0.85	0.65	-0.09
LALF50	0.78	0.90	0.94	0.95	0.91	0.95	0.91	0.95	0.96	0.88	0.98	0.95	0.97	0.97	0.97	0.98	0.91	0.98	0.95	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	0.86	0.66	-0.07
Lin	0.72	0.79	0.85	0.80	0.85	0.91	0.78	0.83	0.85	0.65	0.78	0.90	0.78	0.78	0.77	0.78	0.83	0.84	0.88	0.77	0.77	0.84	0.78	0.76	0.76	0.85	0.85	0.86	1.00	0.80	0.10
G (infra)	0.28	0.47	0.57	0.52	0.56	0.66	0.50	0.59	0.60	0.40	0.54	0.67	0.53	0.53	0.52	0.54	0.58	0.62	0.68	0.55	0.55	0.62	0.56	0.54	0.54	0.63	0.65	0.66	0.80	1.00	0.19
Antal	0.05	0.17	0.14	0.09	0.20	0.18	0.25	0.18	0.12	0.12	-0.10	0.22	-0.15	-0.16	-0.16	-0.12	0.28	-0.09	0.22	-0.09	-0.09	-0.10	-0.06	-0.09	-0.08	-0.13	-0.09	-0.07	0.10	0.19	1.00

Tabel 14

Korrelationskoeffecienter for alle indikatorer og niveauer 25-50 dB.
Uden referencestøj (trafikstøj). Indikatorerne er forklaret i afsnit 3.7.

	Gene	L _{Aeq} +K _I +K _T (ISO)	L _{Aeq} +K _I	L _{ALF} +K _I +K _T (ISO)	L _{Aeq} +K _T -ISO	L _{ALF} +K _I	L _{ALF} +K _T (ISO)	L _{Aeq} +K _T -DK	L _{HT} eq	L _{Aeq}	A (LF)	L _{ALF} +K _T -DK	L _{ALF} eq	Antal	Lin	L50F	L5F	L10F	L1F	LpAmaxF	L50S	LpAmaxS	L1S	L5S	L10S	LpALFmaxF	LALF1	LALF5	LALF50	LALF10	G (infra)
Gene	1.00	0.77	0.70	0.60	0.59	0.47	0.41	0.41	0.40	0.40	0.30	0.25	0.21	0.20	0.14	0.10	0.05	0.05	0.05	0.04	0.00	-0.02	-0.02	-0.04	-0.04	-0.05	-0.07	-0.14	-0.16	-0.19	-0.48
L _{Aeq} +K _I +K _T (ISO)	0.77	1.00	0.64	0.91	0.84	0.54	0.73	0.35	0.24	0.36	0.34	0.30	0.29	0.57	0.10	-0.33	-0.41	-0.39	-0.40	-0.40	-0.33	-0.41	-0.41	0.43	0.41	-0.33	-0.36	-0.40	-0.36	-0.43	-0.32
L _{Aeq} +K _I	0.70	0.64	1.00	0.58	0.54	0.85	0.47	0.55	0.51	0.76	0.66	0.47	0.63	0.49	0.46	0.25	0.00	0.17	-0.01	-0.01	0.23	0.18	0.17	0.15	0.15	0.20	0.17	0.02	0.16	0.11	0.12
L _{ALF} +K _I +K _T (ISO)	0.60	0.91	0.58	1.00	0.80	0.70	0.86	0.35	0.01	0.37	0.54	0.47	0.48	0.62	0.38	-0.45	-0.54	-0.54	-0.51	-0.51	-0.41	-0.52	-0.52	-0.56	-0.53	-0.16	-0.18	-0.18	-0.14	-0.23	0.00
L _{Aeq} +K _T -ISO	0.59	0.84	0.54	0.80	1.00	0.51	0.92	0.69	0.52	0.66	0.60	0.64	0.59	0.68	0.06	-0.12	-0.48	-0.27	-0.52	-0.52	0.01	-0.16	-0.16	-0.18	-0.11	-0.37	-0.39	-0.39	-0.09	-0.24	-0.20
L _{ALF} +K _I	0.47	0.54	0.85	0.70	0.51	1.00	0.65	0.51	0.17	0.70	0.86	0.65	0.82	0.54	0.77	0.03	-0.19	-0.07	-0.19	-0.18	0.08	-0.02	-0.03	-0.07	-0.05	0.36	0.34	0.25	0.39	0.31	0.48
L _{ALF} +K _T (ISO)	0.41	0.73	0.47	0.86	0.92	0.65	1.00	0.64	0.26	0.62	0.75	0.75	0.74	0.70	0.34	-0.25	-0.58	-0.41	-0.60	-0.59	-0.09	-0.28	-0.28	-0.31	-0.24	-0.18	-0.20	-0.16	0.12	-0.05	0.11
L _{Aeq} +K _T -DK	0.41	0.35	0.55	0.35	0.69	0.51	0.64	1.00	0.74	0.86	0.75	0.91	0.77	0.26	0.23	0.53	0.12	0.39	0.05	0.05	0.65	0.52	0.52	0.49	0.56	0.19	0.17	0.18	0.54	0.43	0.03
L _{HT} eq	0.40	0.24	0.51	0.01	0.52	0.17	0.26	0.74	1.00	0.77	0.39	0.45	0.43	0.28	-0.26	0.63	0.19	0.52	0.11	0.10	0.71	0.64	0.64	0.64	0.69	-0.09	-0.10	-0.22	0.14	0.07	-0.29
L _{Aeq}	0.40	0.36	0.76	0.37	0.66	0.70	0.62	0.86	0.77	1.00	0.88	0.80	0.89	0.56	0.36	0.46	-0.07	0.29	-0.15	-0.15	0.60	0.44	0.44	0.43	0.48	0.14	0.12	0.03	0.46	0.33	0.24
A (LF)	0.30	0.34	0.66	0.54	0.60	0.86	0.75	0.75	0.39	0.88	1.00	0.89	0.99	0.55	0.68	0.22	-0.23	0.04	-0.27	-0.27	0.37	0.18	0.18	0.15	0.21	0.29	0.27	0.25	0.60	0.46	0.49
L _{ALF} +K _T -DK	0.25	0.30	0.47	0.47	0.64	0.65	0.75	0.91	0.45	0.80	0.89	1.00	0.89	0.32	0.49	0.32	-0.05	0.17	-0.10	-0.09	0.48	0.32	0.32	0.29	0.35	0.31	0.30	0.35	0.67	0.55	0.32
L _{ALF} eq	0.21	0.29	0.63	0.48	0.59	0.82	0.74	0.77	0.43	0.89	0.99	0.89	1.00	0.57	0.62	0.23	-0.23	0.06	-0.28	-0.27	0.41	0.23	0.22	0.20	0.26	0.28	0.26	0.23	0.61	0.47	0.52
Antal	0.20	0.57	0.49	0.62	0.68	0.54	0.70	0.26	0.28	0.56	0.55	0.32	0.57	1.00	0.17	-0.42	-0.79	-0.55	-0.81	-0.81	-0.22	-0.39	-0.39	-0.39	-0.33	-0.40	-0.43	-0.56	-0.26	-0.41	0.23
Lin	0.14	0.10	0.46	0.38	0.06	0.77	0.34	0.23	-0.26	0.36	0.68	0.49	0.62	0.17	1.00	0.01	-0.09	-0.05	-0.06	-0.05	0.02	-0.08	-0.09	-0.11	-0.09	0.47	0.46	0.51	0.58	0.53	0.72
L50F	0.10	-0.33	0.25	-0.45	-0.12	0.03	-0.25	0.53	0.63	0.46	0.22	0.32	0.23	-0.42	0.01	1.00	0.75	0.97	0.69	0.69	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.44	0.45	0.44	0.64	0.67	-0.04
L5F	0.05	-0.41	0.00	-0.54	-0.48	-0.19	-0.58	0.12	0.19	-0.07	-0.23	-0.05	-0.23	-0.79	-0.09	0.75	1.00	0.88	0.99	0.99	0.58	0.76	0.76	0.75	0.68	0.64	0.66	0.65	0.42	0.59	-0.14
L10F	0.05	-0.39	0.17	-0.54	-0.27	-0.07	-0.41	0.39	0.52	0.29	0.04	0.17	0.06	-0.55	-0.05	0.97	0.88	1.00	0.83	0.83	0.87	0.95	0.95	0.95	0.92	0.50	0.51	0.50	0.57	0.65	-0.05
L1F	0.05	-0.40	-0.01	-0.51	-0.52	-0.19	-0.60	0.05	0.11	-0.15	-0.27	-0.10	-0.28	-0.81	-0.06	0.69	0.99	0.83	1.00	1.00	0.50	0.69	0.69	0.68	0.60	0.65	0.67	0.67	0.39	0.56	-0.13
LpAmaxF	0.04	-0.40	-0.01	-0.51	-0.52	-0.18	-0.59	0.05	0.10	-0.15	-0.27	-0.09	-0.27	-0.81	-0.05	0.69	0.99	0.83	1.00	1.00	0.50	0.69	0.69	0.67	0.60	0.66	0.68	0.68	0.40	0.57	-0.12
L50S	0.00	-0.33	0.23	-0.41	0.01	0.08	-0.09	0.65	0.71	0.60	0.37	0.48	0.41	-0.22	0.02	0.95	0.58	0.87	0.50	0.50	1.00	0.93	0.93	0.93	0.97	0.39	0.39	0.37	0.68	0.66	0.07
LpAmaxS	-0.02	-0.41	0.18	-0.52	-0.16	-0.02	-0.28	0.52	0.64	0.44	0.18	0.32	0.23	-0.39	-0.08	0.95	0.76	0.95	0.69	0.69	0.93	1.00	1.00	1.00	0.98	0.49	0.50	0.46	0.62	0.66	0.01
L1S	-0.02	-0.41	0.17	-0.52	-0.16	-0.03	-0.28	0.52	0.64	0.44	0.18	0.32	0.22	-0.39	-0.09	0.95	0.76	0.95	0.69	0.69	0.93	1.00	1.00	1.00	0.98	0.49	0.50	0.46	0.62	0.66	0.00
L5S	-0.04	-0.43	0.15	-0.56	-0.18	-0.07	-0.31	0.49	0.64	0.43	0.15	0.29	0.20	-0.39	-0.11	0.95	0.75	0.95	0.68	0.67	0.93	1.00	1.00	1.00	0.99	0.45	0.46	0.42	0.59	0.64	0.00
L10S	-0.04	-0.41	0.15	-0.53	-0.11	-0.05	-0.24	0.56	0.69	0.48	0.21	0.35	0.26	-0.33	-0.09	0.96	0.68	0.92	0.60	0.60	0.97	0.98	0.98	0.99	1.00	0.40	0.40	0.37	0.61	0.63	0.00
LpALFmaxF	-0.05	-0.33	0.20	-0.16	-0.37	0.36	-0.18	0.19	-0.09	0.14	0.29	0.31	0.28	-0.40	0.47	0.44	0.64	0.50	0.65	0.66	0.39	0.49	0.49	0.45	0.40	1.00	1.00	0.93	0.72	0.81	0.42
LALF1	-0.07	-0.36	0.17	-0.18	-0.39	0.34	-0.20	0.17	-0.10	0.12	0.27	0.30	0.26	-0.43	0.46	0.45	0.66	0.51	0.67	0.68	0.39	0.50	0.50	0.46	0.40	1.00	1.00	0.94	0.73	0.82	0.42
LALF5	-0.14	-0.40	0.02	-0.18	-0.39	0.25	-0.16	0.18	-0.22	0.03	0.25	0.35	0.23	-0.56	0.51	0.44	0.65	0.50	0.67	0.68	0.37	0.46	0.46	0.42	0.37	0.93	0.94	1.00	0.81	0.90	0.44
LALF50	-0.16	-0.36	0.16	-0.14	-0.09	0.39	0.12	0.54	0.14	0.46	0.60	0.67	0.61	-0.26	0.58	0.64	0.42	0.57	0.39	0.40	0.68	0.62	0.62	0.59	0.61	0.72	0.73	0.81	1.00	0.97	0.55
LALF10	-0.19	-0.43	0.11	-0.23	-0.24	0.31	-0.05	0.43	0.07	0.33	0.46	0.55	0.47	-0.41	0.53	0.67	0.59	0.65	0.56	0.57	0.66	0.66	0.66	0.64	0.63	0.81	0.82	0.90	0.97	1.00	0.53
G (infra)	-0.48	-0.32	0.12	0.00	-0.20	0.48	0.11	0.03	-0.29	0.24	0.49	0.32	0.52	0.23	0.72	-0.04	-0.14	-0.05	-0.13	-0.12	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.42	0.42	0.44	0.55	0.53	1.00

