

ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

Kildestyrker til Nord2000 for tog på vel vedligeholdte spor

Orientering nr. 54

PFi/ERTH/JODH/ilk

Februar 2023

Resume

Orienteringen indeholder nye og opdaterede kildestyrker for tog, der kører på Banedanmarks strækninger med vel vedligeholdte spor. Kildestyrkerne, der anvendes til støjbe-regninger med Nord2000-metoden, er baseret på det hidtil mest omfattende målepro-gram i Danmark med mere end 3000 målte kildestyrker svarende til mere end 1500 tog-passager.

Kildestyrker i afsnit 7 kan som udgangspunkt anvendes til beregninger med Nord2000 for alle Banedanmarks strækninger. På Banedanmarks hjemmeside offentliggøres hvilke strækninger, der er omfattet.

Forudsætningen er, at skinneruheden er dokumenteret lav, og at sporet vedligeholdes på en sådan måde, at ruhestallet ikke overstiger 14 (Afsnit 3). Undtagelsen er stræk-ninger med sporskifter, hvor der er særlige kildestyrker for forskellige grupperinger af togtyper (Afsnit 8). Den øgede kildestyrke ved kørsel på sporskifteafsnit har betydning både ved beregning af L_{den} og L_{Amax} .

Afsnit 9 indeholder en række beregningsanvisninger for kørsel på vel vedligeholdte spor og på sporskifteafsnit – herunder anvisninger i beregning af maksimalstøjen L_{Amax} ved hjælp af en tilnærmet metode.

Hvis kildestyrkerne skal anvendes på andre strækninger end Banedanmarks forudsæt-tes det, at der er dokumenteret vel vedligeholdte spor med ruhestal under 14. I alle an-dre tilfælde anvendes de eksisterende kildedata og beregningsanvisninger i Miljøstyrel-sens vejledning 1/1997: "Støj og vibrationer fra jernbaner" samt tillæg hertil fra 2007.

Indhold

1. Indledning.....	3
2. Baggrund for de nye kildedata.....	4
3. Ruhed og ruhedsniveau	5
4. Kildestyrkernes fremkomst.....	6
5. Togtyper	8
6. Iagttagelser.....	9
7. Togspecifikke kildestyrker	10
7.1 IC3/ER4/IC4	10
7.2 Lint og Desiro	12
7.3 ET (Øresundstog).....	14
7.4 S-tog.....	16
7.5 Dobbeltdækkertog (DD)	18
7.6 Godstog.....	20
7.6.1 Eltrukne godstog	21
7.6.2 Dieseltrukne godstog	22
8. Kørsel over sporskifteafsnit	23
9. Overordnede beregningsanvisninger	29
9.1 Bestemmelse af L_{Amax} for kørsel på vel vedligeholdte spor	33
9.2 Bestemmelse af L_{Amax} for kørsel på sporskifteafsnit (tilnærmet metode).....	33
10. Referencer.....	36
Bilag 1 Kildestyrker.....	37

1. Indledning

Denne orientering indeholder nye og opdaterede kildestyrker for tog, der kører på Banedanmarks strækninger med vel vedligeholdte spor. Kildestyrkerne anvendes til støjberegninger med Nord2000-metoden og er baseret på det hidtil mest omfattende måleprogram i Danmark med mere end 3000 målte kildestyrker svarende til mere end 1500 togpassager. Kildestyrkerne forudsætter, at både hjul og skinner er vel vedligeholdte. Men i modsætning til tidligere er dette nu sikret ved, at skinneruheden er målt og dokumenteret ved samtlige målte togpassager (ekskl. passager med S-tog), der ligger til grund for kildestyrkerne. Korregerede kildestyrker for kørsel over sporskifter er ligeledes bestemt ud fra måling af skinneruhed omkring delstrækninger med ét eller flere sporskifter (herefter kaldet sporskifteafsnit).

Støj fra jernbaner er ved toghastigheder mellem ca. 40 km/t og 200 km/t overvejende bestemt af rullestøj, der opstår, når hjul med en vis ruhed ruller hen over skinner, der er ru i overfladen. Den samlede ruhed er afgørende for støjudsendelsen og måles i μm , men kan også angives som et ruhedsniveau L_r i dB re 1 μm .

Ved tidligere udførte kildestyrkemålinger for tog var det en forudsætning, at hjul og skinner var vel vedligeholdte – dog uden at der var fyldestgørende klarhed over og dokumentation for, hvad dette indebar. I mellemtiden er det blevet praktisk muligt at måle både hjul- og skinneruhed og dermed tage hensyn til ruhedsniveauet ved bestemmelse af kildestyrken. Banedanmark har siden 2017 udført årlige målinger af skinneruhed, og der er nu indført en indgrebsgrænse for skinneruhed, som fremover skal sikre et lavt ruhedsniveau for skinnerne svarende til de kildestyrker, der er angivet i denne orientering. Ved samme lejlighed overgår ansvaret for formidling og opdatering af kildestyrker fra Miljøstyrelsen til Banedanmark, som vil anvende Banedanmarks hjemmeside til denne formidling.

Kildestyrkerne i denne orientering kan som udgangspunkt anvendes til beregninger med Nord2000-metoden for alle Banedanmarks strækninger. Forudsætningen er, at skinneruheden er dokumenteret lav, og at sporet vedligeholdes på en sådan måde, at ruhestallet $L_{\lambda CA}$ ikke overstiger 14 (se afsnit 3). Undtagelsen er strækninger med sporskifter, hvor der er særlige kildestyrker for de forskellige tog. Dersom kildestyrkerne skal anvendes på andre end Banedanmarks strækninger, forudsættes det, at der er dokumenteret vel vedligeholdte spor med ruhestal under 14.

Ved beregning af maksimalværdier (L_{Amax}) for togpassager er der udarbejdet en tilnærmet metode i afsnit 9, som kan anvendes, indtil der i de tilgængelige beregningsprogrammer bliver mulighed for at anvende differentierede kildestyrker for togtyperne til maksimalværdibetræknings.

For noget af materiellet (fx DSB's tog) foregår der en systematisk overvågning af hjultilstanden, men i skrivende stund vides det ikke, om denne er kompatibel med egentlige ruhedsmålninger. Det er således en forudsætning for de målte kildestyrker, at den generelle tilstand af hjul er nogenlunde som ved de udførte målinger i 2018 og 2019 (i 2022 for dobbeltdækkertog).

Det er tillige en forudsætning for de nye kildestyrker, at godsvogne er retrofittede, dvs. godsvognenes bremseklodser, der førhen var af støbejern, er udskiftet med bremseklodser af fx kompositmaterialer, som ikke i samme grad beskadiger hjulets løbeflade ved bremsning. Nye godsvogne, der er ”født” med bremseklodser af kompositmaterialer, indgår også i denne betegnelse.

2. Baggrund for de nye kildedata

Den anvendte beregningsmetode for togstøj i Danmark har siden fremkomsten af den første udgave i Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 5/1985, jf. [1], undergået en udvikling, hvor indgangsdata (kildestyrker) og udbredelsesmetode gradvist er blevet mere detaljeret og nøjagtig. Metoden fra 1985 er baseret på typetilfælde, og kildestyrken (den såkaldte togtypekorrektions) for en togtype var en éttalsværdi (fx -7), der blev anvendt som en indbyrdes korrektion i forhold til beregninger med et referencetog. Herved kunne variationer fra forskellige togtyper indgå i den samlede beregning af støjen fra banestrækninger, hvor der kørte mere end én togtype.

I midten af 1990’erne blev der udviklet en fælles nordisk metode (NMT-96), jf. [2], baseret på beregninger i heloktaver. Behovet for nye kildedata medførte, at der blev iværksat målinger af kildestyrker for danske tog. Datagrundlaget var her baseret på kildestyrker i heloktaver mellem 50 og 10.000 Hz. Metoden blev dog aldrig implementeret administrativt i Danmark, som den blev i fx Sverige og Norge.

I 1997 fremkom en vejledning fra Miljøstyrelsen, der samlede den eksisterende viden om emnet, jf. [3]. Beregninger af togstøj blev i Danmark udført med den forholdsvis unuancerede metode fra 1985 indtil midten af 2007, hvor Nord2000-metoden blev indført. Nord2000 blev indført som led i kravene til EU-støjkortlægninger og anvendelse af årsmiddelværdier som L_{den} , jf. [4]. Til Nord2000 blev der udviklet en kildebeskrivelse af metoden, jf. [5].

Med indførelsen af Nord2000 for jernbanestøj i Danmark opstod et behov for opdaterede kildestyrker for togtyper på de danske banestrækninger. En genanalyse af målingerne blev udført til NMT-96-metoden. Således fremkom 1/3-oktavværdier til brug til Nord2000. Datasættet til Nord2000 var begrænset og delvist også forældet på grund af de anvendte toghastigheder, og fordi togtyper og sporkonstruktioner ikke var tidssvarende.

I 2005 blev der udført målinger af kildestyrker for Øresundstog (ET) og Metrotog, jf. [6], til brug for Nord2000, men alt i alt har der frem til i dag overvejende været anvendt data baseret på målinger udført i midten af 1990’erne, når der ses bort fra Metrotog og Øresundstog. Kildestyrker for de aktuelle tog, der kører i dag, er essentielle, fordi der ikke som for vejstøj findes en egentlig kildemodell i Nord2000, der tager hensyn til nye driftsdata eller køremåder og -vilkår. Disse forhold skal således afspejles i togets kildestyrke og nogle beregningsanvisninger som i fx Orientering 50 fra Referencelaboratoriet ”Togstøj ved stationer”, jf. [7].

I 2008-2009 blev der for Trafikstyrelsen og Miljøstyrelsen udført en stikprøveagtig undersøgelse for at få en indikation af, om de hyppigst anvendte kildedata stadig var repræsentative og anvendelige til pålidelige støjberegninger, jf. [8]. Her viste der sig at være stor forskel på støjen fra samme togtype (op til ca. 10 dB) afhængigt af sportype/-konfiguration og skinnernes tilstand. Generelt viste stikprøven, at de tilgængelige data fra NMT-96-metoden svarede nogenlunde til kørsel på den absolut bedst mulige sporkvalitet (klasse 1-spor i daværende klassifikationssystem).

Resultatet afstedkom en mindre undersøgelse af støjforskellen ved kørsel på helt nyslebne (glatte) skinner i bedste skinneklasse kontra kørsel på lidt mere slidte skinner, der dog også var kategoriseret som bedste skinneklasse i henhold til den daværende slibestrategi, jf. [9]. Her viste der sig at være 5-10 dB mindre støj ved kørsel med persontog på nyslebne skinner i forhold til kørsel på ikke nyslebne skinner i bedste skinneklasse. Der blev kun set på de såkaldte ”hvide tog”, som omfattede IC3- og ER4-togsæt.

I mellemtiden har Banedanmark indført ændrede strategier for skinnevedligehold og for arbejdet med systematisk at kortlægge ruheden af skinneoverfladen på Banedanmarks strækninger. ”Sporprojektet”, jf. [10], har til formål at bestemme og sammenligne overføringsfunktionerne for de 4 mest almindelige sportyper. Målingerne til bestemmelse af kildestyrker er således indarbejdet i ”Sporprojektets” målekampagne.

Målingerne til ”Sporprojektet” er udført af SWECO. FORCE Technology medvirkede i planlægningen for at sikre, at måleprogrammet var egnet til udarbejdelse af kildestyrker til Nord2000. Kildestyrkeprojektet er således udført i et samarbejde mellem SWECO’s og FORCE’s akustikere, hvor SWECO har stået for målingernes udførelse og videregivelse af resultaterne til FORCE Technology, der efterfølgende har stået for databearbejdning, analyser og rapportering.

3. Ruhed og ruhedsniveau

Begrebet ruhed og ruhedsniveau er bl.a. defineret i standarden DS/EN ISO 3095:2013, jf. [14]. Ruhed er små variationer i overfladen på hjul og skinner, der tilsammen giver anledning til, at hjul og skinner vibrerer og dermed udsender støj til omgivelserne. Andre dele af sporet og toget (sveller, vognkasse m.m.) udsender også støj, men den primære støjkilde er kontaktfladen mellem hjul og skinne. Ruhed måles i μm og ruhedsniveauet (eng: acoustic roughness level) L_r er fastlagt som:

$$L_r = 10 \cdot \text{Log} (r/r_0) [\text{dB}] \quad (1)$$

hvor Log er titalslogaritmen, r er ruheden målt i μm og referencen $r_0 = 1 \mu\text{m}$.

Ruheden anvendes frekvensopdelt svarende til 1/3-oktaver, og et ruhedsspektrum angives normalt som funktion af bølgelængden λ : $R(\lambda)$, hvor λ angives i meter. Derfor vil overførslen af en given værdi i ruhedsspektret til et støjspektrum afhænge af den aktuelle toghastighed eller med andre ord: ruhedsværdierne forskydes i forhold til frekvensaksen afhængigt af togets fart:

$$f = v/\lambda,$$

hvor v er togets hastighed (m/s) og f er frekvensen – fx centerfrekvensen i et 1/3-oktavfrekvensbånd.

