
Digitaltechnik

Kapitel 1, Einführung

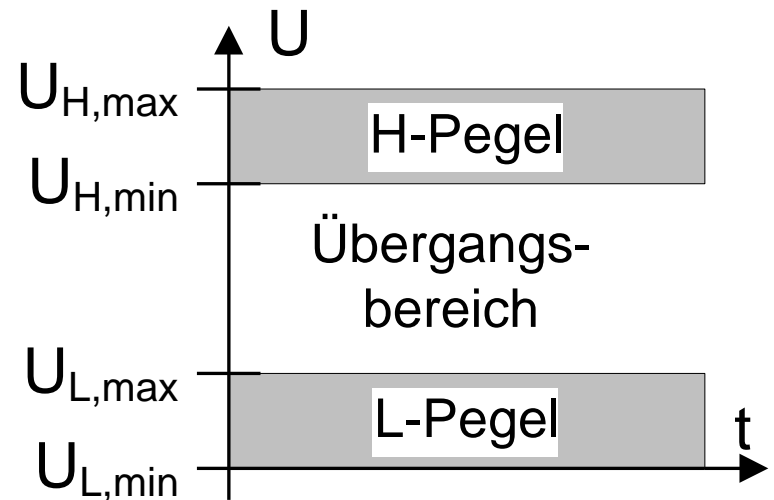
Prof. Dr.-Ing. M. Winzker

Nutzung nur für Studierende der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg gestattet.
(Stand: 20.03.2019)

1.1 Kurzübersicht zur Digitaltechnik

Für eine konventionelle Digitalschaltung gilt (leicht vereinfacht):

- Digitalschaltungen verarbeiten **Binärdaten** mit den Zuständen 0 und 1
- Diese Binärdaten werden durch elektrische Spannungen dargestellt
- Ein **niedriger Spannungspegel** entspricht üblicherweise dem Wert 0, ein **hoher Spannungspegel** dem Wert 1
 - Es werden auch die Begriffe L für 0 (Low) und H für 1 (High) verwendet
 - L und H werden insbesondere verwendet, wenn man ausdrücken möchte, dass es sich um keine abstrakten Daten sondern um reale Spannungspegel handelt
- Niedriger und hoher Spannungspegel sind stets **Spannungswertebereiche**
(Genaue Spannungswerte wären ohnehin nicht exakt einzuhalten)
- Zwischen den Wertebereichen ist ein **Übergangsbereich**, in dem das Signal **undefiniert** ist



Physikalische Darstellung von Daten

Es existieren (aus gutem Grund) verschiedene Standards für die Bereiche der Pegel

- Die Bereiche für L-Pegel und H-Pegel sind meist unterschiedlich groß
- Der Übergangsbereich ist teilweise größer als die Bereiche für die Pegel
- Die Spannung $U_{L,min}$ ist **oft**, aber **nicht immer** etwa 0V
- Werte für die Spannungspegel finden sich in Standards und Datenblättern der Bauelemente; teilweise gibt es mehrere Varianten eines Standards
 - **Eingangspegel** geben an, wie eine Spannung interpretiert wird
 - **Ausgangspegel** sind die von den Bauelementen erzeugten Spannungspegel
- Einige Auswahl an typischen Werten für Eingangspegel:

Standard	TTL	CMOS	LVTTL	ECL
$U_{H,max}$	5 V	5 V	3,3 V	0 V
$U_{H,min}$	2,0 V	3,5 V	2,0 V	-1 V
$U_{L,max}$	0,8 V	1,5 V	0,8 V	-1,4 V
$U_{L,min}$	0 V	0 V	0 V	-5 V

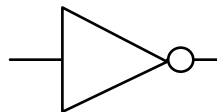
Logikgatter

Durch Logikgatter werden Berechnungen durchgeführt

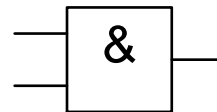
- Der **Inverter** ergibt am Ausgang das Gegenteil des Eingangs
 - 0 wird zu 1; 1 wird zu 0
- Das **UND-Gatter** ergibt 1, wenn alle Eingänge 1 sind
- Das **ODER-Gatter** ergibt 1, wenn mindestens ein Eingang 1 ist
 - Auch für mehrere Eingänge 1 ist der Ausgang 1
- Das Exklusiv-Oder-Gatter, kurz **XOR-Gatter**, hat zwei Eingänge und ergibt 1, wenn genau ein Eingang 1 ist
 - Sind beide Eingänge gleich 1, ist der Ausgang nicht 1, sondern 0

Symbole

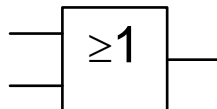
Inverter



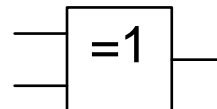
UND-Gatter



ODER-Gatter



XOR-Gatter

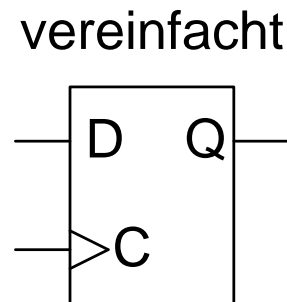
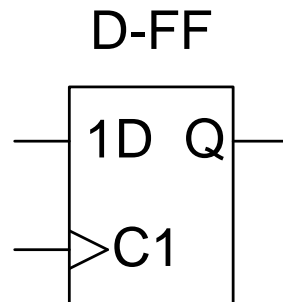


