

Einführung Digitaltechnik (dtintro)

Bedeutung Digitaltechnik

- Wozu Digitaltechnik? / Warum ist das Wichtig? / Was ist Digitaltechnik?
- Digitaltechnik hat in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen (Stichwort "Digitalisierung")
- Dies lässt sich im Wesentlichen auf folgende Eigenschaft der Digitaltechnik zurückführen:
 - Beschränkung auf zwei Signalzustände (in logischen Schaltungen (sog. Gatter)) und damit verbundene fehlertolerante Datenübertragung

Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Informationsdarstellung

- Wichtigstes Kennzeichen der Digitaltechnik ist die Informationsdarstellung mit den Werten ,0‘ und ,1‘
 - Daten mit zwei möglichen Werten sind Binärdaten
 - Wenn eine Information mehr als Zwei Werte haben kann -> mehrere Stellen (vgl. Byte= 8 Bit)

 - Binärdaten werden typischerweise mit Spannungspegeln dargestellt (Bsp: 0 mit 0V und 1 mit 3,3V)
 - Für die Darstellung von Binärdaten gibt es mehrere Standards (z.B. LVTTTL (Low Voltage Transistor-Transistor-Logik):
 - Der Spannungsbereich von 0 bis 0.8V wird der logischen 0 und der Spannungsbereich von 2,0 bis 3,3V wird der logischen 1 zugeordnet
-

Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Logik-Pegel und Logik-Zustand

- Logikpegel und Logikzustand unterscheiden Spannungswerte und Information
- Logikpegel= L(low) und H(high)
- Logikzustand= 0 oder 1
- Typisch ist die positive Logik, die einem L-Pegel einer 0 zuordnet (H -> 1)
- Aber es gibt auch die negative Logik, die einem L-Pegel einer 1 zuordnet (H -> 0)

Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Verarbeitung von Information - Gatter I/II

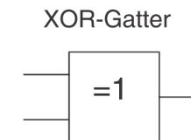
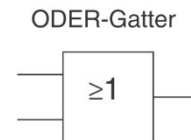
- Digitalschaltungen verwenden die logischen Werte 0 und 1 für Berechnungen und Entscheidungen, wobei das Ergebnis wieder 0 oder 1 ist
 - Die Grundelemente werden als Logikgatter bezeichnet
 - Die wichtigsten Logikgatter sind Inverter, Und-Gatter, Oder-Gatter und XOR-Gatter
-
- Inverter= gibt Gegenteil des Eingangs am Ausgang aus (Bsp 0->1)
 - UND= ergibt nur am Ausgang 1 wenn Eingang1 UND Eingang2 jeweils eine 1 haben (&)



- Das „Dreieck“ des Inverters steht für eine Weiterleitung oder Verstärkung
- Der Kreis steht für die Invertierung/Umkehrung des Wertes

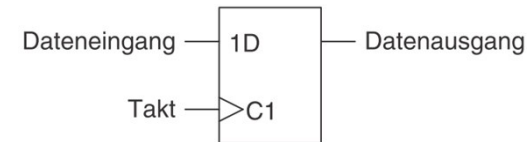
Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Verarbeitung von Information - Gatter II/II

- Digitalschaltungen verwenden die logischen Werte 0 und 1 für Berechnungen und Entscheidungen, wobei das Ergebnis wieder 0 oder 1 ist
- Die Grundelemente werden als Logikgatter bezeichnet
- Die wichtigsten Logikgatter sind Inverter, Und-Gatter, Oder-Gatter und XOR-Gatter
- ODER= ergibt am Ausgang 1 wenn Eingang 1 ODER Eingang2 eine 1 haben (≥ 1)
- XOR= exklusiv-ODER= ergibt am Ausgang eine 1 wenn an den Eingängen eine 1 vorhanden ist, aber nicht wenn beide Eingänge eine 1 haben ($=1$)
- Das „Dreieck“ des Inverters steht für eine Weiterleitung oder Verstärkung
- Der Kreis steht für die Invertierung/Umkehrung des Wertes



Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Verarbeitung von Information - FF

