



Mehrkanaltechnik

Audio Postproduction / Mastering

Vortragender:

DI Markus Noisternig, noisternig@iem.at

Überblick

- **Postproduction / Mastering**
 - Grundlagen (Produktionsprozess, Normen)
 - Processing - Techniken
 - Theorie und Praxis
- **Digitale Audioeffekte**
 - Grundlagen (Allgemein, t.c. M6000)
 - Anwendungsbeispiele
 - Synchronisation / Routing im Studio
- **Filmton**
 - Grundlagen Filmproduktion (von Set bis Foley)
 - Konzepte der Postproduction
 - Beispiel: Forrest Gump

Produktionskette

- **CD-Projekt: Konzeption bis Fertigung**
 - Konzeption
 - Recording: *Multitrack-Master (Tracking)*
 - Mixdown: *2 - 6 Track-Stem*
 - Premastering: *Premaster (Tape / Disc / File)*
 - Quality Control (QC)

CD Presswerk

- Glass Mastering: *Glass Master*
- 1. Plating: *Father*
- 2. Plating: *Mother*
- 3. Plating: *Stamper*
- Pressing / Moulding: *Raw Plastic Disc*
- Metallization / Spin Coating
- Label / Printing / Packaging
- Final CD and QC

Mastering Ausgabe Formate

- Vier akzeptierte Ausgabemedien für Glass-Mastering
 - DLT (Digital linear tape)
 - spezifiziert für DVD / DVD-A
 - DDP (Disc Description Protocol, Exabyte 8mm)
 - CD-R (Orange Book, write-once media)
 - [Sony PCM - 1630 / PCM - 9000]

- **CIRC (Crossed Interleaved Reed-Solomon Code)**
 - zweistufige Fehlerkorrektur (C1, C2)
 - C1: kurze zufällige Fehler (E11, E21, E31)
 - C2 : lange Ausfälle, Bursts (E12, E22, E32)
 - E21, zwei Byte Fehler, detektiert in Level 1
 - E32, unakzeptabler Fehler
stoppt Produktionsprozess beim Glass-Mastering

PQ Listen

- Subcode einer CD
- **P flag**: indiziert den Beginn eines neuen Tracks
- **Q flag**: komplexer
 - timing, program length
 - copy prohibit / permit
 - emphasis
 - ISRC codesgespeichert im TOC der CD
- PQ logs sind redundant, im Ausgabemedium elektronisch gespeichert
- Presswerke verlangen meist zusätzlich schriftliche PQ logs (Kontrollstruktur)

- Beispiel eines PQ logs

DAW Digital Audio Workstations

- Auswahlkriterien
 - Eignung für Mastering
 - PQ editing, Audioqualität, Samplerates
 - Dithering, Rechengenauigkeit, ...
 - Algorithmen
 - SW / HW Zuverlässigkeit
 - SW / HW Support
 - Erweiterbarkeit: DVD-A, SACD, ...

- Gängige DAWs
 - Audiocube
 - Pyramix
 - SADiE
 - Sequoia
 - Wavelab
 - ProTools (Film)

Mehrkanaltechnik

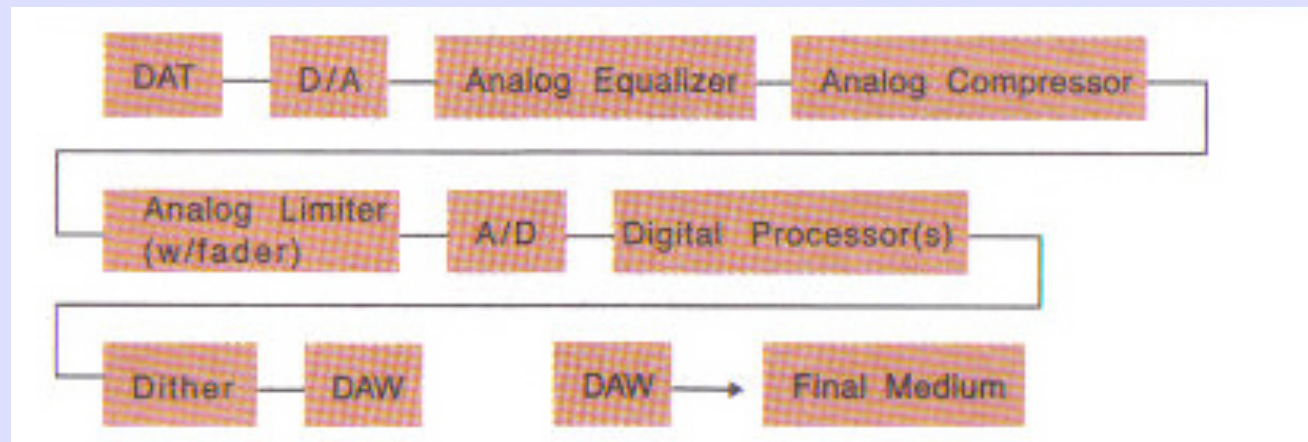
Organisation

Einleitung

Arbeitsablauf Mastering

- beinhaltet folgende Tätigkeiten:
 - editing,
 - cleanup,
 - processing
 - output to final medium