Flip-Flops

In **Flip-Flops**, kurz **FF**, werden Daten gespeichert

- Das am meisten verwendete Flip-Flop ist das **D-FF** (D-Flip-Flop)
 - Ein D-FF hat einen Dateneingang D und einen Takteingang C (auch CLK von „clock“)
 - Wenn der Takteingang von 0 auf 1 geht (**steigende Flanke**), wird der Eingang D gespeichert und auf den Ausgang Q gegeben
 - Alle anderen Änderungen am Dateneingang D, vor und nach der steigenden Flanke, werden ignoriert

Symbol

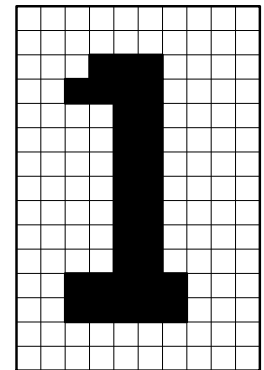
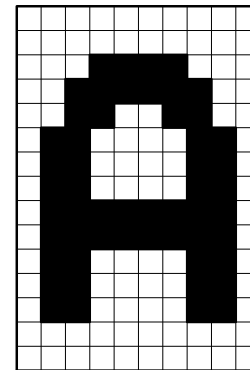


Beispiel: Einfacher Grafikcontroller

- Grafikcontroller für einfache Grafikanwendungen
 - Moderne PC-Grafikkarten sind sehr leistungsfähig, allerdings auch komplex
 - Die gezeigte Schaltung ist ein einfacher Controller für kleine LCD-Module
 - Auch PC-Grafikkarten der 1980er Jahre hatten ähnliches Konzept

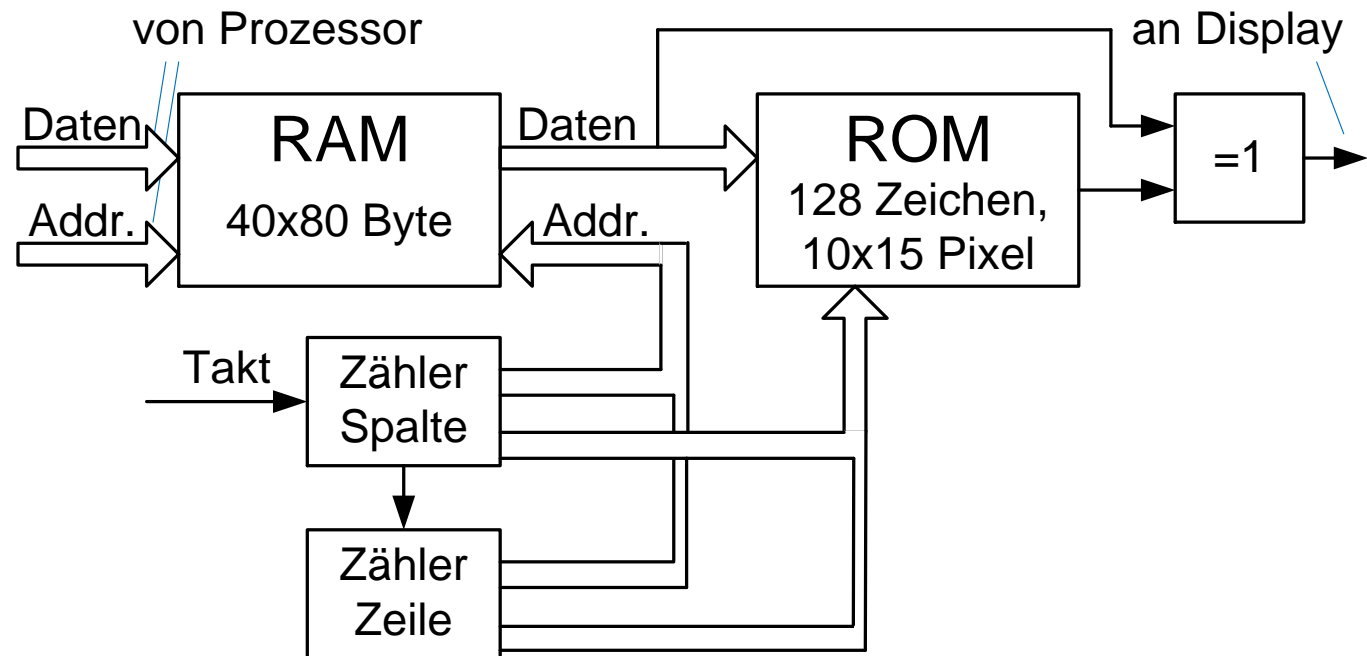
Arbeitsweise

- Der Bildschirm setzt sich aus einzelnen Zeichen zusammen
- Hier gewählt:
 - Bildschirm 800 Bildpunkte breit, 600 Bildpunkte hoch
 - Jedes Zeichen 10 Bildpunkte breit, 15 Bildpunkte hoch
 - Also 40 Zeilen mit je 80 Zeichen
 - Darstellung mit 60 Hz: Ein Bild wird 60-mal je Sekunde dargestellt
- Fester Zeichensatz mit 128 Zeichen
 - Buchstaben in Klein- und Großschreibung
 - Ziffern, Sonderzeichen und Symbole
 - Zeichen können invertiert werden