Tabel 15

Korrelationskoefficienter for alle indikatorer og niveauer 35-40 dB.
Uden referencestøj (trafikstøj). Indikatorerne er forklaret i afsnit 3.7.

Bilag 12 Indledende analyser med x-y plots

I dette bilag er vist x-y grafer hovedsageligt med lineær regression/lineære trendlinjer. Det burde rettelig være dosis-responskurver, se Bilag 13, men trendlinjerne er hurtigere at lave og kan ses som en første tilnærmelse til dosis-responskurverne. Trendlinjerne kan bruges til at give et overblik. Dosis-responskurver for de mest relevante indikatorer vises i afsnit 3.13. Som tidligere nævnt udelades konfidensintervallerne for at give bedre overblik.

På graferne bruges forkortede navne for lydkilderne:

- B: Bager
- F: Fit (-ness)
- M: Metro
- R: Tog (Rail)
- S: Trin (Steps)
- W: Varme (-værk)
- T: Trafik (vejtrafik)

Der kan så være tilføjet cifre, hvor første ciffer angiver antal hændelser og andet ciffer angiver det nominelle niveau for $L_{Amax,F}$.

6.1.1 Alle kilder

Figur 27 viser den gennemsnitlige genegrad, i det følgende bare kaldet genen, for de testede stimuli i forhold til L_{Aeq} med impuls- og tonetillæg efter ISO. Det ses, at den forklarede varians er nogenlunde god, men både for det begrænsede niveauområde (øverste figur) og hele niveauområdet (nederst) er der en tendens til, at bageren ligger højt i gene, og metroen ligger lavt. For en ideel indikator burde genen være den samme ved samme niveau uanset kilden.

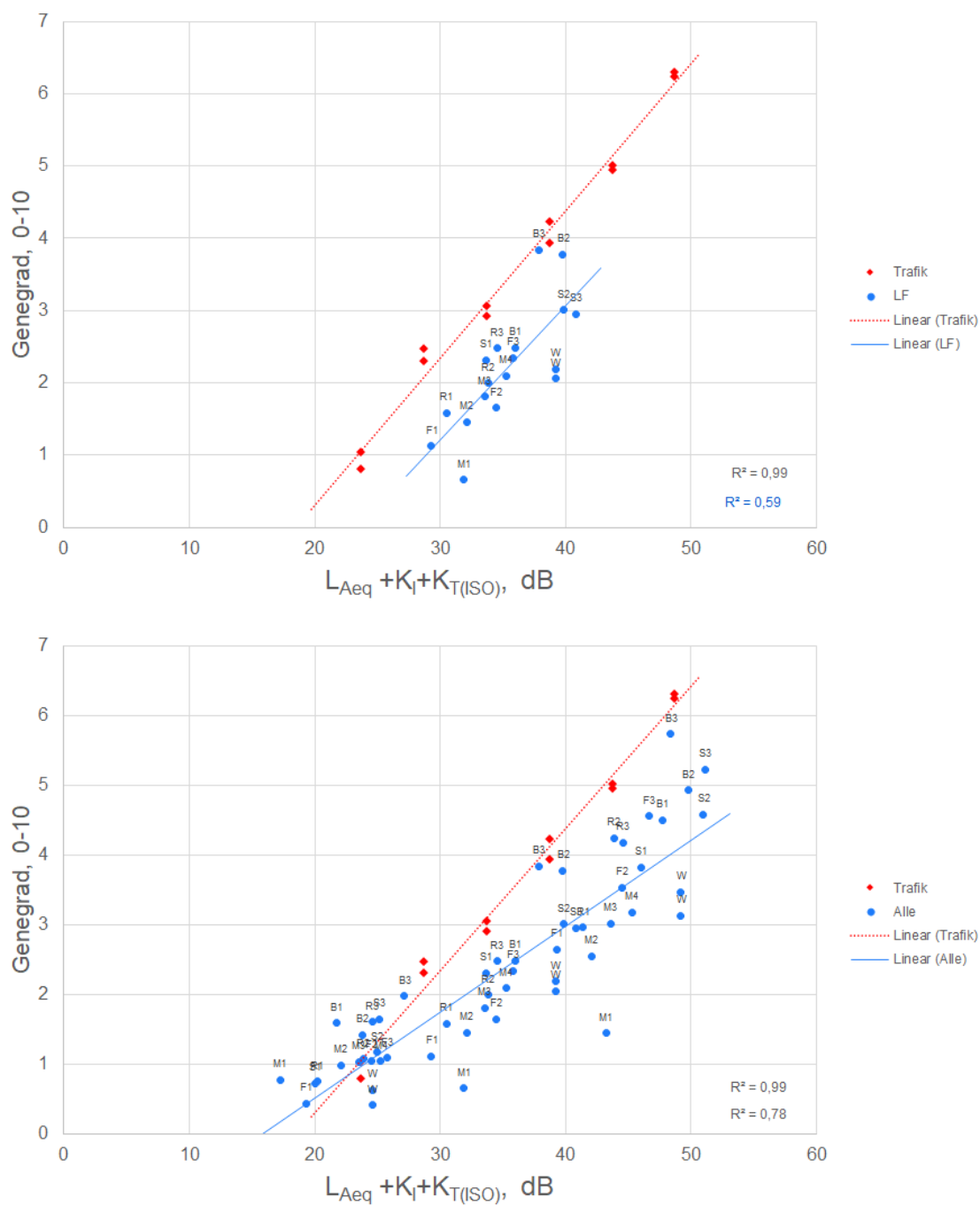
Det ses, at sammenhængen mellem gene og vejtrafikstøj hørt indendørs er meget fin. Med denne indikator ligger linjen for vejtrafik højere end for de lavfrekvente stimuli, hvilket kan forklares med, at der både er givet impuls- og tonetillæg til disse.

Figur 28 viser sammenhængen mellem gene og L_{Aeq} , dvs. hvor impuls- og tonetillæg er udeladt. Det ses, at nu er genen for de lavfrekvente stimuli på linje med genen for trafikstøjen, men til gengæld er den forklarede varians, R^2 , væsentlig mindre, især hvis man kun ser på niveauområdet 35-40 dB.