- **Szenario 1: „Laden in Echtzeit“**

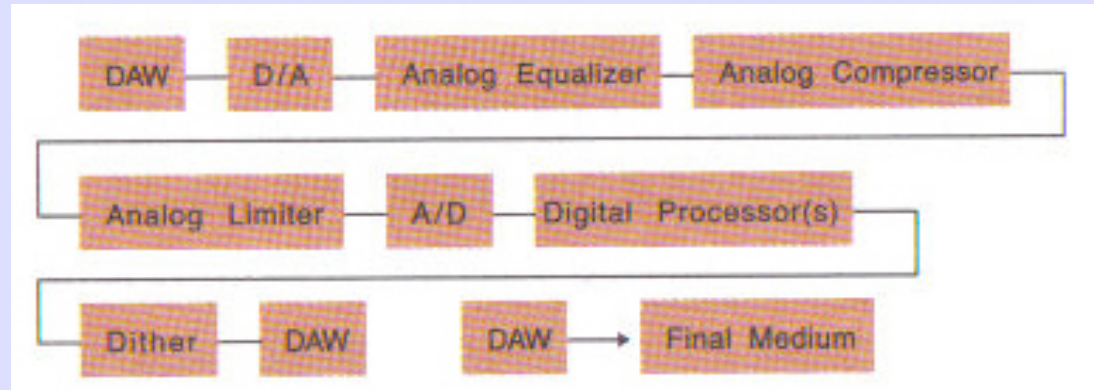


Mehrkanaltechnik

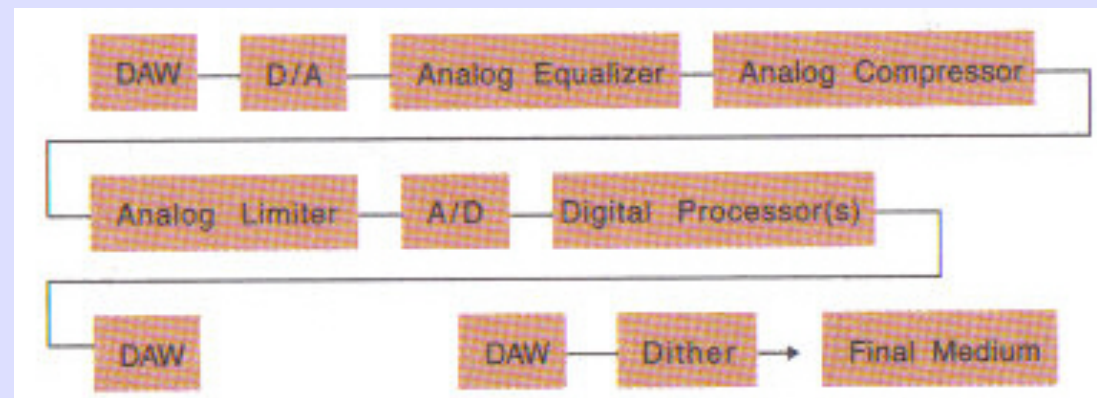
Organisation
Einleitung

Arbeitsablauf Mastering

- Szenario 2:

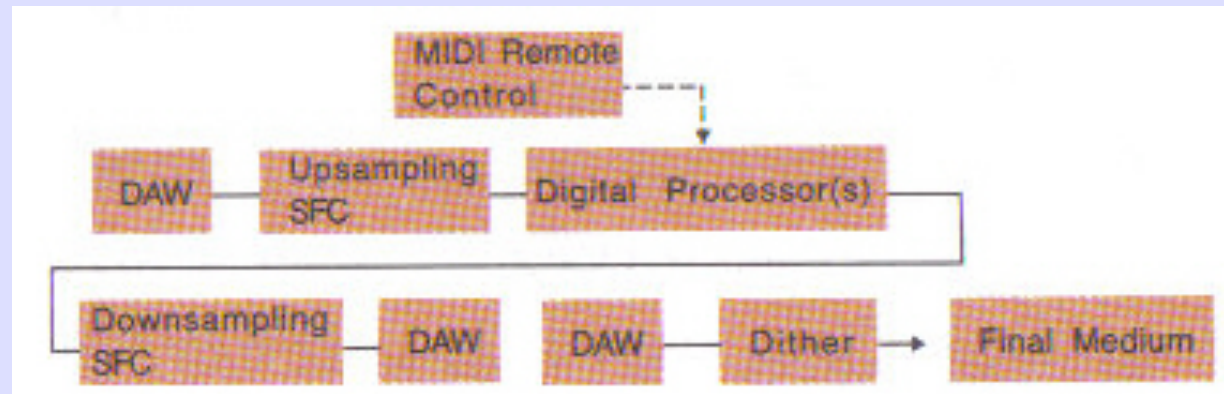


- Szenario 3:



Arbeitsablauf Mastering

- Szenario 4: „State of the Art“



- Volle digitale Signalverarbeitung
- Upsamplen um Verzerrungen durch Digitale Signalprozessoren gering zu halten
- Speichern unter 24Bit/48kHz für Archivierung
- Dither + Downsampling um CD Master zu erstellen
- Revision: Non-Destructive
Alle Parameter-Settings archivierbar
- Wichtig: DAW für multiple Abtastraten

QC Quality Control

Subjektive Kontrolle - „Hören“

- Mastering Studios - eigene Abteilung
- Letzte Kontrollinstanz vor Vervielfältigung
- Detektion von Störgeräuschen
 - Time-Code wird notiert
 - Entscheidung ob neu gemastert werden muss
- Überprüfung Track Reihenfolge und PQ
 - Bei DVD durch Authoring sehr zeitaufwändig

