

# ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

## UBESTEMTHED VED STØJMÅLINGER

Orientering nr. 16

Jørgen Kragh/JJ/BP/bm

1991-12-18

**UBESTEMTHEDEN ER LIGE SÅ VIGTIG  
SOM RESULTATET AF EN STØJMÅLING**

- Ubestemtheden bruges i myndighedernes sagsbehandling
- Ubestemtheden skal helst være under 3 dB
- Der må ikke være forretning i store ubestemtheder
- Ubestemtheden ved støjberegning er lidt anderledes end ved måling
- Baggrundsstøj giver også ubestemthed

### Baggrund og formål

Måleubestemtheden volder problemer for de godkendte laboratorier. Meget tit angives ubestemtheden uden nærmere begrundelse som et skønnet tal mellem 0,5 dB og 5 dB. I nogle tilfælde står der slet intet om ubestemthed i målerapporten, og i andre lander rapporten i den modsatte grøft med en gennemgang af afsnittene om ubestemthed i Miljøstyrelsens vejledninger nr. 5 og 6 fra 1984.

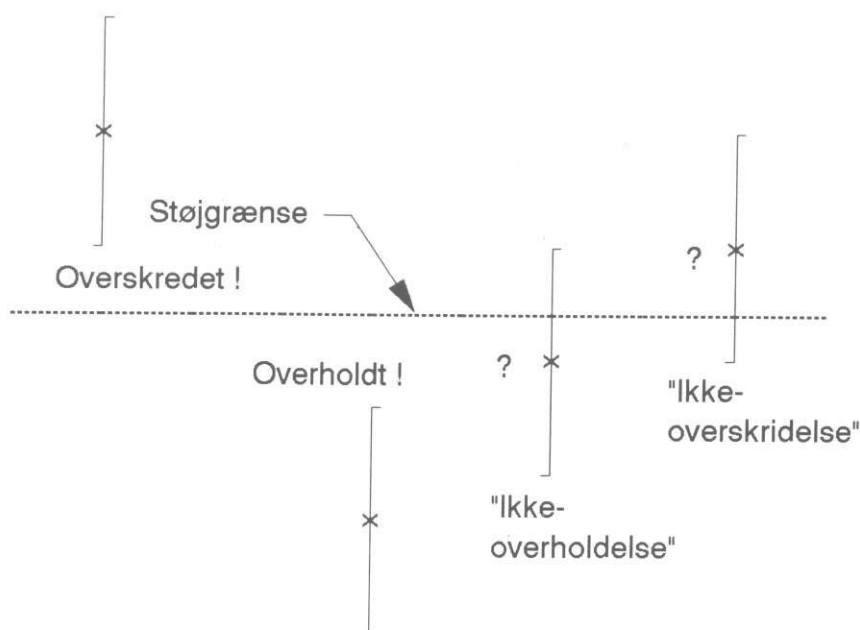
Målet med dette nummer af "Orientering fra Referencelaboratoriet" er at fortælle, at ubestemtheden er meget vigtig for sagsbehandlingen. Det giver en oversigt over, hvad der står i de nævnte vejledninger, og tilføjer lidt nyt om ubestemtheden. Forhåbentlig kan denne orientering medvirke til, at behandlingen af støjsager bliver mere saglig og ensartet end før.

### Ubestemthed i sagsbehandlingen

I Miljøstyrelsens vejledninger nr. 5 og 6 fra 1984 bruges ubestemtheden som følger:

- Når måleværdien minus ubestemtheden er højere end en grænseværdi, er den med sikkerhed overskredet.
- Når måleværdien plus ubestemtheden er lavere end en grænseværdi, er den med sikkerhed overholdt.
- Når måleværdien ligger imellem disse to værdier, kan man ikke med sikkerhed sige, om grænseværdien er overholdt eller overskredet.