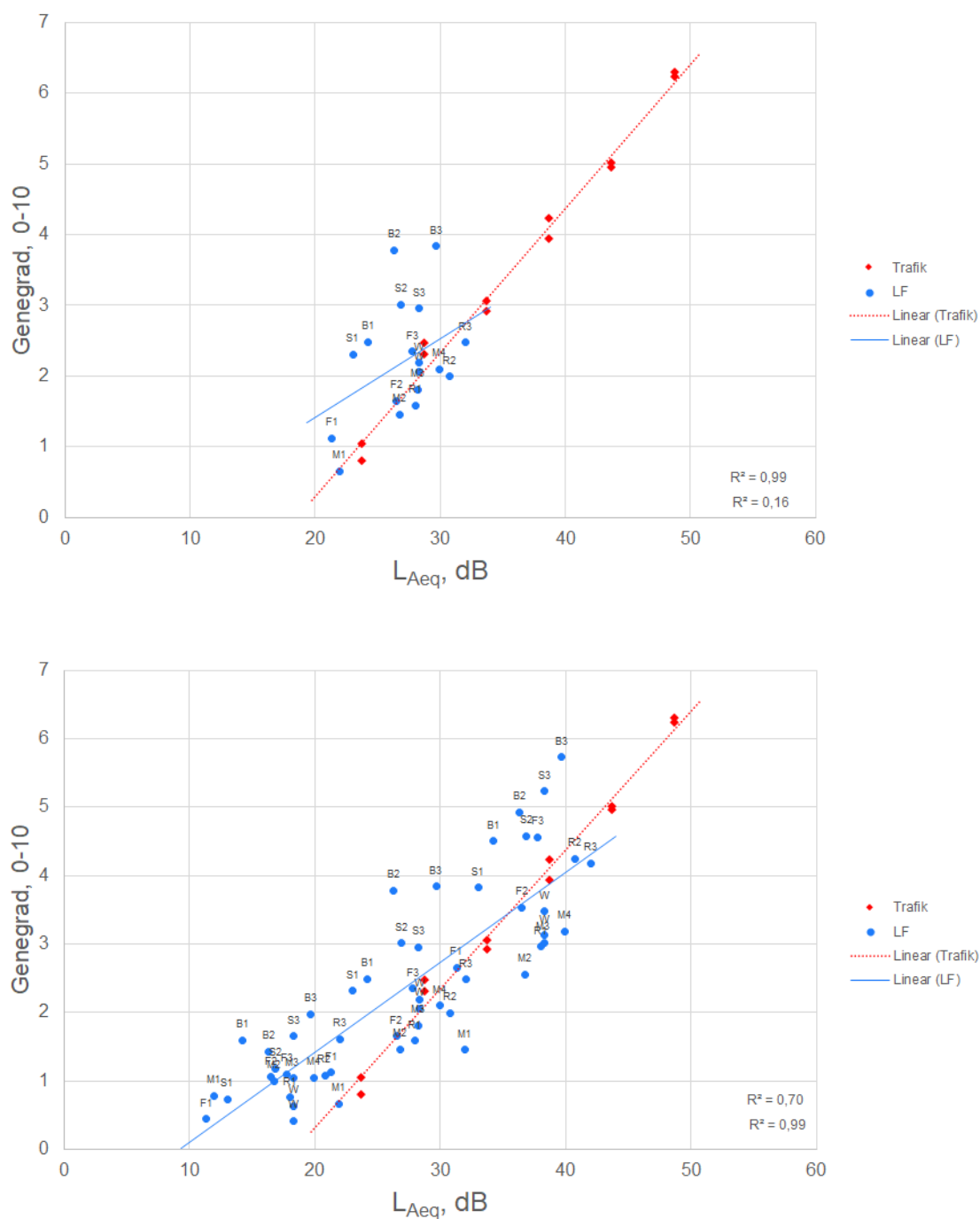
Ovenstående indikerer at man måske ikke kan bruge samme indikator for trafikstøj og virksomhedsstøj.

Figur 29 viser sammenhængen mellem lavfrekvent L_{Aeq} , $L_{ALF_{eq}}$, som er den indikator, der anvises i Orientering nr. 9, 1997, jf. [2], og gene. Det ses, at sammenhængen med gene for det snævre niveauinterval er dårlig, så indikatoren giver ikke i sig selv en god sammenhæng med genen for forskellige støjklender. Når en større niveauvariation kommer i spil, er sammenhængen acceptabel. Det ses, at der er en tendens til, at resultaterne for gene flader ud mod de lavere niveauer, som man kan forvente af en dosis-respons-sammenhæng. Det ses også, at resultaterne grupperer sig omkring linjen for referencestøjen.

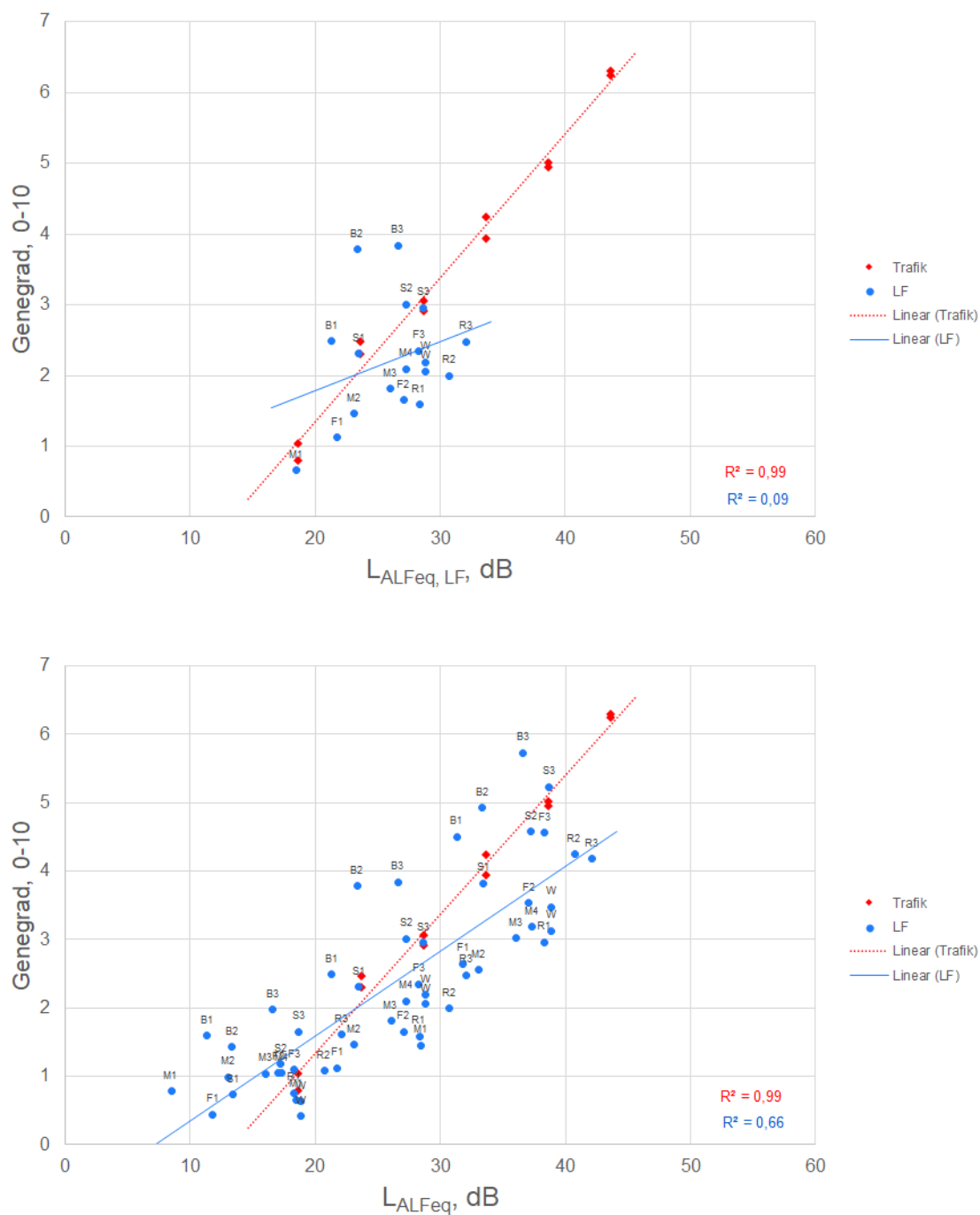
Endelig er der i Figur 30 vist sammenhængen mellem genen og infralydniveauet, som også er en indikator, der anvises i Orientering nr. 9 1997, jf. [2], dog med en bemærkning om, at den ikke er egnet til lavfrekvent lyd. Sammenhængen med genen er så ringe, at denne indikator er uegnet i den aktuelle situation. Sammenhængen er dog også så dårlig, at det i anden situation bør give anledning til en mere generel undersøgelse af denne indikators egnethed. Man må i hvert fald konstatere, at for kilder, der ikke indeholder frekvenser lavere end 10 Hz, ser denne indikator ikke ud til at være særlig egnet.