Objektive Kontrolle / Error check

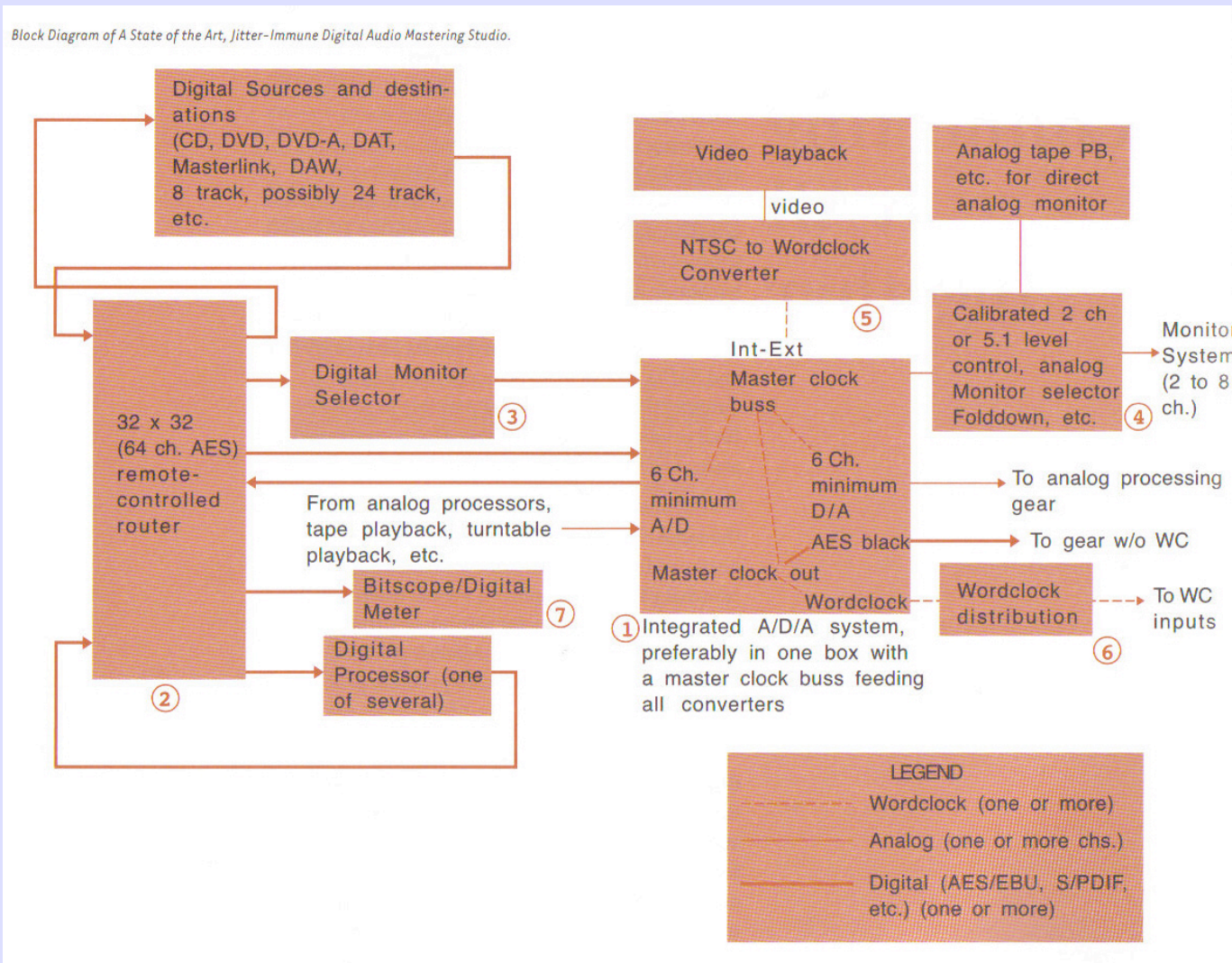
- Dropouts erzeugen clicks, glitches, ...
- CRC (cyclic redundancy check)
 - behebbare Fehler (soft errors)
 - CRC Raten Akzeptanz zw. 50 und 200 / min. (Qualitätsanspruch)
- BLER (block error rate)
 - Presswerke verweigern Master Tapes mit BLER > 100 bzw. wenn E32
- Player:
 - Fehlerkorrektur (error correction)
 - Fehlerverschleierung (error concealment) - Interpolationsalgorithmen

Backup / Archive

Strategien

- Daten auf HDD DAW bis Master akzeptiert
- Logs, Midi Dumps, Parametersettings usw. speichern
- **In-house backup:**
 - Falls Revision zur schnellen Datenwiederherstellung
 - Labels verlangen Backup auf vereinbartem Medium (meist Sonic Solution Exabyte tapes, bzw. DLT)
 - Lagerung in klimatisierten Räumen
- **Archiv**
 - Lagerungszeitraum > 30 Jahre
 - Problem bei digitalen Formaten mit Reproduzierbarkeit
 - kurze Lebenszyklen von SW / HW
 - Abwärtskompatibilität
 - Keine Normen
 - Konsortien mit Vorschlägen (vgl. dazu pdf Standard)

Digital Audio Mastering Studio



Digital Audio Mastering Studio

Block Diagramm und Verkabelungsplan

- Detailliertes Block Diagramm mit Kabelnummern (externe Liste)
- Einstreuungen / Brumm
 - Summen-Erdung (Stern)
 - Kabelverlegung / -parallelführung / Interferenzen durch Clock
 - Analoges Equipment zusammenfassen
 - große Entfernung zu Clock
 - kurze Analog-Kabelwege
 - keine Transformator-Spulen
 - Analoge Patchbays vermeiden bzw. hohe Qualität
- Meist kein Mischpult sondern Direct Routing
 - Z-Sys Routing + t.c. 6000 + digital monitor switch
 - Routing mit DAW

Gehörbildung

- menschliche Hörwahrnehmung
 - Hörsinn beim Menschen hoch entwickelt
 - Dynamikumfang,
 - Frequenzauflösung
 - usw.
 - hoch sensibles Messgerät
 - beste **REFERENZ**
- Training
- Technisches vs. musikalisches Hören
- Mixing vs. Mastering Engineer
- Passive vs. aktive Gehörbildung
 - **Passiv**
 - Analyse täglicher Umgebungsgeräusche / -sounds
 - Analyse von Referenzaufnahmen
 - **Aktiv**
 - Koordination „hand to ear“
 - Effiziente Bedienung von Equipment
- Zu intensive Gehörbildung: Überforderung!