Dette er vist grafisk med fire eksempler i Figur 1. Længst til venstre ses en sikker overskridelse og derefter en sikker overholdelse af støjgrænsen. I de to eksempler længst til højre er det uklart, om støjgrænsen er overholdt, hhv. overskredet.



**Figur 1** Ubestemtheden vist omkring måleværdien, hvor der er sikkerhed for overskridelse og for overholdelse, og hvor der er tvivl.

▲ Måleværdi      [ + Ubestemthed  
                             ] - Ubestemthed

Når måleværdien har ligget i intervallet imellem "med sikkerhed overskredet" og "med sikkerhed overholdt", har den administrative behandling af støjsager været usikker. I nogle tilfælde har en "ikke-overholdelse" været behandlet som det samme som en "overskridelse". Det svarer i gennemsnit til at stramme støjgrænsen med en størrelse svarende til ubestemtheden. I andre tilfælde er en "ikke-overskridelse" blevet betragtet som det samme som en "overholdelse", hvilket i gennemsnit svarer til en lempelse af støjgrænsen med ubestemtheden.

Efter vejledning nr. 5/1984 vil miljømyndighederne kun gribe ind over for en virksomhed, når det med sikkerhed er dokumenteret, at støjgrænsen er overskredet.

Så længe dette er praksis, er det uden interesse at undersøge, om en støjgrænse er overholdt. Det fremgår også af ordlyden i vejledningens eksempler på støjvilkår i miljøgodkendelser og

påbud. Her er der overalt brugt formuleringer i stil med: "..... støjbelastningen må ikke overstige de nedenfor anførte værdier: .....".

Vejledningen indeholder derfor ikke noget incitament for virksomhederne til at få foretaget nøjagtige støjmålinger, altså målinger med lille ubestemthed. En måleværdi med en stor ubestemthed fører let til en "ikke-overskridelse", og dermed sker der ingen indgrib fra miljømyndighederne. En lille måleubestemthed kan føre til dokumenteret overskridelse og dermed til krav om, at virksomheden nedsætter sin støjbelastning af omgivelserne.

Under alle omstændigheder er det mindre arbejdskrævende - og derfor billigere - at gennemføre støjmålinger med stor end med lille ubestemthed. Man kan faktisk ikke se bort fra, at måleubestemtheden kan blive en konkurrenceparameter, som både har indflydelse på målingens pris og på sagens afgørelse.

Det må af indlysende grunde ikke ske, og det kan da også forhindres ved, at myndighederne kræver en vis nøjagtighed af dokumentationsmålingerne.

### Krav til måleubestemtheden

Miljøstyrelsen har tilkendegivet [1], at man i almindelighed anser en støjgrænse for overskredet, når det målte støjniveau er 3 dB eller mere over grænseværdien.

Dette må tolkes sådan, at Miljøstyrelsen normalt kun accepterer støjmålinger udført med en ubestemthed på under 2 à 3 dB. Myndighederne bør forlange en lille ubestemthed, medmindre der er meget gode grunde til, at det ikke er praktisk muligt.

Det kan være nødvendigt at gentage en måling flere gange for at bringe ubestemtheden ned.

En måling med stor ubestemthed kan være tilstrækkelig, når der er tale om meget klar overskridelse af en støjgrænse, og når resultatet ligger tydeligt under støjgrænsen. Når støjniveauet er nær ved grænseværdien er det nødvendigt at måle mere nøjagtigt.

### Ubestemtheden ved støjmåling

Ubestemtheden på resultatet af en støjmåling fastlægges efter retningslinierne i Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1984.

Når man bruger gode måleinstrumenter på den rigtige måde, stammer ubestemtheden enten fra variationer i virksomhedens støjudsendelse eller fra vejrets virkning på støjens udbredelse.

Målinger skal altid udføres, mens vejret er inden for bestemte rammer. Ubestemtheden fra vejret er "forsigtigt" vurderet i vejledningen, og i mange tilfælde er variationen af støjniveauet mindre end angivet i vejledningen. Det betyder, at den ubestemthed, man kan fastlægge efter gentagne målinger, i reglen bliver mindre end den ubestemthed, man efter vejledningen skal regne med, når man nøjes med én måling.