Beispiel: Struktur des Grafikcontrollers

- Bildschirminhalt in einem RAM-Speicher („Random Access Memory“)
- Ein ROM („Read-Only-Memory“) enthält die 128 Zeichen
- Zwei Zähler für Zeile und Spalte geben nacheinander die Bildpunkte aus:
 - Jeder Zähler hat wiederum zwei Teile:
 - Aktuelles Zeichen aus dem RAM
 - Einer von 10x15 Bildpunkten aus dem ROM
- Ein Bit des RAM kann Bildpunkt invertieren



Beispiel: Zähler im Grafikcontroller

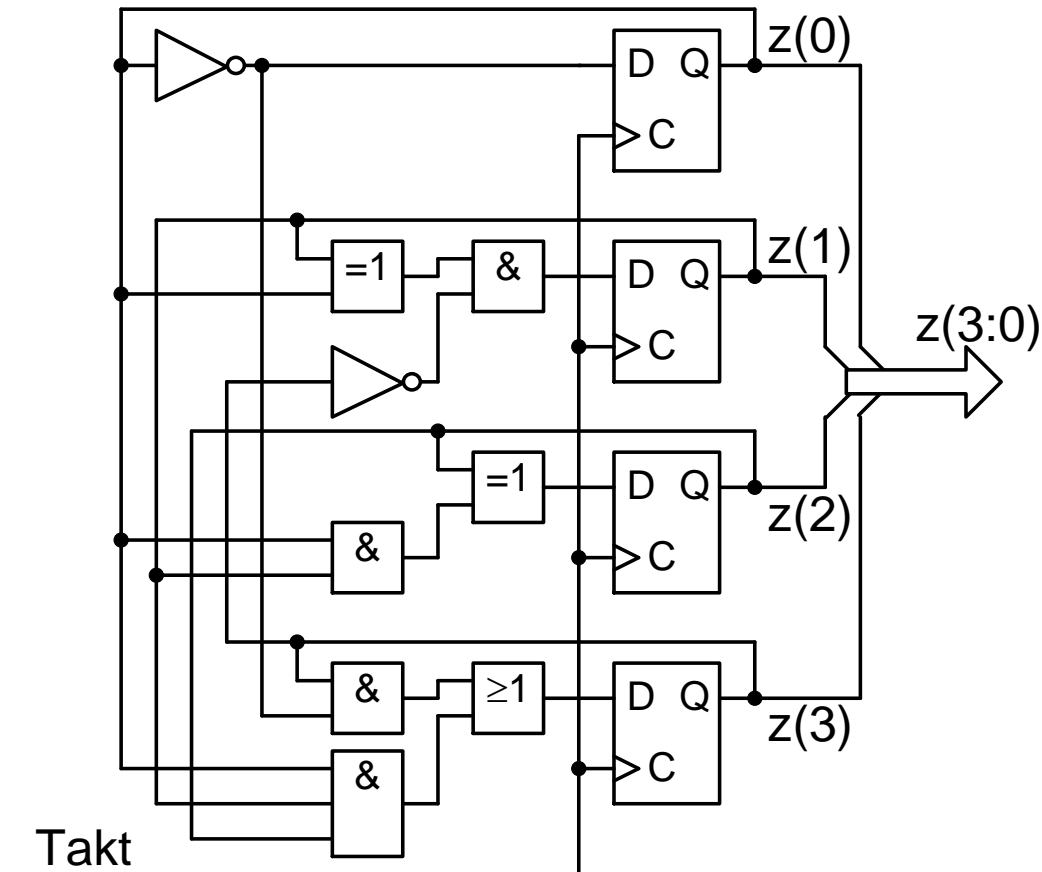
- Teilschaltung: Einer der Zähler muss die aktuelle Spalte von 0 bis 9 durchzählen
- Zahl als Dualzahl mit 4 bit
- Schaltung erfordert 9 Gatter und 4 Flip-Flops

Arbeitsweise

- Der aktuelle Zählerstand Z wird in den vier Flip-Flops gespeichert
- Die Gatter berechnen den nächsten Zählerstand Z
- Bei der Taktflanke 0 → 1 wird der neue Zählerstand übernommen

Animation unter:

<http://youtu.be/BA95ChcrZcU>



1.2 Schaltungsrealisierung

Eine Digitalschaltung kann auf verschiedenen Weisen implementiert werden:

