



2 Medientypen

2.3 Audio

Schall



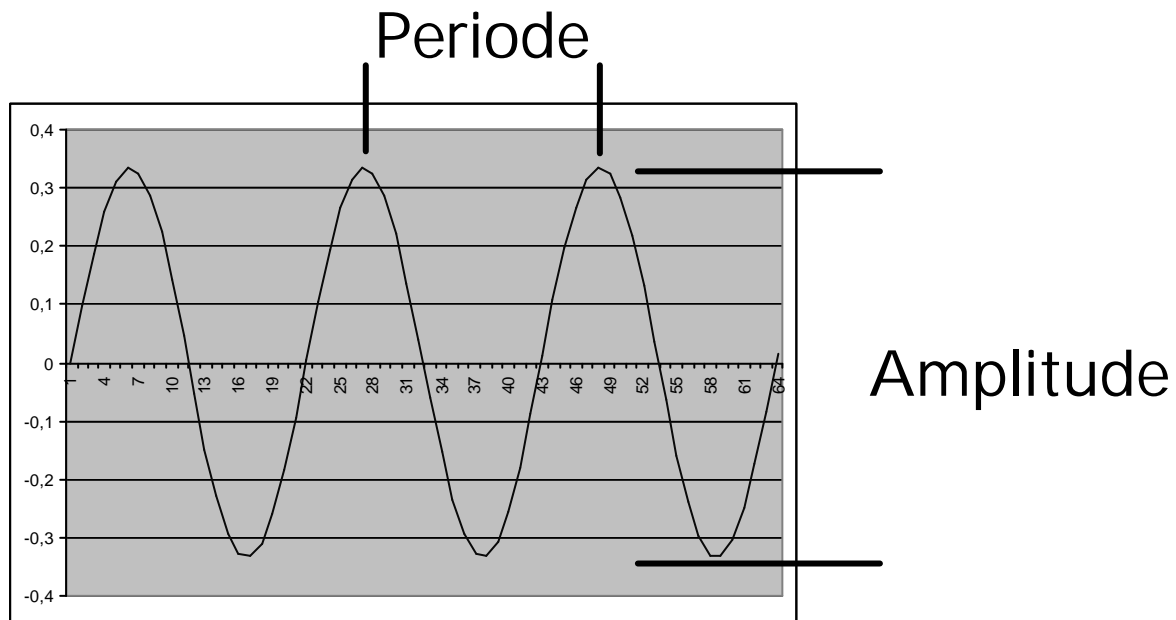
- Schall entsteht durch Vibration eines physikalischen Werkstoffes
- Die Vibration löst Druckwellenschwankungen in der umgebenden Luft aus



Schall



- Periode bzw. Frequenz entspricht Tonhöhe
- Amplitude entspricht Lautstärke



Ton, Klang, Geräusch



- Reine Töne
 - Sinusförmige Schwingung
- Klänge
 - Aus mehreren Tönen zusammengesetzt
- Geräusch
 - unregelmäßige Schwingungen
- Fourier:
 - Jede Schwingung kann als Summe von Sinusschwingungen dargestellt werden



Frequenzbereiche



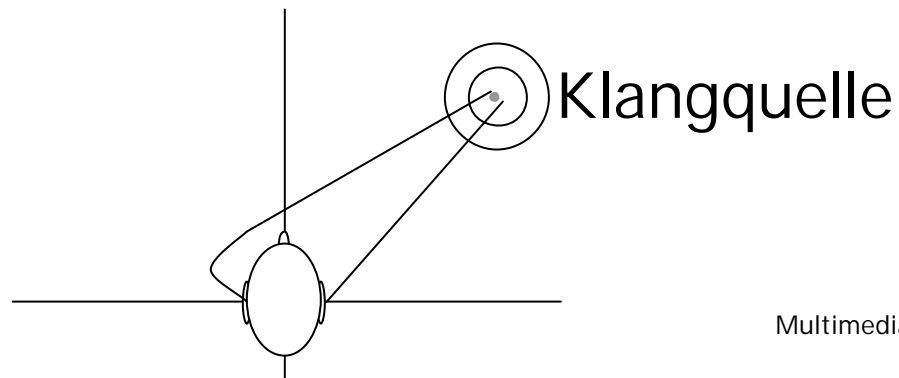
- Infraschall 0 – 20 Hz
- Hörschall 20 Hz – 20 kHz
 - Sprache 200 Hz – 2 kHz
 - Trompete 50 Hz – 1 kHz
 - Klavier 20 Hz – 4 kHz
 - Orgel 10 Hz – 15 kHz
- Ultraschall 20 kHz – 1 GHz
- Hyperschall 1 GHz – 10 THz



Gehör



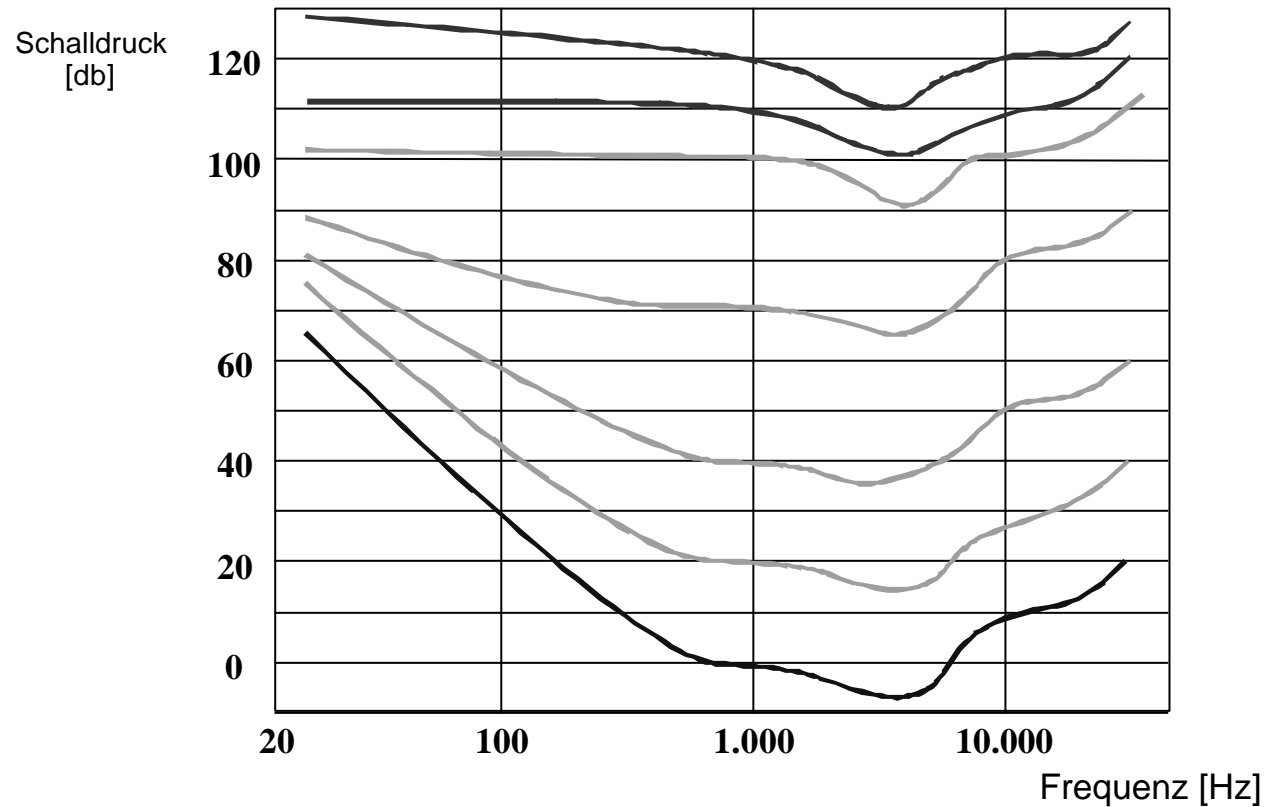
- Auf das Trommelfell auftreffende Druckwellen werden über das Hörsystem wahrgenommen
- Räumliches Hörvermögen
 - Unterschiedliche Laufzeiten von der Klangquelle
 - Pyschoakustische Perspektive



Lautstärkeempfinden



- Fletcher-Munson (1933)
 - Kurven gleichen Lautstärkeempfindens



Besonderheiten des Hörvermögens



- Einsetzen eines neuen Tons wird deutlicher wahrgenommen als der spätere Verlauf
- Umgebungsgeräusche können gut ausgefiltert werden
- Sprache wird deutlicher erkannt als andere Geräusche, Töne, Laute
- Frequenzunterschiede sind wichtig
 - Vgl. Bilder und Sehvermögen!