Ubestemtheden bliver mindre, når man gentager en måling og bruger middelværdien af måleresultaterne. Dette er baggrunden for, at myndighederne kan forlange målinger med en vis mindste ubestemthed i kritiske sager.

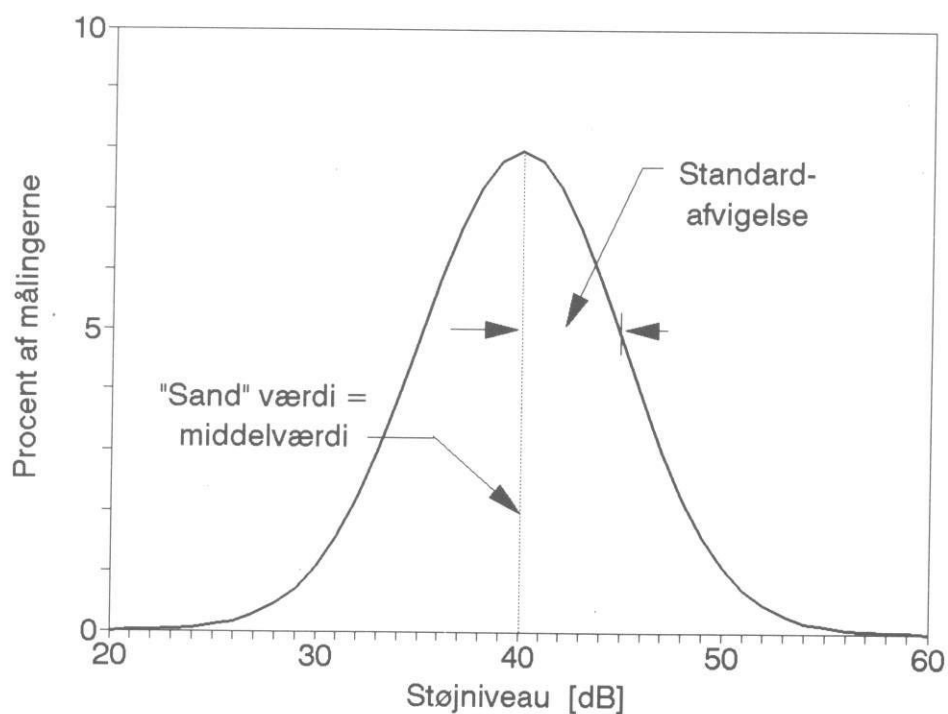
### Statistik og ubestemthed

Når man måler støjen fra en virksomhed flere gange under tilsvarende samme betingelser, får man forskellige resultater. Hvis man efter at have målt støjen fra virksomheden et meget stort antal gange afbilder resultaternes fordeling, får man et billede som i Figur 2. De mange måleresultater fordeler sig efter en såkaldt normalfordelingskurve. Middelværdien af fordelingen er den "sande" værdi af støjniveauet fra virksomheden. Standardafvigelsen udtrykker, hvor stor variationen af resultaterne er fra måling til måling, dvs. hvor "bred", kurven i Figur 2 er.

Når et laboratorium måler støjen fra virksomheden en enkelt gang, vil resultatet være inden for det område af støjniveauer, som fordelingskurven omfatter. Man ved ikke hvor, men der er størst sandsynlighed for at få et resultat i nærheden af den

sande værdi. F.eks. er der 68% sandsynlighed for, at måleresultatet er inden for et interval med bredden  $\pm$  standardafvigelsen omkring den sande værdi.

Hvis et andet laboratorium på en anden dag måler støjen fra virksomheden, er det ligeledes mest sandsynligt, at måleresultatet bliver i nærheden af den sande værdi. Der kan imidlertid forekomme store afvigelser mellem de to laboratoriers resultater. Hvor store afvigelserne kan være, afhænger af standardafvigelsen,  $\sigma$ , som altså udtrykker, i hvor høj grad måleresultatet er reproducerbart.



