

# ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

## Digitale lagringsmedier til brug ved støjmålinger

Orientering nr. 34

Carsten Thomsen/OFC/THP/PK/lm

2003-12-01

- **VÆR PÅ VAGT OVER FOR DATAKOMPRESSION**
- **SYSTEMET SKAL VÆRE VELDOKUMENTERET OG KALIBRERET**
- **FORDELE VED 24-BITS SYSTEMER**
- **EKSEMPLER PÅ SYSTEMER**

### Indhold

1. Indledning.....	2
2. Principper for systemer med digital lagring af lyd.....	3
3. Krav til digital lagring og måling .....	5
4. Digitale lagringsmedier .....	8
4.1 Målesystemer til støjmålinger .....	8
4.2 Professionelt audioudstyr .....	9
4.3 High-end forbrugerprodukter .....	14
4.4 Medier til backup og lagring .....	14
5. Praktisk vejledning i brug af digitalt optageudstyr.....	18
Appendix Datakompression .....	20

## 1. Indledning

DAT-båndet har længe været det foretrukne medium for lagring af lyd i forbindelse med støjmålinger. Der findes stadig udmærkede bærbare DAT-båndoptagere til målebrug på markedet, men de sidste års udvikling inden for computerindustrien har muliggjort opbygning af måleinstrumenter og ”båndoptagere” baseret på helt nye metoder med meget stor fleksibilitet, stort dynamikområde og høj databehandlingshastighed. Med den nye hurtige udvikling følger også betydelige risici for at introducere ukendte eller udokumenterede led i målekæden. Denne orientering forsøger at give et overblik over principper og muligheder med hovedvægten lagt på digitale lagringsmedier.

Der har været ønsker om en test af digitale lagringsmedier og målesystemer med anbefalinger om, hvilke der er acceptable til ”Miljømåling – ekstern støj”. Markedet for disse systemer er efterhånden så stort og produkterne så komplekse, at det vil kræve en meget stor indsats at gennemgå og vurdere de relevante systemer. Et andet problem er, at systemernes egenskaber afgøres både af hard- og software, og at det ikke altid er muligt at få oplyst og dokumenteret, hvilken version af softwaren der er implementeret i det aktuelle apparat. Dette er specielt relevant for systemer, der benytter tabsgivende datakompression. Det betyder i praksis, at en test kun kan være gyldig for et specifikt apparat, og at testresultaterne ikke med sikkerhed kan antages at gælde for andre serier af samme type. Dette gælder specielt for udstyr, der henvender sig til den almindelige forbruger, men som har en lyd kvalitet, der gør det acceptabelt til støjmålinger.

Referencelaboratoriet har derfor valgt at udforme en mere generel orientering til brug i forbindelse med anskaffelse og anvendelse af digitalt måleudstyr eller lagringssystemer.

Denne orientering skitserer, hvordan man bedst kan udnytte den nyeste teknologi og de fordele, den giver, og stadig sikre sig sporbare, pålidelige og veldokumenterede målinger, som overholder de relevante standarder. Orienteringen indeholder desuden en checkliste, som brugeren i det daglige arbejde kan anvende til at sikre den bedst mulige udnyttelse af systemerne og til at undgå basale fejl. Endelig er der givet konkrete eksempler på udstyr.

PC-baserede målesystemer har tidligere været behandlet i Orientering fra Referencelaboratoriet nr. 26: ”PC-baserede målesystemer til støjmålinger”. De generelle forhold med hensyn til definitioner, krav, typeprøvning, kalibrering m.m. som blev omtalt i Orientering nr. 26 er stadig gældende. Nærværende orientering kan betragtes som et supplement til og en opdatering af nr. 26.

## 2. Principper for systemer med digital lagring af lyd

Alle digitale lyd- og vibrationsmålesystemer er baseret på en analog transducer, som omsætter lydtrykket eller vibrationssignalet til et analogt elektrisk signal, som herefter konverteres fra analog til digital form.

Den typiske målekæde består af en analog og en digital del.

*Den analoge del:*

**Akustisk kalibrator:** Denne sikrer den absolutte niveaukalibrering af hele målekæden.

**Mikrofon:** Typisk en kondensatormikrofon, som sammen med resten af målekæden skal overholde kravene i de relevante standarder med hensyn til stabilitet, frekvensrespons og dynamik-område.

**Forforstærker,** som omsætter kondensatormikrofonens høje elektriske impedans til en udgangsspænding med lav impedans, som tillader, at signalet føres i et kabel til resten af målekæden. Især ved brug af lange kabler skal man være opmærksom på elektromagnetisk støj (f.eks. brum) samt risiko for forvrængning af høje signalniveauer ved høje frekvenser.

**Konditionering:** Signalkonditioneringen kan f.eks. være indbygget i en frontende til måle- eller lagringssystemet sammen med spændingsforsyning til forforstærker og mikrofon. Der kan være en trinvis variabel forstærkning, som tilpasser signalniveauet til A/D-konverteren og forskellige filtre. Det kan f.eks. være en fordel at højpasfiltrere signalet, så målingen ikke forstyrres af uønsket ”infralyd” fra vindstøj i mikrofonen. Inden selve A/D-omsætter skal signalet lavpasfiltreres for at hindre, at frekvenser oven for måleområdet blander sig med det ønskede signal. Denne filtrering (antialiasing) er som regel indbygget i indgangen af det digitale system og er derfor normalt ikke noget, som brugeren skal tage sig af.