Digitales Audio



- Telekommunikation
 - Digitale Übertragung der Sprache (z.B. ISDN, GSM)
- Unterhaltungsindustrie
 - Digitale Konservierung von Musik (z.B. CD)
 - Audio als Komponente digitalen Fernsehens



Digitalisierung von Audio



- Sprache
 - Vorwiegend in der Telekommunikation
 - Digitale Übertragung der Sprache (z.B. ISDN, GSM)
- Musik
 - Digitale Konservierung von Musik (z.B. CD)
 - Audio als Komponente digitalen Fernsehens
 - Beschreibung von Musik für virtuelle Instrumente



Repräsentation von digitalem Audio



- Gekennzeichnet durch A/D-Wandler am Eingang und D/A-Wandler am Ausgang
- A/D Wandlung
 - Abtasten (Sampling)
 - Quantisierung



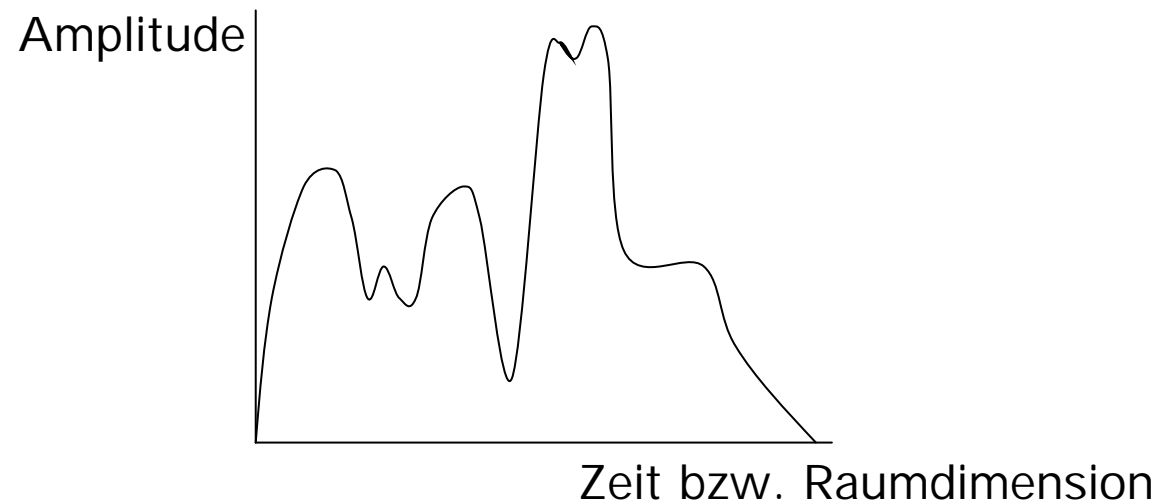


Beginn des Einschubs
Digitalisierung

Digitale Repräsentation



- Medien sind repräsentiert durch analoge Signale
 - In der Zeit
 - Im Raum
 - In Raum und Zeit



Digitalisierung



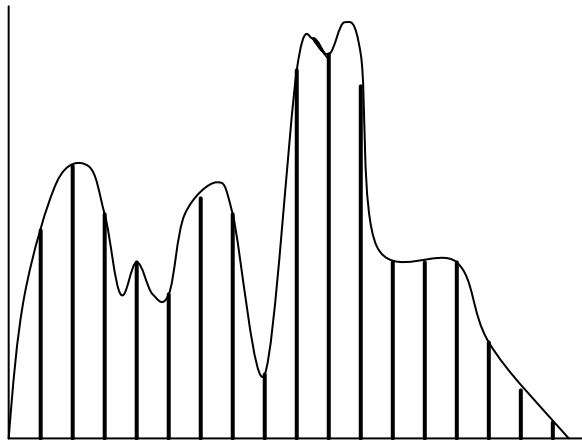
- Konversion des analogen Signals in eine digitale Repräsentation
- 2 Schritte
 - Sampling – Abtasten
 - Messen der Signalwerte an diskreten Intervallen in Raum oder Zeit
 - Quantisierung
 - Abbildung der Signalwerte auf einen digitalen Wertebereich



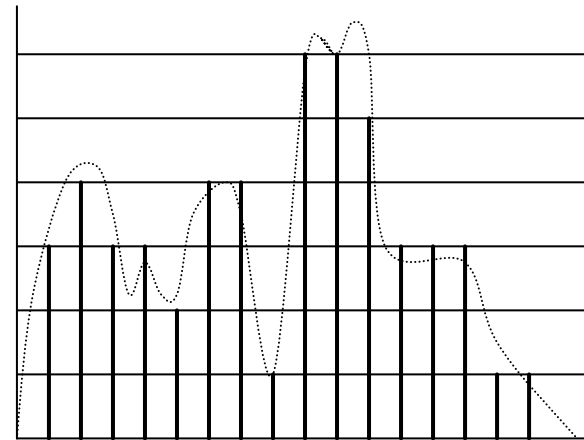
Digitale Repräsentation



- Abtasten



- Quantisieren



- Abtasten und Quantisieren sind kommutativ anwendbar
- AD-Wandler übernehmen die Aufgabe meist in Hardware



Begriffe



- Frequenz mit der abgetastet wird
 - Abtastrate
 - Sampling rate
- Werte der Quantisierung
 - Quantisierungsebene – Quantization Level
 - gleichverteilt, oder
 - dichter an den Außenbereichen der Skala



Eigenschaften der Digitalisierung



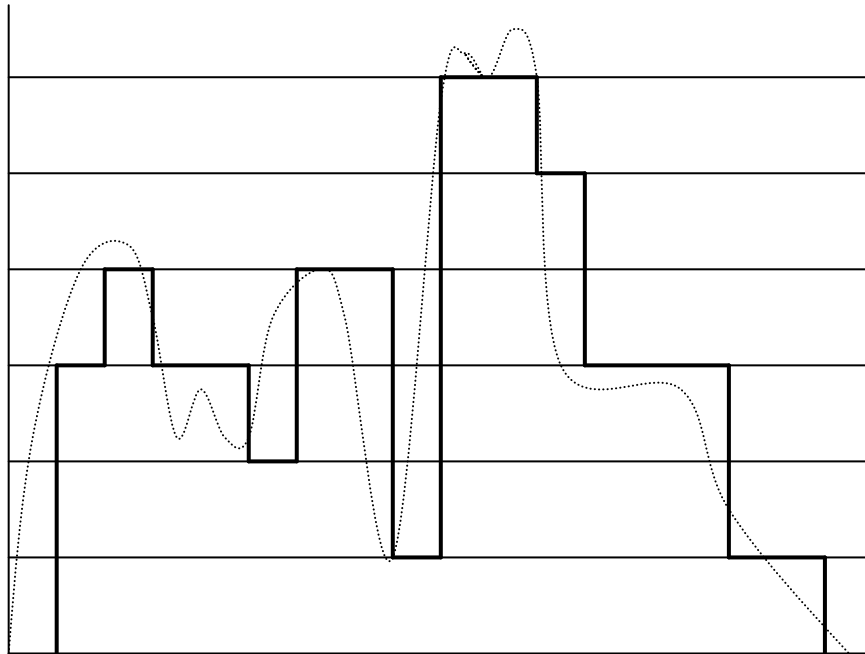
- Digitalisierung führt zu robusterem Signal
 - Rauschen wird geglättet
 - Übertragungsfehler sind unwahrscheinlicher
- Digitalisierung führt zu Informationsverlust
 - Das Signal kann nur näherungsweise rekonstruiert werden