- Neben Berechnungen müssen in einer Digitalschaltung auch Informationen gespeichert werden
- Das Grundelement zur Speicherung ist das D-Flip-Flop (D-FF)
 - D= Daten, Flip-Flop= Hin und Herschalten zwischen 0 und 1
- Das D-FF arbeitet mit einem Takt (engl. clock), das die Arbeitsgeschwindigkeit vorgibt (vgl. PC Takt 2-3 GHz)
- Bei jeder steigenden Taktflanke, also jedem Wechsel von 0 auf 1 wird der Wert des Dateneingang D übernommen und gespeichert und am Datenausgang ausgegeben
- Logikgatter und D-FF werden aus Transistoren aufgebaut

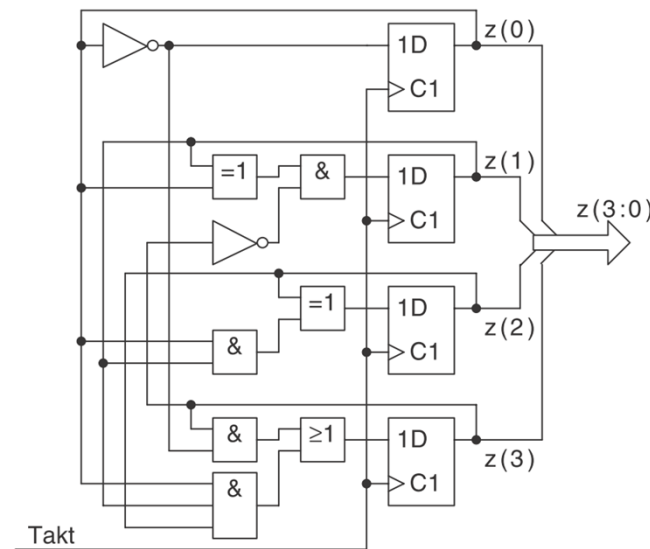


Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Beispiel Zähler Grafikcontroller (Grafikkarte) I/II

- Damit Sie sich die Arbeitsweise einer Digitalschaltung vorstellen können hier ein Zähler in einem Grafikcontroller (Grafikkarte) als Beispiel
- Ein Grafikcontroller gibt das Bild zeilenweise aus (z.B.: Bildschirmauflösung 800x600 -> 600 Zeilen)

Arbeitsweise digitaler Schaltungen - Beispiel Zähler Grafikcontroller (Grafikkarte) II/II

- Beispiel Zähler, der von 0 bis 9 zählt und dann wieder bei 0 anfängt
- Der Zählerstand Z besteht aus vier Binärstellen ($z(3:0)$)
- 0000 entspricht 0, 0001 entspricht 1 usw.
- In den vier D-FFs wird der Zählerstand gespeichert
- Die Gatter berechnen aus dem aktuellen Zähler Wert den neuen Wert, der bei der nächsten steigenden Taktflanke wieder gespeichert wird



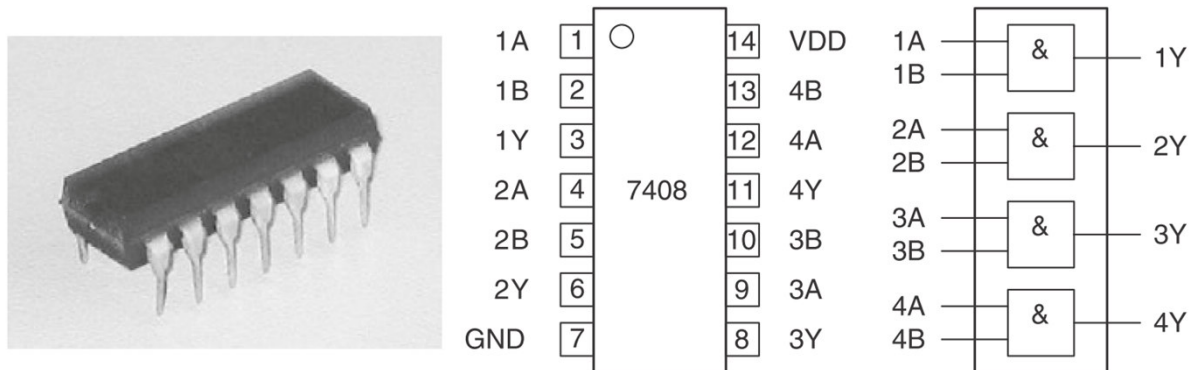
Technische Realisierung digitaler Schaltungen