På baggrund af hollandske og danske erfaringer har Banedanmark valgt at anvende en enkel talværdi (herefter kaldet ruhestallet) til at karakterisere sporets generelle overfladeruhed og til at administrere og planlægge vedligeholdelsesarbejde efter. Ruhestallet ($L_{\lambda CA}$) beskriver med ét tal, om en strækning tilstand kan betragtes som vel vedligeholdt. Hvis ruhestallet $L_{\lambda CA} \leq 14$ er der tale om et vel vedligeholdt spor, og hvis $L_{\lambda CA} > 14$ er der tale om et dårligt vedligeholdt spor.

I korte træk indeholder ruhestallet for en strækning – ud over ruhedsniveauerne – en vægtning med flere størrelser, herunder den akustiske A-vægtning og kontaktfilteret C. Sidstnævnte beskriver det bølgelængdeafhængige samspil mellem hjul og skinne i kontaktfladen, jf. fx [12] og [13].

4. Kildestyrkernes fremkomst

Samlet set er kildestyrkerne baseret på forbikørselsmålinger ved 46 forskellige målesteder, jf. [15], [18]. Målestederne blev nøje udvalgt under hensyntagen til:

- hvilke togtyper der forekom på strækningen,
- at hver togtype var repræsenteret ved målinger fra flere målesteder med forskellige toghastigheder, så resultatet kan anvendes repræsentativt, og
- at målestrækningen var forholdsvis lige og plan uden accelererende eller bremsende tog, og udbredelsesforholdene var forholdsvis simple for ikke at introducere unødigt usikkerhed ved bestemmelse af overføringsfunktionen mellem spor og måleposition.

Desuden har det været et ønske, at sporets ruhestal var kendt inden for en strækning på ± 100 m fra måletværsnittet.

Hvert målested repræsenterede lange lige strækninger med egnet skinetilstand og udbredelsesforhold, dvs. der var tilnærmelsesvist fladt og porøst terræn. Togpassagerne foregik ved konstant hastighed, og hvert målested var entydigt bestemt ved dets banekilometring.

Måleafstanden var typisk 6-8 m fra nærmeste skinne og målehighden 1,2-1,5 m over skinneoversiden. I praksis lå sporene ved målestederne enten i plan med det omgivende terræn eller på en lille dæmning. Nogle steder var der en lille grøft mellem nærmeste spor og målepositionen, hvilket er medtaget ved bestemmelse af overføringsfunktionen mellem spor og måleposition.

Det er tilstræbt, at målingerne omfattede et repræsentativt udsnit af tog af samme type, så fx almindeligt forekommende variationer i hjultilstand er indeholdt i kildestyrken. Egentlige outliers, for eksempel tog med hørbare hjulflader ("ottekantede hjul"), er frasorteret, idet disse ikke betragtes som repræsentative til dette formål.

Støjen fra de forbikørende tog blev registreret med et måle- og analysesystem (Pass-By Analysis Software, PBA) udviklet og leveret af TNO i Holland, jf. [11]. PBA-systemet måler også en række andre parametre (hjul-/skinneoverføringsfunktion og kombineret ruhed i forbindelse med togpassagen). Til bestemmelse af kildestyrken er kun de egentlige støjmålinger anvendt sammen med et overordnet kendskab til ruhestallet for målestrækningen. I nogle tilfælde er systemet også anvendt til støjmæssigt at separere trækraft og togvogne – fx ved bestemmelse af kildestyrken af retrofittede godsvogne i forhold til almindelige godsvogne eller til at separere godslokomotiver fra godsvogne.

Ved databehandlingen er samtlige togpassager korigeret til kildestyrke pr. meter tog ($L_{W,1m}$) og endeligt sorteret efter kriteriet $L_{A,CA} \leq 14$ eller $L_{A,CA} > 14$. Kildestyrkernes a- og b-værdi er fremkommet ved lineær regression (mindste kvadraters metode) pr. 1/3-oktavfrekvensbånd på det givne datasæt under hensyntagen til Nord2000-modellens antagelse om følgende sammenhæng:

$$L_{W,1m} = a \cdot \text{Log}(v/v_{\text{ref}}) + b, \quad (3)$$

hvor v er toghastigheden i km/t. a og b er konstanter. Kildestyrker til Nord2000 angives for hver 1/3-oktav i frekvensområdet 25 Hz-10.000 Hz. Det anvendte PBA-målesystem er ved lave frekvenser begrænset til 50 Hz. I praksis har det ingen betydning ved forbi passerende tog.

I de senere afsnit om togspecifikke kildestyrker er disse vist og angivet som A-vægtede kildestyrker pr. meter $L_{WA,1m}$.

5. Togtyper

Kildestyrkemålingerne omfatter de typer af person- og godstog, der på måletidspunktet kørte på Banedanmarks strækninger. Ved fremkomst af nye togtyper vil disse løbende blive inkluderet. Traditionelt har der i Miljøstyrelsens vejledninger (fx [3]) været anvendt en bogstavbetegnelse for togtyper, som i dag synes mere eller mindre forældet. I nedenstående Tabel 1 er det forsøgt at vise en sammenhæng mellem de togtyper, der anvendes i dag.

MST-betegnelse (1997)	Togbetegnelse	Dagens togtype /anvendelse
Type A&D	Togsæt af typen IC3 og ER4 (IR4)	IC3, ER4, IC4 Persontogsæt til intercity- og regional transport. IC3 og IC4 er dieseltog. ER4 er elektrisk.
Type B, C, H & I Togtyper: Dieseltrukne persontog eller godstog med MZ- el. ME-lokomotiv. Eltrukne persontog (Bn-vogne) eller godstog med EA-lokomotiv	Ét eller flere lokomotiver med godsvogne eller persontog Lokomotivtrukne (el eller diesel) persontog (m. fx Bn-vogne osv.)	Godstog med el- eller diesellokomotiv i kombination med almindelige og retrofittede vogne: Godstog med alm. vogne ¹ Godstog m. retrofittede vogne
Type E Lette regionaltog med 1 eller 2 dieselmotorvogne	MR, Y-tog (udfaset)	Lint og Desiro Mindre dieseltrukne togsæt til lokal- og regional transport
Type F	S-tog (2., 3. og 4. gen.)	S-tog F4 (4. gen.)
Ikke omfattet i 1997	ET	Øresundstog Persontogsæt til Øresundsregionen
Ikke omfattet i 1997	Dobbeltdækkertog. Lokomotiv med tilkoblede dobbeltdækkervogne	DD Vectron (EB) lokomotiv med dobbeltdækkervogne

Tabel 1

Oversigt over togtypebetegnelser fra Miljøstyrelsens vejledning i 1997, jf. [3], sammenlignet med dagens anvendte togtyper.

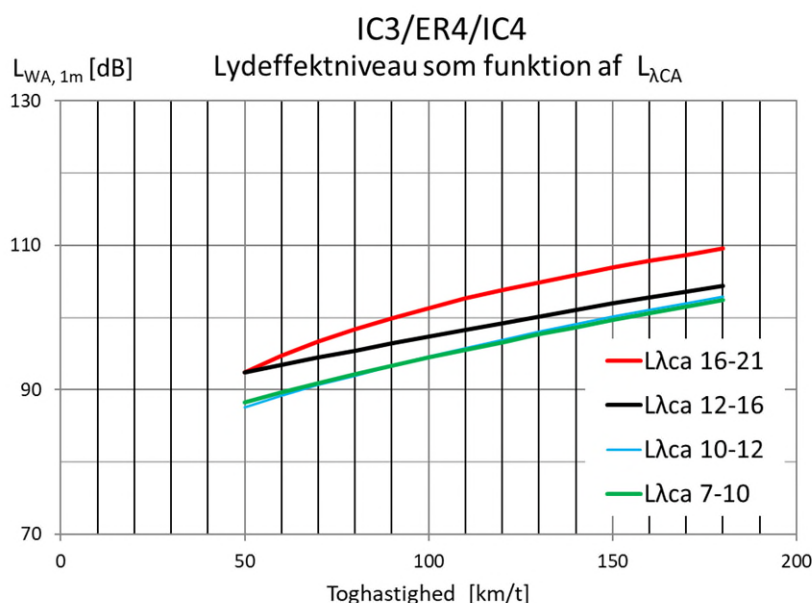
¹ På Banedanmarks strækninger køres kun med retrofittede vogne. Ikke retrofittede vogne kan forekomme på andre strækninger.

6. lagttagelser

Kildestyrker med danske person- og godstog omfatter mere end 3000 forbikørselsmålinger udført i 2018 og 2019 (i 2022 for dobbeltdækkertog). Målingerne er udført ved 46 forskellige målesteder, og samlet set ligger mellem 128 og 881 togpassager bag de togtypespecifikke kildestyrker. Da der typisk er målt på begge sider af toget ved passagen, er antallet af forskellige tog, der indgår, omtrent det halve. Målingerne på hver side af et tog er behandlet som to uafhængige resultater. Dette skyldes, at ruheden på to af sporets skinner ikke er ens, og måleresultaterne dækker således naturligt forekommende variationer i støjemissionen.

Det absolut største datasæt findes for Intercity-togsæt IC3, ER4 og IC4, hvor der indgår mere end 800 kildestyrker. Figur 1 viser sammenhængen mellem togets A-vægtede kildestyrke $L_{WA,1m}$ som funktion af hastigheden med ruhedsinterval $L_{\lambda CA}$ som parameter. Det kan ses, at hvor $L_{\lambda CA}$ er mindre end 12, er der ingen væsentlig forskel på kildestyrken (blå og grøn kurve), og der sker en gradvis forøgelse af kildestyrken med øget skinneruhed. Forskellen er af størrelsesordenen 8 dB ved repræsentative hastigheder mellem 100 km/t og 160 km/t mellem kørsel på vel vedligeholdte spor og dårligt vedligeholdte spor.

Analysen af de tre forskellige togtyper viser i øvrigt ingen signifikant forskel i kildestyrker for togtyperne. I praksis giver det god mening at have ens kildestyrker, da disse tog udfylder samme funktion. IC3 og ER4 kører endog sammenkoblede på nogle af strækningerne.



Figur 1

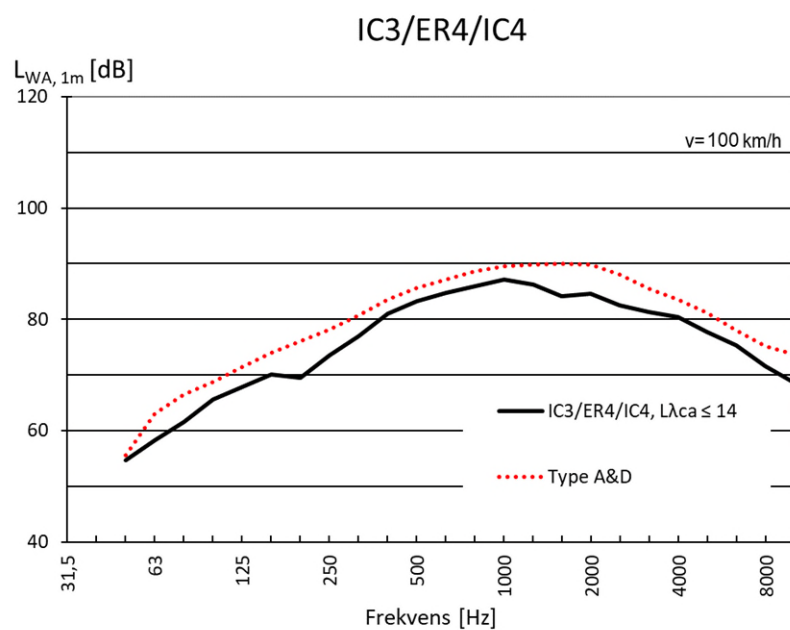
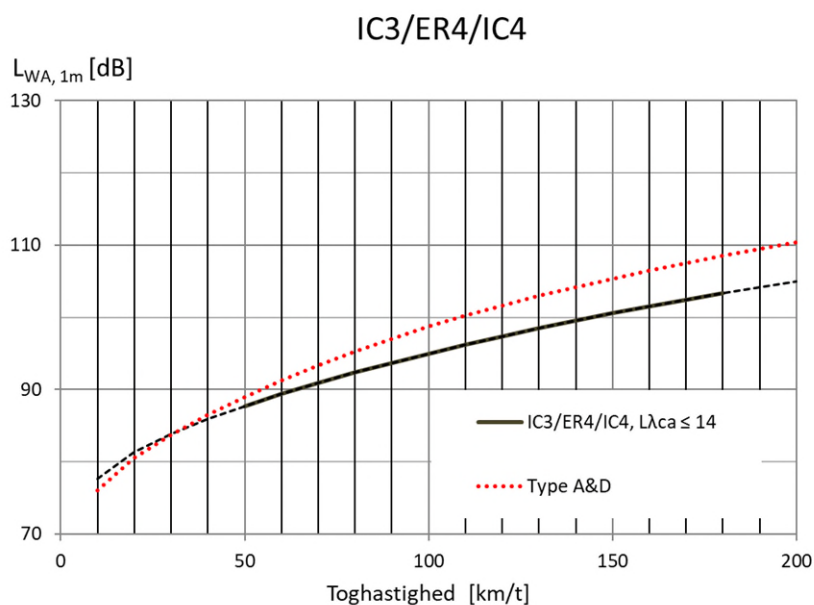
Kildestyrke $L_{WA,1m}$ for forskellige værdier af ruhestallet $L_{\lambda CA}$ for persontog. Antal bestemmelser (n) udgør: $n = 86$ ($L_{\lambda CA} = 16-21$), $n = 349$ ($L_{\lambda CA} = 12-16$), $n = 219$ ($L_{\lambda CA} = 10-12$), $n = 149$ ($L_{\lambda CA} = 7-10$).