Sample and Hold



- Rekonstruktion durch Sample and Hold



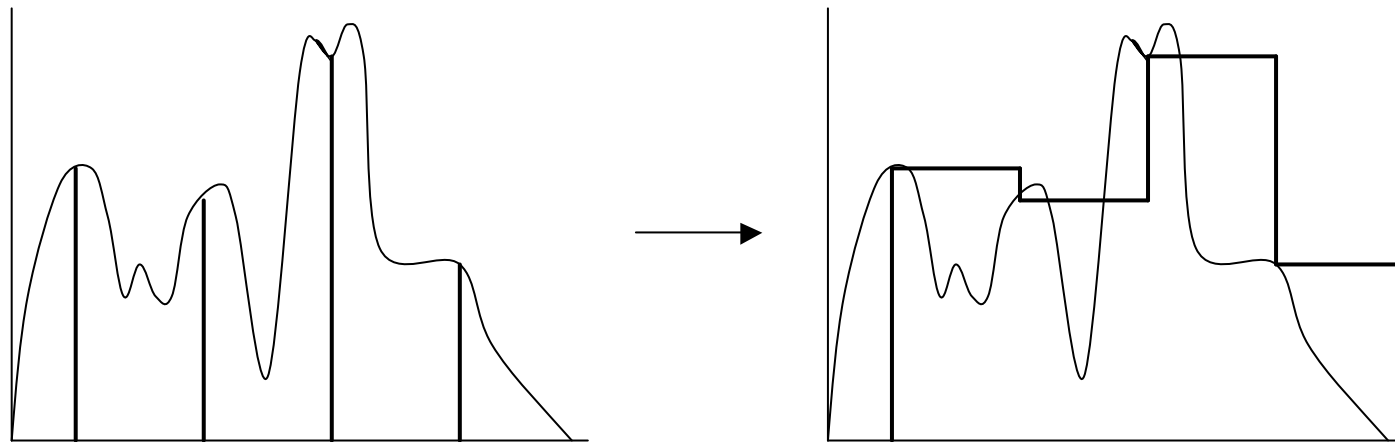
- Andere Rekonstruktionsfunktionen sind möglich



Unterabtasten – Undersampling



- Die Abtastrate erfasst zu wenige Signalwerte, um eine adäquate Rekonstruktion zu erlauben



Minimale Abtastrate



- Frage:
 - Gibt es eine minimale Abtastrate, die eine sinngemäÙe Rekonstruktion erlaubt?
 - sinngemäÙ bzgl. der menschlichen Wahrnehmung
- Beantwortung der Frage verlangt andere Sichtweise:
 - Transfer des Signals in die Frequenzdomäne
 - → Fouriertransformation



Frequenzdarstellung



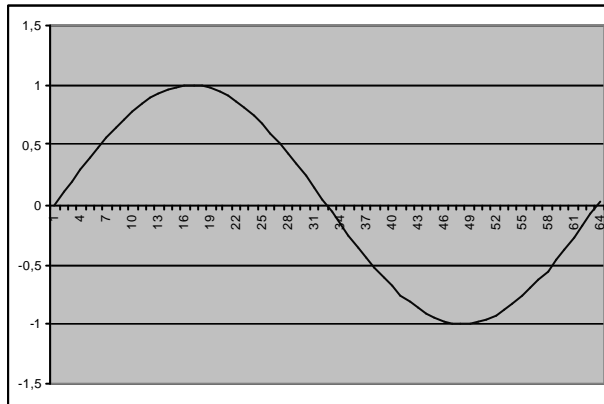
- Jedes periodische Wellensignal kann durch Überlagerung von sinusförmigen Wellen dargestellt werden
- → jede Wellenform kann in ihre Frequenzkomponenten zerlegt werden (das Frequenzspektrum)
- → Signale können durch Frequenzen und deren Amplituden repräsentiert werden