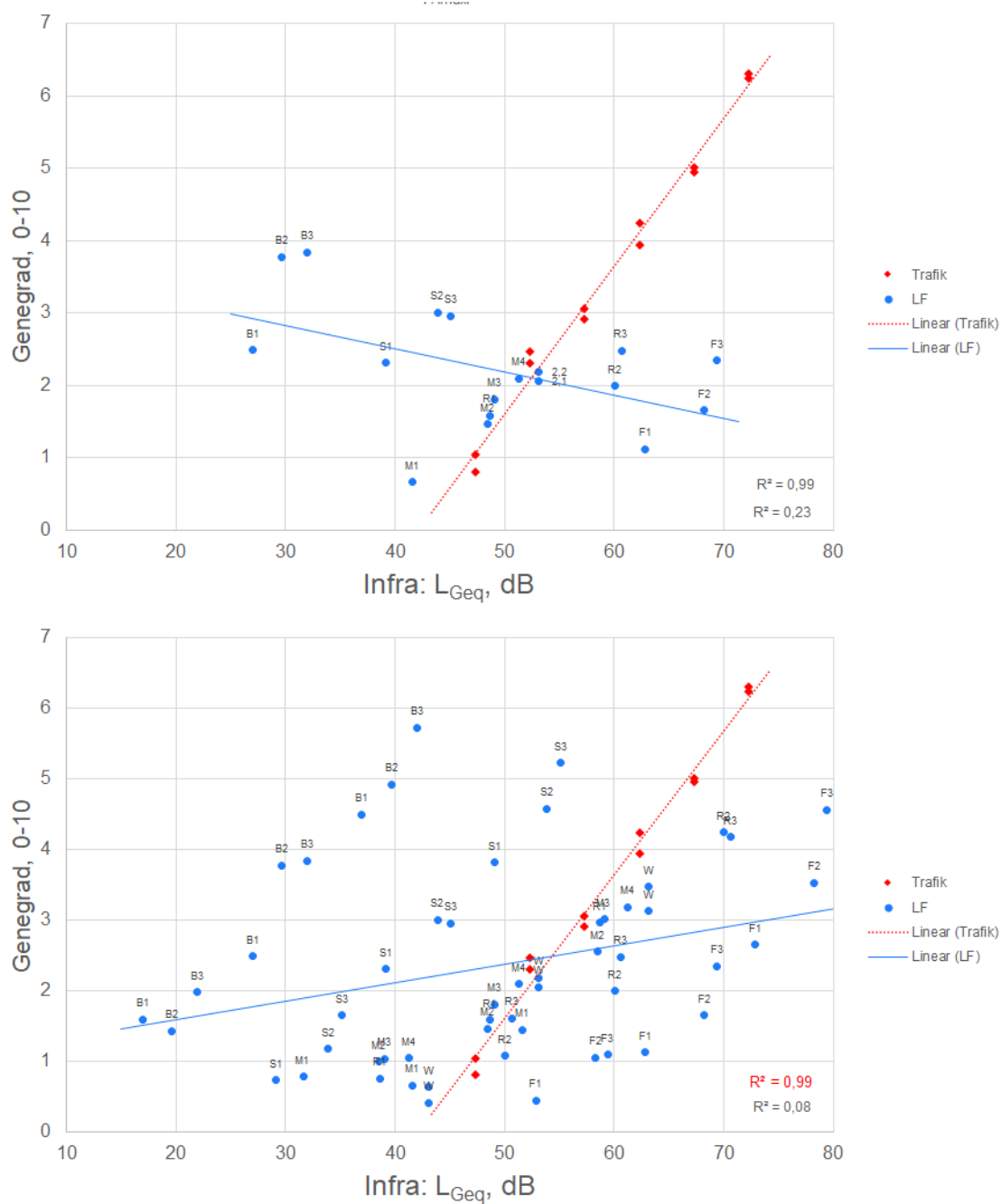
Figur 27 L_{Aeq} med impuls- og tonetillæg efter ISO. Øverste figur er for nominelle niveauer på 35-40 dB, nederste figur er med alle niveauer. De blå punkter er for alle stimuli undtagen vejtrafik. Mærkatene på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , er vist i nederste højre hjørne.



Figur 28 L_{Aeq} . Øverste figur er for nominelle niveauer på 35-40 dB, nederste figur er med alle niveauer. De blå punkter er for alle stimuli undtagen vejtrafik. Mærkatene på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , er vist i nederste højre hjørne, det er trafikstøjen med det højeste tal.

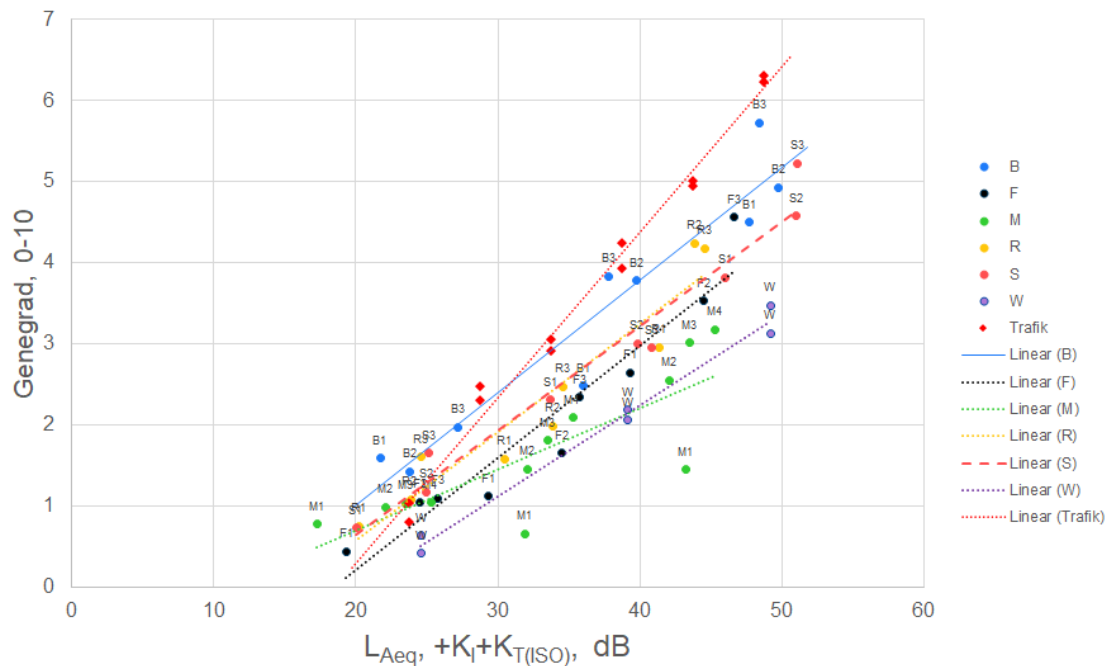


Figur 29 L_{ALFeq} , lavfrekvent L_{Aeq} . Øverste figur er for nominelle niveauer på 35-40 dB, nederste figur er med alle niveauer. De blå punkter er for alle stimuli undtagen vejtrafik. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , er vist i nederste højre hjørne.



Figur 30 *Infra lyd. G-vægtet L_{eq} , L_{Geq} . . Øverste figur er for nominelle niveauer på 35-40 dB, nederste figur er med alle niveauer. De blå punkter er for alle stimuli undtagen trafik. Mærkatene på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , er vist i nederste højre hjørne.*

For at komme nærmere til årsagerne til den spredning, der ses i resultaterne, er det undersøgt, om en opdeling af resultaterne efter typen af støjkilde kan belyse variationen.



Figur 31 L_{Aeq} med impuls- og tonetillæg. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , er vist i nederste højre hjørne.

Figur 31 viser resultaterne opdelt efter støjkloder. Med den indikator, som passede bedst med genen, når alle kilder var medtaget, L_{Aeq} med impuls- og tonetillæg, ses tydeligt, at sammenhængen med gene afhænger meget af støjkloden. Specielt ser metroen ud til at ligge lavt og med stor spredning. På denne baggrund er støjkloderne opdelt i to grupper:

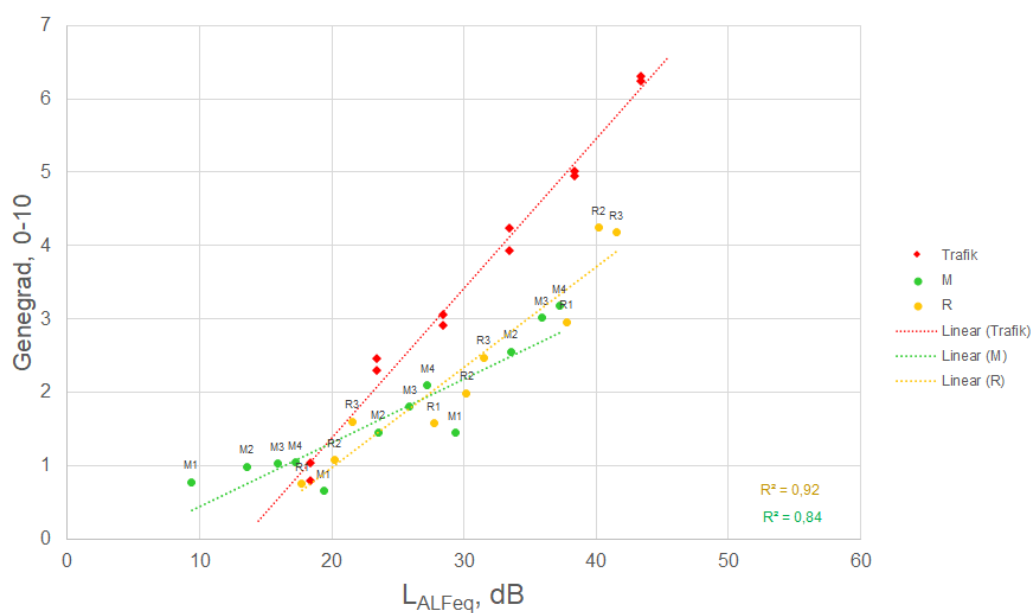
- Metro og andre tog i tunneler
- Virksomhedsrelaterede lavfrekvente støjkloder.