**A/D-omsætter:** Forvandler det analoge signal til digital form. Med en fast frekvens tages ”måleværdier” (samples) af det analoge signal. Det brugbare frekvensområde er i praksis lidt lavere end det halve af samplingfrekvensen. En A/D-omsætters opløsning angives i antal bits (n), hvor dette tal bestemmer det antal forskellige signalniveauer, som omsætteren er i stand til at skabe. Antallet af niveauer er lig med  $2^n$ . F.eks. har en 16-bits A/D-omsætter ca. 65.000 niveauer svarende til et teoretisk dynamikområde på ca. 96 dB (i praksis svarende til ca. 80 dB, se Orientering nr. 26), medens en 24-bits omsætter har ca. 16 millioner forskellige niveauer, svarende til et teoretisk dynamikområde på 144 dB, selv om det i praksis ikke opnås på grund af analog støj og ulinearitet.

*Den digitale del:*

**Dataindkodning:** Her omsættes de digitale informationer til en form, som er egnet til at lagre på et digitalt medium som et bånd, en ”harddisk” eller en ”hukommelse”. Denne indkodning tilføjer ofte fejlkorrigeringsinformation, så data bliver robuste over for eventuelle fejl i lagringen. Der bruges ofte kodningsprincipper, som gør, at mindre fejl kan rettes, så signalet kan gendannes.

**Lagring:** De digitale data lagres på et passende medium. Lagerkapaciteten angives enten i MB (MegaByte) eller i GB (GigaByte). 1 GB = 1000 MB.

Hvis data ikke komprimeres i forbindelse med lagringen tales også om lineær kodning.

Eventuel **datakomprimering:** Man skelner ved komprimering af digital information mellem tabsgivende og ikke tabsgivende kompression. Ved ikke tabsgivende kompression kan signalet gendannes fuldstændigt uden tab eller fejl. Denne type kompression bruges i stor udstrækning ved lagring af data og kendes fra f.eks. ”zip”-filer. Det er dog begrænset, hvor meget et signal kan komprimeres uden tab. Ofte kan der maksimalt vindes en faktor 2-3.

Ved tabsgivende komprimering reduceres den totale datamængde så kraftigt, at signalet ikke fuldstændigt kan gendannes. Ud fra kendskabet til hørelsens egenskaber er der konstrueret komprimeringsystemer for lyd, som kan reducere datamængden meget kraftigt på en sådan måde, at kun få lyttere bemærker reduktionen i kvaliteten af det gendannede signal. Der er selvsagt en sammenhæng mellem komprimeringsgraden og kvalitetsforringelsen, men under alle omstændigheder er der information i signalet, som forsvinder. Nogle af de mest kendte kompressionsteknologier er MPEG (Moving Picture Expert Group) (MP3 og mange varianter), WMA (Windows Media Audio) og ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coding), som benyttes i stor udstrækning til lagring af musik og digital lyd på DVD, minidisk m.m. Se Appendix for mere information om datakomprimering.

**Digitalt eller analogt analyseudstyr:** Efter lagringen føres signalerne analogt eller digitalt til analyseudstyret til måling af de relevante parametre. En digital overførsel er at foretrække, da den kan ske uden kvalitetstab og med bevarelse af den oprindelige optagelses dynamikområde. Der er dog altid brug for en analog udgang til medhør. I nyere udstyr sker beregningen af måleværdier som regel på basis af digital signalbehandling: Programmer i måleapparatet eller en tilknyttet computer udfører vægtningsfunktioner, f.eks. frekvensvægtning (A- og C-vægtning) og tidsvægtning som F (Fast), S (Slow) og Peak, og også mere avancerede analyseformer som 1/3-oktavanalyse, smalbåndsanalyse (FFT), tone- og impulsdetektion.

**Visning:** Resultaterne vises på et passende ”display”, ofte i sand tid, men på computerbaserede systemer kan de også vises i ”slow motion”, såvel under som efter at måldata er opsamlet.

### 3. Krav til digital lagring og måling

Digitale systemer skal overholde de samme krav som tilsvarende analogt udstyr. Til støjmålinger er kravene beskrevet i følgende standarder:

- IEC 60651 Sound Level Meters, Type 1
- IEC 60804 Integrating Sound Level Meters, Type 1
- IEC 61672 Sound Level Meters, Class 1
- IEC 225 eller IEC 61260 Octave Filters, Class 1
- IEC 60942 Sound Calibrators, Class 1

For udstyr beregnet til støjmålinger angiver fabrikanten som regel, hvilke standarder udstyret overholder, og der bør også kunne henvises til typeprøvninger, der dokumenterer det. Såfremt der anvendes udstyr til ”Miljømåling – ekstern støj”, hvor det ikke er dokumenteret, at udstyret overholder de relevante krav, er det brugerens ansvar at sikre, at disse er overholdt.

Der er ingen standarder, der specifikt stiller krav til lagringsmedier for lyd, men det samlede målesystem skal kunne opfylde kravene i de standarder, der er relevante for den aktuelle måling. Af standarderne kan udledes krav for lagringsmedier angående dynamikområde, niveaulinearitet, frekvensområde, attenuatorer og overstyringsindikation m.m. De fleste moderne lagringsmedier af blot en nogenlunde kvalitet vil let kunne opfylde disse krav, men i alle tilfælde skal systemerne kalibreres. Desværre kan de nye medier også introducere fejltyper, som ikke har været overvejet i forbindelse med standardernes udformning.

Følgende krav er specielt vigtige for digitale målesystemer/lagringsmedier:

**Signalkonditionering:** Signalkonditioneringen skal (indstilles) til at sikre, at det signal, der indspilles, ligger optimalt i dynamikområdet, så hverken overstyring eller unødigt elektrisk egenstøj påvirker signalkvalitet eller måleresultater.

**Frekvensområde:** Frekvensområdet skal begrænses inden samplingen ved hjælp af et passende lavpasfilter (oftest indbygget i systemet). Hvis der er valgbare samplingfrekvenser, skal vælges en samplingfrekvens, som sikrer, at frekvensområdet til støjmålinger går op til 12,5 kHz inden for gældende tolerancer. Det betyder i praksis, at samplingfrekvensen mindst bør være 32 kHz. Sædvanligvis bruges 44 eller 48 kHz, men specielle måleopgaver kan kræve højere samplingfrekvenser.