- Eine Digitalschaltung kann auf verschiedene Arten aufgebaut werden
- Der Oberbegriff ist IC (eng. Integrated Circuit) und bedeutet, dass mehrere Transistoren zusammengefasst also integriert sind
- Die Begriffe Chip und Microchip haben die gleiche Bedeutung
- Die wichtigsten Arten von ICs werden nun kurz vorgestellt

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Logikbausteine I/II

- Es gibt Logikgatter und FFs sind als einzelne Bauelemente
- Man kann eine Digitalschaltung kann aus diesen einzelnen Logikbausteinen aufbauen
- Der IC7408 ist ein Beispiel für einen Logikbaustein, der vier UND-Gatter enthält

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Logikbausteine II/II



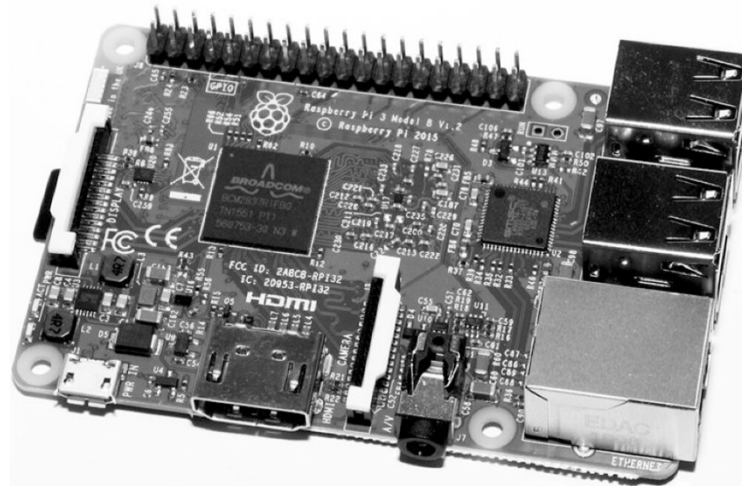
- VDD steht für Versorgungsspannung und GND für Masse (engl. Ground)
- Für größere Digitalschaltungen in der Praxis haben Logikbausteine heutzutage kaum mehr Bedeutung

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - ASIC

- Eine große Digitalschaltung kann hergestellt werden, indem aus Logikgatter und FFS ein Bauplan erstellt wird
- Nach diesem Bauplan wird dann ein IC hergestellt
- Eine solche Schaltung wird als ASIC (Application Specific Integrated Circuit) bezeichnet
- Ein ASIC-Entwurf erfordert hohe Entwicklungskosten und eine relative lange Entwicklungszeit
- Eine ASIC-Entwicklung lohnt sich nur bei großen Stückzahlen (ab 10.000 bzw. besser 100.000)

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Standardbauelemente

- Für viele Aufgabenstellungen existieren bereits fertige Digitalschaltungen
- Diese ICs bezeichnet man als ASSP (Application Specific Standard Product)
- Beispiele dafür sind Prozessoren und Speicherbausteine für Computer

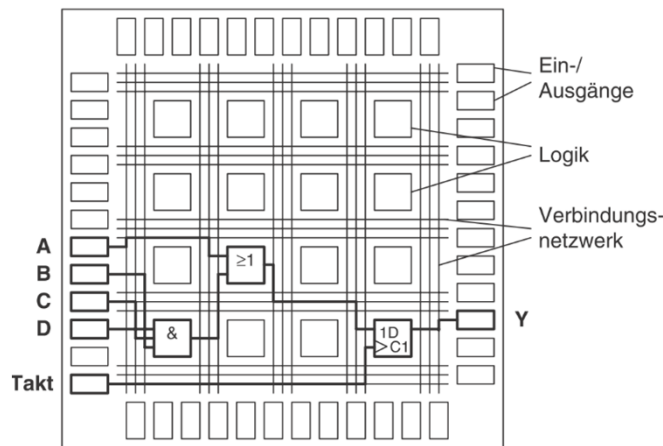


- Raspberry Pi: IC mit Prozessor und Grafikcontroller, IC für Netzwerk und USB

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Programmierbare Schaltungen I/V