6.1.2 Tunnel

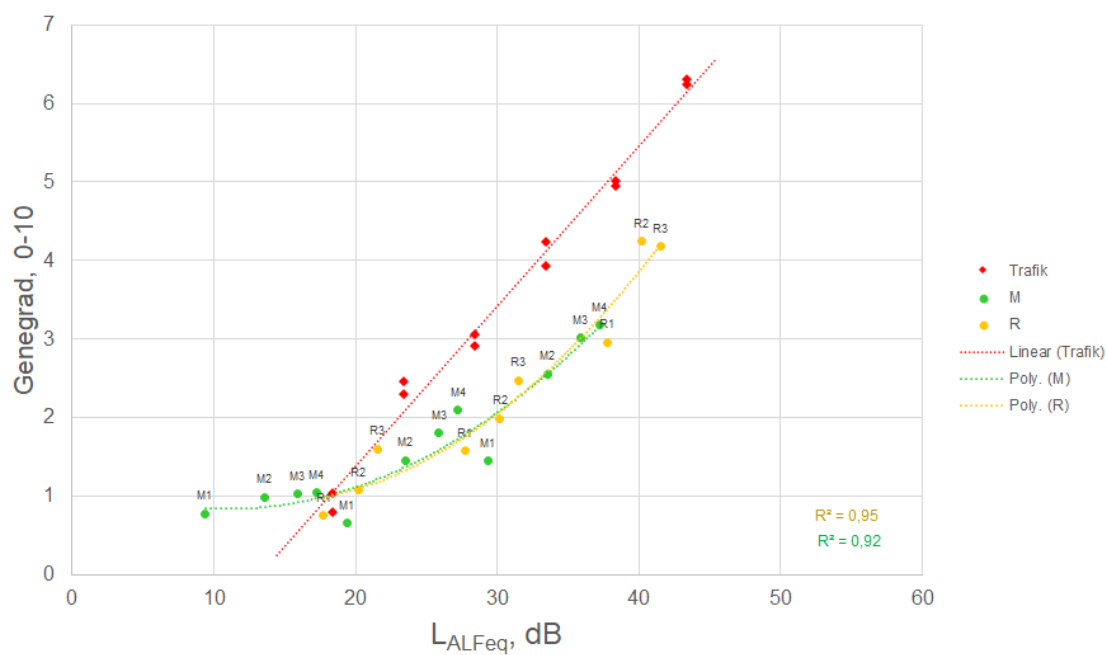
Af Tabel 4 fremgår, at for tunnelgruppen har indikatorerne L_{ALFeq} og L_{Aeq} de højeste korrelationskoefficienter. Supplerende ses også på L_{HFeq} , som scorede højt for LF-støjkloderne uden tunnel.

Figur 32 viser sammenhængen mellem gene og L_{ALFeq} for metro og tog. Det ses umiddelbart, at de lineære regressioner ikke er den bedste tilnærmelse til punkterne.

I Figur 33 ses, at en andenordensregression giver et bedre fit, og det ses, at kurverne for metro og tog er næsten sammenfaldende. Det tyder på, at denne indikator er velegnet til denne støjtype.

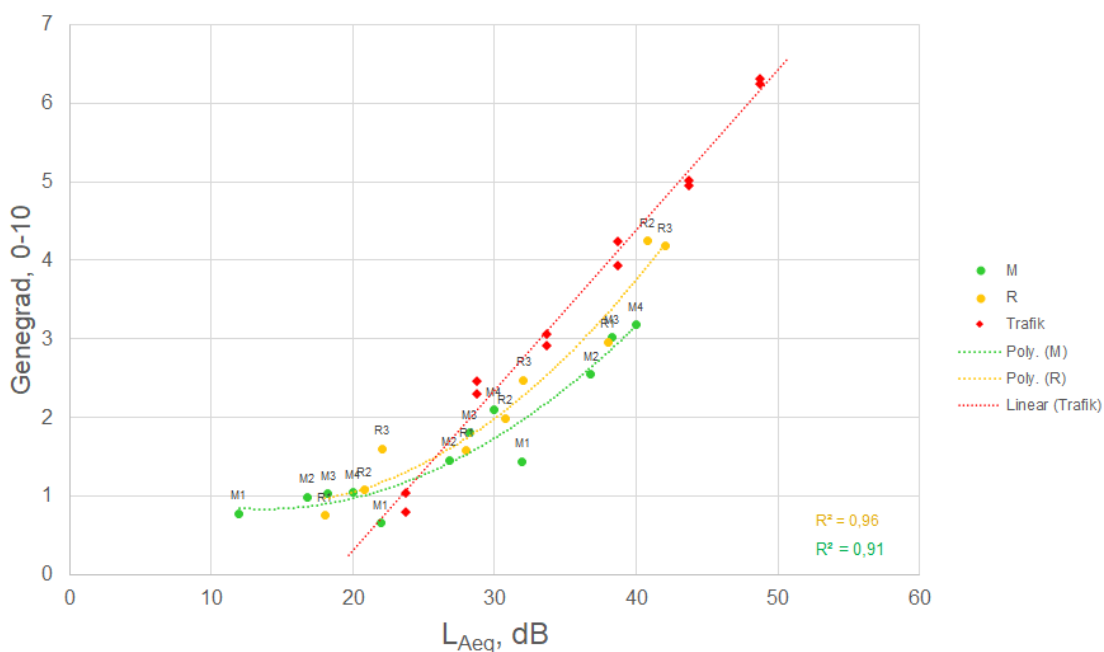


Figur 32 L_{ALFeq} for metro og tog. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , for de lineære trendlinjer er vist i nederste højre hjørne.



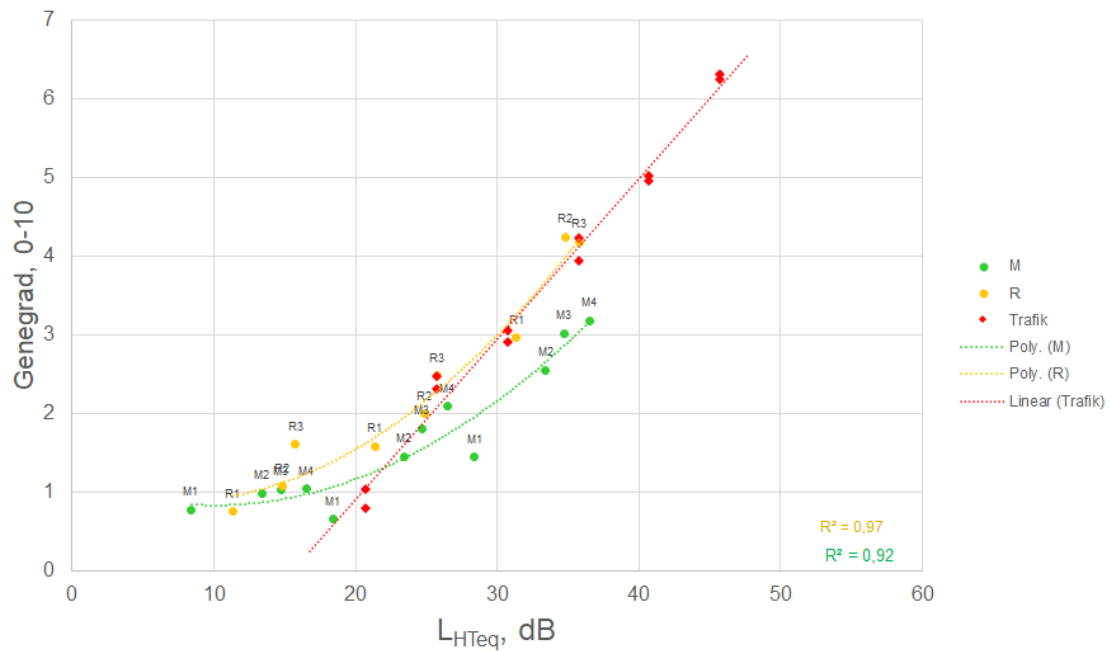
Figur 33 L_{ALFeq} for metro og tog. Samme data som i Figur 33. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , for andenordensregressionen er vist i nederste højre hjørne.

Figur 34 viser sammenhængen mellem gene og L_{Aeq} . Andelen af forklaret varians er næsten den samme som for $L_{ALF_{eq}}$, men regressionerne er lidt forskellige for metro og de andre tog.



Figur 34 L_{eq} for metro og tog. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , for andenordensregressionen er vist i nederste højre hjørne.

Endelig er på Figur 35 vist sammenhængen mellem gene og L_{HTeq} . Andelen af forklaret varians er måske en smule højere end for de to foregående indikatorer, men overensstemmelsen mellem metro og andre tog er ringere.



Figur 35 L_{HTEq} for metro og tog. Mærkatene på punkterne er forklaret først i afsnittet. Andelen af forklaret varians, R^2 , for andenordensregressionen er vist i nederste højre hjørne.