7. Togspecifikke kildestyrker

I det følgende vises de målte kildestyrker (A-vægtet lydeffektniveau pr. meter tog $L_{WA,1m}$) dels som den totale A-vægtede kildestyrke som funktion af toghastigheden, dels som et A-vægtet 1/3-oktavspektrum ved referencehastigheden 100 km/t. Som udgangspunkt er vist kildestyrker gældende for ruhestal $L_{ACA} \leq 14$ sammenlignet med den tidligere anvendte kildestyrke (eksisterende data). For S-banen er skinneruheden ikke målt, og her repræsenterer de nye kildedata S-banen i almindelighed. På figurene med togspecifikke kildestyrker er regressionskurver vist fuldt optrukne indenfor det hastighedsområde, som måleresultaterne repræsenterer, og stiplede udenfor hastighedsområdet.

7.1 IC3/ER4/IC4

Den hidtidige betegnelse for IC3 og ER4 er type A&D (eksist. data). Kildestyrken er vist på Figur 2. Måleresultaterne repræsenterer togpassager ved hastigheder mellem 50 km/t og 180 km/t. Ved typiske hastigheder mellem 100 km/t og 180 km/t ses, at støjen er betydeligt lavere, end de eksisterende data antyder. Spektret på nederste figur (100 km/t) viser desuden, at kildestyrken er mindre ved alle 1/3-oktavfrekvensbånd.



Figur 2

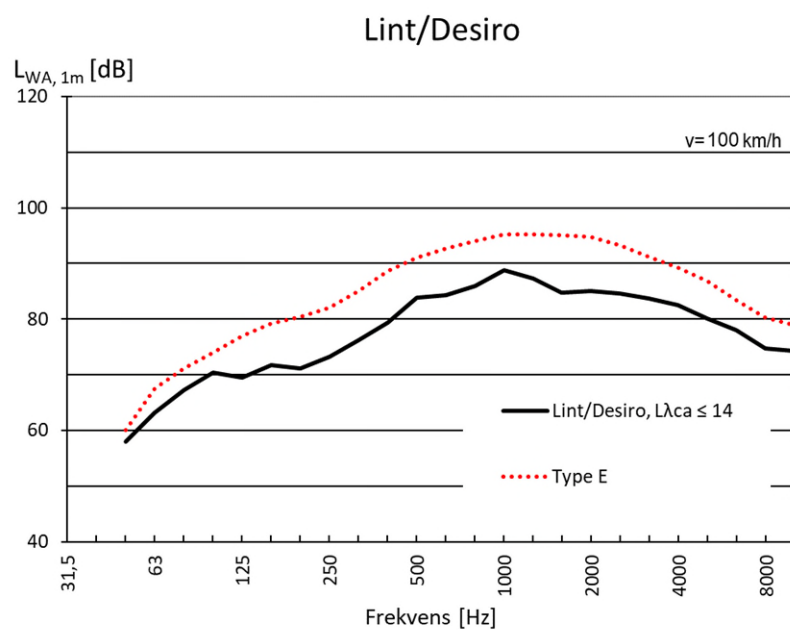
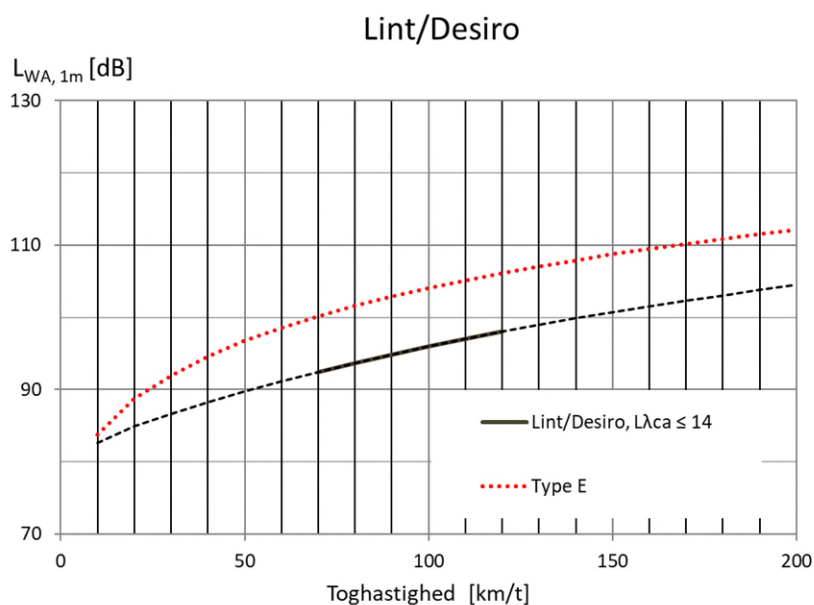
Kildestyrker ($L_{WA,1m}$) for hurtige persontogsæt IC3, ER4 og IC4 som funktion af toghastighed (øverst) samt frekvensspektrum ved 100 km/t (nederst). Hastighedsområde for måleresultater: 50-180 km/t ($n = 658$).

7.2 Lint og Desiro

Tidligere togtyper med betegnelsen Type E som Y-tog og MR-tog er udfaset. I dag anvendes overvejende to togtyper: Lint og Desiro, jf. Figur 3. Da Lint og Desiro er betydeligt nyere togtyper forventes det ikke, at der er særlig god overensstemmelse med de eksisterende data for type E.

Analysen har vist, at der ingen betydende forskel er på støjen fra togtyperne Lint og Desiro, hvorfor disse kan behandles som én togtype. Det bemærkes, at målinger for disse tog er udført på Banedanmarks strækninger. Der er ikke målt på lokalbanestrækninger.

Støjen ved kørsel på et vel vedligeholdt spor er også tydeligt lavere end de tilsvarende eksisterende data indikerer for type E. Ud over at sporets kvalitet kan være markant forbedret i dag, må det også tages i betragtning, at type E var støjmæssigt helt andre tog end dagens togtyper Lint og Desiro.



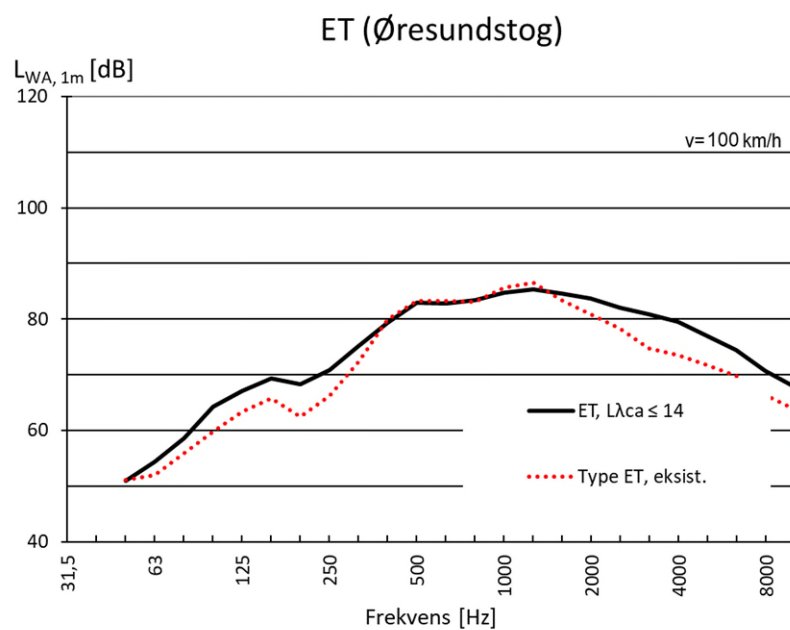
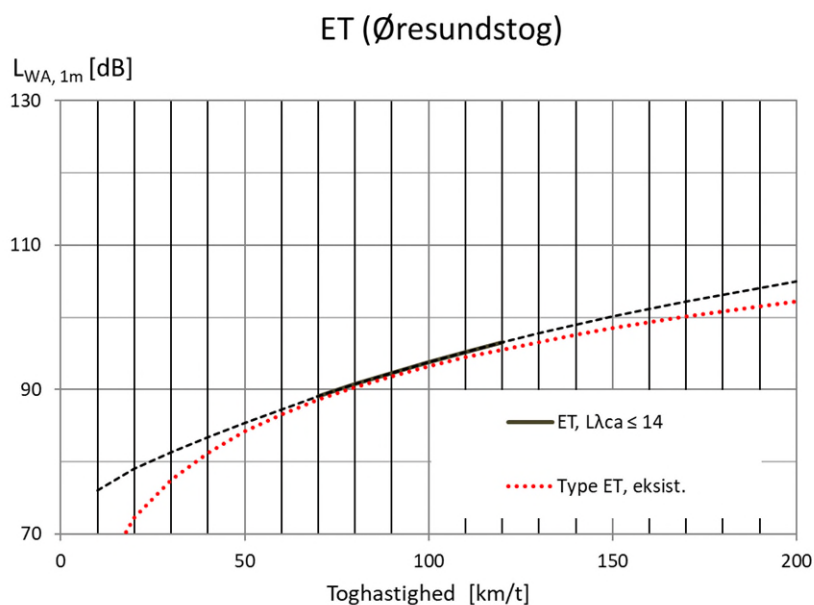
Figur 3

Kildestyrker ($L_{WA,1m}$) for lokal- og regionaltog af typerne Lint og Desiro som funktion af toghastighed (øverst) samt frekvensspektrum ved 100 km/t (nederst). Hastighedsområde for måleresultater: 70-120 km/t. ($n = 172$).

7.3 ET (Øresundstog)

ET (Øresundstog) anvendes primært på Kystbanen, Øresundsbanen og på lange stræk i det sydlige Sverige. Sammenhængen mellem $L_{WA,1m}$ og hastigheden for de målte passager med ET er vist på Figur 4. Måleresultaterne er begrænset til hastigheder op til 120 km/t grundet begrænsningerne på Kystbanen. De eksisterende data fra 2005 er baseret på et begrænset antal målinger og målesteder.

De nye resultater er baseret på 96 målinger fordelt på 4 målesteder. Der ses et godt sammenfald mellem eksisterende data og de nye resultater for kørsel på vel vedligeholdte spor. Supplerende analyser af de nye data indikerer i øvrigt, at ved kørsel på spor med større ruhestal end 14 bliver støjen højere end svarende til de eksisterende kildedata fra 2005.