- **Diskreter Aufbau**
 - Integrierte Schaltungen mit einzelnen UND-, ODER-, EXOR-, Flip-Flop-Elementen werden durch Leitungen verschaltet
- **Standardbauelemente**
 - Für häufig benötigte Funktionen verfügbar (CPU, Speicher, LCD-Controller)
- **Kundenspezifische Schaltung**
 - Ein eigener Microchip (ASIC, engl.: „Application Specific Integrated Circuit“) wird entworfen und hergestellt
- **Programmierbare Schaltung**
 - Auf einem integrierten Chip sind hunderte bis tausende UND-, ODER-, EXOR-, Flip-Flop-Elemente, die durch Programmierung verschaltet werden
 - Bezeichnung: FPGA („Field-Programmable-Gate-Array“)

Vergleich Digitalschaltung und Mikrocontroller

- Eine Digitalschaltung kann mehrere Rechenelemente **parallel** betreiben
 - Dadurch hohe Rechenleistung möglich
- Computer und Mikrocontroller führen Verarbeitungen **Schritt für Schritt** aus
 - Sie sind natürlich selber eine Digitalschaltung
 - Parallelverarbeitung durch mehrere Cores und Spezialbefehle möglich

Beispiel: Der Maximalwert aus 8 Zahlen soll ermittelt werden

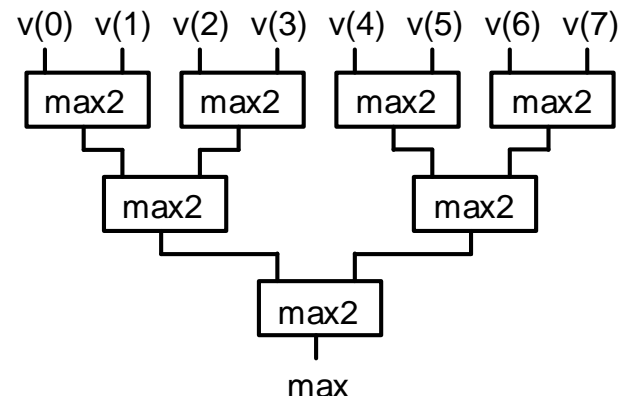
Mikrocontroller:

Schleife mit 7 Durchläufen,
ca. 30 Takte

```
max = value(0);  
for (i=1;i<8;i++) {  
    if (value(i) > max) {  
        max = value(i);  
    }  
}
```

Digitalschaltung:

Funktionsblöcke für Maximum zweier Werte,
1 Takt möglich



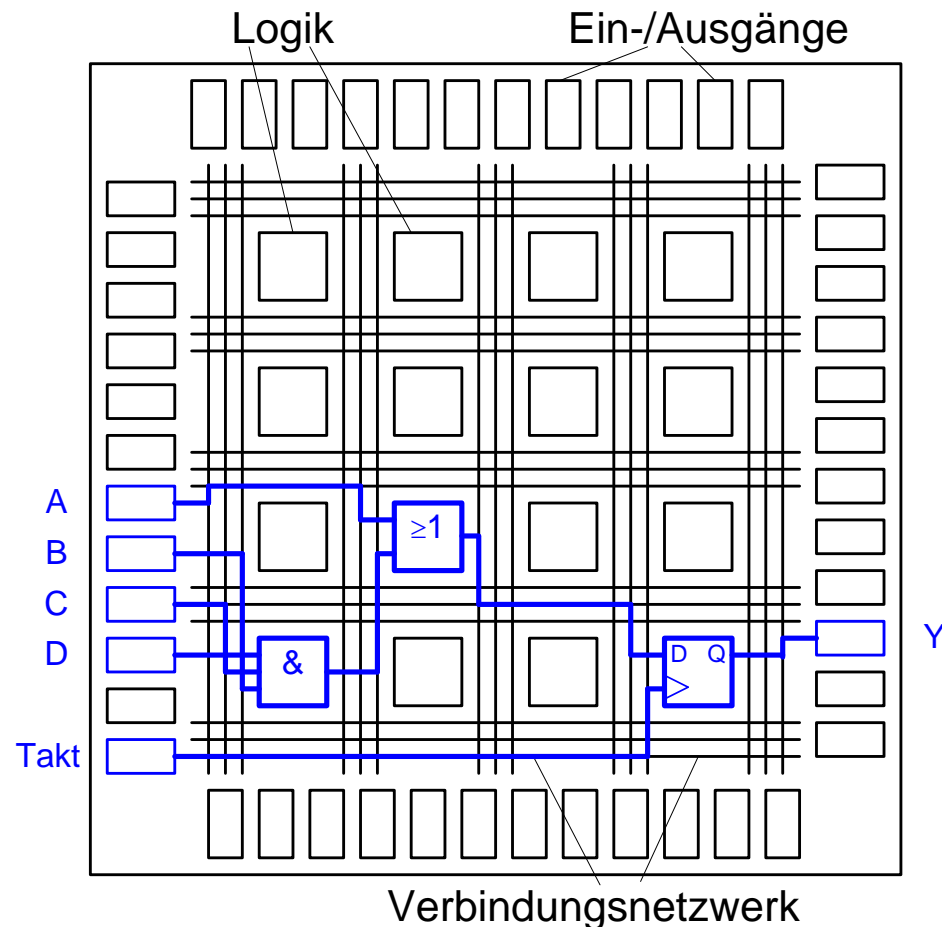
Programmierbare Schaltung - FPGA

Ein „Field-Programmable-Gate-Array“ ist ein Mikrochip mit einer programmierbaren Digitalschaltung