- Ein Zwischenweg zwischen Standardbauelementen und ASIC sind programmierbare Schaltungen
- Ein wichtiger Vertreter davon sind FPGAs (Field Programmable Gate Array)
- Ein FPGA ist wie ein ASSP ein IC, nur dass ein FPGA noch keine festgelegte Funktion hat, sondern vom Entwickler(team) „programmiert“ wird

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Programmierbare Schaltungen II/V



- Der FPGA enthält verschiedene Logikblöcke, die als Logikgatter und FF programmiert werden können
- Programmierbare Logikblöcke, programmierbare Verbindungsleitungen und programmierbare Ein-/Ausgänge ermöglichen das Erstellen einer Digitalschaltung
- Ein FPGA kann Zehntausende bis Hundertausende Logikgatter und FFS enthalten

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Programmierbare Schaltungen III/V

- Im Vergleich zu ASICs sind Entwicklungskosten und Entwicklungszeit für eine FPGA-Schaltung geringer, aber Stückkosten und Verlustleistung höher
 - Beispiel: Medizintechnikfirma MEDTECH: Entwicklung eines Monitors mit einer sehr hohen Abstufung von Grauwerten für Röntgenbilder
 - ASSPs zur Monitoransteuerung sind verfügbar, jedoch nur für Computeranwendungen mit normalen Farbabstufungen ausgelegt
 - MEDTECH kann eigenes ASIC entwickeln, aber für die einige hundert Monitore erwartete Verkaufszahlen pro Jahr zu teuer -> ASIC lohnt sich nicht
 - FPGA ist die Wahl zur Implementierung der Monitoransteuerung
-

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Programmierbare Schaltungen IV/V

- Das Problem der geringen (Spezialmaschinen und Anlagenbau, Luftfahrt) und geringeren (Automobil) Stückzahlen ist ein typisches Problem der deutschen Industrie
 - Hohe Stückzahlen (Consumer Electronic, wie z.B. Fernseher oder Smartphones) werden typischerweise nicht in Deutschland/Europa entwickelt und herstellt, sondern überwiegend in Asien/China
 - Die deutsche Industrie ist also eher eine spezialisiertere Industrie mit eher geringeren Stückzahlen
 - Verwendung von FPGAs hat in den letzten Jahren stark zugenommen und wird weiterhin zunehmen
-

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Programmierbare Schaltungen V/V

- Daher sind FPGAs für Sie ein sehr interessantes und wichtiges Betätigungsfeld(*)
 - Im Rahmen dieser Veranstaltung müssen wir viel Grundlagen machen, aber dennoch haben wir ein paar Übungen, wo Sie auch einmal selbst einen FPGA programmieren dürfen
 - Wer dann Gefallen daran gefunden hat, für den gibt es dann noch im 3. Studienabschnitt (5.-7.Sem) das Wahlfach Angewandte FPGA Programmierung (DAFP)
 - Eines von den Themen hier, ist es eine kleine Grafikkarte zu bauen (vgl. auch Poster im Schaukasten im Flur)
-

Technische Realisierung digitaler Schaltungen - Mikrocontroller

- Mikrocontroller können auch dazu verwendet werden eine Digitalschaltung zu implementieren
- Mikrocontroller= kleiner Computer auf einem einzigen IC
- Ein Mikrocontroller kann genau wie ein FPGA für eine Anwendung programmiert werden
- Im Gegensatz zum FPGA, werden keine Logikgatter und FFs verschaltet (Parallelität)
- Der Mikrocontroller setzt die gewünschte Funktion sequentiell/schrittweise als Computerprogramm um
- Die Leistungsfähigkeit und Flexibilität eines Mikrocontrollers sind damit geringer als beim FPGA, aber für viele Anwendungsfälle ausreichend