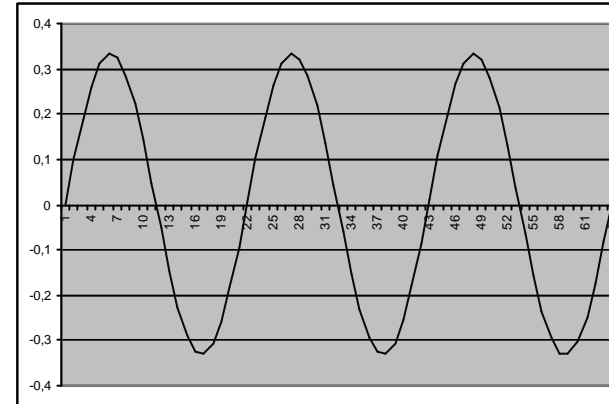
Frequenzdarstellung



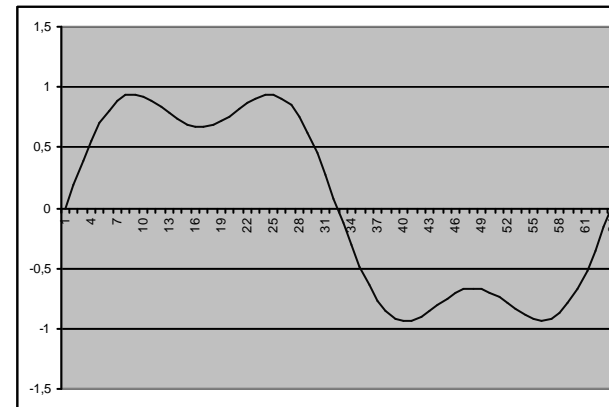
■ Beispiel: Rechteckform



+



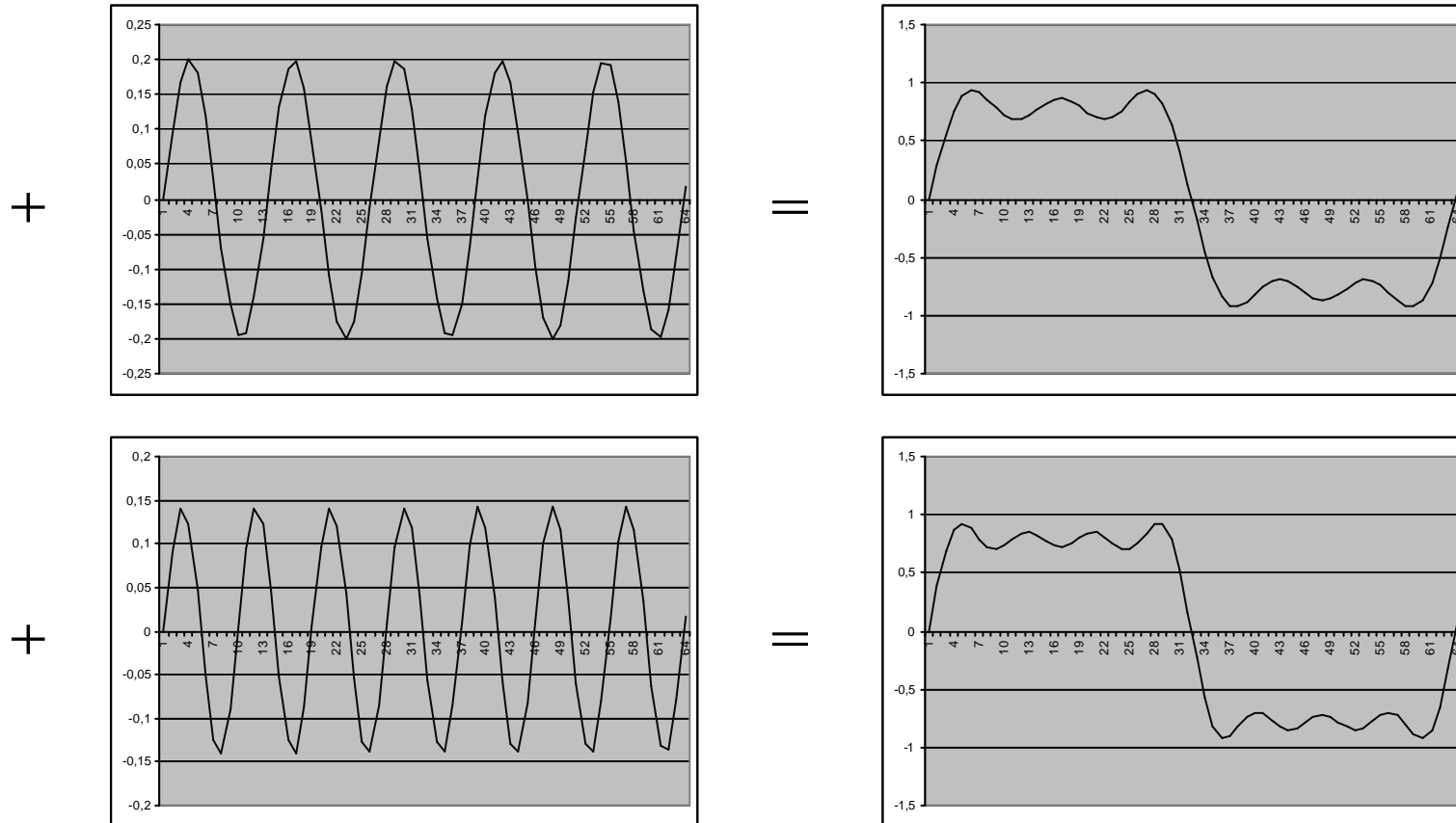
=



Frequenzdarstellung



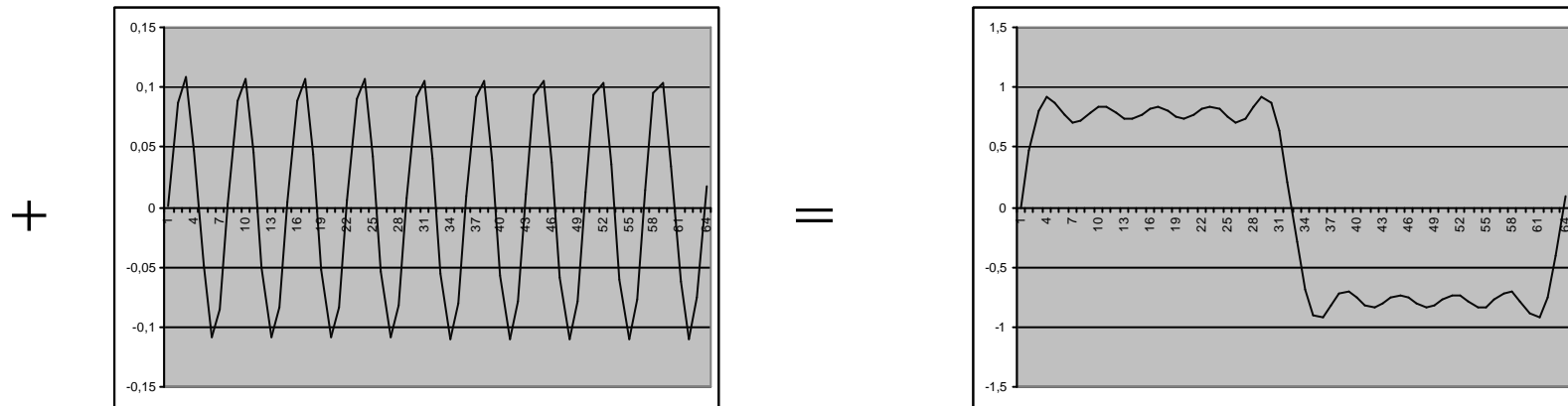
■ Beispiel: Rechteckform



Frequenzdarstellung



- Beispiel: Rechteckform



- Feststellung:
 - Höhere Frequenzen sind mit abrupteren Übergängen assoziiert



Fouriertransformation



- Transformiert ein integrierbares Signal $f(x)$ aus der Raumdomäne in die Frequenzdomäne

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) [\cos 2\mathbf{p}ux - i \sin 2\mathbf{p}ux] dx \quad i = \sqrt{-1}$$

- Diskrete Fouriertransformation

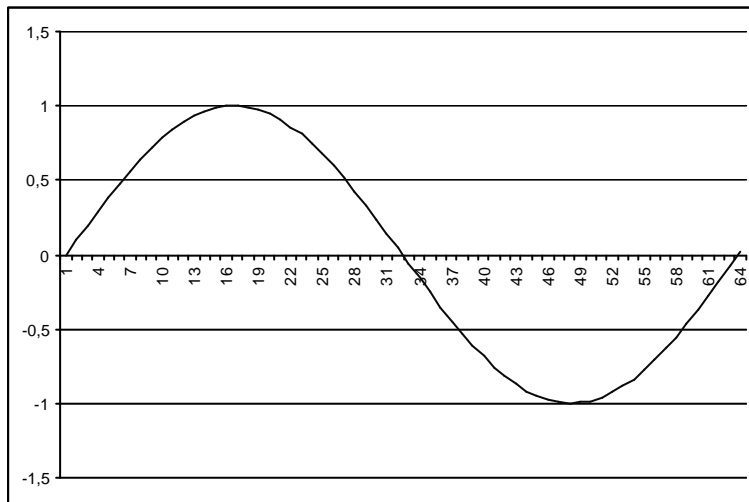
$$F(u) = \sum_{0 \leq x \leq N-1} f(x) [\cos(2\mathbf{p}ux / N) - i \sin(2\mathbf{p}ux / N)], \quad 0 \leq u \leq N-1$$



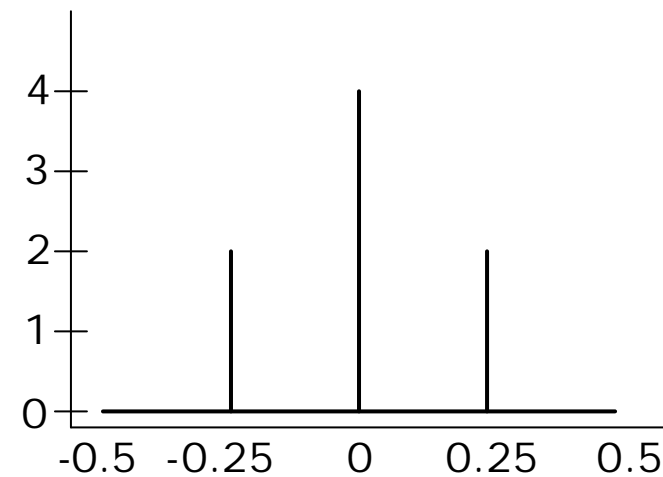
Sinus als Beispiel



- Sinus in Raum und Frequenzdomäne



$f(x)$



$|F(u)|$

- Wert bei $u = 0$ heißt DC-Komponente des Spektrums



inverse Fouriertransformation



- Die inverse Fouriertransformation transformiert aus der Frequenzdomäne in die Raumdomäne
- Daraus folgt:
Zwischen den Repräsentationsräumen kann beliebig gewechselt werden