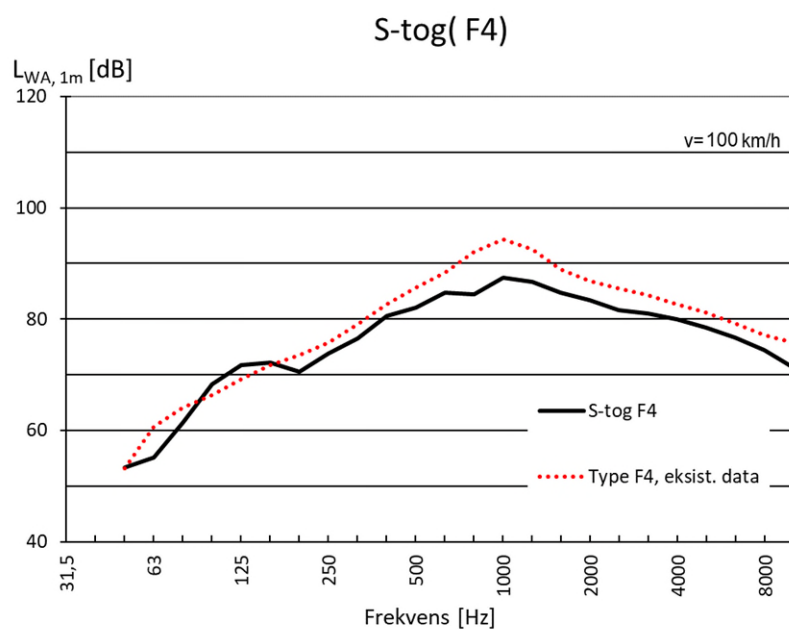
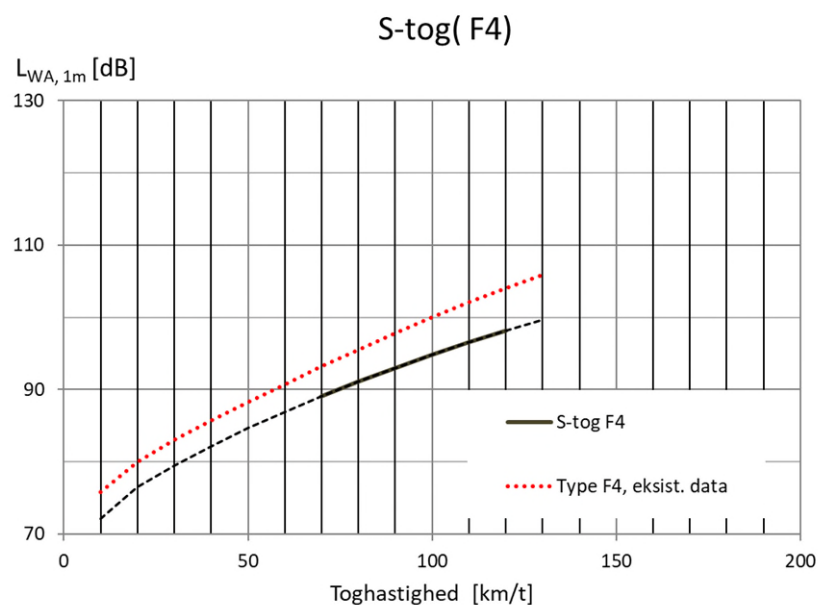


Figur 4

Kildestyrker ($L_{WA,1m}$) for ET (Øresundstog) som funktion af toghastighed (øverst) samt frekvensspektrum ved 100 km/t (nederst).
Hastighedsområde for måleresultater: 70-120 km/t. ($n = 96$).

7.4 S-tog

Togtype F bestod oprindeligt af en blanding af 2., 3. og få 4. generations S-tog, dog med separate resultater for den seneste 4. generation, som ofte betegnes F4. De nye målinger omfatter kun F4, idet de andre er udfaset. Selvom der ikke på måletidspunktet var foretaget målinger af skinneruhed på S-banen, blev der udført omfattende støjmålinger med S-tog (F4) ved 5 målesteder. Resultaterne på Figur 5 viser en lavere kildestyrke i forhold til de eksisterende data. Forskellen er mest udtalt ved frekvenserne 4-500 Hz og ved høje hastigheder.



Figur 5

Kildestyrker ($L_{WA, 1m}$) for S-tog som funktion af toghastighed (øverst) samt frekvensspektrum ved 100 km/t (nederst). Hastighedsområde for måleresultater: 70-120 km/t. ($n = 160$). De viste data er **ikke** relateret til skinneruhed.

7.5 Dobbeltdækkertog (DD)

Et dobbeltdækkertog består af et elektrisk lokomotiv med tilkoblede (typisk 4-6) dobbeltdækkervogne. Lokomotivet er af typen Vectron (Litra EB). Målingerne på dobbeltdækkertog er udført i 2022 – dvs. efter de øvrige kildestyrkemålinger.

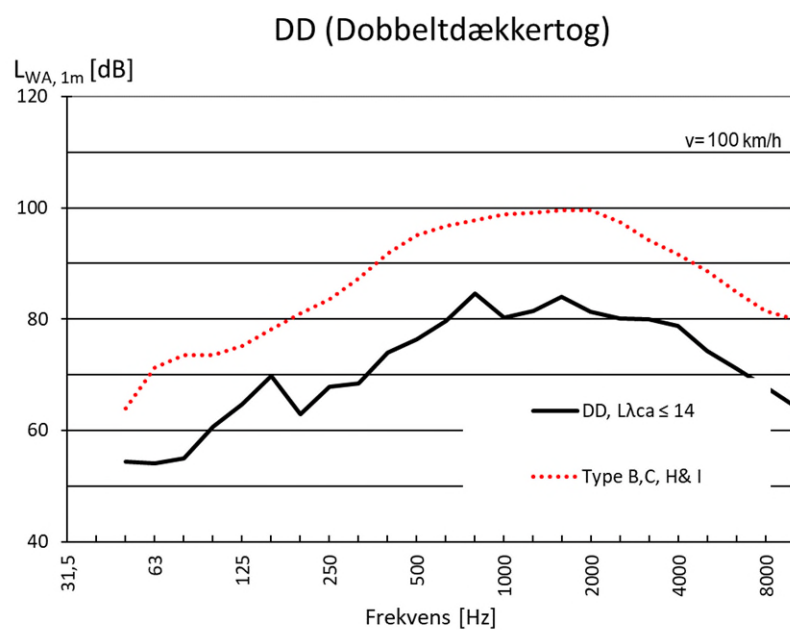
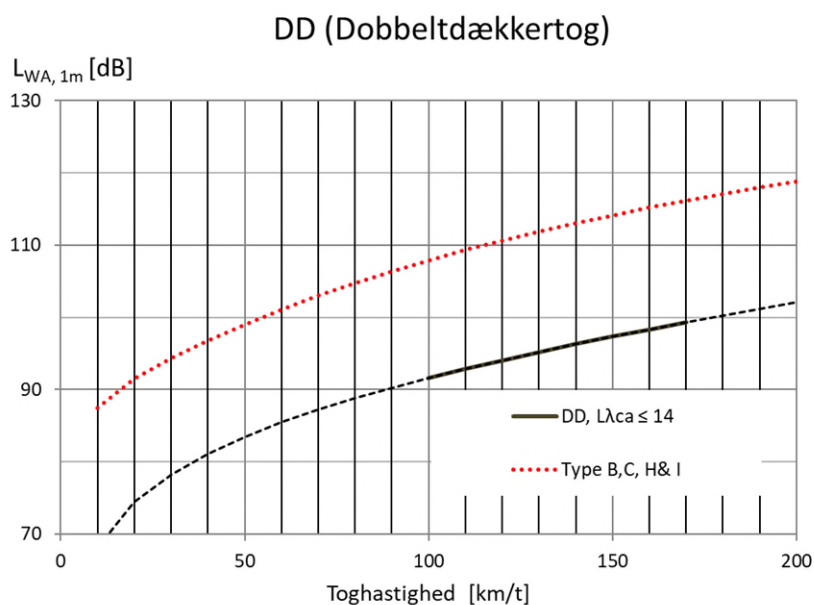
Der er anvendt to målesteder med hvert to spor, og begge steder overholder sporene kravet til vel vedligeholdte spor med ruhestal mindre end 14.

Figur 6 viser kildestyrken for det samlede tog med Vectron-lokomotiv og dobbeltdækkervogne. Kildestyrken for lokomotivet er lidt større end for vognene, og herudover er det værd at nævne, at kildestyrken for Vectron-lokomotivet er tydeligt lavere end andre ellokomotiver.

Kildestyrkerne er baseret på målinger i to tværsnit (4 spor), og antallet af togpassager er 39, hvilket er et moderat antal. Desuden er der kun én passage under 100 km/t, hvilket vanskeliggør udarbejdelsen af en pålidelig regressionslinje særligt udenfor hastighedsområdet 105-165 km/t.

Det er i [18] anbefalet at foretage supplerende målinger med Vectron-lokomotiver og dobbeltdækkervogne for at øge pålideligheden af resultaterne – særligt ved lave hastigheder.

Ved hidtidige beregninger er kildestyrken for dobbeltdækkertog estimeret ved hjælp af kildestyrker for type B, C, H & I, hvilket ses at overestimere støjen med mere end 10 dB.



Figur 6

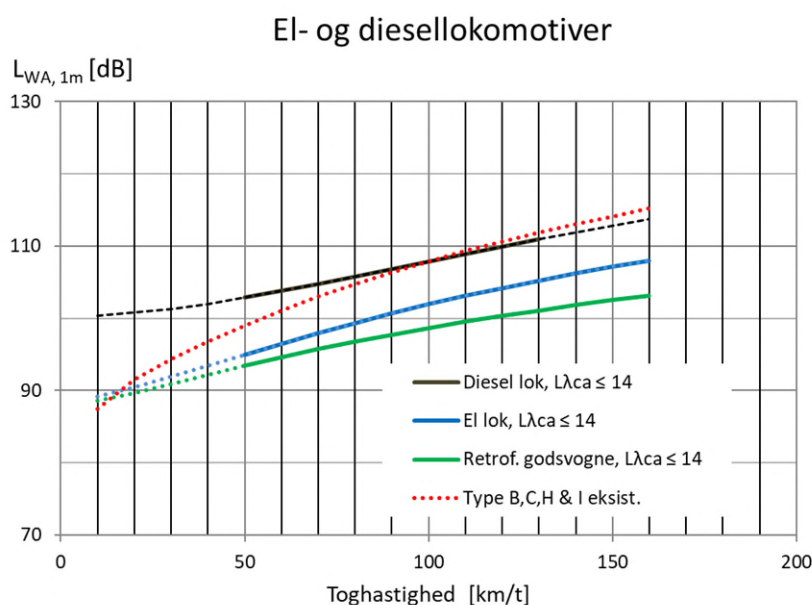
Kildestyrke ($L_{WA,1m}$) for Vectron-lokomotiv med dobbeltdækkervogne som funktion af toghastighed (øverst) samt frekvensspektrum ved 100 km/t (nederst).

Hastighedsområde for måleresultater: 105-165 km/t. ($n = 39$).

7.6 Godstog

Den oprindelige betegnelse for lokomotivtrukne passager- og godstog – elektriske såvel som dieseltrukne – er type B, C, H & I. Siden december 2020 er der på Banedanmarks strækninger kun kørt med retrofittede godsvogne, hvilket hænger sammen med, at Tyskland ved udgangen af 2020 forbød kørsel med godsvogne med bremseklodser af støbejern. Alt transitgods igennem Danmark har siden december 2020 således været med retrofittede godsvogne. Ifølge Banedanmark har de nationale godstog siden indførelsen af det tyske forbud mod støbejernsbremser også kun bestået af retrofittede godsvogne.

Figur 7 viser kildestyrker for lokomotiver og retrofittede godsvogne, som tilsammen kan udgøre et godstog. Det ses, at de retrofittede vogne har lavere kildestyrke end selve lokomotivet, og det eltrukne lokomotiv har en betydeligt lavere kildestyrke end det dieseltrukne. I de følgende afsnit vises figurer for, hvilken betydning lokomotivet har på støjen fra det samlede godstog for henholdsvis el- og dieseltrukne godstog med retrofittede vogne.



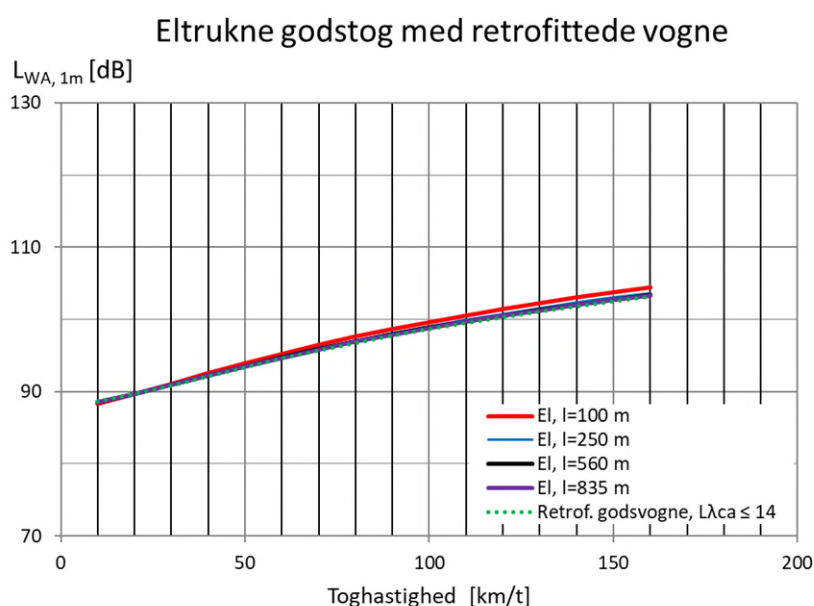
Figur 7

Kildestyrke ($L_{WA,1m}$) for el- og diesellokomotiver. Til sammenligning er vist eksisterende data for godstog samt nye data for retrofittede godsvogne. De målte ellokomotiver er overvejende af typen EG og Traxx, og de målte diesellokomotiver er overvejende af typen ME samt nogle få MX/MY.

7.6.1 Eltrukne godstog

Kildestyrken for godstog med ellokomotiv fremgår af Figur 8. Her er vist kildestyrker pr. meter for godstog med forskellig længde. Til sammenligning er vist kildestyrken for "rene" retrofittede godsvogne ved kørsel på vel vedligeholdte spor ($L_{\lambda CA} \leq 14$). Det ses, at der ingen væsentlig forskel er på kildestyrkerne, hvilket betyder, at ellokomotivet ingen praktisk indflydelse har på godstogets samlede kildestyrke hverken for de korte eller de lange tog.