Digitale und analoge Informationen - Darstellung von Informationen I/III

- Digital und analog beschreiben die Art der Darstellung von Signalen
- Der Zweck von analogen und digitalen Schaltungen ist oft die Verarbeitung von physikalischen Größen wie Audiosignale, Bildsignale, Videosignale oder Sensorinformationen
- Analoge Darstellung= übersetzt physikalische Größe in eine andere zweite physikalische Größe (typischerweise elektrische Spannung)
 - Beispiel Temperatursensor: Temperatursensor misst die Temperatur von 0 bis 100°C und stellt die Temperatur durch eine ANALOGE Spannung von 0 bis 1V dar
- Ein analoges Signal kann beliebige (zwischen) Werte annehmen

Digitale und analoge Informationen - Darstellung von Informationen II/III

- Ein digitales Signal ist in der Anzahl der möglichen (zwischen Werte) festgelegt
 - Beispiel Temperatursensor: Festlegung 1° Schritte -> nur 101 verschiedene Werte (0,1,2, ...100)
- Abzählbarkeit steht hinter Bezeichnung digital:
 - (binary) digit= „Finger“ -> Abzählen (per Finger)

Digitale und analoge Informationen - Darstellung von Informationen III/III

- **Beispiel Musik: analoge Schallplatte und digitale CD**
 - **Schallplatte:**
 - Bei einer Schallplatte werden die Schallwelle in kleine Auslenkungen einer Rille übersetzt
 - Die Auslenkung repräsentiert also das Musiksinal
 - **CD:**
 - Bei der CD wird das Musiksinal digital gespeichert
 - Pro Sekunde werden 44.100 Signalwerte als Zahl gespeichert
 - Mit 16bit sind 65.536 Signalwert möglich

Digitale und analoge Informationen - Vor- und Nachteile der Darstellungen I/V

- Analoge Signale haben den Vorteil, dass ein Signal (theoretisch) beliebig genau abgebildet werden kann
 - Digitale Signale haben begrenzte Genauigkeit
 - Die Abstufung kann aber so gewählt werden, dass Sie ausreichend klein ist
 - Beispiel Schallplatte/CD:
 - Die CD hat 65536 mögliche Signalwerte, die störungsfrei ausgelesen werden können
 - Die Schallplatte hat theoretisch eine unbegrenzte Auflösung
 - Praktisch wird die Auflösung der Schallplatte durch Staub und Abnutzung schlechter als bei der CD sein
-

Digitale und analoge Informationen - Vor- und Nachteile der Darstellungen II/V

- In der Vergangenheit war die Verarbeitung der analogen Signale oft einfacher
- Das hat sich erst durch die Leistungsfähigkeit moderner Digitalschaltungen umgedreht
- Heute ist die Verarbeitung digitaler Signale fast immer einfacher
- Dazu kommt, dass die Speicherung und Übertragung digitaler Signale Vorteile im Gegensatz zur analogen Signalen hat

Digitale und analoge Informationen - Vor- und Nachteile der Darstellungen III/V

- Beispiel Zeitungsartikel mit Foto einer Sportveranstaltung:
 - Analoges Foto wird zunächst entwickelt, passendes Bild ausgewählt und persönlich oder per Kurier in die Zeitungsredaktion gebracht
 - Digitales Foto von der Digitalkamera/Smartphone kann sofort ausgewählt werden und (z.B. als Email) an die Redaktion geschickt werden
 - Innerhalb von Minuten/Sekunden wird das Bild auf der Website veröffentlicht

Digitale und analoge Informationen - Vor- und Nachteile der Darstellungen IV/V

- Digitale Systeme haben in vielen Bereichen die analogen Techniken abgelöst
 - Musik: Audiosignale werden nicht mehr analog auf Schallplatte und Musikkassette, sondern digital auf CD und MP3 gespeichert
 - Fotos: Fotos werden kaum noch auf chemisches Filmmaterial, sondern meist als digitale JPEG-Datei gemacht
 - Video: Videosignale werden nicht mehr analog auf VHS-Band, sondern digital als MPEG auf Festplatten und Blue-Ray oder DVD gespeichert.
 - Telefon/Sprache: Das analoge Telefon wurde zunächst durch digitales ISDN und später Voice-over-IP ersetzt
-