**Dynamikområde:** Et målesystem til måling af  $L_{Aeq}$  skal minimum have et dynamikområde på 60 dB. Dette kræver omkring 12 bit for at få tilstrækkelig opløsning. De fleste systemer er i dag på 16 bit eller mere. 24-bits systemer kan nu fås for så rimelige beløb, at det er værd at overveje, og det giver følgende fordele:

- Dynamikområdet er så stort, at der sjældent vil opstå overstyring på grund af høje lydtryk. Herved fjernes en væsentlig risiko for fejlmålinger.
- Det brugbare dynamikområde bliver væsentligt større (20-30 dB) end med et 16-bits system.
- Der er behov for færre eller ingen attenuatortrin, og indstillingen behøver ikke at ændres under målingerne. Det reducerer mulighed for fejlbetjening og forenkler kalibreringen, hvilket medfører forbedret pålidelighed.

**Overstyringsindikation:** Systemet skal give klar indikation ved overstyring i de forskellige led i signalvejen og bør kunne markere, hvilke data der er overstyrerede.

**Dataindkodning:** Systemet skal understøtte fejlkorrigeringsmekanismer. Heldigvis er dette normalt i næsten alle nuværende digitale lagringssystemer, inklusive filsystemer for diverse computere og operativsystemer. Hvis fejlene er så store, at signalet ikke kan gendannes fejlfrit, bør systemet give en advarsel.

**Lagerkapacitet:** Der er ikke direkte krav til lagerkapaciteten, men i RL 20/96, Udredning fra Referencelaboratoriet ”Kvalitetskrav til ”Miljømåling – ekstern støj” stilles der krav om, at der kan udføres op til en times kontinuert registrering (optagelse).

**Datakomprimering:** Referencelaboratoriet anbefaler generelt, at tabsgivende komprimeringer undgås i forbindelse med støjmålinger. Kun systemer, hvor der er en konkret begrundet høj sandsynlighed for, at der ikke opstår tab, som kan have betydende indflydelse på resultatet, vil kunne accepteres. Komprimeringsystemer som MPEG (MP3 m.fl.) og WMA må ikke anvendes, idet disse typer findes i et stort antal varianter med forskellige udokumenterede egenskaber og komprimeringsgrader.

Den eneste type komprimering, som laboratoriet har testet, og som p.t. accepteres, er minidisk-systemet.

For dette system er det ved test observeret, at toner 10-15 dB under medhørstærsklen ikke kunne genfindes, men det vurderes ikke at være et problem for praktisk støjmåling.

**Datasikkerhedscheck:** Systemet **skal** tilføje redundant information såsom ”check sum”, som giver sikkerhed for, at data er optaget, transmitteret, lagret og gengivet uden fejl, og at fejlmeddelelser vil blive givet, hvis data er fejlbehæftede.

**Faste forstærkningsindstillinger:** Systemer forsynet med trinløs indgangs- eller udgangsforstærker (eller tilsvarende betjening via en computerbrugerflade), som ikke kan låses eller blokeres i faste stillinger, er ikke brugbare til støjmåling. Denne mangel kan også betyde, at systemet ikke kan kalibreres.

**Stabilitet:** For at et system skal kunne kalibreres, skal det kunne indstilles på en forudsigelig måde, og dets stabilitet skal være tilstrækkelig. Som en tommelfingerregel betragtes systemer med en stabilitet på  $\pm 0.1$  dB for tilstrækkeligt, svarende til kravet for ”Type 1”-kalibratorer.

**Versionsnummerering.** Brugeren skal sikre registrering af versionsnumre for anvendt software samt evt. hjælpesoftware på en tilhørende computer.

**Konfigurationsstyring:** Brugeren har ansvar for, at systemet har en klar konfigurationsstyring af hardware, evt. indlejret software, samt evt. hjælpesoftware på en tilhørende computer. Alle de elementer, som indgår i målingen eller efterbehandlingen, skal kalibreres enten samlet eller som enkeltelementer. I begge tilfælde pålægger det brugeren ansvar for nøje at dokumentere en entydig identifikation (f.eks. via serienumre, versionsnumre) af hele systemet og dets enkelte bestanddele. Elementer, som ikke kan mærkes pålideligt og identificeres, bør ikke indgå i systemet. Dette kan især være et problem med programelementer.

**Støjfølsomhed:** Fabrikanten skal klart angive, hvilke typer indgangssignaler (niveauer, krav til skærm og jord samt krav til balanceret/ubalanceret konfiguration), der kan benyttes. Fabrikanten skal også angive systemets støjfølsomhed i en givet installation, f.eks. for indstikskort i modulære målesystemer eller for indstikskort i computeren.

**Miljørøbsthed:** Dataregistreringen kan være baseret på magnetbånd, magnetiske/optiske principper, harddiske eller ”faste diske”, dvs. systemer helt uden mekaniske/bevægelige dele. I alle tilfælde er det vigtigt at undersøge, om systemet kan tåle de temperatur-, fugt- og vibrationspåvirkninger, som det kan udsættes for i praktisk brug.

## 4. Digitale lagringsmedier

### 4.1 Målesystemer til støjmålinger

Denne gruppe udstyr er som regel uproblematisk med hensyn til dokumentation af, om relevante standarder er opfyldt. Udstyret er direkte designet til som mindste mål at opfylde standardernes krav og har som regel været underkastet typeprøvning hos anerkendte laboratorier i henhold til standarderne. Man kan på Physikalisch-Technische Bundesanstalt's hjemmeside ([www.ptb.de/de/org/1/14/141/slm](http://www.ptb.de/de/org/1/14/141/slm)) finde en meget detaljeret liste over udstyr, der er godkendt til støjmålinger, samt en liste oplysninger om fabrikanternes navne, adresser og hjemmesider. De mest anvendte systemer i Danmark er p.t. fra Brüel & Kjær Sound & Vibration: [www.bksv.com](http://www.bksv.com) og 01dB: [www.01db-stell.com](http://www.01db-stell.com).