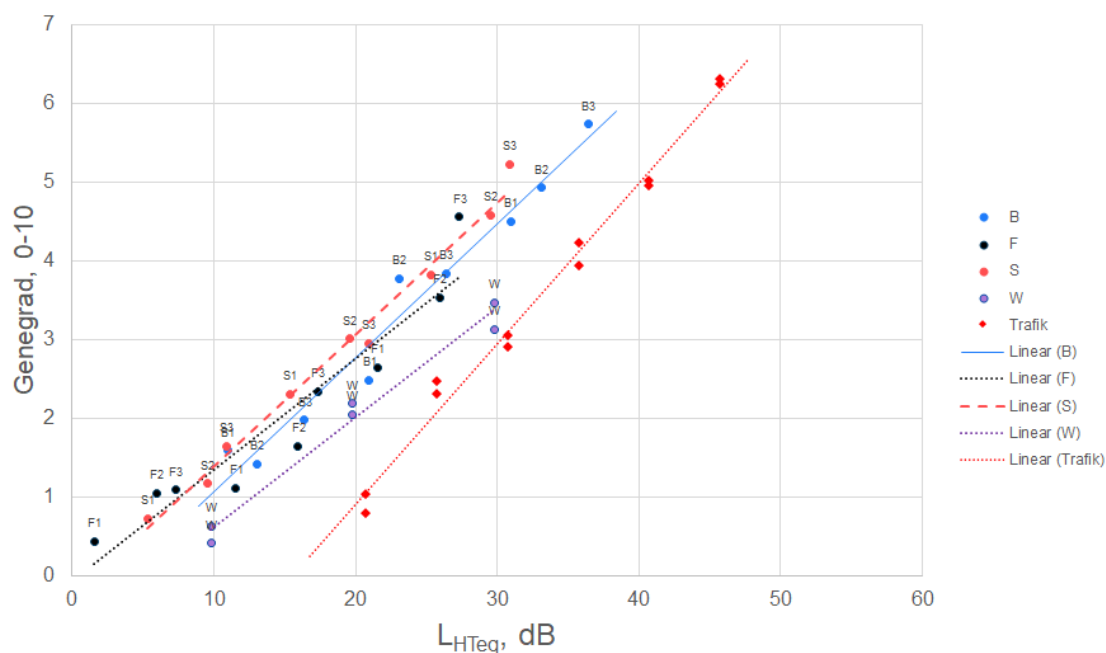
Det ser foreløbigt ud til, at L_{ALFeq} og L_{Aeq} er de bedst egnede indikatorer. Det er nærmere belyst vha. dosis-responskurverne i afsnit 3.13.

6.1.3 Virksomhedsrelaterede støjtyper

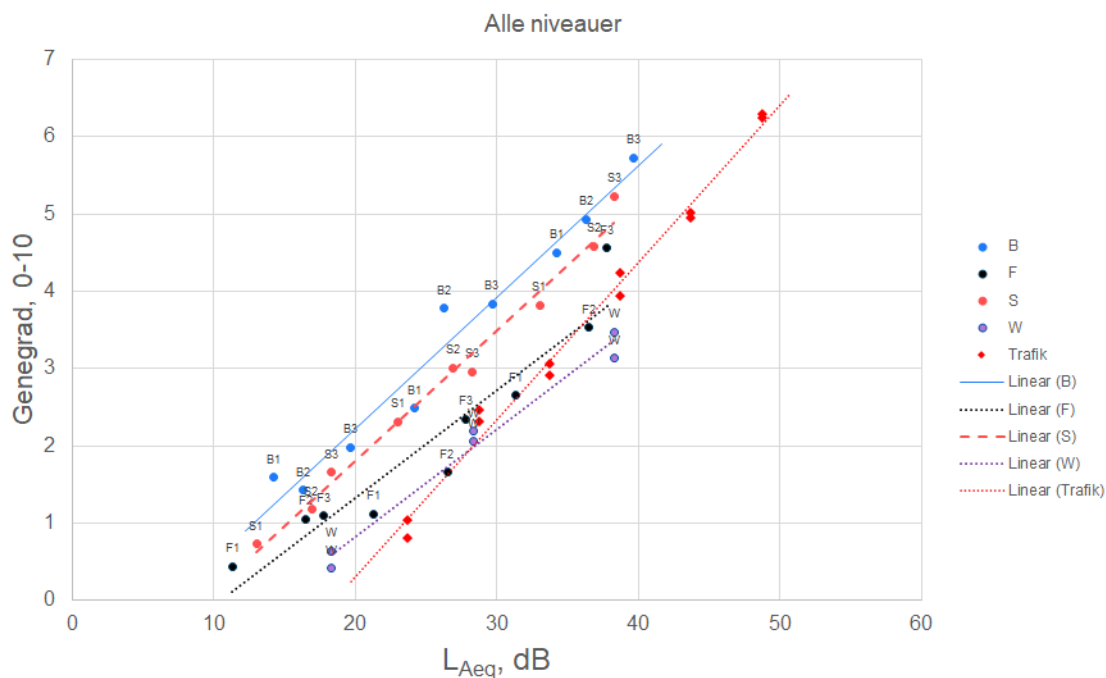
For de virksomhedsrelaterede lavfrekvente lyde, havde L_{HTEq} , den højeste korrelationskoefficient på 0,95, se Tabel 4. Sammenhængen mellem gene og denne indikator er vist på Figur 36. Det ses, at de virksomhedsrelaterede støjtyper ikke afviger væsentligt fra hinanden med denne indikator.

L_{Aeq} havde en lidt mindre korrelationskoefficient, 0,89. Sammenhængen er vist på Figur 37. Det ses, at de to mest lavfrekvente støjtyper, fitness og varmeværk (jævnfør Figur 4) udskiller sig mere fra de to andre støjtyper end tilfældet var for L_{HTEq} , og resultaterne spreder sig lidt mere.

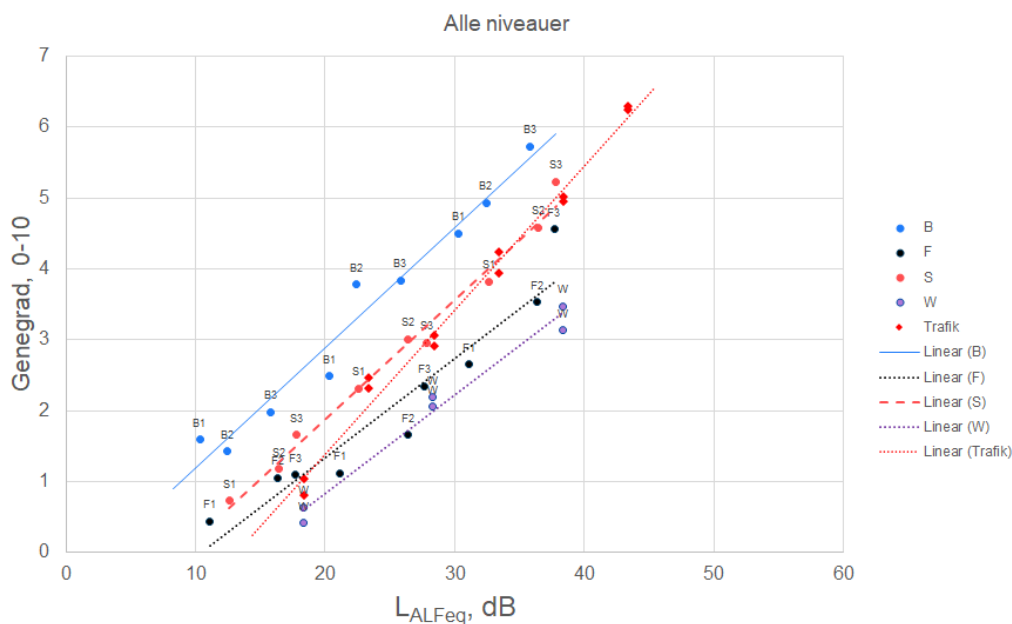
L_{ALFeq} , som ses på Figur 38, ligger længst nede på listen i Tabel 4, men dog stadig med en pæn korrelationskoefficient på 0,82. Det ses, at spredningen mellem de forskellige støjtyper er større end for L_{HTEq} og L_{Aeq} .



Figur 36 $L_{H_{Teq}}$ for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 5 dB.

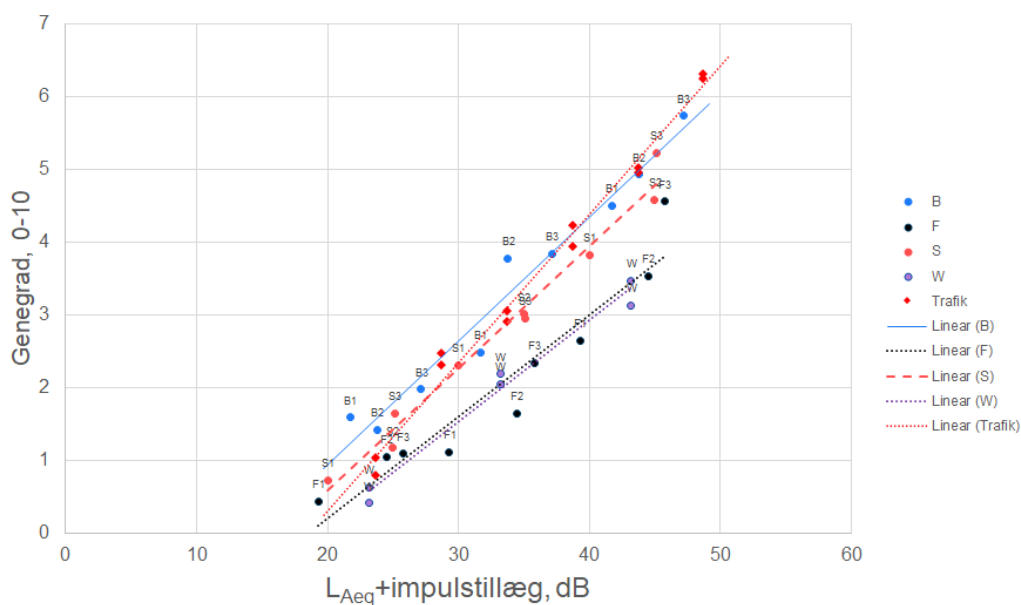


Figur 37 L_{Aeq} for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 8 dB.