Abtasttheorem von Shannon



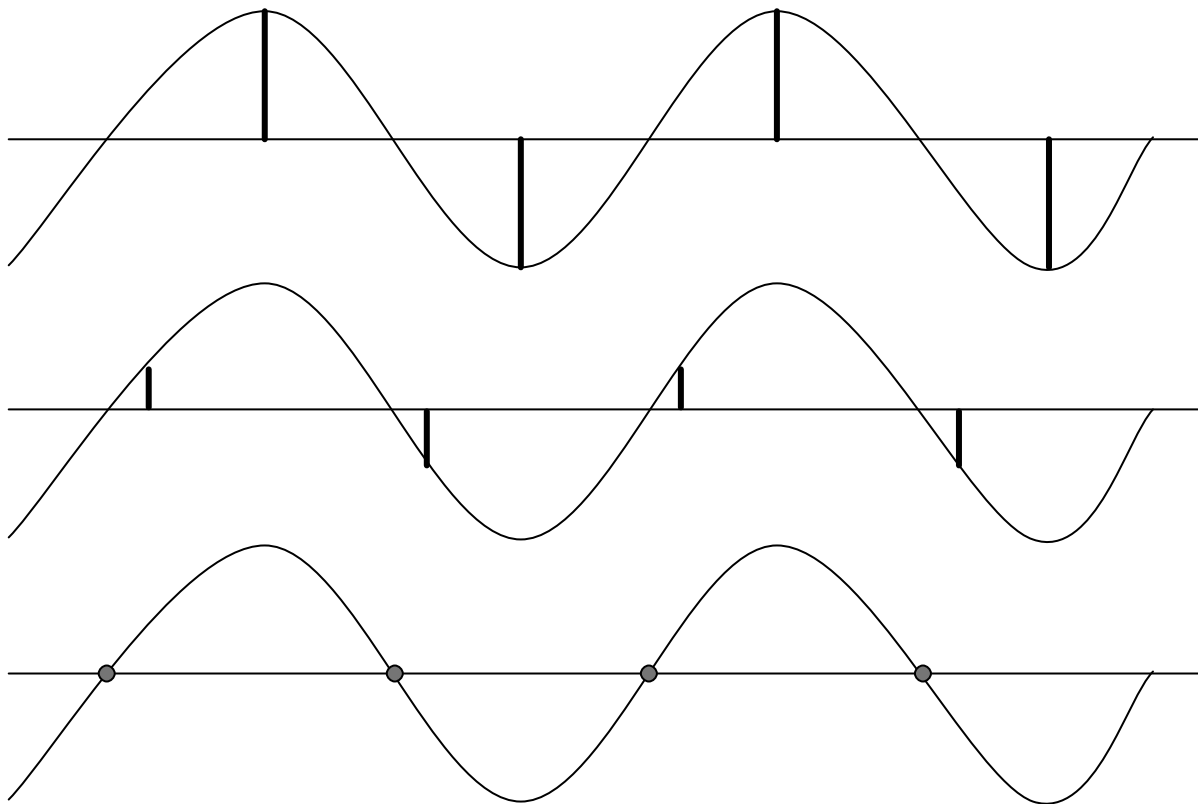
- Um ein Signal rekonstruieren zu können, muss eine Abtastung mit einer Rate von mindestens $2f_h$ erfolgen
 - Sogenannte Nyquist-Rate
- f_h ist die Komponente des Frequenzspektrums mit der höchsten Frequenz



Nyquist-Rate



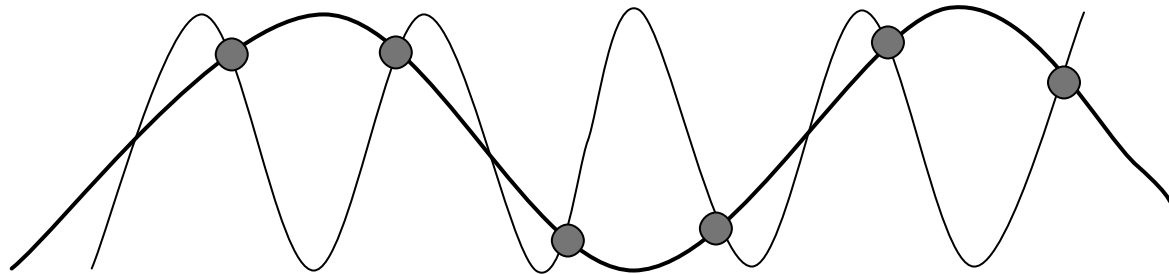
- Beispiel einer Sinuskurve



Nyquist-Rate



- Abtasten unterhalb der Nyquist-Rate
 - → Unterabtastung - Undersampling
 - Höher-frequente Wellen werden als niederfrequente rekonstruiert
 - → Aliasing-Effekt



Aliasingeffekte



- Bei Bildern
 - Kanten statt Übergänge, Moiremuster
- Bei Ton
 - Verzerrungen
- Bei Film
 - Ruckelige Bewegungen
 - Zeitliche Moiremuster („Räder rollen rückwärts“)



Quantisierung



- Wertebereich ist direkt mit dem Speicherbedarf verbunden
- Es ist bei der Festlegung ein Kompromiss zwischen Wahrnehmung und Speicherbedarf/Transfervolumen zu wählen



Beispiele



- Beispiele zu Abtastraten und Quantisierungsbereichen
 - Audio
 - Telefon 8 kHz 8 Bit
 - CD Audio 44.1 kHz 16 Bit
 - Bild
 - Schwarzweiß Bildgröße 1..8 Bit
 - Farbe Bildgröße 1..32 Bit
 - Digitales Fernsehen
 - CCIR 601 13,5 MHz 8 Bit
- (bei 720 x 500 Bildgröße)