Digitale und analoge Informationen - Vor- und Nachteile der Darstellungen V/V

- Allerdings gibt es auch noch analoge Anwendungen, wo sich digitale Anwendungen noch nicht durchgesetzt haben
- Radio: Für Radio gibt es zwar digitale Übertragung, aber das alte UKW-Radio wird weiter verwendet
 - Gründe:
 - Ausreichende Qualität
 - einfacher Aufbau analoger Radios
 - Vielzahl vorhandene analoge Radiogeräte

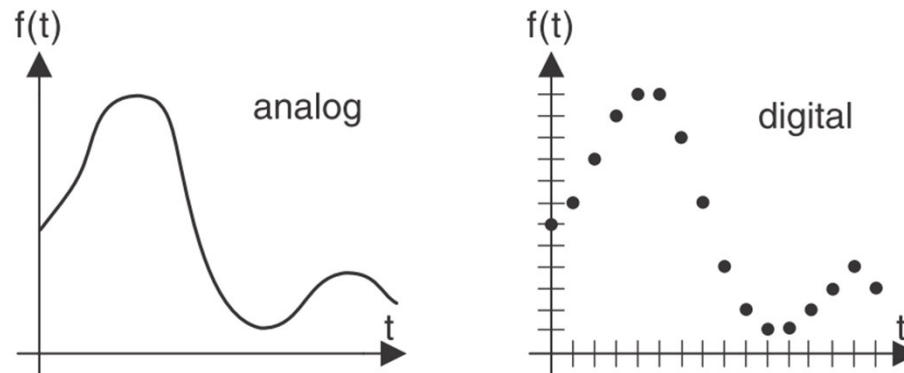
Digitale und analoge Informationen - Wert- und zeitdiskret I/III

- Weiter wird die Darstellung von digitalen Signalen als wertdiskret und zeitdiskret beschrieben
- diskret bedeutet voneinander abgetrennt, einzelnstehend
- wertdiskret= nur bestimmte einzelne Werte als Signalwerte
- zeitdiskret= Signalwerte sind nur zu bestimmten Zeiten vorhanden
 - Gegenteil zeitkontinuierlich= zu jeder Zeit Signalwert vorhanden

Digitale und analoge Informationen - Wert- und zeitdiskret II/III

- Beispiel CD und Schallplatte:
 - Schallplatte:
 - Musiksignal ist wertkontinuierlich (Schallplattenrille ist stufenlos verschoben)
 - Musiksignal ist zeitkontinuierlich (Rille hat keine Lücke; für jeden Zeitpunkt ist ein Wert vorhanden)
 - CD:
 - Musiksignal ist wertdiskret (65536 verschiedene Werte möglich)
 - Musiksignal ist zeitdiskret (pro Sekunde genau 44100 Signalwerte)

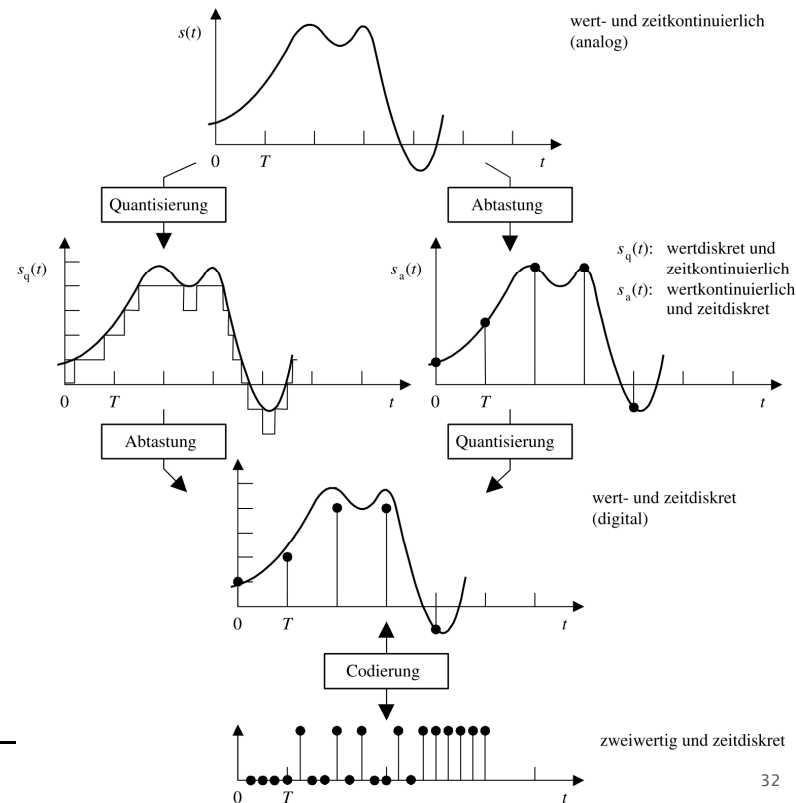
Digitale und analoge Informationen - Wert- und zeitdiskret III/III