Når målesystemerne bruges til lagring af lydfile, skal man være opmærksom på, at visse systemer gemmer kalibreringsdata for sig og derefter "normaliserer" lydfilen til fuld udstyring, så kalibreringen ikke er gyldig i andre målesystemer.

#### Computerbaserede målesystemer

Disse systemer samler signalet fra frontenden efter et antialiasing-filter og kan som regel i sand tid vise forskellige måleresultater, samtidig med at signalet gemmes på harddisken på den computer, som computersystemet ligger på.

Frontenden kan give mulighed for et antal (f.eks. 4) mikrofon- og eller linieindgange samt evt. medhør. Der kan være attenuatorer og andre faciliteter. Som regel sker selve signalbehandlingen i computeren evt. assisteret af en signalprocessor i frontenden. Signalet overføres digitalt til computeren, og frekvensområdet vil typisk være fra 0-20 kHz med et stort dynamikområde, idet der arbejdes i 16-24-bits opløsninger.

Lagringskapaciteten er begrænset af pladsen på harddisken, se nærmere i Afsnit 4.4.

Generelt er bærbare computere udstyret med et meget robust diskdrev, men skal beskyttes mod fugt (regn, tåge og kondens) og kulde. Der findes særligt robuste typer, såkaldte "industricomputere", som koster halvanden til to gange prisen for en standardcomputer. Batterikapaciteten kan også være et problem, som dog kan løses ved brug af en adapter til en bilakkumulator eller lignende.

De mest anvendte kalibrerede computerindstikskort i Danmark fås hos National Instruments ([www.ni.com](http://www.ni.com)).



### **Lydanalysatorer med lagring**

Selv om nogle analysatorer har en væsentlig hukommelseskapacitet, er det endnu ikke almindeligt, at selve den samlede lyd gemmes i analysatoren. I de på markedet værende versioner virker analysatoren som en frontende til en computer, som så lagrer lyden i lighed med målesystemerne omtalt ovenfor. I nogle tilfælde kan der skabes direkte synkronisme mellem måleværdier logget i analysatoren og den lyd, der er gemt på computerens harddisk.

Signalet fra analysatoren kan enten overføres digitalt (f.eks. via en USB-port) eller analogt til computeren. Den digitale overførsel har den klare fordel, at analysatorens typegodkendelse og kalibrering sikrer, at det digitale signal, som lagres, overholder gældende standarder. Hvis der benyttes analog overførsel, skal computerens lydkort eller A/D-omsætter være af en god kvalitet og skal kalibreres separat. Se Afsnit 4.2.

Lagringskapaciteten er som ovenfor begrænset af pladsen på computerens harddisk, se nærmere i Afsnit 4.4.

## **4.2 Professionelt audioudstyr**

I dette afsnit gives konkrete eksempler på udstyr, uden at det skal tages som en speciel anbefaling af de nævnte og viste typer.

Der er ikke foretaget en tilbundsående vurdering eller test af udstyret, men umiddelbart ser det ud til at kunne opfylde relevante krav.

Sidst i dette afsnit er der en liste med adresse på producenternes hjemmesider på Internettet.

Det er ikke normalt, at professionelt audioudstyr er kalibreret fra fabrikkens side.

### **DAT-båndoptagere**

DAT-båndoptagere kan stadig fås, selv om udvalget nu er mere begrænset end tidligere. Da DAT-båndoptagerens virkeområde tidligere er beskrevet i Orientering nr. 8, vil den ikke blive detaljeret beskrevet her. Det skal blot nævnes, at DAT-båndoptageren med 16-bits opløsning og 44 eller 48 kHz-samplingfrekvens på relevante punkter sædvanligvis overholder kravene til standarderne for støjmåling. Der kan være op til 2 timers 2-kanalsoptagelse på et DAT-bånd. Båndene er rimelige i pris, og det forventes, at de også kan fås fremover, idet båndtypen også bruges til andre formål som f.eks. backup på computersystemer. DAT-båndoptagere i professionel kvalitet har vist sig egnet til brug ved eksterne støjmålinger, hvor der stilles store krav til driftssikkerhed og stabilitet. Billigere DAT-båndoptagere, f.eks. Sony TCD 8, har stort set samme specifikationer som de professionelle maskiner, men deres driftssikkerhed og stabilitet er ikke så god.

Følgende bærbare 2-kanals DAT-båndoptagere kan stadig fås:

- Sony TCD 8
- Sony TCD 10 PRO II
- Tascam DAP1

Desuden findes et større antal stationære DAT-båndoptagere med 2-16 kanaler og op til 24-bits opløsning. Nogle af de 4-16 kanals båndoptagere kan også bruges uafhængigt af 230 V netforsyning. Disse typer kan bl.a. fås fra følgende producenter: Panasonic, Sony og Tascam/TEAC.

### **Minidisk-optagere**

Minidisk-optageren er normalt 2-kanals (stereo). Registreringen af data foretages ved en magnetisk påvirkning af den roterende disk (lidt mindre end en almindelig floppydisk), mens læsningen foretages optisk ligesom på en CD-afspiller.

Alle maskiner optager med komprimeringskoden ATRAC med tabsgivende reduktion, se Afsnit 3, side 6 om datakomprimering. Samplingfrekvensen er 44 kHz ligesom på CD-afspillere.