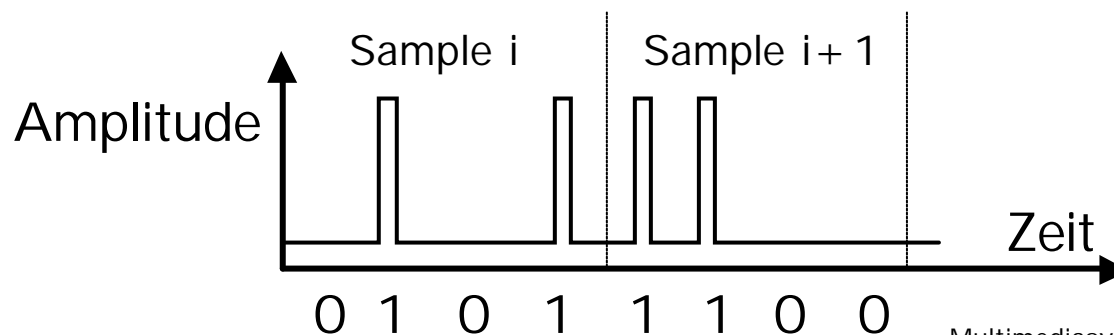


Ende des Einschubs
Digitalisierung

Quantisierung bei Audio



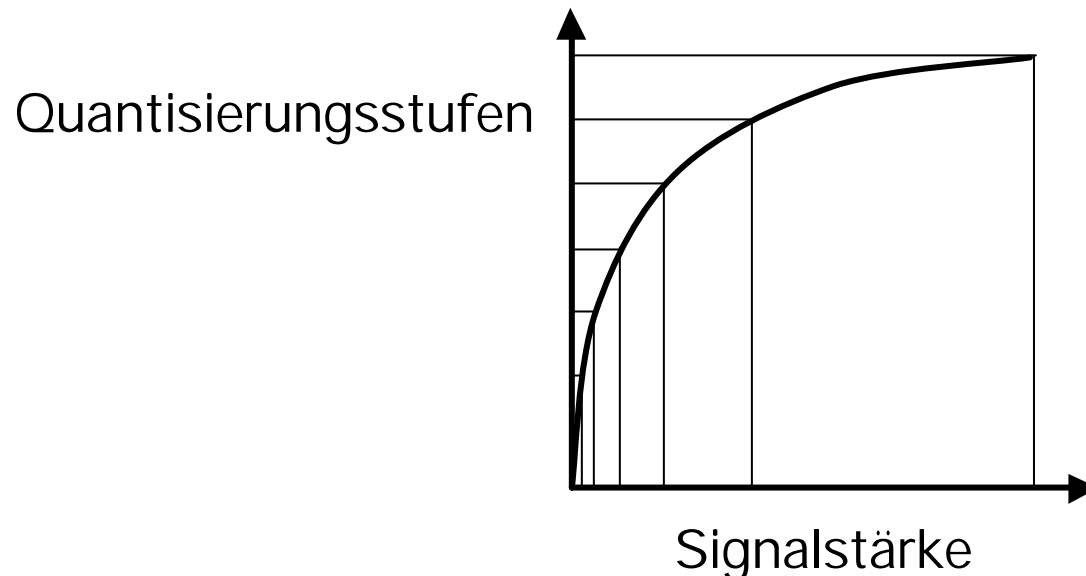
- Sample-Tiefe
 - 8 Bit Telefon
 - 16 Bit CD
 - 24 Bit High-End Studio
- Grundlegende Kodierung
 - Pulse Code Modulation, PCM
 - Kodierung eines Signals als Folge von Pulsen



Nicht-lineare Quantisierung



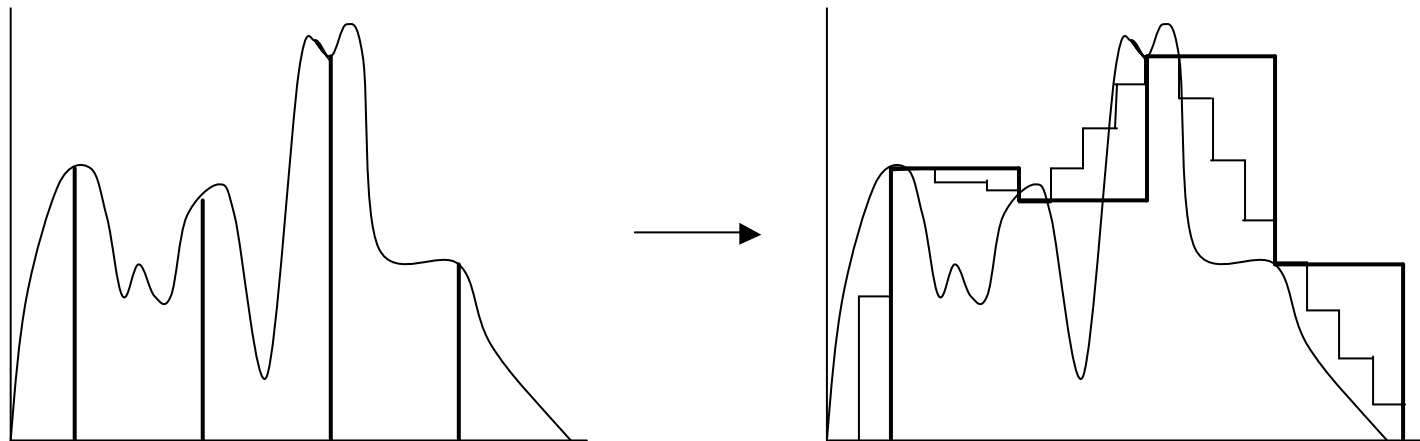
- Teile die Quantisierungsstufen nicht gleichmäßig auf
- Logarithmische Aufteilung
- Weniger Stufen reichen für das komplette Wertespektrum → Comanding



Oversampling



- Abminderung der Stufen durch Interpolation



Audio - Abtastraten



- Abtastraten
 - 8 kHz ~ Mittelwelle Radio, Telefon
 - 11.025 kHz
 - 22.05 kHz CD Mono
 - 44.1 kHz CD Stereo
 - 48 kHz DAT
- Kanäle
 - 1 Mono
 - 2 Stereo
 - 3, 4, 6, ... Surround Sound



Kodierungsverfahren



- Telefonnorm ITU G.711
- 8 Bit Kodierung statt 12 Bit bei 8kHz Samplingrate

- μ -law
$$y = \frac{\log(1 + mx)}{\log(1 + m)} \quad \text{für } x \geq 0$$

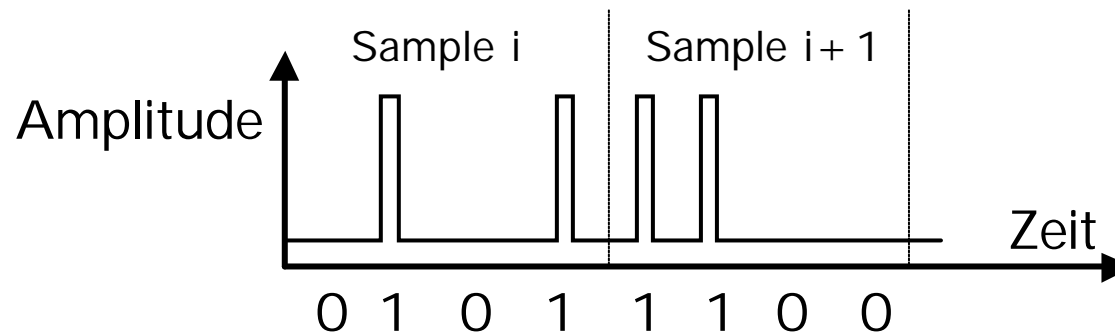
- A-law
$$y = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \log A} & \text{für } 0 \leq |x| \leq 1/A \\ \frac{1 + \log Ax}{1 + \log A} & \text{für } 1/A \leq |x| \leq 1 \end{cases}$$



Kodierungsverfahren



- Pulse Code Modulation, PCM
 - Kodierung eines Signals als Folge von Pulsen
 - Beispiel mit Samplegröße = 4 Bit



Kodierungsverfahren



- Differential Pulse Code Modulation, DPCM
 - Reduktion der Datenrate durch Kodierung der Differenzen zwischen Samples
 - Differenzen werden vorhergesagt, die Abweichung zur Vorhersage kodiert
- Adaptive Differential Pulse Code Modulation, ADPCM
 - Zusätzliches Variieren der Schrittweite der Kodierung
 - Variable Bitlänge des Codes
 - ITU G.721 definiert ADPCM Verfahren für 16kbps und 32 kbps Telefonie



Gängige Audioformate



| | CD Audio | DAT | G.721 | A-law μ -law |
|------------------------------|----------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| Sampling rate (kHz) | 44,1 | 32; 44,1; 48 | 8 | 8 |
| Samplegröße | 16 | 16 | 16 (decoded) 4 (encoded) | 8 |
| Quantisierung | linear | linear | linear | logarithmisch |
| Kanäle | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Datenrate pro Kanal [kbit/s] | 705 | 768 | 32 | 64 |
| Kodierung | PCM | PCM | ADPCM | PCM |