- Digitale Signale sind wertdiskret und zeitdiskret
- Analoge Signale sind wertkontinuierlich und zeitkontinuierlich

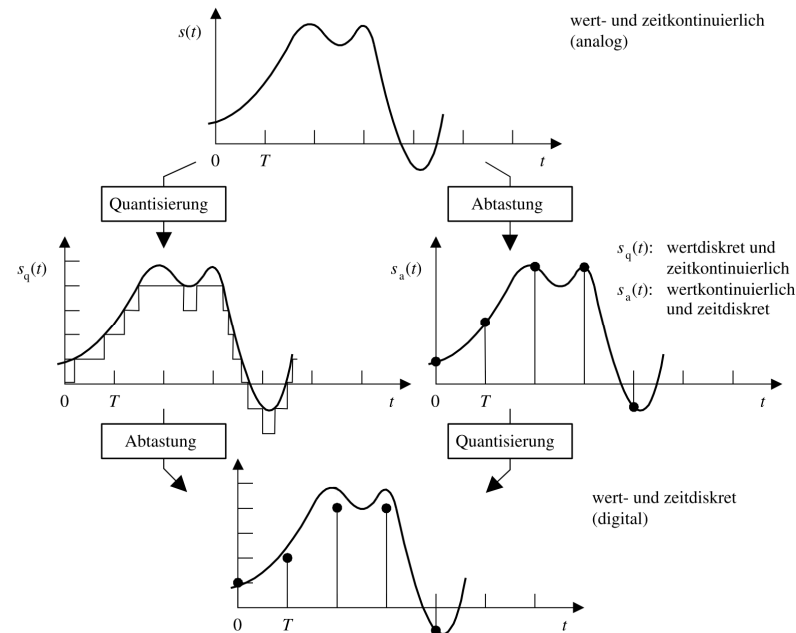
Digitale und analoge Informationen - A/D Wandlung I/III

- Sollen analoge (also wertkontinuierliche) Signale mit digitalen Systemen verarbeitet oder übertragen werden, so müssen diese zunächst „digitalisiert“ werden
- Das heißt, man muss quantisieren, abtasten und codieren



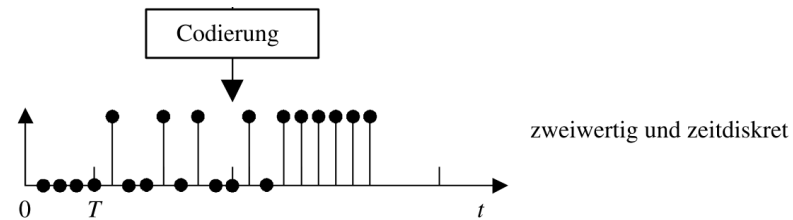
Digitale und analoge Informationen - A/D Wandlung II/III - Abtastung und Quantisierung

- Bei der Quantisierung wird an bestimmten Zeitpunkten, den Abtastzeitpunkten (Abtastung) die Amplitude des Signals einer diskreten Quantisierungsstufe zugeordnet
- Bei der Quantisierung muss man Rundungsfehler in Kauf nehmen



Digitale und analoge Informationen - A/D Wandlung III/III - Codierung

- Der Wert der diskreten Abtaststufe wird dann in eine Folge von Binärziffern umgewandelt/codiert (Codierung)