Følgende minidisk-typer hører til gruppen af professionelle maskiner.

- HHB MDP-500 PortaDISC
- Denon-80R
- Marants PMD 650



*Eksempel på minidisk-optager:  
HHB MDP-500 PortaDISC*

### **Harddisk-optagere**

På markedet findes forskellige typer harddisk-recordere. I dette afsnit omtales udelukkende optagere, som er "stand alone"-maskiner, altså ikke en PC med harddisk. Harddisk-optagere findes både som transportable og som stationære optagere og er primært beregnet til studieopta-

geler. Sidstnævnte kan indgå som en del af en større mikserpult med mange kanaler. Harddisk-optagerne har 16-24 bits opløsning og samplingfrekvenser i området 44-192 kHz. Alle optagerne kan optage med lineær (PCM, Pulse Code Modulation) kodning uden komprimering.

De transportable optagere findes med 2-8 kanaler. Harddisken kan have forskellig fysisk udformning enten en mikroharddisk på 1" eventuelt på et PCACIA indstikskort eller en almindelig harddisk (2,5" eller 3,5"). Følgende typer kan forventes at være egnede til eksterne støjmålinger (det første tal i parenteserne angiver samplingfrekvensen):

- HHB Portadrive (48-96 kHz, 24 bit, 8 kanaler, op til 10 timer på 40 GB harddisk)
- Saxcom Deva II (48 kHz, 24 bit, 4 kanaler, 1 time (10 timer på 20 GB harddisk)
- Sonifex Courier (48 kHz, 16 bit, 2 kanaler, max. 1,5 time på 1 GB mikroharddisk)
- Marantz PMD670 (48 kHz 16 bit, 2 kanaler, max. 12 timer på 10 GB mikroharddisk)
- Nagra V (48-96 kHz, 24 bit, 2 kanaler, 10-20 timer på 20 GB harddisk)

Alle optagerne har udskiftelig harddisk, således at man i princippet har ubegrænset optagekapacitet.



*Eksempler på harddisk-optagere:  
Til venstre Sonifex Courier, til højre Nagra V*

### **CD- og DVD-optagere**

Et andet udbredt lagringsmedie er CD- og DVD-diske. Begge systemer er baseret på en laser, som kan skrive (brænde) og læse data på disken. Der findes flere typer DVD-diskformater. Optagerne kan være følsomme for bevægelser under optagelse.

Optagerne findes både som stationære og transportable optagere og dels i almindelige forbrugerudgaver og dels som professionelle optagere. Optagere, der anvender DVD-diske, findes primært til optagelse af video med lyd, men her vil der blive foretaget komprimering af lyden, f.eks. som MPEG 2. Derfor bør kun DVD-optagere, der alene er designet til at optage audio, anvendes til støjmålinger.

Her vil kun blive angivet transportable professionelle optagere med lineær kodning.

- Marantz CDR 300 (CD, 44 kHz sampling, 16 bit, 2 kanaler, 1time 15 minutter)
- Fostex PD-6 DVD-RAM recorder (8 cm DVD, 48 kHz sampling, 24 bit, 6 kanaler, 1 time)



*Eksempel på en transportabel CD-ROM optager  
Marantz CDR 300*

### **Flashkort-optagere**

De mest robuste lagringsmedier er forskellige former for datakort ("flash cards"), som bygger på lagring i RAM uden bevægelige dele. Disse kort kan nu fås i størrelser op til 2 GB. Kortene er forholdsvis dyre, således at det betaler sig at flytte optagelser over på harddisk eller CD for længere tids lagring og backup, se Afsnit 4.4.

Der findes følgende transportable flashkort-optagere i professionel kvalitet, som alle er 2-kanals med 48 kHz sampling og mulighed for lineær kodning. To af de nævnte maskiner kan også optage på mikroharddisk på PCACIA-kort, se Afsnittet 4.2 om harddisk-optagere. Priserne starter ved ca. kr. 10.000.

Sonifex Courier

- Marantz PMD670
- Nagra ARES-C
- Nagra ARES-P

- Maycom Easycorder
- Maycom Handheld Recorder
- Mayah Flashman FM 001

Danmarks Radio bruger Maycom Easycorder.



*Eksempler på flashkort-optagere:*

*Øverst til venstre Maycom Easycorder, øverst til højre Marantz PMD670,  
nederst til venstre Nagra ARES-C, nederst til højre Nagra ARES-P*

### **Streaming til harddisk**

En bærbar computer med et godt (eksternt) lydkort og optagesoftware kan give en tilfredsstillende kvalitet. DELTA har kalibreret flere typer af professionelle lydkort, og både frekvens- og dynamikområdeområde er tilfredsstillende. Kalibrerede kort fås også direkte fra visse leverandører (se Afsnit 4.1).

Der er de samme bemærkninger angående bærbare computers brug i felten og lagringskapaciteten som i Afsnit 4.1.

### **Internetadresser**

Yderligere information kan findes hos producenterne på følgende internetadresser:

[www.fostex.co.jp/int/pages/sets/prodset.htm](http://www.fostex.co.jp/int/pages/sets/prodset.htm)

[www.hhb.co.uk/hhb/int/index.asp](http://www.hhb.co.uk/hhb/int/index.asp)

[www.marantz.com/pro/europe](http://www.marantz.com/pro/europe)

[www.mayah.com](http://www.mayah.com)

[www.maycom.nl/main.html](http://www.maycom.nl/main.html)

[www.nagraaudio.com/pages/professionalaudio.php?etat=2](http://www.nagraaudio.com/pages/professionalaudio.php?etat=2)

[www.pro.sony-europe.com/professional-audio](http://www.pro.sony-europe.com/professional-audio)

[www.sonifex.co.uk/courier/index.shtml](http://www.sonifex.co.uk/courier/index.shtml)

[www.tascam.com/product\\_list.php?nav=digital](http://www.tascam.com/product_list.php?nav=digital)

[www.teac-recorders.com/RD-Series.html](http://www.teac-recorders.com/RD-Series.html)

### **4.3 High-end forbrugerprodukter**

Flere af de ovenfor omtalte typer af lagringsmedier fås som forbruger-produkter med høj lyd-kvalitet. Ofte er konstruktionerne dog spinkle med skrøbelige stik, så holdbarhed og pålidelighed er næppe på højde med det professionelle udstyr. Et specielt problem kan være, at det er vanskeligt at skaffe pålidelige data for udstyrets formåen.