- **Field-Programmable:** Im Einsatzfeld (auf der Platine) programmierbar
- **Gate-Array:** Feld von Gattern mit
 - mehrere tausend Logikfunktionen (wählbar als UND, ODER, EXOR, ...)
 - mehrere tausend Speicherelemente (Flip-Flops, FFs)
 - Verbindungsnetzwerk
- Funktion und Verdrahtung ist programmierbar (in **blau**)

Vor- und Nachteile:

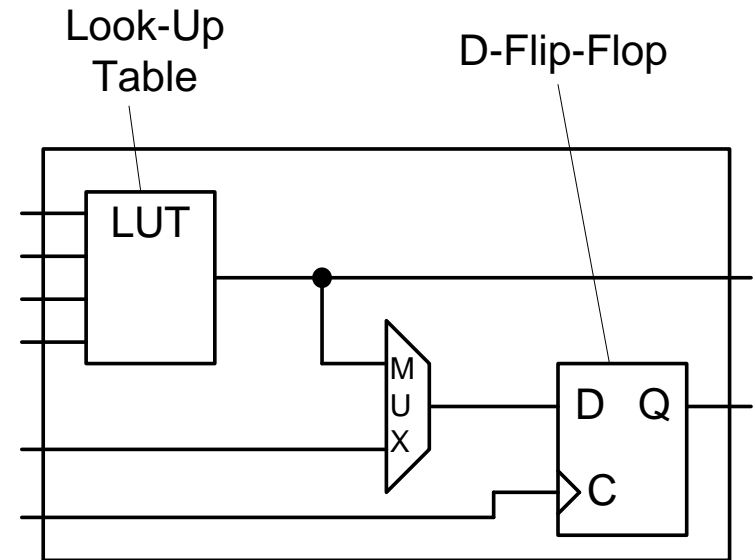
- Leistungsfähigkeit fast wie ASIC
- Keine aufwändige Fertigung nötig
- Aber Stückpreis höher als ASIC



Vereinfachte Darstellung: Reale FPGAs enthalten wesentlich mehr Logikblöcke und Ein-/Ausgänge

Logikblöcke

- Logikblöcke eines FPGAs enthalten kombinatorische Logik sowie ein Flip-Flop (FF)
 - Bezeichnung: **LE** („Logic Element“)
- Die kombinatorische Logik ist als **Look-Up-Table** (LUT) aufgebaut
 - Eine LUT ist ein Speicher, in dem (hier) vier Eingänge den Ausgangswert, wie in einer Funktionstabelle auswählen
- Die Flip-Flops können die Ergebnisse der LUT speichern oder unabhängig benutzt werden



Zum Weiterlesen

- Aufbau der AVM FritzBox 7490 mit FPGA in c't 17/2016, Seite 162
- F. Schwiegelshohn et.al. „FPGA Based Traffic Sign Detection for Automotive Camera Systems,“ IEEE ReCoSoC, 2015.
- M. Park et.al. “Development of an Image Data Acquisition System Using A Multi-Function Front Camera for Automotive Applications“, IEEE ISCE, 2015.

Beide IEEE-Artikel unter <http://ieeexplore.ieee.org>

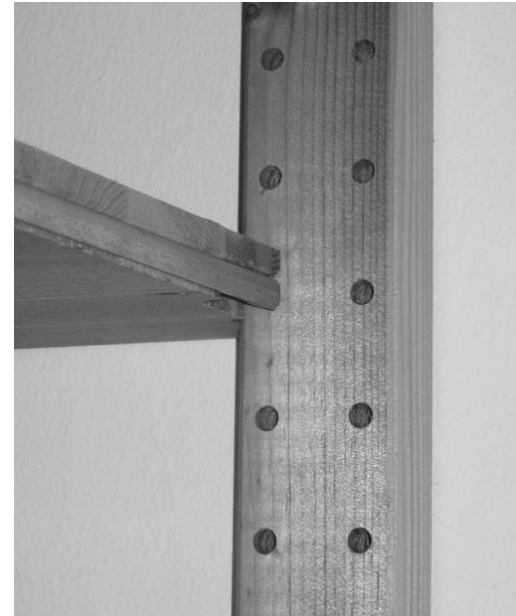
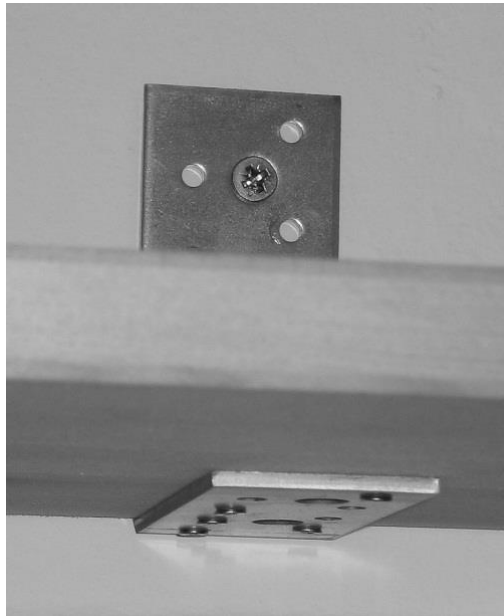
1.3 Digitale und analoge Informationen