*Figur 2 Normalfordelingskurve, som beskrives éntydigt ved sin middelværdi og standardafvigelse.*

### Hvad man ved om den sande værdi

Når et laboratorium har målt støjniveauet, kender man ikke den sande værdi, som man ønsker at bestemme. Man ved blot, at den sande værdi med stor sandsynlighed er i nærheden af måleværdien, og at det er mindre sandsynligt, at den sande værdi er langt fra måleværdien.

I vejledning nr. 5/1984 og 6/1984 er ubestemtheden defineret som halvdelen af et symmetrisk interval omkring måleværdien. Dette intervals bredde bestemmes af, at den sande værdi med 90% sandsynlighed skal befinde sig i intervallet.

Intervallens bredde fastsættes på forskellig måde afhængigt af, om man har lavet én enkelt måling eller har gentaget målingen nogle gange.

#### a) Forudbestemt standardafvigelse, $\sigma$

Hvis man nøjes med **én enkelt måling** af støjniveauet, er ubestemtheden,  $\delta$ , lig med 1,7 gange standardafvigelsen på normalfordelingen. Eftersom man kun laver én måling, må man bruge tidligere indsamlet viden om standardafvigelsen. Det står der noget om i vejledning 6/1984. Ubestemtheden er altså:

$$\delta = 1,7 \cdot \sigma \quad (1)$$

Bidraget til standardafvigelsen fra måleinstrumenter mv. er i reglen  $\sigma_i < 0,5$  dB.

Variationen i støjudsendelsen fra kilden giver typisk et bidrag på  $\sigma_k = 0,5 - 1$  dB fra støjkilder, der udsender stationær støj, og mere for kilder, der udsender intermitterende eller tilfældigt varierende støj.

Vejret bidrager ifølge vejledningens Figur 4.1 med  $\sigma_m$  fra ca. 0,7 til over 4 dB afhængigt af afstanden fra støjkilden.

Den samlede standardafvigelse,  $\sigma$ , beregnes som:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_k^2 + \sigma_m^2} \quad (2)$$

Hvis man har flere resultater fra **flere gentagne målinger** til rådighed, er ubestemtheden mindre end efter blot én enkelt måling ved virksomheden.

Måleværdien er da middelværdien af de indsamlede måleresultater, og ubestemtheden på middelværdien er:

$$\delta = \frac{1,7}{\sqrt{n}} \cdot \sigma \quad (3)$$

$\sigma$  er standardafvigelsen på normalfordelingen, og erfaringsstal findes som nævnt i vejledning nr. 6/1984

$n$  er antallet af måleresultater.

Denne sidstnævnte måde at fastsætte ubestemtheden på er ikke nævnt i vejledning nr. 6/1984, men den anbefales hermed brugt i tilfælde, hvor der er målt to à tre gange.

#### b) Estimeret standardafvigelse, $s$

I vejledning nr. 6/1984 er der omtalt en anden måde, hvor man benytter sine resultater af gentagne målinger til at estimere værdien af standardafvigelsen i den konkrete målesituation i stedet for at bruge den forudbestemte standardafvigelse,  $\sigma$ , fra vejledningen. Man beregner da standardafvigelsen,  $s$ , på sine resultater. Oftest vil denne standardafvigelse,  $s$ , være mindre end de erfaringstal for  $\sigma$ , som står i vejledningen.

Ubestemtheden på middelværdien af måleresultaterne beregnes derpå som:

$$\delta = \frac{t_{N-1}}{\sqrt{N}} \cdot s \quad (4)$$

$s$  er standardafvigelsen på måleresultaterne

$\frac{t_{N-1}}{\sqrt{N}}$  er en faktor, som findes i Tabel 4.1 i vejledningen

Det må anbefales at beregne ubestemtheden ved hjælp af udtrykket (4) i de tilfælde, hvor man har 3 eller flere måleresultater til rådighed.