MPEG, MP3 o.l. optagere fås også med en tilsyneladende god lyd-kvalitet og plads til mange timers lyd på grund af de komprimerede formater. Disse er dog ikke acceptable til målebrug af samme grund.

Bærbare computere med lyd-kort og optagesoftware (f.eks. Cool-edit) fås også på forbruger-markedet. Der synes at være visse muligheder i at bruge de nyeste eksterne lyd-kort med USB-forbindelse til den bærbare computer.

### **4.4 Medier til backup og lagring**

I det følgende gennemgås forskellige lagringsmedier til brug sammen med computere og anden hardware. Ukomprimeret lyd fylder en del, når den lagres. Nedenstående tabel viser behovet for lagerkapaciteten i forskellige tilfælde:

Minutter	16 bit, 44,1 kHz	16 bit, 48 kHz	24 bit, 44,1 kHz	24 bit, 48 kHz
1	5	5	8	8
10	50	55	76	82
30	151	165	227	247
60	303	330	454	494
120	606	659	908	989

**Tabel 1**

*Nødvendig lagringsplads i MB for optagelser med forskellig opløsning med ukomprimeret (lineær kodning) optagelse i en kanal. Tallene kan variere meget afhængigt af de enkelte leverandørers software.*

Det fremgår bl.a. af Tabel 1, at en times optagelse med 44 kHz samplingfrekvens og en opløsning på 16 bit kræver ca. 300 MB lagerkapacitet. Et DAT-bånd til to timers optagelse (to kanaler) koster typisk omkring kr. 50, dvs. 25 kr. pr. time.

**Eksterne (løse) harddiske:** Brugen af eksterne harddiske er i de seneste år blevet meget mere udbredt. Det skyldes både at prisen er faldet kraftigt og at nye metoder for tilslutning af enhederne gør brugen meget lettere for almindelige brugere.

Eksterne harddiske fungerer efter samme princip som de interne harddiske, som kendes fra almindelige computere. Den eneste forskel er, at det ikke er nødvendigt at åbne computerens kabinet for at tilslutte enheden. Tilslutningen foregår normalt via udefra tilgængelige forbindelser som USB, Firewire eller PCMCIA. Ud over tilslutning til computeren er det i de fleste tilfælde nødvendigt med tilslutning til en ekstern strømforsyning.

En del brugere vil allerede være bekendt med tilslutning af udstyr via USB-porten, da nyere webcams, printere, tastaturer og mus ofte tilsluttes til en sådan. Firewire er ikke lige så udbredt, men fungerer på samme måde som USB. PCMCIA-tilslutning er mulig på stort set alle nyere bærbare computere, men diske hertil er væsentligt dyrere end diske til USB og Firewire.

For akustisk dataopsamling anbefales kun USB-2 eller Firewire, hvor Firewire normalt er hurtigere. Hastighed kan variere meget fra fabrikat til fabrikat, og de annoncerede hastigheder på 440 Mbit/s (USB-2) og 400 Mbit/s (Firewire) er teoretiske tal, som i praksis kan være op til 10 gange for høje. Idet realistiske tal sjældent opgives for kontinuerlig overførsel af store data-mængder, må det bero på en prøve.

Prisen på eksterne harddiske falder stadigt, samtidigt med at kapaciteten stiger. Prisen pr. GB er sædvanligvis højest for de mindste diske; derfor kan det sjældent betale sig at købe disse. Tabel 2 indeholder oplysninger om typiske priser fra efteråret 2003.

Type	Ca. kapacitet i GB	Ca. pris pr. GB. i kr.
USB	20-300	10-100
Firewire	20-120	15
PCMCIA	10	75

**Tabel 2**

*Typiske priser for lagring på eksterne harddiske.*

Af Tabel 2 fremgår det, at prisen for 300 MB lagerkapacitet kan komme ned på kr. 4-5.

**Flash RAM:** I mange mobile apparater er brugen af Flash RAM på hastig fremmarch. Flash RAM benyttes bl.a. i digitale kameraer under navne som Compact Flash, Smart Media, Memory Stick og Secure Digital (SD-RAM) til opbevaring af billeder. Et andet sted, hvor Flash RAM benyttes, er i de såkaldte USB-drev, der snart vil have afløst de normale floppydisks til computeren.

Ved tilslutning til computere er tilslutning via USB det mest udbredte. Disse USB-drev fås p.t. med kapacitet fra 16 MB til 1 GB. Prisen på Flash RAM falder hastigt, samtidigt med at kapaciteten stiger. Tabel 3 indeholder oplysninger om typiske priser fra efteråret 2003.

Kapacitet i MB	Ca. pris i kr.	Ca. pris pr. GB i kr.
128	400	3.100
256	650	2.500
512	1200	2.400
1024	2500	2.500

**Tabel 3**

*Typiske priser for lagring i Flash RAM.*

Af Tabel 3 ses det, at 300 MB lagerkapacitet koster omkring kr. 300 på de ”største” kort.

**CD/DVD-”skiver”:** Som omtalt i Afsnit 4.2 fås CD- og DVD-optagere, der fungerer uden tilslutning til computere, og begge typer drev fås til computere, hvilket p.t. er en billigere løsning.