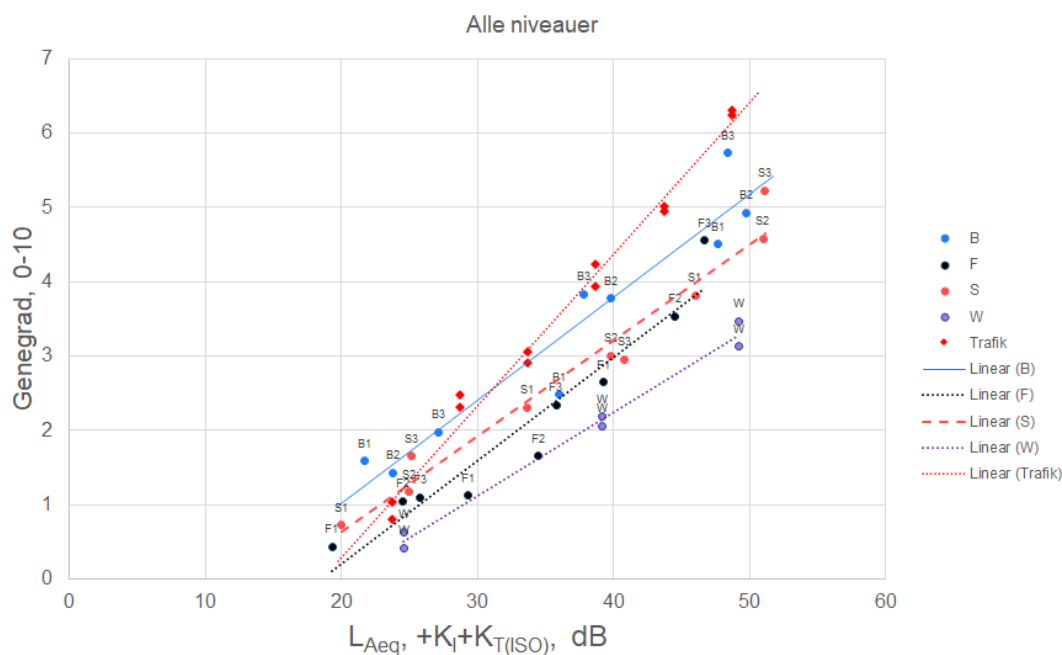


Figur 38 L_{ALFeq} for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 12 dB.

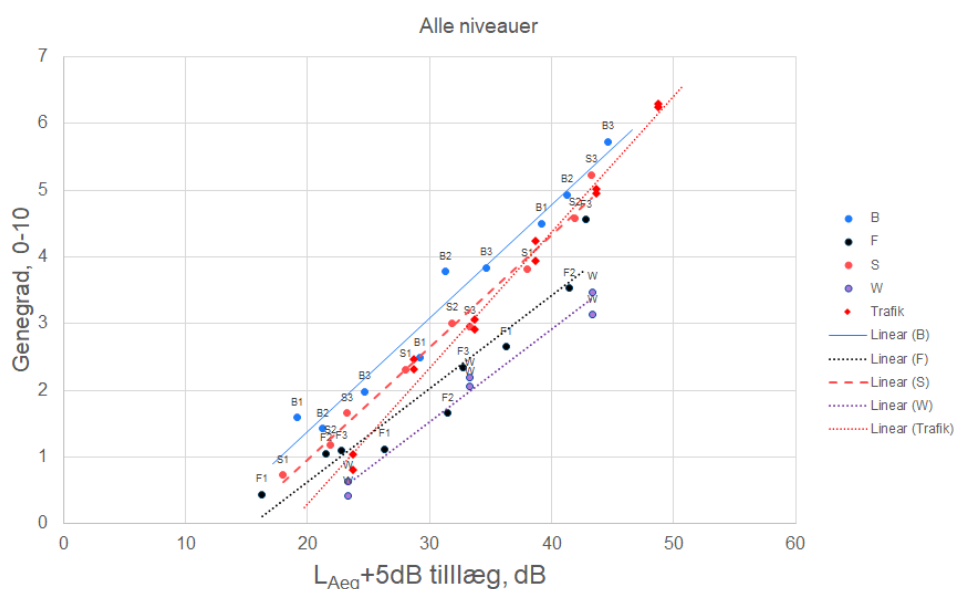
Ifølge Tabel 4 havde L_{Aeq} med impulstillæg også en høj korrelationskoefficient (0,94) med gene. Sammenhængen er vist på Figur 39. Det ses at de to mest lavfrekvente støjtyper, fitness og varmeværk (jævnfør Figur 4) udskiller sig mere end tilfældet var for L_{HFeq} .



Figur 39 L_{Aeq} med impulstillæg for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 5 dB.

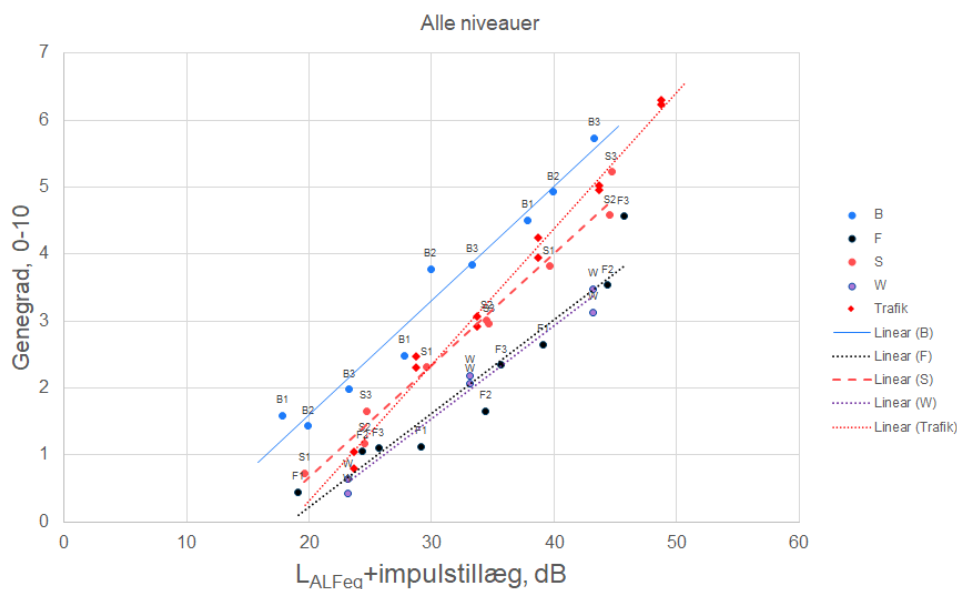


Figur 40 L_{Aeq} med gradueret impuls- og tone tillæg for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 9 dB.

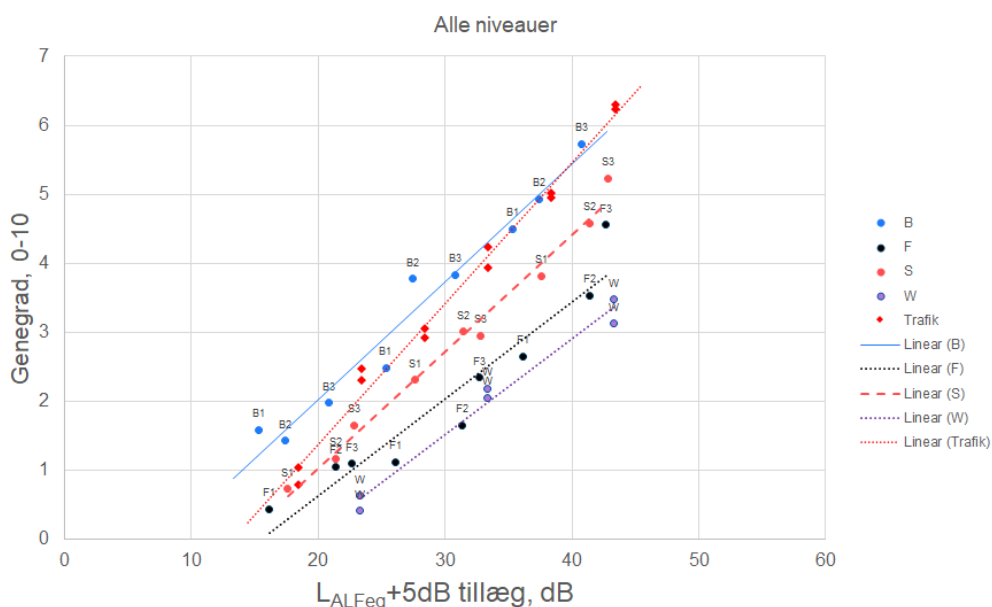


Figur 41 L_{Aeq} med 5 dB-tillæg for impulser og/eller toner for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 8 dB.

Figur 42 viser sammenhængen mellem gene og L_{ALFeq} med impulstillæg. Ved sammenligning med Figur 38 ses, at spredningen er mindre end for L_{ALFeq} uden impulstillæg.



Figur 42 L_{ALFeq} med impulstillæg for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 9 dB.



Figur 43 L_{ALFeq} med 5 dB tillæg for toner og/eller impulser for de virksomhedsrelaterede støjtyper. Data for referencestøjen, vejtrafik (Trafik, røde firkanter) er også vist. Mærkaterne på punkterne er forklaret først i afsnittet. Ved en genegrad på 1 er afvigelsen mellem trendlinjerne for de virksomhedsrelaterede støjtyper er ca. 12 dB.