I praksis kan kildestyrken for den gennemsnitlige længde af transitgodstog $l = 560$ m anvendes generelt.

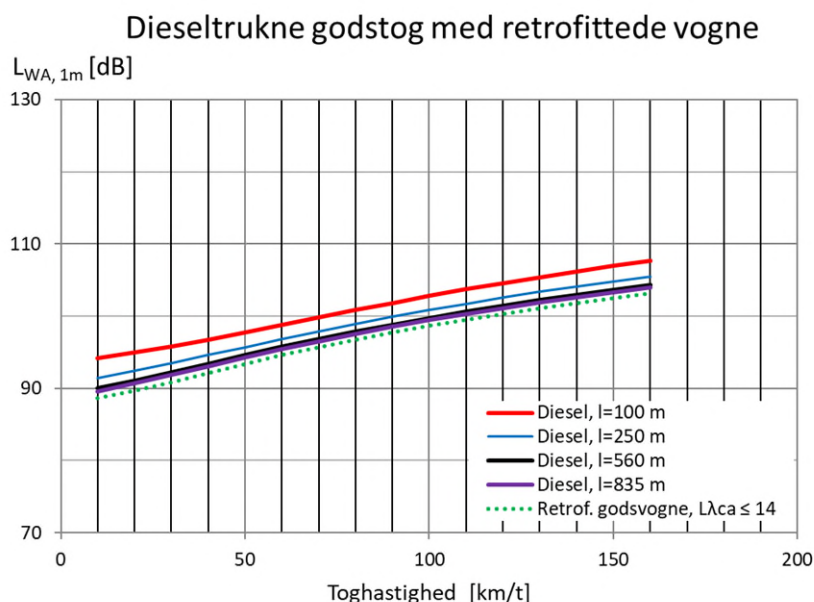


Figur 8

Kildestyrker ($L_{WA,1m}$) for eltrukne godstog med retrofittede godsvogne af forskellig samlet længde.

7.6.2 Dieseltrukne godstog

Kildestyrken for godstog med diesellokomotiv fremgår af Figur 9. Her er vist kildestyrker pr. meter for godstog med forskellig længde. Til sammenligning er vist kildestyrken for ”rene” retrofittede godsvogne ved kørsel på vel vedligeholdt spor ($L_{\lambda CA} \leq 14$). For korte tog (mindre end 250 m) er der en lille forøgelse af kildestyrken sammenlignet med de retrofittede vogne. Med andre ord har diesellokomotivet i disse tilfælde betydning for godstogets samlede kildestyrke. I praksis kan kildestyrken for $l = 100$ m anvendes for tog kortere end 250 m, mens kildestyrken for $l = 560$ m kan anvendes for tog længere end 250 m.



Figur 9

Kildestyrker ($L_{WA,1m}$) for dieseltrukne godstog med retrofittede vogne med forskellig samlet længde (l).

8. Kørsel over sporskifteafsnit

Et sporskifteafsnit betegnes her som en delstrækning med ét eller flere (evt. sammenhængende) sporskifter, krydsninger og samlinger mv., hvor skinner er svejset eller lasket sammen, og som tilsammen udgør en strækning af en given længde – fx i forbindelse med et stationsområde. I princippet gælder det også et område omkring en enkelt samling eller isolerstød, men oftest kan den støjmæssige betydning af sporskifter og stød henføres til strækninger af en given længde. Den konkrete beregningssituation afgør, om det er muligt og relevant at beregne støj fra enkelte samlinger, og i det følgende er der taget udgangspunkt i sporafsnit, som indeholder mindst ét sporskifte med flere samlinger.

Gennem årene er der anvendt et forholdsvis unuanceret støjtillæg for tog, der kører over sporskifter, og korrektionen er alene anvendt til beregning af maksimalstøjen, L_{Amax} . På baggrund af de udførte målinger lægges der her op til en ændret håndtering af støj fra tog på sporskifteafsnit. Banedanmarks undersøgelser af skinneruhed viser, at afsnit med sporskifter mv. ofte har en betydelig højere ruhed end almindelige vel vedligeholdte spor uden skifter. Da øget ruhed medfører øget støj, er det undersøgt, om ruhedsbetragtninger kan anvendes til at karakterisere støjen fra kørsel over sporskifteafsnit bedre end den nuværende metode.

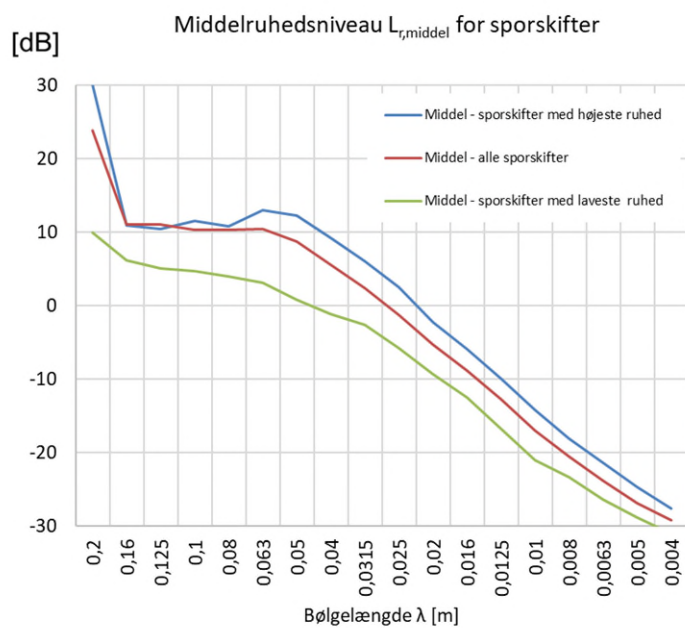
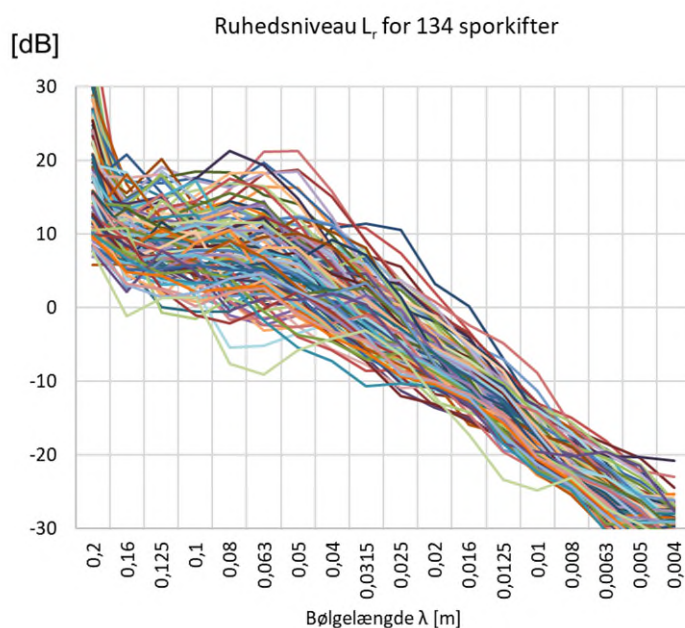
Der er udført målinger af togpassager på 134 sporskifterafsnit, og SWECO har ved kortlægning af Banedanmarks strækninger, jf. [17], målt middelværdier af ruhedsniveauet for sporskifteafsnit beliggende på følgende strækninger:

- Thisted-Holstebro-Ringkøbing-Esbjerg
- Padborg-Fredericia-Vejle-Herning-Holstebro-Struer-Thisted
- Bramming-Lunderskov-Fredericia-Aarhus-Langå-Aalborg.

Ved kortlægninger opmåles ruhedsniveauet separat for hver skinne. FORCE har foretaget en energimæssig midling af ruhedsniveauet for begge skinner, som indgår i passagen af sporskiftet. Herefter er sporskifterne rangordnet efter den energimæssige summation af ruhedsniveauet over alle bølgelængder. Variationen i sporskifternes ruhed er meget stor som vist øverst på Figur 10, hvorfor det er nødvendigt og praktisk med gennemsnitsbetragtninger.

SWECO har på baggrund af målinger også estimeret den gennemsnitlige kombinerede ruhed for en række togtyper på vel vedligeholdte spor, jf. [17]. Disse omfatter de mest almindeligt forekommende togtyper. De målte gennemsnitlige ruhedsniveauer for nogle grupper af tog er indtegnet på Figur 11.

Metoden tager udgangspunkt i, at sporskifteafsnittets ruhed er højere end materiellets, hvorved støjen her vil være domineret af sporets ruhed. På Figur 11 ses, at L_r for de fleste grupper af tog generelt ligger under sporskifternes gennemsnitlige ruhedsniveau (rød, fed kurve). For de ikke retrofittede godstog (rød, stiplet kurve) er det ikke meningsfuldt at anvende denne metode til bestemmelse af et tillæg for sporskifter, da hjulenes ruhed i så fald vil være styrende for støjen ved disse bølgelængder.



Figur 10

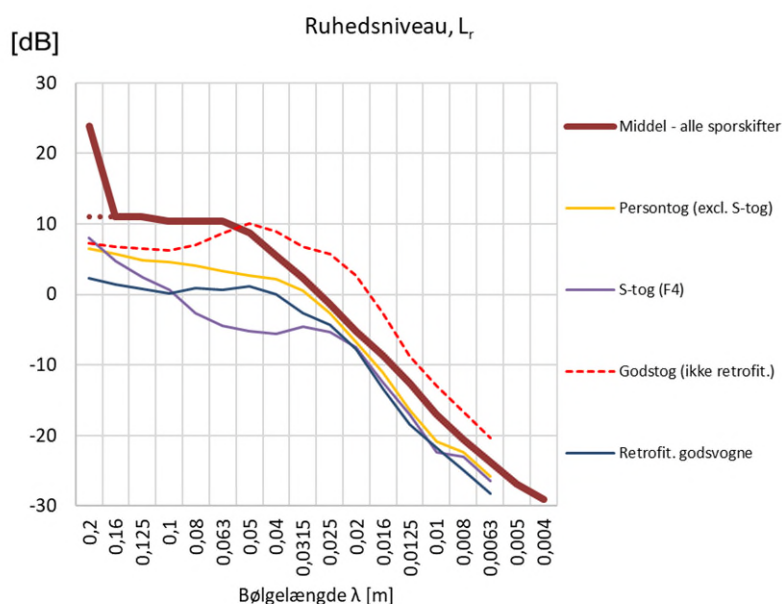
Ruhedsniveauer for 134 sporskifter. Øverste figur viser ruhedsniveauer for alle sporskifter.

Nederste figur viser middelværdier (energimæssig) for sporskifterne.

Rød kurve: Middelværdi af alle 134 sporskifter.

Grøn kurve: Middelværdi af 21 sporskifter med lavest ruhedsniveau (95 % konfidensgrænse).

Blå kurve: Middelværdi af 26 sporskifter med højest ruhedsniveau (95 % konfidensgrænse).



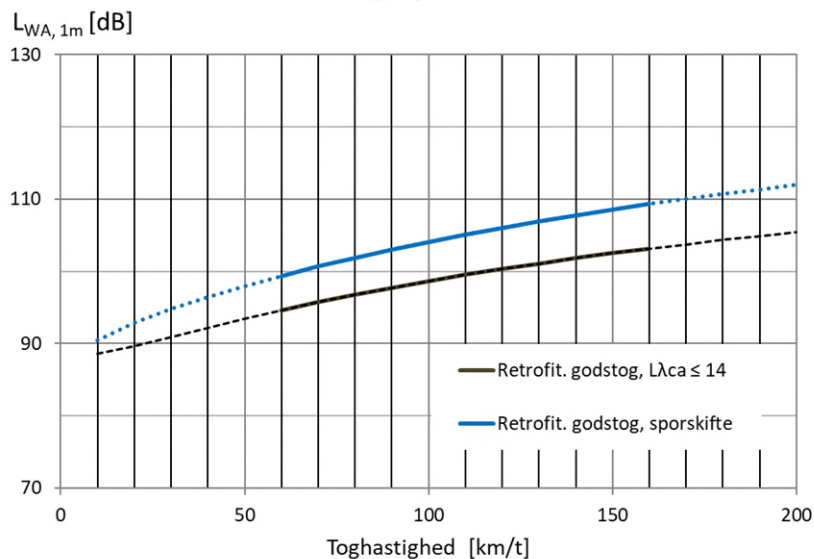
Figur 11

Middelværdi af kombineret ruhed for grupper af de mest almindelige togtyper og middelværdier af ruhedsniveauer for 134 sporskifter (fed kurve). Den stiplede røde, fede streg mellem 0,16 m og 0,2 m viser den anvendte værdi ved beregningerne².