Dithering: Wortbreitenreduktion

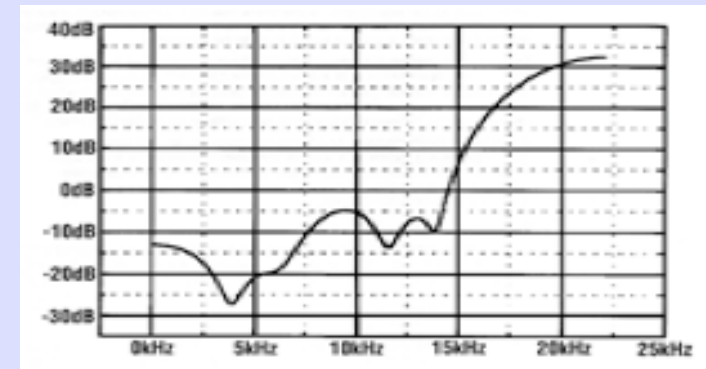
- DAW 24 Bit / CD 16 Bit
- Wortbreiten-Reduktion erzeugt Verzerrungen
 - THD/N (total harmonics distortions plus noise)
- Abhilfe: Dithering
 - Hinzufügen von Rauschen in Größe des LSB (least significant bit)
 - Linearisierung und Kodierung von Werten kleiner als LSB möglich
 - SNR Reduktion um 5dB, d.h. bei 16Bit = 91dB
- Funktionsweise:
 - Signalwerte <LSB ergeben bei Kodierung NULL
 - Dither: Rauschen mit Mittelwert 0, Amplitude <LSB
 - Signal+Rauschen alteriert LSB periodisch
 - Mittelwert ergibt Signalamplitude
- Psychoakustik:
 - Menschl. Hörwahrnehmung reagiert in der Lautstärkenempfindung auf Mittelwerte
 - Signale unter der Noise Amplitude hörbar (nicht maskiert)
 - Wahrgenommener Dynamikbereich somit größer als kodierbarer Dynamikbereich

Re-Dithering: Linearisierung DSP

- Digitale Signalverarbeitung
 - Rückgekoppelte Multiplizierer: Filter, EQ, Kompressor
 - Rundungsfehler durch begrenzte Rechengenauigkeit
 - Tradeoff: Rechengenauigkeit vs. DSP Leistung
- Linearisierung mittels Re-Dithering
 - Hinzufügen von digitalem Dither
 - Information kleiner LSB soll erhalten bleiben

Advanced Dithering

- Frequenzverzerrung des Dither Signals zur Minimierung der Wahrnehmbarkeit
 - Hörwahrnehmung im Bereich 1kHz-3kHz besonders empfindlich (ELC [Fletcher, Munson])
 - Noise Shaping: Hauptenergie des Dithersignals außerhalb dieses Bereichs
 - Klangfärbungen möglichst neutral
- Üblich:
 - POW-R (type3), Apogee UV-22, Waves L1/L2 Ultramaximizer, Prism,...



Dithering in der Praxis

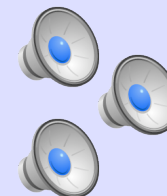
- Wortbreitenreduktion immer MIT Dither
 - z. B. von 24 Bit (DAW) auf 16 Bit (CD)
- Vermeidung mehrmaliger Wortbreitenreduktion
 - Gesamte Signalverarbeitung in 24 Bit
 - Bouncen (Sub-Mixdowns) immer in 24 Bit
 - Reduktion auf 16 Bit erst beim CD-Master
- Unterschiedliche „noise shapes“ klingen auch unterschiedlich
- Samplerate Konvertierung VOR Dithering
 - Beim Mastern zuerst Samplerate Konvertierung auf 44.1 kHz
 - dann Konvertierung auf 16 Bit
- Kumulatives Dithering auf 16 Bit vermeiden
 - Kombination von pre-mastered (+dithered) Klangmaterial mit neuem Material (undithered, 24 Bit)
 - Auto-dither: Dithering nur wenn Ziel-Wortbreite kleiner als ursprüngliche Wortbreite
 - Auto-black: Schaltet Dither aus, wenn über gewissen Zeitraum Pegel unter einem Schwellwert liegt. Wichtig bei Einfügen von Stille.

Metering

- VU-Meter vs. Peak-Meter
- Mittelungskonstante
 - VU-Meter: ~ 300ms
 - Peak Meter: samplegenau
 - Psychoakustik:
Lautstärkenwahrnehmung durch Mittelung
 - d.h. Peak-Meter sagt nichts über Gesamtlautstärke aus
- Abhilfe: Dual-Skalen mit *Peak* und *Average*
- Kalibrieren beim Metering
 - Musik: *Peak/Mean* = 12dB (*crest factor*)
 - Sinus mit -14 dB_{FS} = 0dB_{VU} beim VU-Meter
 - Klassik / Jazz / unkomprimierte Musik
Sinus mit -20 dB_{FS} = 0dB_{VU} beim VU-Meter
Problem: darstellbarer Wertebereich überschritten
- Hörwahrnehmung ist wichtigstes Kriterium
 - *Meter* sind im gegensatz zur Hörwahrnehmung nicht frequenzselektiv (vgl. dazu Bark Skala, Lautheit [Trautmüller, Zwicker/Feldtkeller])
 - Anzeige von 0dB_{VU} liefert ja nach Musikstil unterschiedliches Lautstärkeempfinden

Metering - Clipping / Over

- **ADC:** Analoges Eingangssignal überschreitet 0dBFS
 - Abschneiden der Signalform (Clipping): Verzerrungen
- Digital Audio Meter:
Unterscheidung von 0dB und Over Detektion
 - 0dB: PCM-Wert überschreitet 0dBFS
 - Over: PCM-Wert überschreitet 0dBFS über mehrere aufeinander folgende Abtastwerte
- **DAC:** Intersample Peaks
 - Studie von TC Electronic zeigt Signalverzerrungen zwischen Abtastwerten (zurückzuführen auf Anti-Aliasing Filter)
 - auch bei z.B. Samplerate-Converter
 - werden von Metern nicht erfasst
 - max. +3dBFS
 - max. Aussteuerung mit -3dBFS
- Sound-Beispiele (TC) bei -0.2dBFS
 - a) Ausgangssignal
 - b) Professioneller Sample-Rate Converter +DAC
 - c) Consumer Product DAC