Endelig viser Figur 43 ovenfor L_{ALFeq} med 5 dB tillæg. Det ses, at resultaterne spreder mere end L_{ALFeq} med det graduerede impulstillæg på Figur 42.

Billedet for de forskellige indikatorers egnethed er ikke helt så klart som for Tunnel. For de enkelte kilder er der en god sammenhæng mellem gene og niveau, næsten uanset indikatoren, men trendlinjerne for de forskellige kilder er ikke sammenfaldende, hvilket vil sige at ingen af de testede indikatorerne giver helt samme relation mellem gene og fysisk målestørrelse for forskellige kilder. Ud over den rangordning korrelationskoefficienternes giver anledning til, kan man vælge også se på afvigelserne mellem de forskellige kilders trendlinjer ved en genegrad 1.

Det giver følgende rangorden:

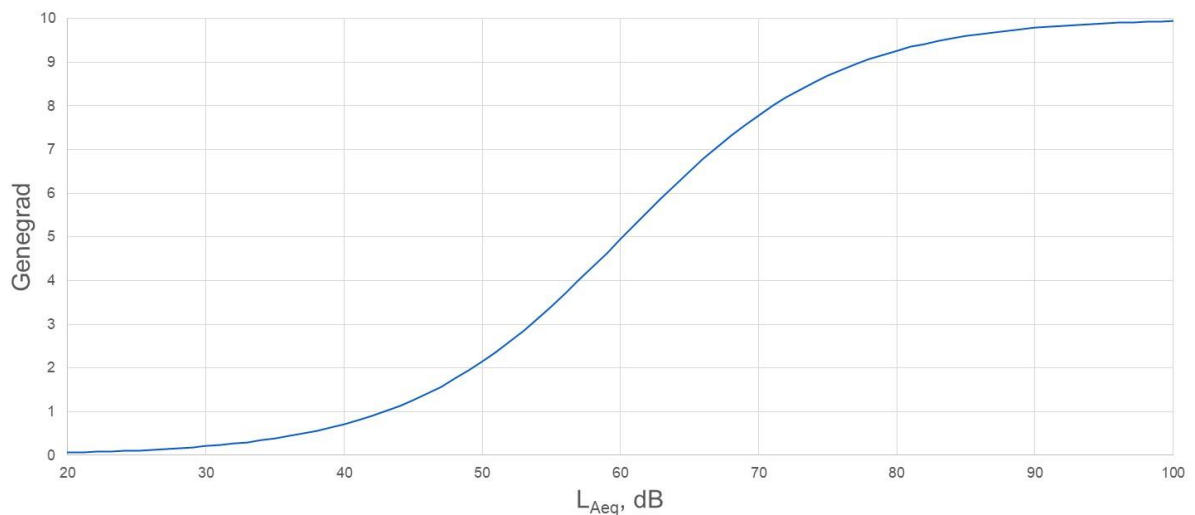
- L_{HTEq} : 5 dB. (Korrelationskoefficient: 0,95)
- L_{Aeq} med gradueret impulstillæg: 5 dB. (Korrelationskoefficient: 0,94)
- L_{Aeq} : 8 dB. (Korrelationskoefficient: 0,89)
- L_{Aeq} med 5 dB-tillæg for impulser og/eller toner: 8 dB.
- L_{ALFeq} med impulstillæg: 9 dB. (Korrelationskoefficient: 0,84)
- L_{Aeq} med gradueret impuls- og tone tillæg: 9 dB. (Korrelationskoefficient: 0,91)
- L_{ALFeq} : 12 dB. (Korrelationskoefficient: 0,82)
- L_{ALFeq} med 5 dB tillæg for toner og/eller impulser: 12 dB.

L_{HTEq} indtager stadig førerpladsen, og det ser ud til, at de A-vægtede indikatorer klarer sig lidt bedre end de lavfrekvente A-vægte indikatorer. Der er fortsat grund til at se nærmere på flere af indikatorerne og form af dosis-responskurverne i afsnit 3.13.3.

Bilag 13 Logistisk regression

Resultaterne fra en undersøgelse af støjgener er typisk eksponeringsresponsfunktioner, almindeligvis omtalt som dosis-responsfunktioner. Disse funktioner viser fx procentdelen af respondenterne, der rapporterer sig som stærkt generet (eller enhver anden grad af gene) som funktion af støjeksponeringen, normalt beskrevet ved L_{Aeq} , L_{den} eller lignende. I denne rapport viser dosis-responsfunktionerne den gennemsnitlige grad af gene som funktion af L_{Aeq} af de bedømte stimuli.

Ud fra et fænomenologisk synspunkt må dosis-responsfunktionerne have en s-form: Ved lave niveauer vil procentdelen af generede eller graden af gene nærme sig nul, og ved høje niveauer vil geneprocenten nærme sig 100 % eller graden af gene nærme sig 10. En glidende overgang mellem disse ekstremer forventes. Et eksempel på en s-formet dosis-responsfunktion er vist i Figur 44.



Figur 44 Den forventede form af en dosis-responsfunktion. For den viste kurve er hældningen $s = 0,128$ og positionen, $f = 60,2$ dB.

Den logistiske regression bruger to parametre, positionen, f , og hældningen, s , til at beskrive dosis-responskurver mellem procentdelen af generede eller graden af gene og støjniveauet. Dosis-responskurverne kan udtrykkes som:

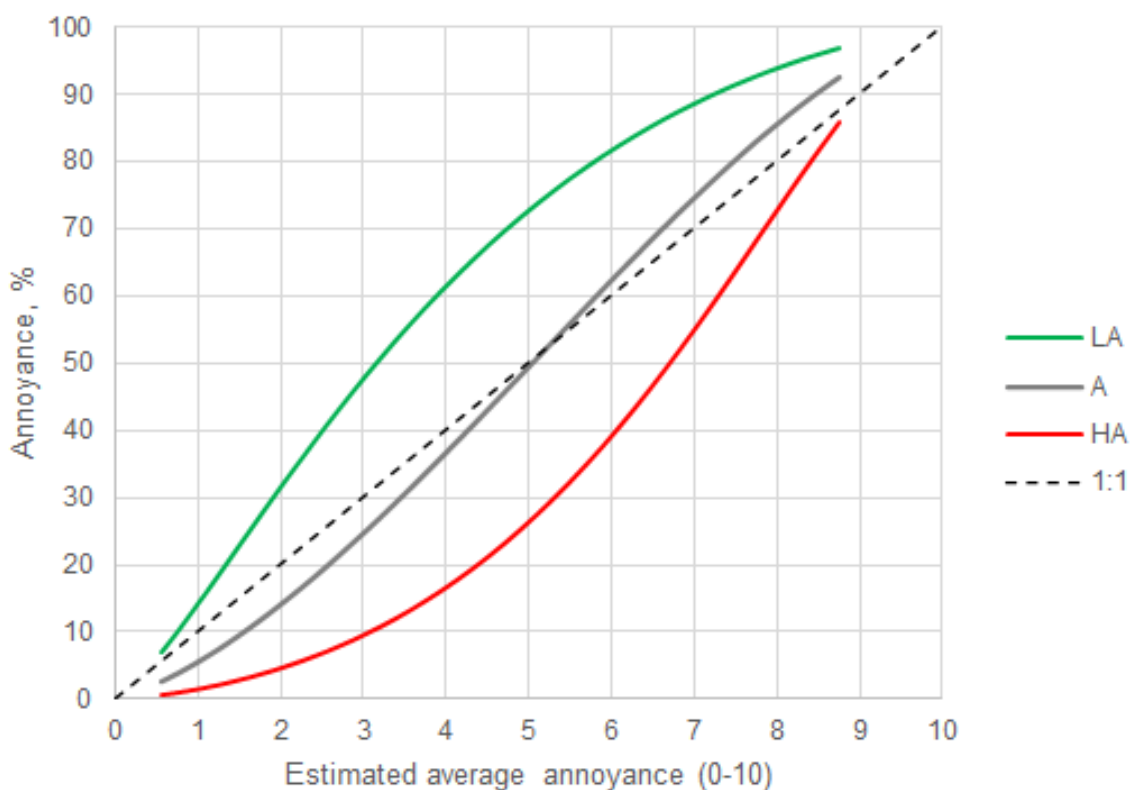
$$A = \frac{u}{1 + e^{-s(E-f)}}$$

hvor:

- A er procentdelen af generede eller graden af gene
- u er den øvre grænse for A (dvs. $u = 100$ % generede eller 10 for genegrad)
- s er hældningen
- E er støjeksponeringen, L_{Aeq} eller L_{den}
- f er værdien af E for en genereaktion på 50 % eller en genegrad på 5.

Bilag 14 Genegrad og procent generet

I Figur 45 ses sammenhængen mellem den gennemsnitlige genegrad på 0-10-skalaen og procentdelen af Stærkt generet (%HA), generet (%A) og Lidt generet (%LA).



Figur 45 Sammenhængen mellem den gennemsnitlige genegrad (x-aksen: estimated average annoyance) på 0-10-skalaen og på y-aksen: Procentdelen af Stærkt generet (%HA), generet (%A) og Lidt generet (%LA).

Figuren er baseret på reference [20] og er beregnet for L_{Aeq} af vejtrafikstøj.

Det ses, at en gennemsnitlig genegrad på 3 svarer til ca. 10 % stærkt generet.