Analoge und digitale Größen sind physikalische Größen, die innerhalb eines Dynamikbereiches verschiedene Werte annehmen können

- **Analoge Größen** können (innerhalb des Dynamikbereiches) jeden **beliebigen** Wert annehmen
 - z.B.: Temperatur, elektrische Spannung
- **Digitale Größen** können (innerhalb des Dynamikbereiches) nur **bestimmte**, fest definierte Werte annehmen
 - z.B.: Tabellenplatz eines Fußballvereins

Wortbedeutung: Digital stammt vom lateinischen Wort „digitus“, der Finger

Beispiel: „Analoges“ und „digitales“ Regal



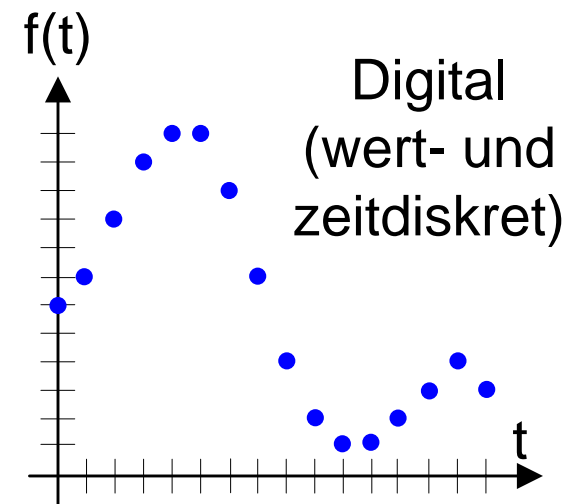
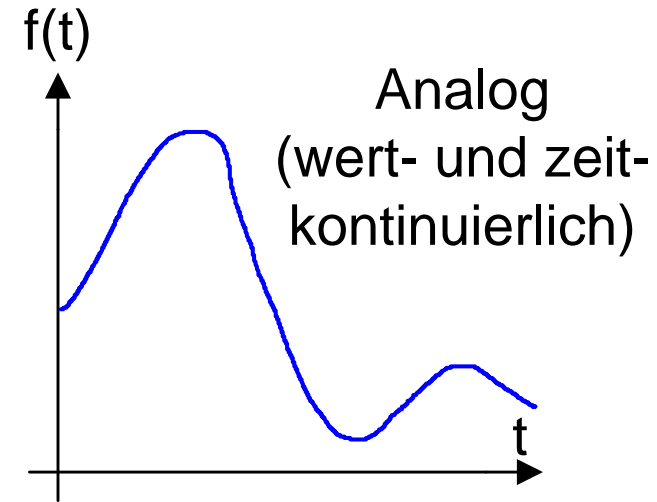
Wert- und zeitdiskrete Größen

Digitale Größen sind üblicherweise sowohl wert- als auch zeitdiskret

- Das heißt, sie sind nur zu **bestimmten Zeiten** definiert und können nur **bestimmte Werte** annehmen

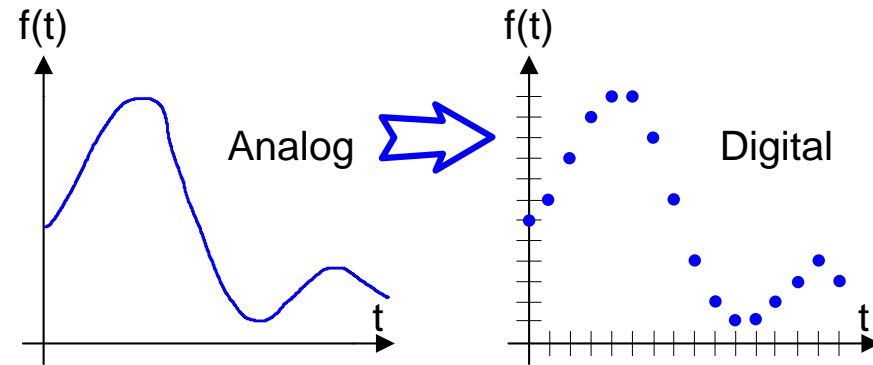
Vokabeln:

- **Analog:** wert- und zeitkontinuierlich
- **Digital:** wert- und/oder zeitdiskret
- **Diskret:** räumliche oder zeitliche Trennung von Objekten oder Ereignissen
- **Binär, dual:** zweiwertig, d.h. eine digitale Größe mit nur **zwei** Werten
 - Digitale Größen werden meist durch Binärzahlen dargestellt; darum wird „binär“ manchmal (nicht ganz korrekt) für den Begriff „digital“ verwendet