Metering - Clipping / Over

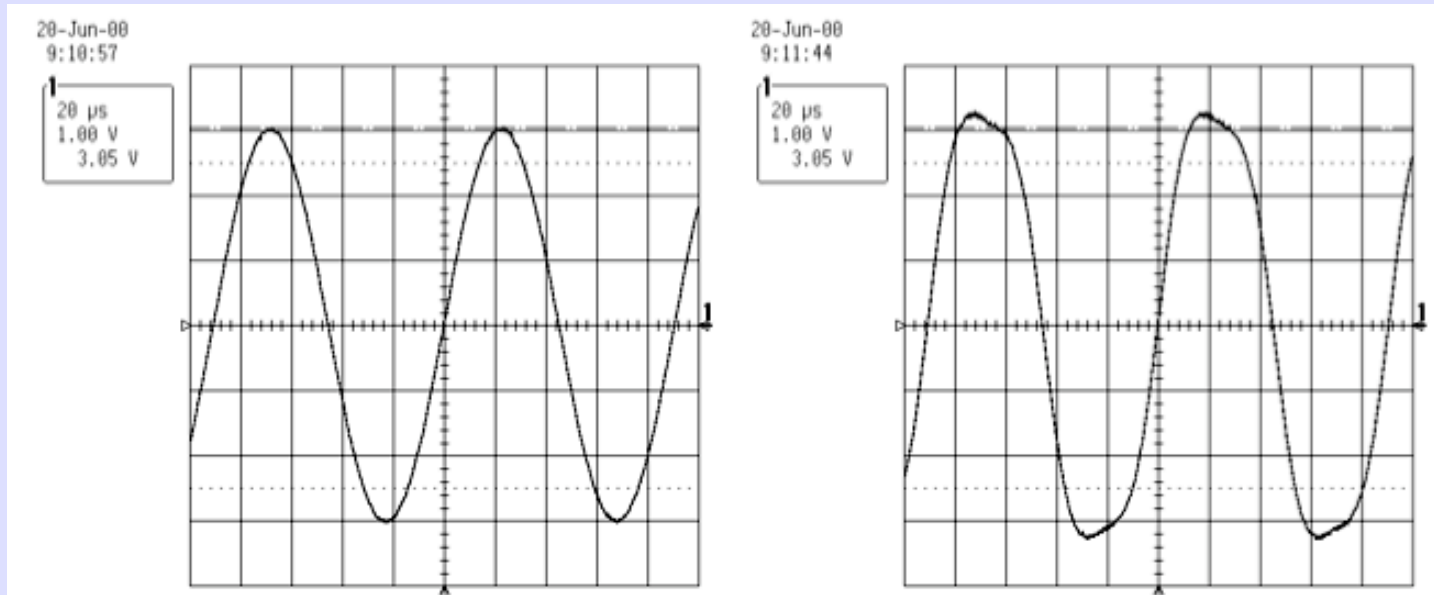


Figure 1

Figure 2

11025 Hz sine waves at full scale (0 dBFS) sampled @ 44.1 kHz.

Example shows consumer CD player, NAD C 520, measured on LeCroy 9350A digital oscilloscope.

Figure 1: Starting phase of 90°. Analog and digital peak values are identical.

Figure 2: Starting phase of 45°. Analog peak value should be +3 dBFS. Notice the clipping.

Metering - Clipping / Over

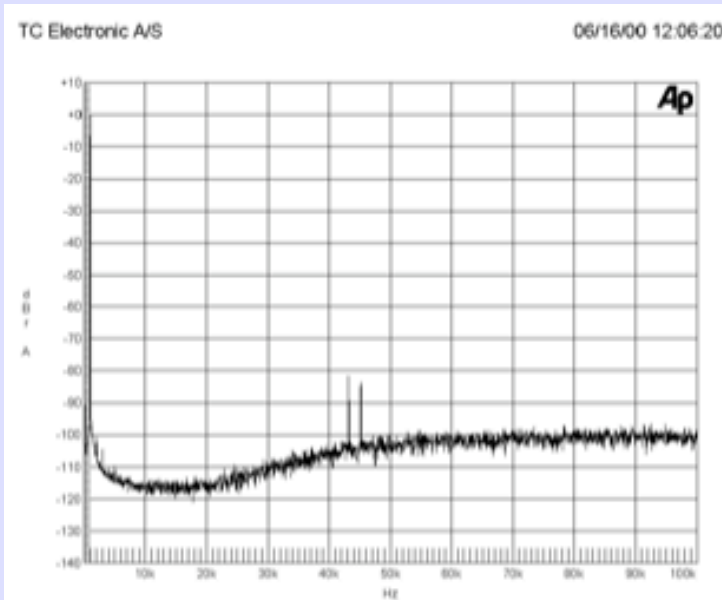


Figure 7

997 Hz @ 0dBFS sampled @ 44.1 kHz. 0 dB = Reference level for Sine Distortion Tests.
20 Hz to 100 kHz FFT on AP Cascade.

Figure 7: Yamaha CDX390 consumer CD player

Figure 8: Sony D50 consumer CD player (portable)