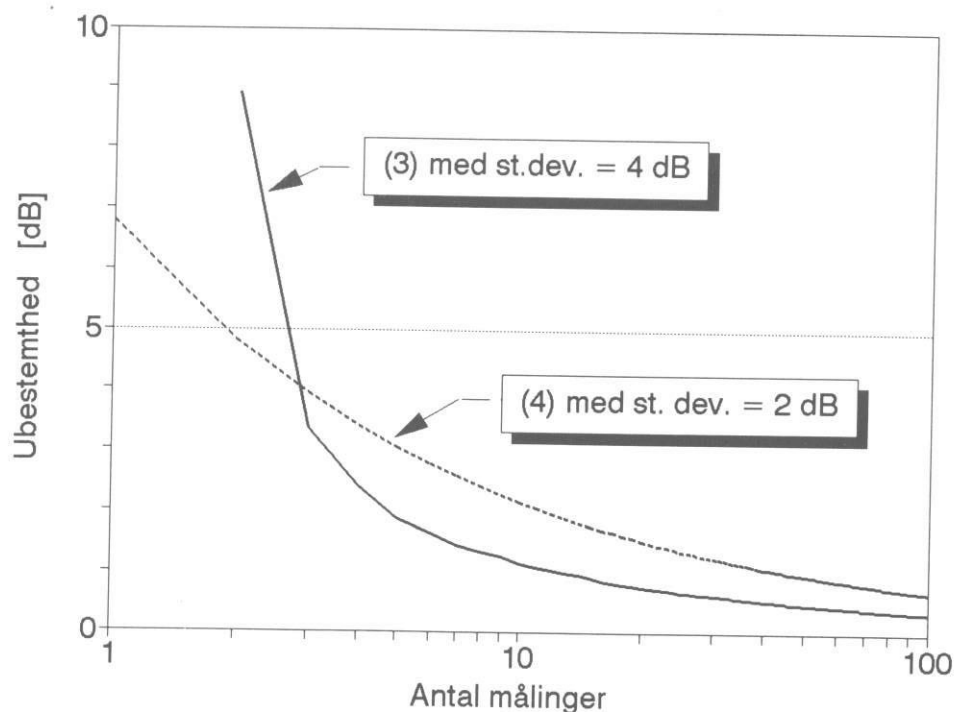


Det kan måske undre, at der her er beskrevet to forskellige måder, man kan beregne ubestemtheden på, når man har lavet mere end én måling, og at de to måder giver hvert sit resultat som illustreret i Figur 3.

Det er svært at give en enkel forklaring på det, men det hænger sammen med, at man i (3) bruger allerede gjorte erfaringer og i (4) ser bort fra al hidtidig erfaring og selv estimerer fordelingen. Ved få målinger giver (4) stor ubestemthed, mens der i mange tilfælde er gode muligheder for at få en mindre værdi af  $s$  end af  $\sigma$  og dermed mindre ubestemthed efter (4) end efter (3).

### Ny meteorologisk ramme

Formentlig bliver det inden længe muligt at måle under udvidede rammer for vejrtilstandene. Et projekt, Lydteknisk Institut har gennemført for Miljøstyrelsen [2], viste nemlig, at man godt



**Figur 3** Eksempel på ubestemtheden på middelværdien som funktion af antallet af målinger beregnet efter udtrykket (3) og (4). I (3) er der brugt værdien  $\sigma = 4,0$  dB, og i (4) er der brugt værdien  $s = 2,0$  dB.

kan udvide rammerne i Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1984 og samtidigt endda regne med mindre ubestemthed fra vejret, end det fremgår af vejledningen.

### Ubestemtheden ved støjberegning

I de senere år er det blevet mere og mere almindeligt, at der indgår beregninger i "Miljømåling - ekstern støj".