Digitale und analoge Informationen - Störsicherheit

- Die Beschränkung auf endliche Amplitudenstufen in einem digitalen System führt zu einer erhöhten Störsicherheit
- Gestörte digitale Signale können den ursprünglichen diskreten Amplitudenwerten eindeutig zugeordnet werden

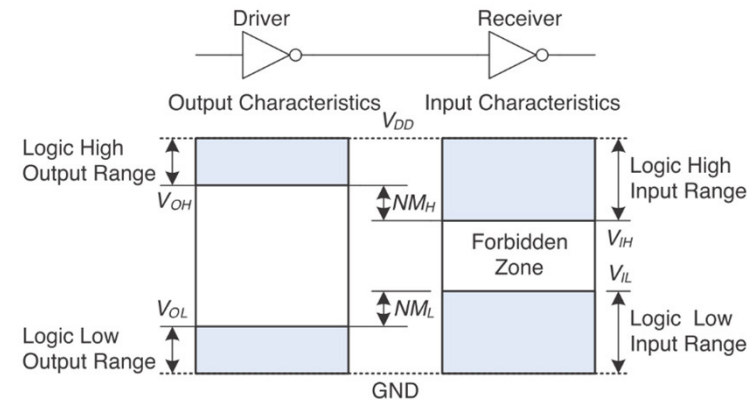
Digitale und analoge Informationen - Störsicherheit - Störabstand I/III

- Beispiel Codierung Binärsequenz (vgl. Bild A/D Wandlung)
 - Es gibt nur 0en und 1sen und wir verwenden positive Logik
 - Der Ausgang des Senders (driver) ist mit dem Eingang des Empfängers (receiver) verbunden



Digitale und analoge Informationen - Störsicherheit - Störabstand II/III

- Wenn der driver eine 1 also bei positiver Logik einen HIGH-Pegel schickt er eine Spannung zwischen V_{OH} und V_{DD}
- Der Empfänger erkennt die 1, wenn die Spannung zwischen V_{DD} und V_{IH} liegt
- Erst wenn die Spannung in die forbidden zone fällt, ist das Verhalten unvorhersagbar
- D.h. Eine Übertragung funktioniert immer noch richtig, selbst wenn eine Störung vorhanden ist, die Ausgangsspannung um maximal NM_H verringert
- NM steht für noise margin (dt. Störabstand)



Digitale und analoge Informationen - Störsicherheit - Störabstand III/III

- Dies ist ein riesiger Vorteil der Übertragung von digitalen Signalen im Vergleich zu analogen Signalen, wo jede auch noch so kleine Störung die Empfangsqualität beeinflusst
- Dies ist der Grund für den Siegeszug der Digitaltechnik
- Ohne diese Eigenschaft wäre die weltweite (störungsfreie) langstecken Kommunikation für Telefon und Internet, wie es heute gibt, nicht so ohne weiteres umsetzbar

Zusammenfassung Vor- und Nachteile Digitaler Systeme - Vorteile

- Digitale Systeme haben im Vergleich zu analogen Systemen eine Reihe von Vorteilen:
 - Durch die Fehlertolerante Übertragung von digitalen Signalen sind fast beliebig komplexe Systeme wie Mikroprozessoren realisierbar
 - Es können nahezu beliebig viele Bearbeitungsschritte nacheinander durchgeführt werden, bis systematische Fehler auftreten
 - Digitale Systeme haben durch die Parallelverarbeitung eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit
 - Digitale Systeme sind verhältnismäßig leicht zu konstruieren
 - Die bool'sche Algebra ist eine einfache Beschreibungsmöglichkeit
 - Digitale Systeme sind relativ einfach zu testen

Zusammenfassung Vor- und Nachteile Digitaler Systeme - Nachteile

- Digitale Systeme haben folgenden Nachteil:
 - Digitale Systeme sind langsamer als analoge Systeme
 - Die Taktfrequenzen digitaler Systeme liegen etwa bei $1/3$ der möglichen Übertragungsrate analoger Systeme -> Analogtechnik dominiert den Hochfrequenzbereich