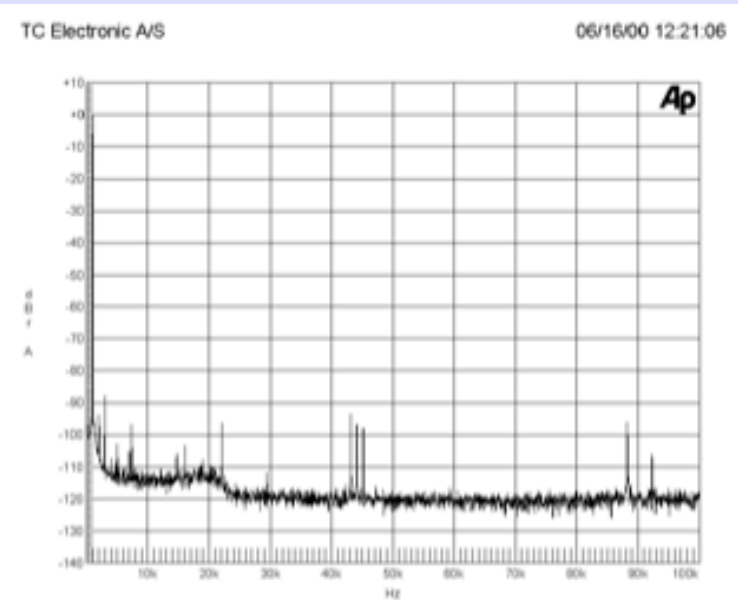


Figure 8

Metering - Clipping / Over

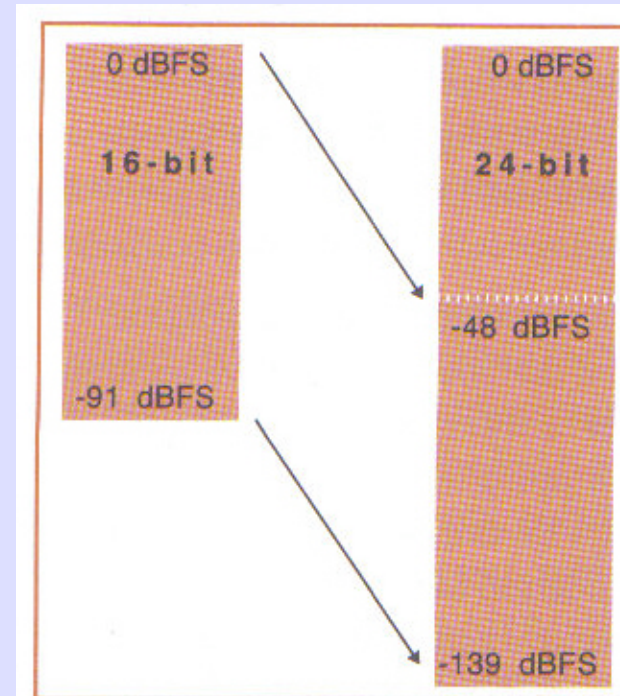
Bandwidth of the THD+n measurements is 20 Hz - 80 kHz.

	997 Hz sine Peak = 0.0 dBFS	5512.5 Hz sine Peak = +0.69 dBFS	7350 Hz sine Peak = +1.25 dBFS	11025 Hz sine Peak = +3.0 dBFS
Denon DCD725	-61.3 dB	-34.8 dB	-27.0 dB	-18.1 dB
Marantz CD4000	-58.8 dB	-36.6 dB	-30.7 dB	-20.7 dB
NAD 514	-74.3 dB	-30.6 dB	-24.9 dB	-17.2 dB
NAD 520	-67.9 dB	-30.4 dB	-25.8 dB	-19.3 dB
Sony C11	-78.1 dB	-30.2 dB	-24.6 dB	-16.8 dB
Sony D50	-82.9 dB	-65.0 dB	-59.3 dB	-29.0 dB
Yamaha CDX390	-70.9 dB	-33.9 dB	-26.4 dB	-18.3 dB

Table 1. THD+n comparison

Metering: Peak Level

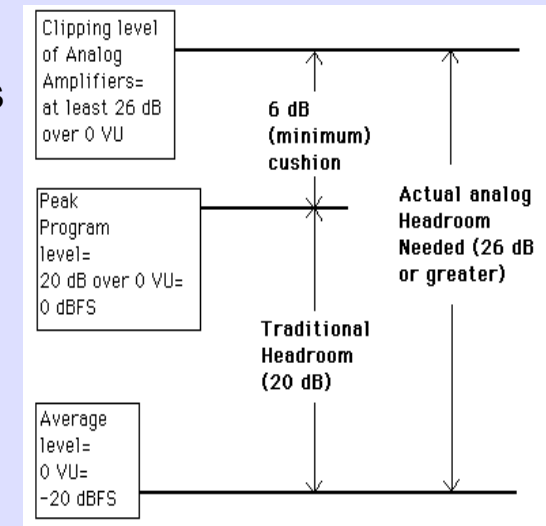
- Ausreichend Headroom um Clipping / Verzerrungen zu vermeiden (kleiner -3dBFS peak level)
- CD Produktion: 24 Bit / 16 Bit
 - SNR 139dB / 91dB
 - Headroom 48dB ohne Signalqualität durch Quantisierungsrauschen zu beeinflussen
 - Signalverzerrungen durch Clipping beeinflussen Aufnahme stärker
 - Mind. -10dBFS peak level
- ADC mit build in compressor
 - vermeidet Clipping / Verzerrungen
 - Komprimierung des Signals
- Analog vs Digitale Aufnahme
 - analog: *peak/mean = ~12 - 14 dB (da built in compressor bei Bandmaschinen!)*
 - digital: *peak/mean = ~20 dB*



A 24-bit recording would have to be lowered in level by 48 dB in order to reduce it to the SNR of 16-bit. The noise floors shown are with flat dither.

Metering: Studio-Level

- Vermeidung von Signalverzerrungen vor / bei ADC
- Referenzlevel dBu ist 0.775V
- Symmetrischer Studio-Level +4dBu (=1.23V)
 - entspricht mean-Level 0VU
 - Digitaler Reference-Level -20dBFS
- Clipping bei analogen Konsolen
 - high end: +24dBu / low end: +20dBu
 - Verzerrungen meist vor Erreichen des Clip-Levels
 - OPamps bei 6dB unter Max.
 - Verzerrungen höherer Ordnung (sehr störend)
 - Definitionen:
 $Headroom = meterClippoint - avgLevel$
 $Cushion = opampClippoint - peakLevelSignal$
- Abhilfe:
 - OPamps tauschen (!?)
 - VU Meter recalibrieren auf 0dBu = 0VU (-4dB)
- Signalübergang von symmetrisch auf unsymmetrisch reduziert Clippoint um 6dB - Verwendung nicht symmetrierter Geräte vermeiden!