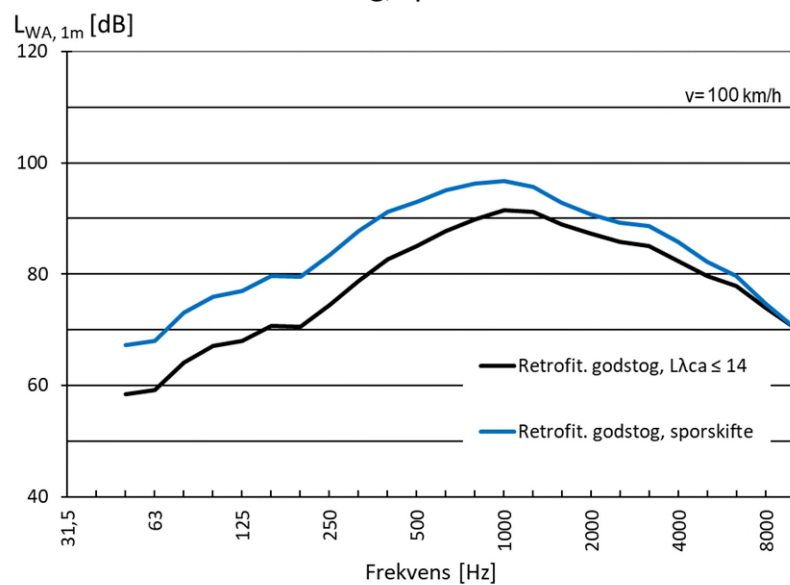
Som et eksempel ses resultatet for retrofittede godsvogne på Figur 12. Det totale kildestyrkeniveau i dB(A) (øverst) er 4-6 dB højere for kørsel på sporafsnit med sporskifter end for selve referencesporet (vel vedligeholdet spor med ruhestal ≤ 14). Denne forskel dækker dog over store frekvensmæssige variationer. Figur 12 (nederst) viser den frekvensmæssige forskel ved 100 km/t i forhold til referencesporet. Kilstyrken ændres i praktisk talt hele det betydende frekvensområde for togstøj, og ændringerne er størst ved frekvenser under 1000 Hz.

² På Figur 10 og Figur 11 ses, at sporskifternes ruhedsniveau ved bølgelængden 0,2 m udviser en markant stigende tendens i forhold til værdier ved kortere bølgelængder. Der er ikke umiddelbart nogen forklaring på dette, men det antages at hidrøre fra måle- og evt. skinnelibemetode. Vi har derfor aktuelt valgt at se bort fra denne stigning, der har størst støjmæssig betydning ved lave frekvenser. I stedet er der anvendt samme værdi som ved bølgelængden 0,16 m for ikke at få uforklarlige store variationer i frekvenssammenhængen af de udregnede korrektioner. Dette er vist med stiplede rød, fed streg på Figur 11 mellem værdierne for bølgelængderne 0,16 m og 0,2 m. I beregninger, hvor der indgår lavere bølgelængder end datasættet tillader, er der tilsvarende anvendt ruhedsniveauer svarende til værdien ved bølgelængden 0,16 m.

Godstog, sporskifteafsnit



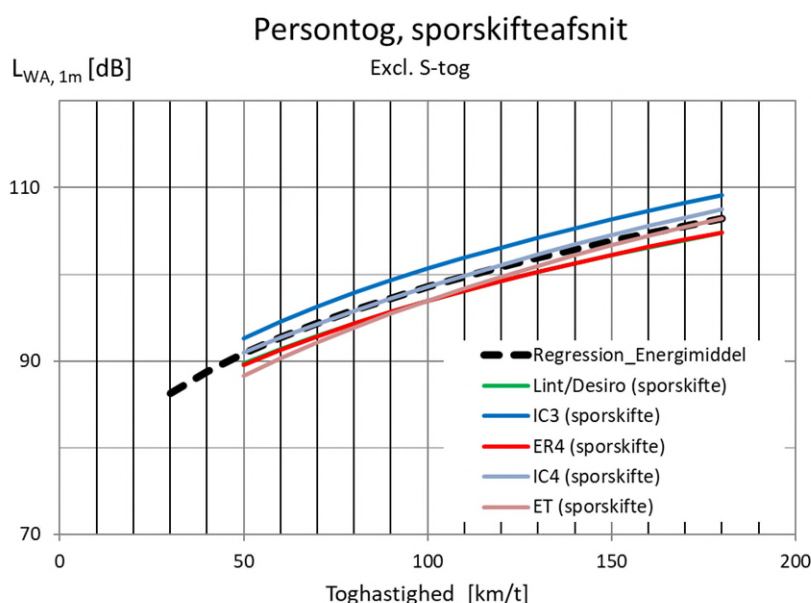
Godstog, sporskifteafsnit



Figur 12

Kildestyrker ($L_{WA,1m}$) for godstog med retrofittede vogne ved kørsel på henholdsvis referencespor (sort linje) og på sporskifteafsnit (blå linje). Nederste figur viser den frekvensmæssige forskel ved 100 km/t.

For persontog har det vist sig praktisk og mest anvendeligt med en fælles kildestyrke for alle persontog (bortset fra S-tog) ved kørsel på sporskifteafsnit. Denne "fælles kildestyrke" er bestemt som det bedste fit for de indgående togtyper, jf. Figur 13, hvor det fremgår, at fejlen ved at anvende en fælles kildestyrke for disse togtyper er indenfor nogle få dB. I sagens natur er det en lille fejl i betragtning af de store individuelle forskelle, der er mellem sporskifterne, jf. Figur 10.

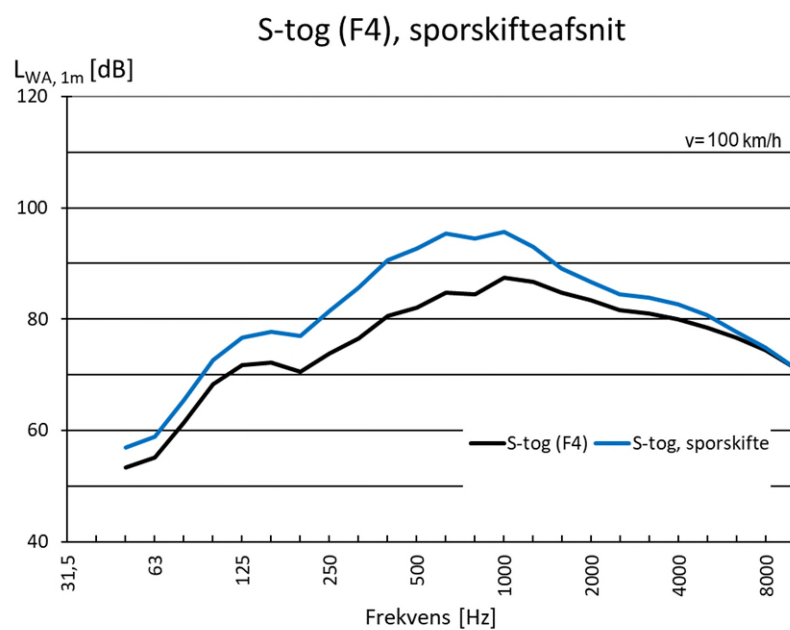
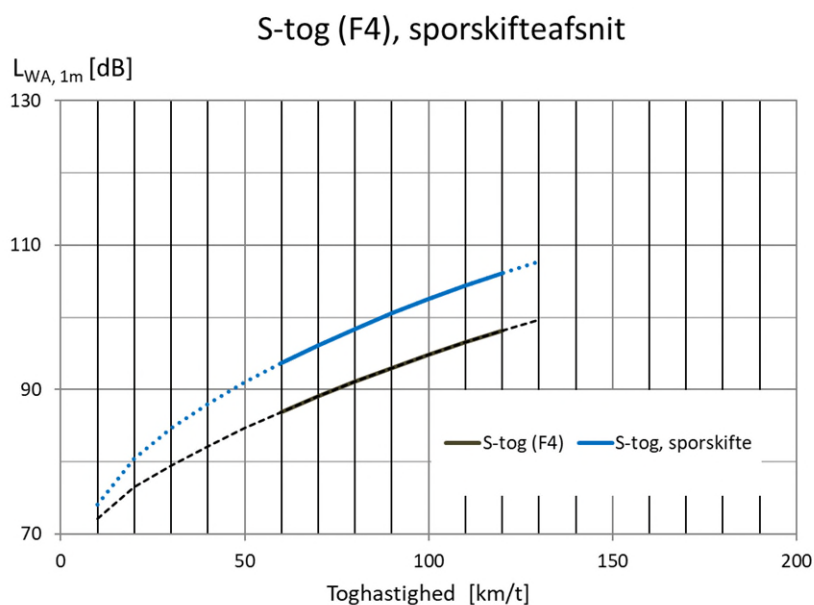


Figur 13

Samlet kildestyrke $L_{WA,1m}$ for persontog (ekskl. S-tog). Den sorte stiplede linje er baseret på regression af a - og b -værdier for de enkelte togtyper.

Ved efterfølgende målinger i 2022 på dobbeltdækkertog er det vurderet, at den viste regressionslinje også er repræsentativ for kørsel med dobbeltdækkertog (DD) på sporskifteafsnit.

For S-tog forholder det sig lidt anderledes: S-tog udviser en større hastighedsafhængighed end de øvrige persontog, jf. Figur 14. Årsagen hertil er ikke kendt. Bemærk, at kildestyrker er udarbejdet uden kendskab til ruhedsniveauer på S-banen, da S-banen på måletidspunktet ikke var omfattet af ruhedsmålinger.



Figur 14

Kildestyrke $L_{WA,1m}$ for S-tog ved kørsel på vel vedligeholdet spor (sort linje) og på sporskifteafsnit (blå linje). Nederste figur viser den frekvensmæssige forskel ved 100 km/t. Kildestyrkerne er **ikke** relateret til sporets ruhed.

9. Overordnede beregningsanvisninger

Samtlige af Banedanmarks strækninger er omfattet af såkaldte *tilstandsbaseret vedligehold*, hvorfor de nye data skal anvendes her. På strækninger, som drives og vedligeholdes af andre end Banedanmark herunder lokalbaner, skal de hidtidige beregningsanvisninger og kilde-data anvendes, jf. [3]. Banedanmark offentliggør en oversigt over, hvilke strækninger der er omfattet af tilstandsbaseret vedligehold.

Sporskifteafsnit

Beregningernes detaljering i forhold til sporskifter afhænger i høj grad af formålet med støjberegningen. Den nødvendige detaljering af støjmodellen kan i sidste ende bedst vurderes af den akustiker, der har ansvar for støjberegningerne. Her skal dog nævnes et par typiske eksempler:

1. Ved overordnede eller overslagsmæssige kortlægninger vil det være muligt at udpege strækninger med et betydende antal sporskifter (sporskifteafsnit). Det kan fx være stationsområder, hvor der ofte er en del sporskifter, som har betydning for støjen i naboområderne. Her kan det første og sidste sporskifte, der definerer stationen, danne grundlag for ét sporskifteafsnit og anvendelsen af en ”forhøjet” kildestyrke. Det kan også være tilfældet ved vige-, overhalings- og perronspor.
2. Ved detaljerede beregninger, fx hvor en bolig ligger meget tæt ved et sporskifte, kan det være nødvendigt med en mere nøjsommelig opmåling af sporskiftets placering i forhold til den udsatte bolig. Ofte vil online luftfotos, BaneGIS³ og eventuelt Banedanmarks strækningsoversigter (TIB-S⁴) kunne give detaljerede oplysninger om sporskifters placering og udstrækning.

Sporskifter og krydsninger varierer meget i størrelse, og i fx et stationsområde kan der være mange sporskifter med forskellige udstrækninger. Den gennemsnitlige længde af de 134 sporskifter, der er anvendt ved kildestyrkemålingerne, var 45 m med variationer mellem 12 m og 94 m. Hertil kommer, at ved fræsning af skinnerne vil der typisk være 10 m på hver side af et sporskifte, som ikke kan medtages i fræsningen, hvorved en gennemsnitlig længde med forholdet ruhed omkring et sporskifte er ca. 70 m.

Om dette er helt repræsentativt for sporskifter generelt vides ikke, men indtil videre anbefales det at anvende en gennemsnitlig længde på 70 m for sporskifter, hvor udstrækningen ikke er kendt.

Indførelsen af forøgede kildestyrker for sporskifteafsnit i forhold til vel vedligeholdte spor har betydning både for beregning af L_{den} og L_{Amax} .