Digitalisierung

- Viele Information sind zunächst physikalische Werte und werden durch einen Sensor in analoge elektrische Signale gewandelt
- Für die digitale Verarbeitung und Übertragung werden die Daten **digitalisiert**



Kenngößen der Digitalisierung, hier für Sprache und Musik

- **Auflösung**, also Anzahl an diskreten Werten des Signals
 - Die Auflösung wird meist in bit angegeben; n bit entsprechen 2^n Stufen
 - CDs speichern Audio-Signale mit 16 bit
 - ISDN-Telefonie verwendet nur 12 bit Auflösung
- **Abtastfrequenz** also die Anzahl an digitalen Werten je Sekunde
 - Das **Abtasttheorem** (Nyquist, Shannon) bestimmt die nötige Abtastrate
 - Die Abtastfrequenz muss größer als die doppelte Frequenz des abgetasteten Signals sein
 - Da Töne vom Menschen bis knapp unter 20 kHz wahrgenommen werden können, wird als Abtastrate für CDs 44,1 kHz verwendet

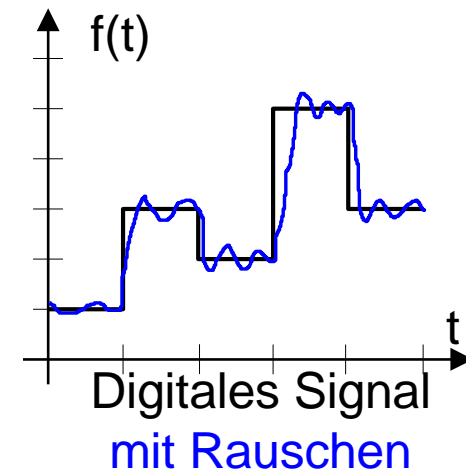
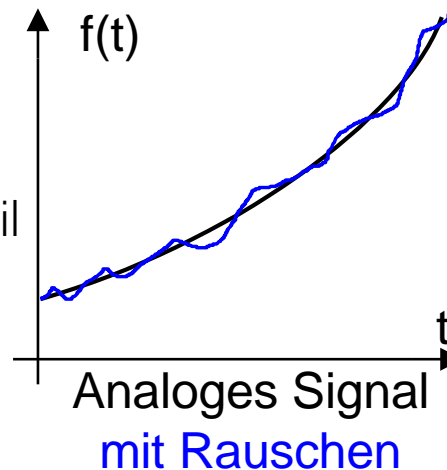
Warum digital?

Nachteil:

- Bei der **Analog-Digital-Wandlung** gehen Informationen **unwiederbringlich** verloren

Vorteil:

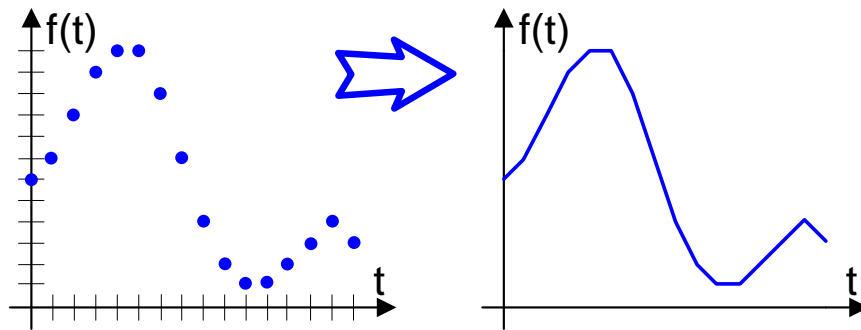
- Der Informationsverlust ist **einmalig** und kann durch Wahl der Anzahl an diskreten Werten praktisch **beliebig klein** gehalten werden
- Digitale Informationen können **verlustfrei** übertragen und gespeichert werden
 - Rauschen kann, in gewissen Grenzen, komplett wieder entfernt werden (siehe Grafik)
- Informationen können digital meist **einfacher und kostengünstiger** verarbeitet und übertragen werden
 - Z.B.: Versand von Fotos per Email
 - Ausnahme: Sehr einfache Bearbeitung



Zeitdiskrete Signale

- Zeitdiskrete Signale sind nur zu bestimmten Zeitpunkten definiert
- Zu anderen Zeitpunkten sind die Signale **undefiniert**
 - Allerdings wird in manchen Darstellungen ein zeitkontinuierliches Signal eingezeichnet (z.B. auf der vorherigen Folie) oder von Messgeräten angezeigt (z.B. Digitalthermometer)
- Das zeitdiskrete Signal kann nach der Verarbeitung wieder in ein zeitkontinuierliches Signal gewandelt werden, meist durch:

Interpolation oder Filterung in einer Digital-Analog-Wandlung (z.B. Audio)



Halten des Ausgangssignals für einen Zeitraum (z.B. Video)