CD-brændere er efterhånden ved at være standard i alle de nye computere. Disse er i stand til at gemme op til 700 MB data på en enkelt skrivbar CD. Skrivbare CD'ere fås i to versioner; CD-R, hvorpå der kun kan skrives én gang, og CD-RW, der kan benyttes flere gange. Præcist hvor mange gange en CD-RW kan genbruges, før der opstår fejl, er svært at sige, og derfor anbefales det udelukkende at benytte CD-R.

I hovedtræk kan man vælge at gemme lyd på en CD på to forskellige måder. Den ene er som audio-CD, hvor man gemmer optagelsen med en opløsning på 16 bit og en sample rate på 44,1 kHz. Denne metode vil give plads til 74 eller 80 min. pr. CD. Den anden metode er at gemme optagelsen som data, f.eks. det ukomprimerede format wave (.wav). Fordelen ved at gemme optagelsen som data er, at man ofte selv kan bestemme, hvor mange kanaler der skal gemmes og i hvilken opløsning. Man er altså ikke som ved audio-CD tvunget til altid at gemme to kanaler.

Hvis ikke CD-brænderen er monteret i computeren, kan en sådan købes for ca. kr. 500. Medierne fås med to forskellige kapaciteter, 640 MB (74 min.) og 700 MB (80 min.). Prisen er ca. kr. 5 pr. CD, hvilket giver en pris på ca. kr. 7 pr. GB eller ca. kr. 2 for 300 MB.

DVD-brændere vil inden for nærmeste fremtid afløse CD-brændere. Til brug ved backup er de eneste væsentlige forskelle prisen og kapaciteten. Selve DVD-brænderen koster ca. kr. 1.000. Prisen for DVD-medier med en kapacitet på 4,7 GB er ca. kr. 30, hvilket giver en pris på ca. kr. 6,50 pr. GB eller ca. kr. 2 for 300 MB. Prisen på både DVD-brændere og DVD-medier forventes inden for en kort årrække at falde til en pris svarende til CD-brændere og CD-medier.

For både CD og DVD-medier gælder det, at man skal være opmærksom på, at de ødelægges, hvis de opbevares i kraftigt lys eller får ridser.

#### Opsummering:

Medie	DAT	HD	Flash	CD	DVD
Kr.	25	5	300	2	2

**Tabel 4**

*Sammenligning af priser for lagringsmedier til en times optagelse med 44 kHz, 16 bit opløsning i en kanal.*

Valg af lagringsmedium dikteres delvis af den hardware, som det er mest hensigtsmæssigt at bruge. Lagringsmediets pris er sjældent afgørende i forhold til de øvrige omkostninger ved en støjmåling, men dette afsnit viser måske lidt overraskende, at det f.eks. kan være billigere at lagre på harddisk end på DAT-bånd.

Ud over prisen skal man også vurdere mediernes holdbarhed og det hensigtsmæssige i at kunne arkivere f.eks. et DAT-bånd eller en CD-ROM som dokumentation sammen med sagsakterne.

Til brug for backup af store mængder data er det fordelagtigt at benytte harddiske eller CD/DVD-brændere, da disse er billige i drift og er meget fleksible. USB-drev/Flash RAM er udmærkede til midlertidig backup samt til at flytte data fra et apparat til et andet.

## 5. Praktisk vejledning i brug af digitalt optageudstyr

Ved brug af digitalt udstyr gælder selvfølgelig de sædvanlige regler for god målepraksis som for analogt måleudstyr, f.eks. inden man tager i felten at checke, at udstyret er inden for sit kalibreringsinterval, at kabler og stik er stabile, at der er tilstrækkelig batterikapacitet osv.

I det følgende nævnes specielt de praktiske råd, der er relevante ved brug af digitale lagrings-systemer:

- at der medbringes tilstrækkeligt med datamedier (bånd, skrivbare CD'er o.l.)
- at der for computer- eller diskbaserede systemer er tilstrækkelig diskplads med en god sikkerhedsmargin. For computere er det ofte en fordel af have et separat diskdrev til lagring af lyd, eller – hvis det ikke er muligt – et logisk diskdrev, som kun benyttes til lydregistrering.
- at køre et komplet diskcheck (scandisk)
- at reformatere (eller i det mindste disk-defragmentere) den del af disken, som bruges til lydregistrering før starten af en måling. Det sikrer bedre dataoverførselshastighed samt reducerer risiko for fejl. Det skal dog bemærkes, at for store diskdrev (f.eks. 80 GB eller mere) kan det tage lang tid (mere end en time) at udføre disse operationer.

**Ren computer:** For computerbaserede systemer er det at foretrække, at man har så ”ren” en computer som muligt. Det er bedst at have en bærbar computer, som kun er helliget målebrug, og som indeholder så lidt andet software som overhovedet nødvendigt. Alle i baggrunden kørende programmer skal være slået fra. Det inkluderer virusscan, filindeksering, automatisk softwareopdatering, Internet- og lokalnetopkoblinger osv. Det kan være klogt at tale med systemadministratoren eller anden computerkyndig for at få oplyst, hvilke programmer der ofte kører i baggrunden, som kan genere en måling. Dette er især kritisk, hvis computeren presses hastighedsmæssigt i forhold til dens ydeevne.

**Konfigurationsstyring:** Alle komponenter i en målekæde skal være entydigt identificeret. Det gælder kalibrator, mikrofoner, forforstærkere, konditioneringsenheder, computer og software. Software kræver speciel opmærksomhed, idet den aktuelle version af softwaren skal være klart og entydigt identificeret. Hvis der anvendes brugerskrevet software, anbefales det at benytte én

eksekverbar fil med tilhørende biblioteker, således at der ikke er mulighed for at komme til at anvende nye versioner, som ikke er testet, eller ældre versioner, som eventuelt har fejl eller brugerforældede rutiner. Sidste øjeblikksmodifikationer, som ikke er dokumenteret eller behørigt testet, må ikke anvendes, jf. også Orientering nr. 26 om ændringer af software.