Den generelle beregningsmetode for ekstern støj fra virksomheder [3] er opbygget sådan, at den skulle give samme resultat som middelværdien af mange gentagne målinger. Denne beregningsmetode er blandt andet basis for beregningsmetoden for støj fra motorsportsbaner [4] og skydebaner [5].

Det er ikke muligt at skille ubestemtheden på kildedata og på den beregnede dæmpning langs transmissionsvejen fra hinanden. Ved afprøvning af en beregningsmetode får man alene svar på, hvordan summen af kildedata og beregning passer med den målte støjbelastning.

Man kan derfor hævde, at der ikke er ubestemthed tilknyttet en anerkendt beregningsmetode. Ubestemtheden på beregningsresultater skyldes ubestemthed på kildestyrken og andre beregningsforudsætninger.

To forskellige brugere af den samme beregningsmetode vil kunne "oversætte" de samme forhold ved en virksomhed til forskellige sæt af beregningsparametre. Hvis der begås egentlige fejl af en bruger, er der ikke tale om ubestemthed i den forstand, den behandles her. Mindre forskelle i parametre som følge af usikkerhed på opmåling på kort mv. anses for at være anden ordens effekter.

Det mest afgørende bidrag til ubestemtheden på resultater af støjberegninger stammer i reglen fra kildedata. Hvis man bruger kildedata af god kvalitet, kan ubestemtheden blive mindre end ubestemtheden ved en støjmåling. I visse tilfælde med kompli-

cerede lydudbredelsesforhold kan en støjmåling være mere nøjagtig end beregning.

Med god kvalitet af kilddata er ubestemtheden på beregnede værdier af ekstern støj fra virksomheder anført til 3 dB i beregningsmetoden. I situationer, hvor indsamlingen af kilddata er sket under vanskelige forhold, er ubestemtheden angivet til 5 dB. For støj fra skydebaner anføres ubestemtheden til 5 dB. Ved måling af støj fra skydebaner skal der måles 3 gange for at opnå den samme forventede ubestemthed.

Hvis beregningsresultatet udgøres af bidrag fra mange forskellige støjkilder, og disse bidrag er omtrent lige store, er ubestemtheden på det samlede resultat mindre end ubestemtheden på de enkelte bidrag. Ubestemthederne har nemlig tendens til at udligne hinanden.

Hvis der er tale om nogle få bidrag, der dominerer den samlede støjbelastning fra en virksomhed, vil ubestemtheden på disse bidrag være afgørende for ubestemtheden på det samlede resultat.

### **Baggrundsstøjens betydning for ubestemtheden**

Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1984 beskriver, hvordan man skal korrigere resultater af målinger af ekstern støj fra virksomheder for indflydelsen fra baggrundsstøj, og der lægges vægt på, at målinger udføres, så baggrundsstøjen får så lidt indflydelse på måleresultatet som muligt.

Baggrundsstøjen påvirker måleubestemtheden. Dette er illustreret i det følgende eksempel.