Monitoring / Abhörraum

- Mastering benötigt hochauflösende Audio Monitor Systeme
 - Nahfeld-Monitore meist unzureichende Qualität
 - Mastering Engineer muss mit Monitoren *vertraut* sein um Klang „objektiv“ beurteilen zu können
 - Verstärker + Monitor:
 - flacher Amplitudengang
 - geringe THD+N
 - großen Headroom
- Abhörraum (akustisch eingemessen)
 - Ruhegeräuschpegel im Mastering Raum NC30 (besser NC20)
 - Keine reflektierenden / abschattenden Flächen zwischen Lautsprecher und Abhörposition
 - Early Reflections frühestens nach >20ms mit >-15dB
 - ausreichende Dimension um stehende Wellen im Bassbereich zu vermeiden (Absorber, Helmholtz Resonatoren)
 - Ausreichender Abstand der Lautsprecher zu Wänden (Surround)
 - Decke nach hinten ansteigend
- Elektronische Signalketten auf maximale Transparenz optimiert

Monitoring / Abhörraum

- Subwoofer unbedingt notwendig
 - untere Grenzfrequenz bis in den Infraschallbereich um Störgeräusche zu identifizieren (z.B. Vibrationen durch Straßenbahn)
 - Wichtig: richtiges Abstimmen und Einmessen der Subwoofer
 - Abhörlautstärke relevant für Wahrnehmung im Bassbereich (ELC, equivalent loudness countour)
 - zu hohe Abhörlautstärke zu geringer Bassanteil wenn leiser wiedergegeben
- Monitor EQ / Main EQ
 - Entzerren des Signalweges Lautsprecher-Abhörposition unbedingt notwendig
 - Messtechnisches Erfassen (MLS, TDS, Swept Sine)
 - Subjektive Beurteilung durch Referenz-Signale / -aufnahmen
 - Vor Verwendung von EQs
 - Raumakustik modifizieren
 - gesamten Signalpfad korrigieren (Verstärker, Kabelkapazitäten usw.)
 - wenn nötig Verwendung hochwertiger EQs (phasentreu)
- Kontrolle
 - Überprüfen des Resultats auf unterschiedlichen Monitor-Systemen
 - Consumer-Products bis P.A. Anlagen
- Resultat bei hervorragenden Abhörbedingungen übertragbar!!

Monitoring / Kalibrierung

- Media Center:
Ein Gerät für DVD, DVD-A, SACD, mp3, ...
- Beurteilung der absoluten Lautstärke mit Gehör
- Kalibrieren der Studio Monitore auf SMPTE RP 200 Standard für Verstärkung und Frequenzgang
 - Referenz-/Kalibriersignal $0\text{dB}_{\text{Speaker_Gain}} = 83\text{dB}_{\text{SPL}} @ 1\text{m}$ mit Rosa Rauschen
 - Aufnahmepegel Referenzsignal $-20\text{dB}_{\text{FS_RMS}}$
 - Crestfaktor Musik $\sim 10\text{-}18\text{dB}$, d.h. Clipping wird vermieden
 - Monitor Gain ist direkt proportional zu Headroom
d.h. -6dB Monitor Gain = 14dB Headroom (Crest Faktor)
- Kalibrieren nach SMPTE RP 200: (Gehörschutz verwenden!)
 - RTA (real time analyzer) mind. mit Terzbändern
 - 1/8" Messmikrofon
 - Mess-Signal Rosa Rauschen
 - Monitor Gain auf 0dB
 - Terzbänder auf $68.2\text{dB}_{\text{SPL}}$ (flat) = Summenpegel von 83dB_{SPL}
 - Amplituden Ripple max. 3dB
 - 5.0 Surround: Alle Kanäle ON, $+7\text{dB}$ ($\pm 1\text{dB}$) ansonsten Polaritäten falsch

Monitoring / Sub+LFE Kalibrierung

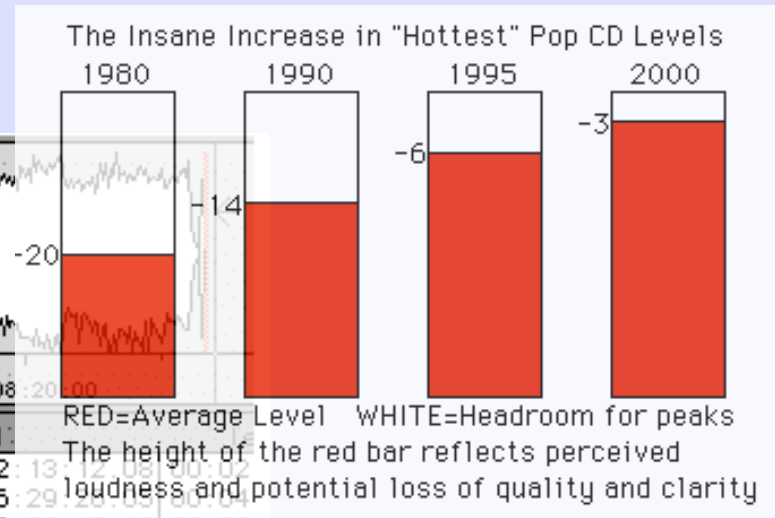
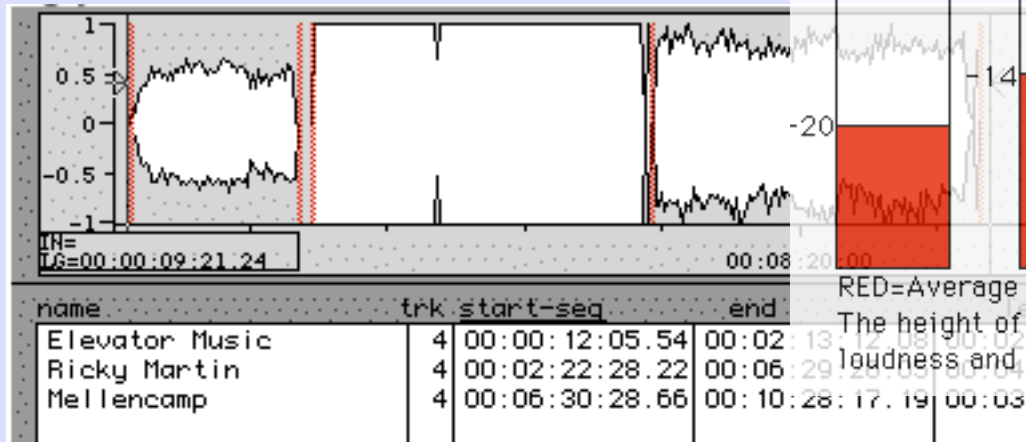
- Full Range 2 Channels
 - Messignal: unkorreliertes Rosa Rauschen $-20\text{dB}_{\text{FS_RMS}}$
 - LFE möglichst im Bereich der hohen Frequenzen
 - Wichtig: Übergangsbereich
 - Parameter zur Optimierung:
 - Subwoofer Position (je näher an der Wand desto höher Amplitude)
 - Phase des Ansteuersignals
 - Frequenzweiche Cross over Frequency
 - Bassabsorber / Bassfallen
- Center und Surround
 - siehe L/R Monitore, gleiche Prozedur für Center
 - Surround Signale werden auf Monosignal summiert
- LFE (.1) Gain
 - unterstützender Kanal für zusätzlichen Bass
 - SMPTE RP 200 Standard
 - LFE Band (50Hz, 63Hz) 10dB höher als 1kHz Band, d.h. 78dB_{SPL}
- Kino: Spezielle Messvorschriften Dolby beachten