Repräsentation von Musik



- Problem
 - Was ist Musik und was nicht mehr?
 - Kulturelle Eigenarten
- Strukturelle Information statt Audiosamples
 - Probleme
 - Instrumente
 - Klangfarben
 - Individuelle Interpretationen
- Operationelle vs. Symbolische Repräsentationen



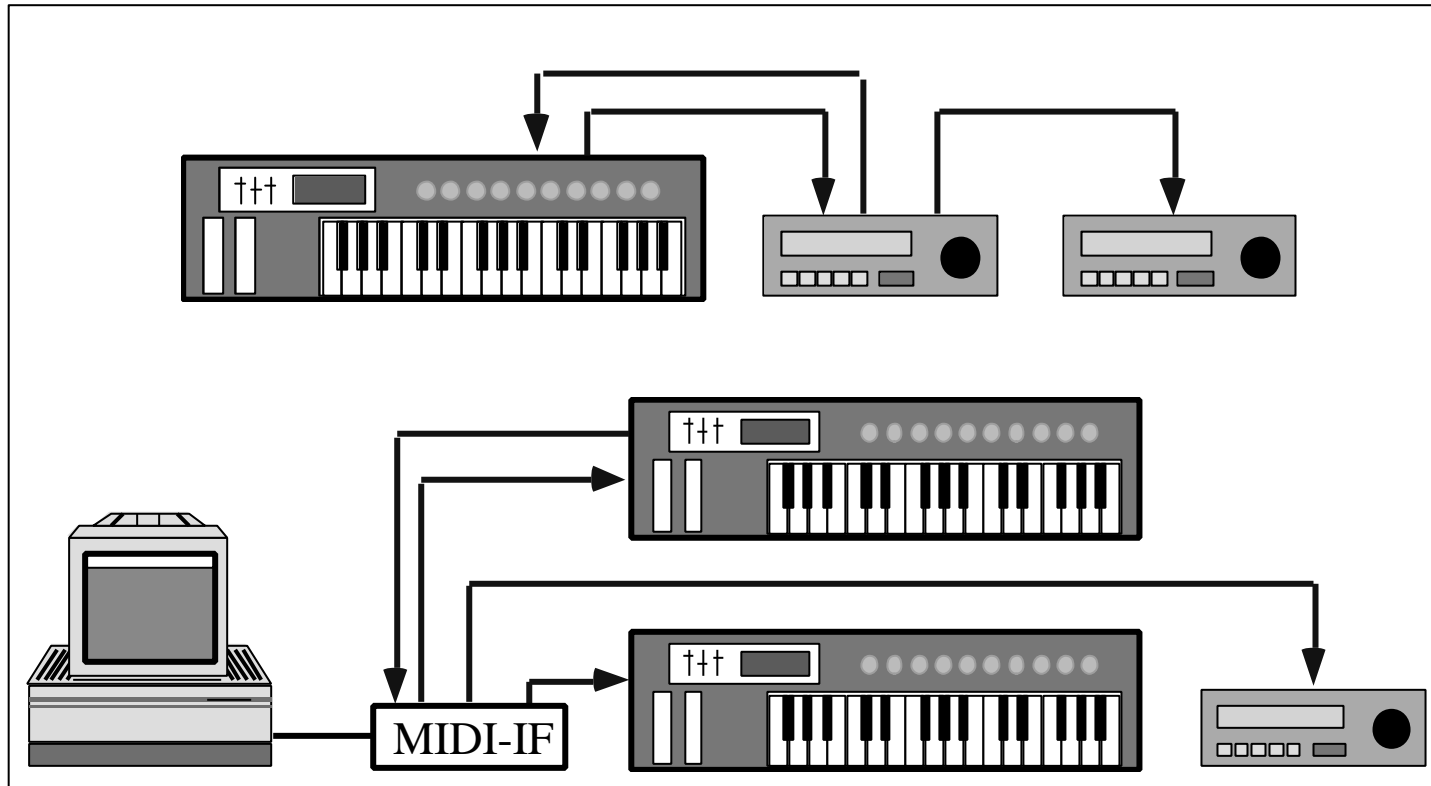
Musical Instrument Digital Interface - MIDI



- Operationelle Repräsentation
- Anfang 1980er von Musikequipment-Herstellern definiert
 - Menge von MIDI-Messages zum Aufbau eines MIDI-Systems untereinander kommunizierender elektronische Instrumente
 - Synthesizer, Sampler, Drum Machines, ...
 - Ziel:
Kontrolle von einem Keyboard ausgehend;
Später Kontrolle durch einen Computer



MIDI Systembeispiele



MIDI Komponenten



- Sequencer
 - Gibt synchronisiert MIDI-Nachrichten an MIDI-Instrumente oder MIDI-Synthesizer
 - Spezielle Geräte oder Software auf einem Computer
 - MIDI Sequences werden in MIDI-Files gespeichert



MIDI Komponenten



- Synthesizer
 - Empfängt MIDI-Nachrichten
 - synthetisiert Ton
 - Schickt evtl. selbst MIDI-Nachrichten zur Verkettung von MIDI-Devices
- Sampler
 - Wie Synthesizer, jedoch synthetisiert ein Sampler Töne aus einer „Palette“ von Instrument-Samples
 - z.B. Roland Sound Canvas Set



MIDI Konzepte



- Voice
 - 128 verschiedene Klangfarben
 - Zuordnung zu Instrumenten ursprünglich nicht standardisiert
 - General MIDI definiert eine Belegung der Voice Numbers für Synthesizer und eine für Drum Machines und Percussion Sampler
 - Gesang wird nicht unterstützt
 - Nur Ooh und Aah Chor



MIDI Level 1



■ General MIDI Level 1 Instrument Patch Map

- | | | | |
|-----|-----------------------|-----|-------------------|
| 1. | Acoustic Grand Piano | 65. | Soprano Sax |
| 2. | Bright Acoustic Piano | 66. | Alto Sax |
| 3. | Electric Grand Piano | 67. | Tenor Sax |
| 4. | Honky-tonk Piano | 68. | Baritone Sax |
| 5. | Electric Piano 1 | 69. | Oboe |
| 6. | Electric Piano 2 | 70. | English Horn |
| 7. | Harpsichord | 71. | Bassoon |
| 8. | Clavi | 72. | Clarinet |
| 9. | Celesta | 73. | Piccolo |
| 10. | Glockenspiel | 74. | Flute |
| 11. | Music Box | 75. | Recorder |
| 12. | Vibraphone | 76. | Pan Flute |
| 13. | Marimba | 77. | Blown Bottle |
| 14. | Xylophone | 78. | Shakuhachi |
| 15. | Tubular Bells | 79. | Whistle |
| 16. | Dulcimer | 80. | Ocarina |
| 17. | Drawbar Organ | 81. | Lead 1 (square) |
| 18. | Percussive Organ | 82. | Lead 2 (sawtooth) |
| 19. | Rock Organ | 83. | Lead 3 (calliope) |
| 20. | Church Organ | 84. | Lead 4 (chiff) |
| 21. | Reed Organ | 85. | Lead 5 (charang) |