³ BaneGIS: <https://banedanmark.maps.arcgis.com/home/index.html>

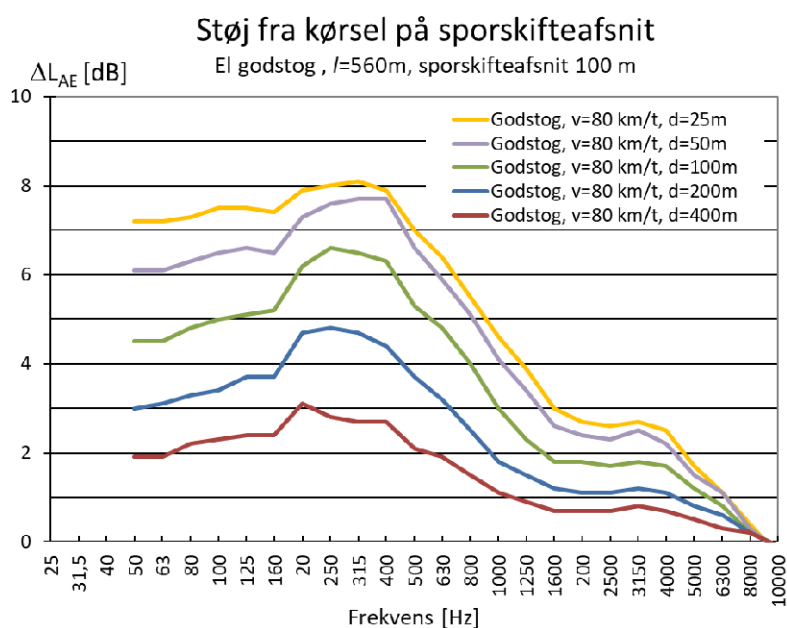
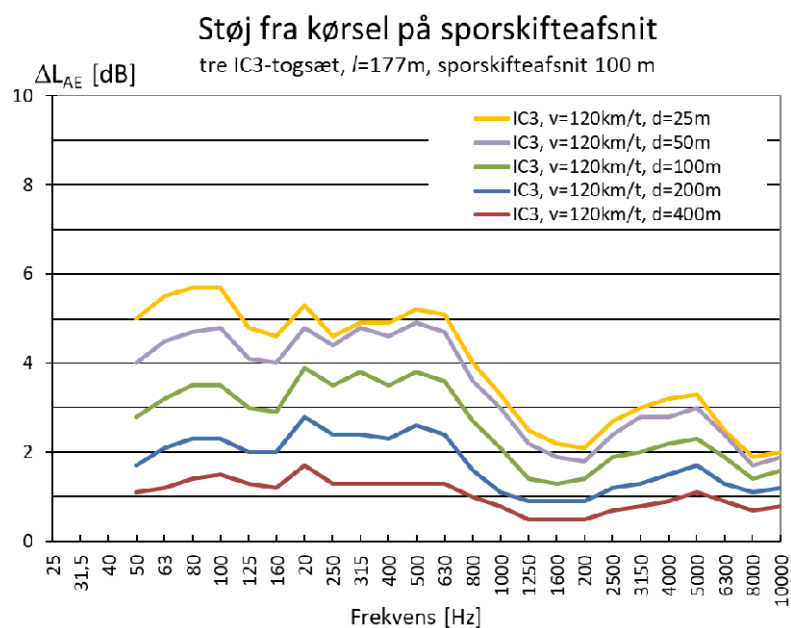
⁴ Banedanmark: https://www.bane.dk/da/Jernbanevirksomhed/Sikkerhed/Trafikale-regler/SR/TIB_S

Betydning for L_{den}

Omkring sporskifteafsnittet vil L_{den} øges i forhold til et vel vedligeholdt spor. Støjforøgelsen afhænger af togtyperne på strækningen, sporskifteafsnittets udstrækning og ikke mindst af afstanden fra sporet.

På Figur 15 ses beregninger af forøgelsen i støjdosise L_{AE} for en passage med et IC3-tog og et godstog i forskellige afstande fra sporet og i forhold til et vel vedligeholdt spor uden sporskifter. Det ses, at støjforøgelsen ΔL_{AE} mindskes med afstanden fra sporet og er størst ved lave frekvenser. De viste sammenhænge gælder også for L_{den} . Det er dog klart, at en kompleks togsammensætning på strækningen kan give anledning til et andet billede af ændringerne som følge af sporskifteafsnittet.

Et længere sporskifteafsnit vil generelt øge støjen, og sporskifteafsnittets indflydelse på støjen vil række længere ud i omgivelserne.



Figur 15

Forskelle i støjdosis ΔL_{AE} for togpasserer på et sporskifteafsnit med længden 100 m på et vel vedligeholdt spor.

Øverst: IC3-passage ved 120 km/t. Nederst: Passage med godstog ved 80 km/t.

Maksimalværdier

Den generelle vejledende grænseværdi på 85 dB for maksimalværdier af støj (L_{Amax}) er beskrevet i Miljøstyrelsen vejledning 1/1997, jf. [3]. Vejledningens formål er at vejlede myndigheder ved planlægning af nye støjfølsomme arealanvendelser som fx boligområder langs eksisterende jernbanestrækninger. Det er dog kutyme også at anvende samme grænseværdier ved anlæg af nye og ombyggede banestrækninger.

- 1) Der gælder en mindsteafstand for arealanvendelsen på 50 m fra fjernbanen og 25 m fra øvrige strækninger, fx lokal- og S-baner. Afstanden måles til nærmeste spormidte.
- 2) Mindsteafstanden kan fraviges, hvis det ved målinger eller beregninger kan eftervises, at L_{Amax} ikke overstiger 85 dB, samtidig med at grænseværdien for vibrationer ($L_{aw} = 75$ dB) kan overholdes.

Jf. den ældre vejledning fra 1985, jf. [1], skal L_{Amax} bestemmes svarende til en integrationstid T_{int} for "det mest støjende tog, der regelmæssigt anvendes på banestrækningen".

Der er ikke i vejledningen fra 1997 eller tillæg fra 2007, jf. [3], beskrevet noget om, at der ikke kan fastsættes en grænse for L_{Amax} længere væk end mindsteafstanden. Dette må derfor bero på et skøn af den lokale myndighed.

Ved planlægningen af nye eller ombyggede banestrækninger vil samme tolkning som udgangspunkt være gældende.

For nye boliger opført i eksisterende støjbelastede byområder (huludfyldning) er der ikke krav til L_{Amax} , jf. Tillæg til vejledning 1/1997, afsnit 1.1.2, jf. [3]. Heraf fremgår, at når de givne forudsætninger i øvrigt overholdes, "*skal det udendørs støjniveau ved facaden ikke sammenholdes med de vejledende grænseværdier*".

Helt overordnet bestemmes maksimalværdien L_{Amax} ved at udpege det mest støjende tog på strækningen. Ved udpegningen vil der ofte skulle tages hensyn til kombinationer af togtype, maksimale hastighed på stedet og togets maksimale længde. Dette er samme procedure som hidtil.

Ved beregning af maksimalstøjen (L_{Amax}) for dieseltrukne godstog har det betydning, at lokomotivet er placeret i den ene ende af toget og dermed medvirker til en meget ujævn fordeling af kildestyrken langs togets udstrækning. Dette kan håndteres ved at foretage beregningen af L_{Amax} med et sololokomotiv, der har vist sig at give anledning til en højere maksimalværdi end hele toget i korte afstande fra sporet. For strækninger med **dieseltrukne godstog** skal maksimalværdien, hvis beregningspunktet befinder sig mindre end 50 m fra nærmeste spormidte, altså estimeres med en solopassage med et diesellokomotiv.

I tilfælde (fx ved klager), hvor en enkelt eller nogle få skinnesamlinger giver anledning til et mærkbart forhøjet støjniveau fx i form af impulsstøj i et begrænset geografisk område, kan det være nødvendigt at foretage målinger for at fastlægge den konkrete maksimalværdi. Det vil være forbundet med stor usikkerhed at forsøge at beregne dette ud fra de eksisterende (og nye) kildedata.

De hidtil anvendte korrektioner for sporskifter mv. (frekvensafhængig + 6 dB), jf. [1], anvendes udelukkende i sammenhæng med beregninger, hvor de "gamle" kildestyrker anvendes (type A&D, type E osv., jf. [3]).

9.1 Bestemmelse af L_{Amax} for kørsel på vel vedligeholdte spor

Herunder resumeres kort reglerne for beregning af L_{Amax} for kørsel på **vel vedligeholdte spor**. Bemærk, at dette også indgår som en del af beregningen af maksimalværdien for kørsel på sporskifteafsnit.

1. Maksimalværdien L_{Amax} er bestemt af den mest støjende togtype på strækningen, når der tages hensyn til de maksimale toglængder og maksimale hastigheder for de forskellige togtyper, der forekommer på strækningen. Dette gælder for almindelige persontog og eltrukne godstog.
2. For dieseltrukne godstog med retrofittede vogne skelnes mellem beregningspunktets afstand fra nærmeste spormidte:
 - 2a. Inden for 50 m estimeres godstogets maksimalværdi ved en solopassage med et diesel-lokomotiv på et vel vedligeholdt spor.
 - 2b. Ud over 50 m beregnes godstogets maksimalværdi for den størst mulige toglængde og -hastighed på et vel vedligeholdt spor.

Dieseltrukne godstog vil formentlig blive udfaset med tiden i takt med elektrificeringen af banerne. Proceduren med diesellokomotiver er medtaget for fuldstændighedens skyld af hensyn til en given overgangsfase, som ikke kendes præcist.

9.2 Bestemmelse af L_{Amax} for kørsel på sporskifteafsnit (tilnærmet metode)

Hvis maksimalstøjen skal beregnes korrekt med Nord2000, skal der ved overgangen mellem et vel vedligeholdt spor og et sporskifteafsnit anvendes en ændret kildestyrke (a- og b-værdier pr. 1/3-oktav) i Nord2000. Tilsvarende gælder, når toget overgår fra sporskifteafsnittet til et vel vedligeholdt spor igen. Med de nuværende versioner af beregningsprogrammer som fx SoundPLAN, er disse beregninger ikke mulige, og det vil som minimum give anledning til meget besvær og mange fejlmuligheder i det daglige arbejde med beregninger af L_{Amax} .

På denne baggrund er der udarbejdet en midlertidig tilnærmet metode, som resulterer i et sæt af *frekvens- og hastighedsuafhængige korrektionsværdier* til kildestyrken for en given delstrækning, som med god tilnærmelse kan anvendes, indtil det bliver muligt at anvende differentierede kildestyrker og dermed frekvensafhængige tillæg⁵.

Ved den tilnærmede metode er forskellen i L_{Amax} beregnet for et tog, der kører på et uendeligt langt sporskifteafsnit i forhold til et uendeligt langt vel vedligeholdet spor. L_{Amax} er beregnet i tværsnit vinkelret på sporet i op til 400 m afstand. Der er antaget fladt porøst terræn uden skærme, refleksioner eller terrænspring.

Beregningerne er udført i 1/3-oktavbånd, men resultaterne er angivet som en totalværdi. Korrektionsværdierne ΔL_{Amax} anvendes mest korrekt som et kildestyrketillæg, der tillægges den givne sporstrækning. Herved vil der blive korrigeret for sporskifteafsnittets længde. Bemærk, at korrektionsværdierne i Tabel 2 er forskellige for hver togtype.

Togtype	Korrektion ΔL_{Amax} [dB]
IC3/ER4/IC4	+3 dB
Lint/Desiro	+2 dB
ET, Øresundstog	+4,5 dB
DD, dobbeltdækkertog	+6 dB
S-tog (F4)	+7 dB
Godstog m. ellokomotiv	+5 dB
Godstog m. diesellokomotiv, langt	+5 dB
Godstog m. diesellokomotiv, solo eller kort (<250m)	+2 dB

Tabel 2

Korrektionsværdier ΔL_{Amax} (totalt) for de forskellige togtyper til bestemmelse af L_{Amax} for kørsel på sporskifteafsnit. Korrektionsværdierne adderes til kildestyrken for et vel vedligeholdet spor og svarer derved til beregning af L_{Amax} for et sporskifteafsnit.

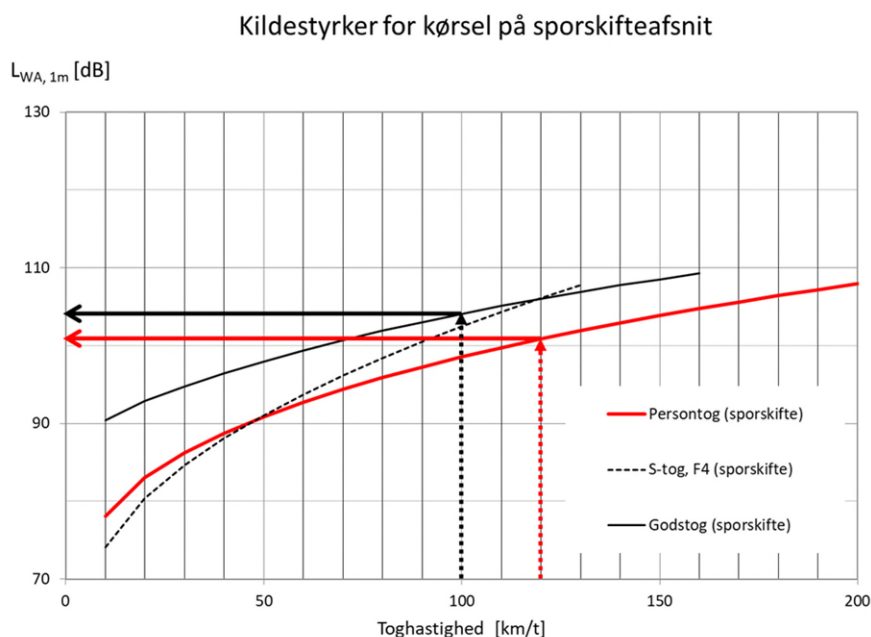
⁵ Den frekvens- og hastighedsuafhængige korrektionsværdi ΔL_{Amax} er her beskrevet som et tillæg til kildestyrken for vel vedligeholdte spor, som indgår ved beregning af maksimalstøjen for sporskifteafsnittet. I praksis er det muligt i gældende version af fx SoundPLAN at tillægge en frekvensafhængig korrektion til en given delstrækning ved beregning af L_{Amax} . Denne fremgangsmåde sikrer også, at korrektionen for sporskifteafsnittets længde automatisk indgår i beregningen af L_{Amax} .