**Dokumentation af måleindstillinger:** Moderne målesystemer, om de er computerbaserede eller ej, har ofte mange mulige indstillinger. Det er kritisk at foretage en komplet gennemgang af samtlige indstillinger inden måling/lydoptagelse. Nogle systemer har mulighed for at gemme denne information som en fil eller et ”set-up”. Hvis dette ikke kan gøres, må betydende indstillinger noteres manuelt.

**Kalibrering af tid:** Sørg for at ure i computer og andet måleudstyr er korrekt indstillet. Pas på med udstyr, som benytter AM og PM i stedet for 24-timers baseret ur. Pas på med systemer, hvor datoindikation kan være tvetydig, f.eks. bruger amerikanske systemer ofte omvendt måned-dato rækkefølge. Dette gælder både lagringssystemer og computere, hvor flere forskellige datoformater kan bruges. Sørg for at kontrollere, at måletid registreres korrekt for de optagne data, og at tiden overføres korrekt til evt. efterfølgende programmer, f.eks. til regneark.

**Undgå dobbelt A-vægtning:** Hvis der benyttes 16- og 24-bits lydoptagelser anbefales det altid at optage signalet med lineær frekvensvægtning, evt. med højpasfiltrering omkring 10-20 Hz. Herved har man altid ved efterfølgende analyse den relevante del af det oprindelige signal tilgængeligt (hvis der skal foretages infralyd/lavfrekvent måling, kan man selvsagt ikke højpasfiltrere ved 10-20 Hz) og kan udføre alle former for analyse som en efterbehandling. Herved undgås også risikoen for ”dobbelt” A-vægtning, altså hvis der foretages A-vægtning både under optagelse og ved analyse.

## Appendix

### Datakompression

Datakompression har i adskillige år været anvendt inden for musik- og filmindustrien og muliggør lagring og gengivelse af, hvad der subjektivt opfattes som meget høj lyd kvalitet. Derfor vil det umiddelbart være tiltalende at benytte prisbillige systemer efter samme principper til støjmåling. Som det er fremgået af denne orientering, er der en del mulige fejlkilder, som gør, at Referencelaboratoriet opfordrer til en konservativ holdning på denne front.

De fleste lydkompressionssystemer er bygget på en meget avanceret forskning af menneskets opfattelse af lyd. Grundlæggende udnytter kompressionssystemerne maskeringsfænomener i frekvens- og tidsdomænet. I frekvensdomænet vil en kraftig frekvenskomponent (en tone eller et støjbånd) overdøve nærliggende, men svagere komponenter. Tidsmæssig maskering betyder, at et højt lydniveau i en given tid før begyndelsen og efter afslutningen vil gøre øret ”døvt” for andre svagere lyde. Denne viden er bygget ind i de forskellige kompressionsalgoritmer, som faktisk er meget komplekse computerprogrammer, der løbende vurderer signalet og fjerner den ”overflødige” eller maskerede information.

Karakteristisk for disse metoder er, at deres virkning er meget afhængig af signalets niveau, frekvensindhold eller andre egenskaber. Men fordi der er en reaktionstid i systemet, betyder det, at kortvarige signaler (impulser) ikke nødvendigvis behandles på en forudsigelig eller præcis måde. Det betyder også, at signal/støjforhold kan variere kraftigt, og at forskellige frekvenskomponenter helt kan forsvinde, eller nye kan introduceres på grund af forvrængning.

Der kan så benyttes det argument, at hvis øret ikke kan høre disse ting, så gør det heller ikke noget, at de ikke er med i lydoptagelsen eller støjmålingen. Uanset om det umiddelbart virker fornuftigt, så er der en del problemer med dette argument:

1. En objektiv måling bør ikke på forhånd fjerne informationer, som ikke vurderes som subjektivt relevante.
2. En objektiv måling bør ikke ændre på signaler, deres niveau, varighed, eller frekvensindhold, medmindre det oprindelige signal efterfølgende kan genskabes fuldt ud. I modsat fald kan konsekvensen være, at man rent faktisk ikke ved, i hvor stor udstrækning det signal man måler og analyserer på, er en tro gengivelse af det oprindelige signal.
3. Høje lydniveauer kan resultere i fysiske skader, selv om deres subjektive indvirkning ikke er særligt stor. F.eks. kan meget korte og kraftige impulser (knaldfyrværkeri) give permanente høreskader, selv om de ikke subjektivt opfattes som særlig kraftige. Der er en væsentlig risiko for, at signaler af denne art ikke gengives korrekt af systemer med tabsgivende datakompression.

Et andet væsentligt spørgsmål er, om man så ikke bare kan kontrollere disse systemer ved kalibrering og herved vurdere, om de er teknisk egnede eller ej. Dette er igen en tiltalende tanke, som desværre ikke er realistisk af følgende årsager: Komprimeringsalgoritmer er ikke forudsigelige, er normalt heller ikke offentliggjort, og derved er det pr. definition vanskeligt at vurdere, om det sæt testsignaler, som er tilstrækkelige for ”traditionelle” kompressionsløse systemer, overhovedet vil give en realistisk, dækkende vurdering af systemet. Derudover findes der et stort antal forskellige kompressionsmetoder, hver med en høj kompleksitet. Mange af disse metoder udsættes også for en konstant opdatering og ”forbedring”, og derved introduceres en ukendt variabel i målesystemerne.

Derfor anbefaler Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger, at der generelt ikke benyttes tabsgivende kompression ved lydoptagelser til ”Miljømåling – ekstern støj”.