MIDI Level 1



■ General MIDI Level 1 Instrument Patch Map

- | | | | |
|-----|-------------------------|------|----------------------|
| 22. | Accordion | 86. | Lead 6 (voice) |
| 23. | Harmonica | 87. | Lead 7 (fifths) |
| 24. | Tango Accordion | 88. | Lead 8 (bass + lead) |
| 25. | Acoustic Guitar (nylon) | 89. | Pad 1 (new age) |
| 26. | Acoustic Guitar (steel) | 90. | Pad 2 (warm) |
| 27. | Electric Guitar (jazz) | 91. | Pad 3 (polysynth) |
| 28. | Electric Guitar (clean) | 92. | Pad 4 (choir) |
| 29. | Electric Guitar (muted) | 93. | Pad 5 (bowed) |
| 30. | Overdriven Guitar | 94. | Pad 6 (metallic) |
| 31. | Distortion Guitar | 95. | Pad 7 (halo) |
| 32. | Guitar harmonics | 96. | Pad 8 (sweep) |
| 33. | Acoustic Bass | 97. | FX 1 (rain) |
| 34. | Electric Bass (finger) | 98. | FX 2 (soundtrack) |
| 35. | Electric Bass (pick) | 99. | FX 3 (crystal) |
| 36. | Fretless Bass | 100. | FX 4 (atmosphere) |
| 37. | Slap Bass 1 | 101. | FX 5 (brightness) |
| 38. | Slap Bass 2 | 102. | FX 6 (goblins) |
| 39. | Synth Bass 1 | 103. | FX 7 (echoes) |
| 40. | Synth Bass 2 | 104. | FX 8 (sci-fi) |
| 41. | Violin | 105. | Sitar |
| 42. | Viola | 106. | Banjo |



MIDI Level 1



■ General MIDI Level 1 Instrument Patch Map

- | | | | |
|-----|-------------------|------|-------------------|
| 43. | Cello | 107. | Shamisen |
| 44. | Contrabass | 108. | Koto |
| 45. | Tremolo Strings | 109. | Kalimba |
| 46. | Pizzicato Strings | 110. | Bag pipe |
| 47. | Orchestral Harp | 111. | Fiddle |
| 48. | Timpani | 112. | Shanai |
| 49. | String Ensemble 1 | 113. | Tinkle Bell |
| 50. | String Ensemble 2 | 114. | Agogo |
| 51. | SynthStrings 1 | 115. | Steel Drums |
| 52. | SynthStrings 2 | 116. | Woodblock |
| 53. | Choir Aahs | 117. | Taiko Drum |
| 54. | Voice Oohs | 118. | Melodic Tom |
| 55. | Synth Voice | 119. | Synth Drum |
| 56. | Orchestra Hit | 120. | Reverse Cymbal |
| 57. | Trumpet | 121. | Guitar Fret Noise |
| 58. | Trombone | 122. | Breath Noise |
| 59. | Tuba | 123. | Seashore |
| 60. | Muted Trumpet | 124. | Bird Tweet |
| 61. | French Horn | 125. | Telephone Ring |
| 62. | Brass Section | 126. | Helicopter |
| 63. | SynthBrass 1 | 127. | Applause |
| 64. | SynthBrass 2 | 128. | Gunshot |



MIDI Level 1



■ General MIDI Level 1 Percussion Key Map

| | | | |
|----|--------------------|----|---------------|
| 35 | Acoustic Bass Drum | 59 | Ride Cymbal 2 |
| 36 | Bass Drum 1 | 60 | Hi Bongo |
| 37 | Side Stick | 61 | Low Bongo |
| 38 | Acoustic Snare | 62 | Mute Hi Conga |
| 39 | Hand Clap | 63 | Open Hi Conga |
| 40 | Electric Snare | 64 | Low Conga |
| 41 | Low Floor Tom | 65 | High Timbale |
| 42 | Closed Hi Hat | 66 | Low Timbale |
| 43 | High Floor Tom | 67 | High Agogo |
| 44 | Pedal Hi-Hat | 68 | Low Agogo |
| 45 | Low Tom | 69 | Cabasa |
| 46 | Open Hi-Hat | 70 | Maracas |
| 47 | Low-Mid Tom | 71 | Short Whistle |



MIDI Level 1



■ General MIDI Level 1 Percussion Key Map

| | | | |
|----|----------------|----|----------------|
| 47 | Low-Mid Tom | 71 | Short Whistle |
| 48 | Hi Mid Tom | 72 | Long Whistle |
| 49 | Crash Cymbal 1 | 73 | Short Guiro |
| 50 | High Tom | 74 | Long Guiro |
| 51 | Ride Cymbal 1 | 75 | Claves |
| 52 | Chinese Cymbal | 76 | Hi Wood Block |
| 53 | Ride Bell | 77 | Low Wood Block |
| 54 | Tambourine | 78 | Mute Cuica |
| 55 | Splash Cymbal | 79 | Open Cuica |
| 56 | Cowbell | 80 | Mute Triangle |
| 57 | Crash Cymbal 2 | 81 | Open Triangle |
| 58 | Vibraslap | | |



MIDI Konzepte



- Note
 - Key Number: Nummer der Note (0..127)
 - Key Velocity: Wie fest wurde die Taste angeschlagen
 - Key Pressure: Tastendruck zum Ende des Tons
 - Pitch Bend: Verzerrung des Tons
- Controller
 - 128 Controller zur Einstellung der Soundreproduktion
 - z.B. Modulation, Pedale, Balance



MIDI Konzepte



- Patch / Program
 - Audiopalette eines Synthesizers
 - Max 128 Bänke á 128 Patches
 - Program Change Message wählt jeweils neuen Patch aus
 - Multi-timbral: mehrere Patches sind aktiv
- Polyphonie
 - Mehrere Töne können gleichzeitig gespielt werden



MIDI Konzepte



- Sequence / Song
 - MIDI Nachrichtensequenz
 - Song Position Pointer bestimmt gegenwärtigen Zeitpunkt
- Timing Clock
 - Zeitbasis gemessen in Pulses per Quarternote (PPQ)
 - Typische Werte: 24, 96, 480 PPQ
 - Oder in SMPTE Zeiteinheiten
 - Einheiten im Bezug auf 24, 25 bzw. 30 fps
 - SMPTE = Society of Motion Picture and Television Engineers
 - Transfer in physikalische Zeit durch Tempo in BPM (beats per minute)



MIDI Konzepte



- MIDI Synchronization
 - Internal Sync:
Device dient als Master und nutzt interne Uhr
 - External Sync:
Device ist Slave und nutzt Clock Messages
- MIDI Time Code
 - Synchronisation von MIDI Geräten mit Film oder Video
 - Übertragung der MIDI-Clock zu bestimmten Frames statt mit der vollen MIDI-Rate



MIDI Protokoll



- Channel
 - 16 Nachrichtenkanäle pro Verbindung
 - Device reagiert auf alle oder spezifisch
- 8-bit Code Nachrichten
 - 1 Command Byte plus Data Bytes
- 31250 Bit/Sek.
 - Ca. 500 Noten pro Sekunde
- Damit sind nur kleine bis mittlere MIDI-Konfigurationen zu steuern



MIDI Beispiel



```
(NoteOn, #, Vel),  
(NoteOn, #, Clock, Vel),  
(NoteOn, #, Vel),  
(NoteOff, #, Vel),  
(Cntl, Tremolo, 42),  
...
```



MIDI „Programmierung“



- Direkt durch MIDI-Instrumente
- Durch Soundprogramme
 - z.B. Cakewalk, Cubase
- In Frameworks integriert
 - z.B. QuickTime Music Architecture
- Durch Programmiersprachen-Packages
 - z.B. `javax.sound.midi`



SMDL



- Standard Music Description Language
- Definiert von ANSI MIPS
 - Music Information Processing Standards
- Eine Anwendung von SGML
 - Standard Generalized Markup Language
- Document Type Musical Works



SMDL



- Hierarchisch strukturierte Sektionen
 - Core
 - die Noten, Partitur, Komponist, etc. als Ereignisse
 - Gestural
 - die Performances, Interpretationen
 - Visual
 - visuelle Darstellung des Core inkl. Liedtexte
 - Analytical
 - theoretische Analysen zum Werk
- SMDL ist in HyTime subsumiert