Ved beregning af maksimalværdien for kørsel på et sporskifteafsnit skal man altså beregne maksimalværdien på et vel vedligeholdet spor med et tillæg, jf. Tabel 2, til kildestyrken for sporskifteafsnittet for den aktuelle togtype.

Det er ikke nødvendigt at regne maksimalværdien for alle togtyper. I praksis kan man anvende Figur 16 til at udpege det mest kritiske togtype på en given strækning.

Eksempel 1: På en strækning kører S-tog gennem et stationsområde ved maksimalt 100 km/t. Der gives et tillæg på 7 dB til sporskifteafsnittet, jf. Tabel 2, hvorefter L_{Amax} beregnes med kildestyrken for S-tog på vel vedligeholdte spor.

Eksempel 2: På en strækning kører Desiro-tog ved maksimalt 120 km/t og eltrukne godstog ved maksimalt 100 km/t. Af Figur 16 ses, at det er godstoget, der giver anledning til de højeste kildestyrker på sporskifteafsnit. Der gives et tillæg på 5 dB til sporskifteafsnittet, jf. Tabel 2, hvorefter L_{Amax} beregnes med kildestyrken for eltrukne godstog på vel vedligeholdte spor.



Figur 16

Kildestyrker $L_{WA,1m}$ for persontog, S-tog og godstog ved kørsel på sporskifteafsnit. Eksempel på aflæsning af, hvilket tog der giver anledning til højeste maksimalstøj på et sporskifteafsnit.

Det understreges, at metoden med korrektionsværdier til L_{Amax} -vurderinger for sporskifteafsnit principielt er frekvens- og hastighedsafhængig, hvorfor denne metode er en tilnærmelse til den ”korrekte” metode.

10. Referencer

- [1] "Beregning af støj fra jernbaner". Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 5, 1985.
- [2] "Railway Traffic Noise – Nordic Prediction Method" TemaNord 1996:524, 1996.
- [3] "Støj og vibrationer fra jernbaner". Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 1, 1997 (inkl. tillæg udgivet 2007).
- [4] "Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction", DELTA Report AV 1849/00, Lyngby, 2001.
- [5] "Nord2000, New Nordic Prediction Method for Rail Traffic Noise", SP Rapport 2001:11, Borås, 2001.
- [6] "Kildestyrkedata for togstøj til Nord2000", Miljøprojekt Nr. 1014 2005, Miljøstyrelsen.
- [7] "Togstøj ved stationer", Orientering nr. 50 fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for støjmålinger, 2015.
- [8] "Kildestyrkedata for tog – Nord2000", Teknisk Notat AV1128/09, DELTA, 2009 (Revideret 13. oktober 2009).
- [9] "Skinnekvalitet og støjudbredelse", Teknisk Notat AV 1245/09, DELTA, 2009.
- [10] "Sporprojektet". Rapport T2.006.19, SWECO, 2019.
- [11] "Pass-by Analysis Software (PBA)", TNO, Holland.
- [12] "Measurement and presentation of wheel and rail roughness", WCRR, Florence 1997
- [13] "Study on rail roughness embedding the noise indicator $L_{\lambda CA}$ ", AIA-DAGA, Merano, 2013.
- [14] "Måling af støj fra skinnekøretøjer", DS/EN ISO 3095:2013.
- [15] "Kildestyrkedata for danske tog til Nord2000", Teknisk Notat TC 101432, FORCE Technology, 2019.
- [16] "Støj fra kørsel over sporskifter", Teknisk Notat TC-101656 Revision 1. FORCE Technology, 2021.
- [17] "Støjegenskaber for 4 sportyper og 9 togtyper", Teknisk Rapport T2.006.19, SWECO, 2019.
- [18] "Støj fra Vectron-lokomotiver og dobbeltdækkervogne", TC-102015, FORCE Technology, 2022.

Bilag 1 Kildestyrker

	IC3/ER4/IC4 ($L_{ACA} \leq 14$)		Lint/Desiro ($L_{ACA} \leq 14$)		ET ($L_{ACA} \leq 14$)	
f [Hz]	a	b	a	b	a	b
25						
31,5						
40						
50	31,8	84,9	32,0	88,2	86,7	81,1
63	35,2	84,5	5,3	89,4	37,5	80,5
80	38,9	84,1	23,0	89,7	21,1	81,0
100	26,0	84,7	19,9	89,5	1,0	83,4
125	23,2	83,9	7,5	85,6	28,3	83,2
160	25,1	83,4	6,9	85,2	16,3	82,7
200	22,1	80,4	25,1	82,1	10,0	79,2
250	22,7	82,2	10,7	81,9	24,8	79,4
315	18,7	83,6	4,7	82,8	24,9	81,8
400	12,5	85,9	3,5	84,2	12,0	84,2
500	7,9	86,4	4,2	87,0	8,2	86,1
630	14,7	86,6	13,1	86,3	34,7	84,7
800	20,0	86,7	21,4	86,7	26,6	84,2
1000	29,2	87,2	37,9	88,9	29,9	84,8
1250	35,9	85,6	31,1	86,7	39,3	84,8
1600	43,3	83,2	29,2	83,8	39,6	83,6
2000	45,0	83,4	34,4	83,9	45,9	82,5
2500	45,9	81,2	22,8	83,3	49,5	80,8
3150	38,3	80,1	13,6	82,5	25,0	79,7
4000	25,3	79,4	21,5	81,6	35,1	78,5
5000	22,5	77,2	25,2	79,6	48,2	76,4
6300	23,6	75,4	20,7	78,2	45,3	74,6
8000	23,0	72,7	16,6	75,9	44,6	71,8
10000	26,5	71,2	13,2	76,8	48,8	70,3

Tabel 3

a- og b-værdier til kildestyrke for persontog IC3/ER4/IC4, Lint Desiro og Øresundstog (ET) ved kørsel på vel vedligeholdte spor.

	S-tog, F4		DD (L _{ACA} ≤14)		Godstog, El. (L _{ACA} ≤14)	
f [Hz]	a	b	a	b	a	b
25						
31,5						
40						
50	38,2	83,5	36,9	84,6	31,7	89,0
63	44,2	81,3	77,4	80,2	13,1	85,7
80	27,8	83,9	96,3	77,4	2,1	86,9
100	15,1	87,4	65,2	79,8	4,2	86,4
125	18,9	87,9	55,5	80,8	0,7	84,4
160	44,7	85,6	34,7	83,2	0,6	84,6
200	44,4	81,4	62,5	73,8	0,3	82,0
250	47,2	82,4	61,4	76,5	0,1	83,5
315	42,8	83,2	68,4	75,1	0,0	85,6
400	20,2	85,3	33,7	78,8	0,0	87,5
500	11,0	85,3	24,9	79,6	0,6	88,5
630	32,8	86,6	26,3	81,5	12,6	89,8
800	22,6	85,3	21,1	85,4	22,1	90,9
1000	40,2	87,5	50,2	80,2	26,6	91,6
1250	54,0	86,1	29,0	80,8	29,3	90,7
1600	44,8	83,8	18,8	83,0	26,7	88,4
2000	60,8	82,1	40,7	80,1	18,8	86,4
2500	48,2	80,3	42,1	78,8	14,4	84,8
3150	44,7	79,8	34,7	78,8	14,9	84,1
4000	54,6	79,0	26,2	77,8	15,7	81,7
5000	44,1	78,0	34,3	73,8	16,5	79,4
6300	38,3	76,8	38,0	71,3	16,5	78,2
8000	34,3	75,5	39,7	68,9	17,9	75,3
10000	43,0	73,7	46,0	66,9	17,7	73,2

Tabel 4

a- og b-værdier til kildestyrke for persontog S-tog (F4), DD (dobbeltdækkertog med Vectron-lok. og dobbeltdækkervogne) og godstog med eltrukket lokomotiv.

Ps: Data for S-tog er ikke relateret til ruhedsniveau.

	Godstog, diesel kort ($L_{ACA} \leq 14$)		Godstog, diesel langt ($L_{ACA} \leq 14$)		Diesellokomotiv, solo ($L_{ACA} \leq 14$)	
f [Hz]	a	b	a	b	a	b
25						
31,5						
40						
50	13,8	91,4	22,3	89,4	7,9	95,2
63	13,2	91,9	13,1	87,5	13,3	97,8
80	0,1	97,6	0,5	91,5	0,0	104,1
100	5,6	93,9	4,9	88,9	5,8	100,0
125	4,5	92,4	2,4	87,2	5,3	98,6
160	6,8	90,6	2,8	86,2	9,4	96,5
200	5,2	87,2	2,0	83,2	7,4	92,9
250	0,4	88,9	0,2	84,9	0,5	94,6
315	0,4	89,5	0,1	86,5	0,6	94,7
400	0,0	91,0	0,0	88,3	0,0	95,9
500	1,1	91,9	0,3	89,1	1,6	96,9
630	2,1	94,6	6,9	91,1	0,0	100,0
800	20,0	96,5	20,9	92,4	19,5	102,3
1000	34,9	95,5	28,8	92,6	46,4	100,3
1250	30,7	92,6	29,7	91,0	32,3	96,3
1600	28,2	91,2	26,5	88,8	30,0	95,9
2000	26,0	90,3	20,5	87,3	33,9	95,4
2500	16,2	89,4	14,4	85,9	17,3	95,0
3150	20,9	88,5	16,2	85,1	26,0	93,9
4000	21,9	85,5	16,8	82,5	28,7	90,6
5000	21,8	83,3	17,5	80,2	26,7	88,4
6300	20,8	80,3	16,9	78,5	29,8	84,2
8000	21,9	77,3	18,2	75,5	30,3	81,1
10000	22,1	74,9	18,2	73,4	33,5	78,4

Tabel 5

a- og b-værdier til kildestyrke for dieseltrukne godstog: kort (≤ 250 m), langt (> 250 m) og et sololokomotiv ved kørsel på vel vedligeholdte spor.

f [Hz]	Persontog (ekskl. S-tog) (sporskifte)		S-tog (F4) (sporskifte)		Godstog, retrofittede (sporskifte)	
	a	b	a	b	a	b
25						
31,5						
40						
50	30,2	91,1	31,7	87,1	32,0	97,5
63	11,3	93,0	37,1	85,0	13,3	94,2
80	26,0	91,9	20,7	87,9	2,3	95,5
100	15,3	92,2	8,1	91,7	5,6	95,1
125	15,2	90,2	12,2	92,7	2,0	93,0
160	15,3	89,6	38,0	91,2	2,2	93,1
200	20,3	86,0	39,2	87,8	3,2	90,4
250	21,5	87,1	44,4	90,0	4,5	92,1
315	19,5	88,6	44,6	92,2	5,9	94,3
400	15,1	90,6	26,1	95,4	6,4	96,1
500	12,6	91,3	20,6	95,9	8,0	96,2
630	21,2	91,2	45,3	97,3	20,1	97,0
800	24,8	90,4	35,7	95,2	28,1	97,1
1000	33,5	90,3	52,2	95,7	31,7	96,8
1250	36,5	88,2	62,6	92,3	33,0	95,1
1600	39,1	85,9	50,2	88,1	29,0	91,8
2000	43,8	85,8	64,5	85,4	21,2	89,6
2500	37,6	84,8	51,6	83,2	17,2	87,9
3150	28,9	84,0	49,2	82,7	19,4	87,4
4000	30,3	82,3	59,6	81,7	20,6	84,7
5000	30,0	80,0	48,5	80,1	20,7	81,6
6300	27,4	77,7	40,7	77,9	19,5	79,7
8000	23,4	74,6	35,4	76,0	19,0	75,8
10000	19,3	73,8	43,0	73,7	17,0	72,9

Tabel 6

a- og b-værdier til kildestyrke for persontog (ekskl. S-tog), S-tog (F4) og godstog med retrofittede vogne ved kørsel på sporskifteafsnit.