Mehrkanaltechnik

Organisation
 Einleitung
 Studio
 Gehörb.
 Dithering
 Metering
 Monitoring

Metering (2): K-System (SMPTE)

- Psychoakustik:
 Höherer Wiedergabepiegel vermittelt bessere Signalqualität
 (vor allem wichtig im Rundfunk)
- Pop Produktionen kontinuierlicher Pegelanstieg
 - stärkere Komprimierung
 - Verminderung der Signalqualität

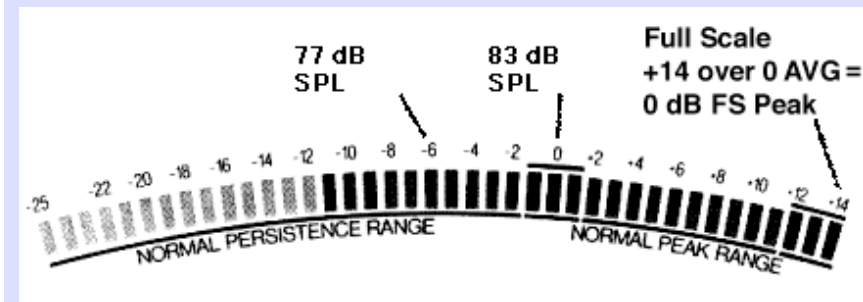
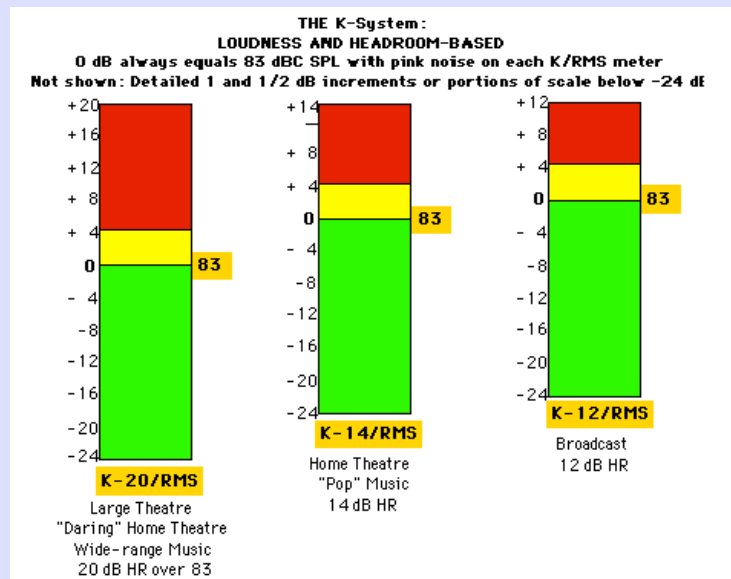


Mehrkanaltechnik

- Organisation
- Einleitung
- Studio
- Gehörb.
- Dithering
- Metering
- Monitoring

Metering (2): K-System (SMPTE)

- Weiterführung des Kino/DVD Standards für Audio Produktionen
- Voraussetzung:
Kalibrierte Monitore, d.h. $0\text{dB} = 83\text{dB}_{\text{SPL_RMS}}$
- Normierter Pegel
 $K-12, K-14, K-20: 12, 14, 20\text{dB} = 0\text{dB}_{\text{FSR}}$
d.h. Master bei 0dB_{RMS} nach K-14 klingen um 6dB lauter als Master nach K-20
- berücksichtigt Headroom Anforderungen unterschiedlicher Musik-Genres



Organisation

Einleitung

Studio

Gehörb.

Dithering

Metering

Monitoring

Metering (2): K-System (SMPTE)

Anwendungsbereiche:

- Meter: 0dB entspricht immer 83dB_{SPL}
- Wahl der Skala nach Genre (Crest Faktor) u. Headroom
 - z.B. Klassik K-20, Broadcast K-12
 - Roter Bereich:
+3dB / +4dB für *Fortissimo* bei Orchestern / Explosionen bei Film
 - Mastern im „roten Bereich“: Skala vs. Genre „falsch“ da zu geringer Headroom für Peaks (Clipping) bzw. zu große Kompression nötig
- Berücksichtigung der ECL Kurven
 - durch Kalibrierung immer gleicher Abhörpegel
 - kein Bassverlust (hoher Masteringpegel vs niedriger Wiedergabepegel)
- Multi-Purpose Control Rooms
 - Multimedia: Musik, Video, Film
- Klassik-Produktionen
 - Renaissance Musik hat geringen Crestfaktor
 - Peak bei FSR klingt unnatürlich, jedoch bei 16Bit SNR Verlust
 - SACD 24Bit Medium
- Pop Produktionen
 - Peak-Headroom vs. Gesamtlautstärke
 - stetigen Anstieg vermeiden