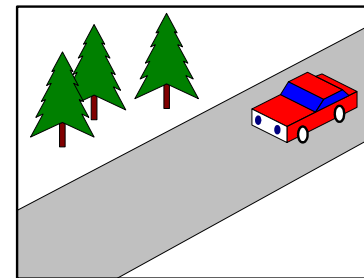


Bild n

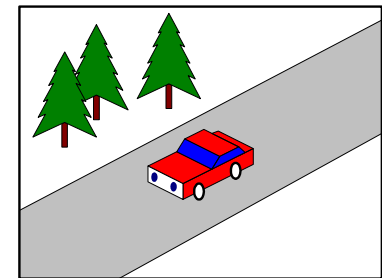


Bild n+1

Stellen im Bereich Digitalaltungen

Deutschlandweite Suche nach „FPGA“ auf vier Jobportalen am 30.8.2016:

- <http://www.monster.de/> ➔ „387 Jobs gefunden“
- <http://www.jobpilot.de/> ➔ 27 Seiten, 15 Angebote je Seite
- <http://www.jobs.de/> ➔ „56 Fpga Stellenangebote und Karriere-Chancen“
- <http://www.stepstone.de/> ➔ „76 Treffer“

Nicht repräsentative Momentaufnahme

- Auch Abschlussarbeiten
- Teilweise Berufserfahrung gefragt
 - Dies kann allerdings verhandelbar sein
- Recherchieren Sie selbst 😊

Stellensuche „FPGA“

MONSTER

Lebenslauf Jobs

IHRE SUCHERGEBNISSE
KÖNNEN SIE WEITER
EINGRENZEN:

LAND:

SORTIEREN NACH:

UNTERNEHMEN:

VERTRAGSART
☐ Festanstellung
☐ Freie Mitarbeit / Dienstvertrag
☐ Praktikum
☐ Vollzeit
☐ Teilzeit
☐ Befristet
☐ Student
☐ Berufsausbildung
☐ Diplomarbeit

FÄHIGKEITEN:

jobpilot.de fpga

fpga Jobs und Stellenangebote.

Werkstudent (m/w) Steuerungstec
Automatisierung
JacoL - FPGA Entwicklungen GmbH

Abschlussarbeit - VHDL-/FPGA-Ent
automobile Bus-Systeme
MicroNova AG

Werkstudent - VHDL-/FPGA-Entwic
MicroNova AG

Praktikant - VHDL-/FPGA-Entwickl
MicroNova AG

Senior FPGA Entwickler (m/w)
Primeo GmbH

Senior FPGA Entwickler (m/w) im E
Fahrerassistenzsysteme
MINT Solutions GmbH

(Senior) FPGA Entwickler/in
Personio GmbH

Entwicklungsingenieur (m/w) FPGA
IPN Brainpower GmbH & Co. KG

FPGA-Entwickler (m/w)
FERCHAU Engineering GmbH

Verifizierungsingenieur - Senior Ve
Engineer (m/f)
Swarm64 AS Zweigstelle Hive

Elektronik-Entwicklungsingenieur
BBH Products

Senior RTL Design Engineer (m/f)
Swarm64 AS Zweigstelle Hive

Hardware-Entwicklung (w/m)
Silicon Software GmbH

Praktikant/in im Bereich Entwickl
Antriebssysteme
LuK GmbH & Co. KG

Elektronikentwickler (m/w)
FERCHAU Engineering GmbH

JOBS.DE

56 Fpga Stellenangebote und Karriere-Chancen

Erstellen Sie eine Job-Benachrichtigung

Was: Wo: Radius

Sortieren nach Relevanz | Datum | Standort |

Elektronikentwickler FPGA (m/

Hays AG In Jena 9 Tage

+2 weitere Stellenangebote von Hays AG

Entwicklungsingenieur FPGA D

JOB AG Technology GmbH Bremen 27 Tage

Entwicklungsingenieur FPGA (n

Hays AG In Baden-Württemberg 7 Tage

FPGA VHDL Embedded Entwicl
Vivado (m/w)

Scherer Ingenieure Erlangen 29 Tage

Hardwareentwicklung Medizint
(m/w)

Elektronikentwickler (m/w)
FERCHAU Engineering GmbH

1 2 3 4 5 6 ... 27 >>

Was: Wo: Suchen

Ihre Suche nach FPGA ergab 67 Treffer
NEUE JOBS ZU MEINER SUCHE PER E-MAIL

Vistec	Elektronikentwickler (m/w) FPGA Vistec Electron Beam GmbH	Jena 19.08.16
KEYSIGHT TECHNOLOGIES	FPGA Development Engineer (m/f) Keysight	Böblingen 23.08.16
KEYSIGHT TECHNOLOGIES	FPGA Development Engineer (m/f) Keysight	Böblingen 19.08.16
HAYS	Elektronikentwickler FPGA (m/w) Hays	Jena 22.08.16
AIRBUS GROUP	FPGA Developer (w/m) Airbus Defence & Space	Friedrichshafen 19.08.16
ATLAS ELEKTRONIK	FPGA-SW Entwicklungsingenieur (m/w) ATLAS ELEKTRONIK GmbH	Bremen 22.08.16
imc	Entwickler (m/w) für die digitale Hardware und FPGA imc Meßsysteme GmbH	Berlin 23.08.16

Jobs per E-Mail