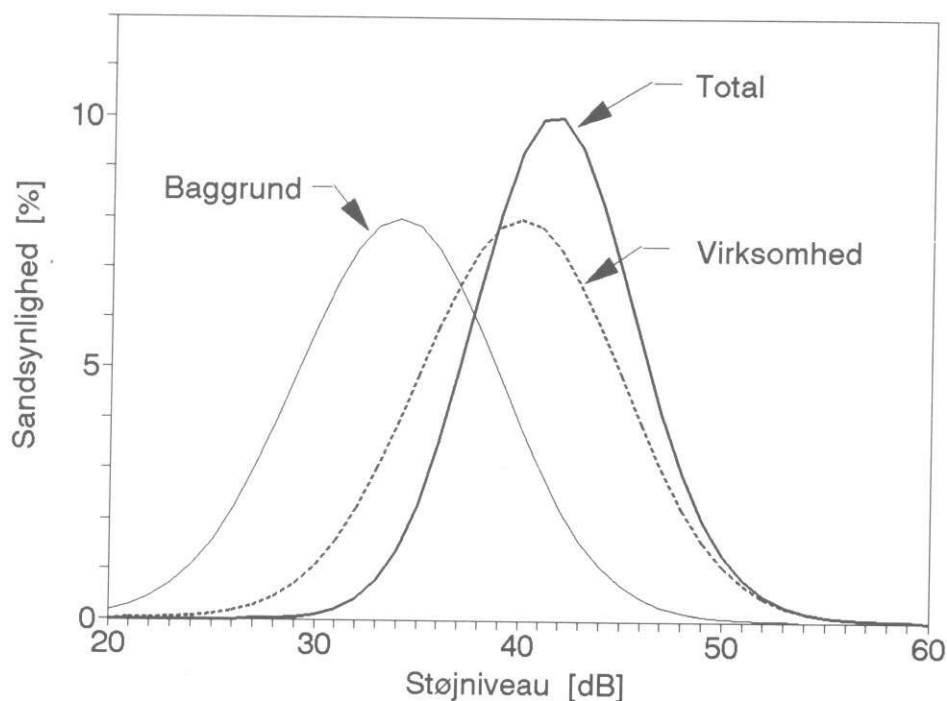
Figur 4 viser tre normalfordelinger af samme slags som normalfordelingen vist i Figur 2. De to fordelinger vist med fuldt optrukken linie viser dels totalstøjen med en middelværdi på ca. 42 dB og spredningen 4 dB, og dels baggrundsstøjen med middelværdi 34 dB og spredning 5 dB.

Ifølge vejledning nr. 6/1984 korrigerer man totalstøjens niveau for indflydelsen fra baggrundsstøj ved hjælp af udtrykket (5).

$$L_{Aeq, virks} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{Aeq, total}}{10}} - 10^{\frac{L_{Aeq, baggr}}{10}} \right) \quad (5)$$

Bruger man middelværdien af totalstøjens niveau og middelværdien af baggrundsstøjens niveau i udtrykket (5), får man for niveauet af virksomhedsstøjen i eksemplet:  $L_{Aeq, virks} = 41,0$  dB.

Beregner man i stedet niveauet af virksomhedsstøjen ud fra forskellen (på energibasis) mellem de to fordelinger af totalstøjens og baggrundsstøjens niveau, får man en fordeling som vist i Figur 4 med punkteret linie. Middelværdien af denne fordeling er 40,0 dB, og spredningen er 5 dB.



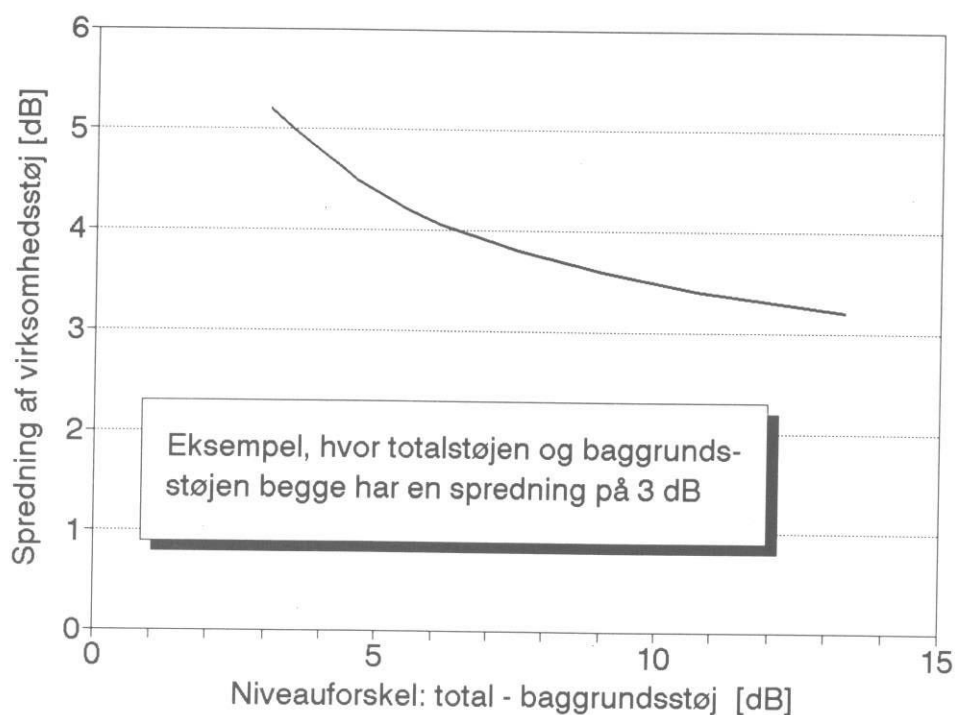
**Figur 4** Eksempel på sammenhørende normalfordelinger af niveauerne af støjen fra en virksomhed, af baggrundsstøj og af totalstøj, jf. teksten.

Eksemplet illustrerer to ting. For det første, at når man - som i vejledning nr. 6/1984 - ser bort fra spredningen af niveauerne, når man korrigerer for baggrundsstøjens indflydelse, da overvurderer man virksomhedsstøjens niveau. Jo større spredninger og jo mindre forskel mellem totalstøj og baggrundsstøj, jo

større overvurdering af virksomhedsstøjen. Overvurderingen er i praksis dog næppe over 1 dB, fordi baggrundsstøjens niveau skal være 3 dB eller mere under totalstøjens niveau.

For det andet illustrerer Figur 4, at spredningen af virksomhedsstøjen er større end spredningen af totalstøjen. Ubestemtheden på niveauet af virksomhedsstøjen er altså større end ubestemtheden på niveauet af totalstøjen.

Dette fremgår mere detaljeret af Figur 5. Figuren viser resultaterne af nogle beregninger for et eksempel, hvor spredningen af både totalstøjens og baggrundsstøjens niveau er 3 dB. Figuren viser den beregnede spredning af niveauet af virksomhedsstøjen som funktion af forskellen mellem middelværdierne af niveauet af totalstøjen og baggrundsstøjen.



**Figur 5** Eksempel på spredningen af virksomhedsstøjen ved forskellige niveauer af baggrundsstøjen i forhold til totalstøjen. Spredningen - og dermed ubestemtheden - af niveauet af virksomhedsstøjen er større end spredningen af niveauet af totalstøjen.

Dette afsnit illustrerer, hvordan baggrundsstøjens niveau og ubestemtheden på baggrundsstøjens niveau påvirker både niveauet af virksomhedsstøjen og ubestemtheden på virksomhedsstøjens niveau. Hvordan man i praksis fastlægger ubestemtheden på baggrundsstøjens niveau, har det ikke været muligt at undersøge inden for rammerne af arbejdet med denne orientering.

### Referencer

- [1] G. Rojahn: "Miljøstyrelsens krav til måleubestemthed". Indlæg ved Emnedag den 7. juni 1989 i Eigtveds Pakhus, København, om ubestemthed ved støjmålinger.
- [2] J. Kragh, J. Jakobsen, B. Jessen: "Ny meteorologisk ramme for måling af ekstern støj fra virksomheder". Rapport nr. 148, Lydteknisk Institut, Lyngby 1990.
- [3] Fælles nordisk beregningsmetode for ekstern støj fra virksomheder. (Beskrevet i Lydteknisk Instituts Rapport nr. 32, 1982. Kommende vejledning fra Miljøstyrelsen 1992).
- [4] Miljøstyrelsens vejledning nr. 7/1984: "Støj fra motorsportsbaner".
- [5] Fælles nordisk beregningsmetode for støj fra skydebaner. (Kilde-rapport 73, 1983). Kommende vejledning fra Miljøstyrelsen 1991).