



## Grundlagen und Bauelemente der Elektronik

Dipl. Ing. Mario Blunk

Buchfinkenweg 3 / 99097 Erfurt / Deutschland  
<http://www.blunk-electronic.de>

2022-09-24

## Abstract

In diesem Seminar werden Ihnen die Grundlagen der Elektronik, sowie die Funktion wichtiger elektronischer Bauteile vermittelt. Sie lernen die Besonderheiten in Kennzeichnung, Bauform und Montage der Bauteile kennen. Typische Einsatzbereiche und Schaltungen dieser elektronischen Komponenten werden behandelt, sodaß Sie deren Funktion einordnen und verstehen können. Nach dem Seminar können Sie die Funktion der Bauteile auf Schaltplänen erkennen. Sie lernen das Lesen und Anwenden von Datenblättern und Kennlinien, um Bauelemente nach Spezifikation zu beurteilen und auszuwählen.

Durch Verweise auf zahlreiche Literaturquellen ist der Teilnehmer abschließend in der Lage, sich vertiefendes Fachwissen anzueignen. Das Seminar wird durch viele Beispiele aus der realen Berufspraxis anschaulich und verständlich gehalten.

1. Grundlagen der Elektrotechnik/Elektronik
2. diskrete Bauelemente (S, F, R, L, C, D, T, LED, ...)
3. Kennlinien
4. typische Schaltungen und Beispiele
5. Bauelemente auf Baugruppen und in Schaltplänen erkennen

1. integrierte analoge und digitale Schaltungen (IC)
2. Verstärker
3. Speicher, Mikrocontroller, Mikroprozessoren, Speicher
4. Gleichrichtung und Spannungsversorgung
5. Kühlung von Halbleiterbauelementen

# Das Ziel

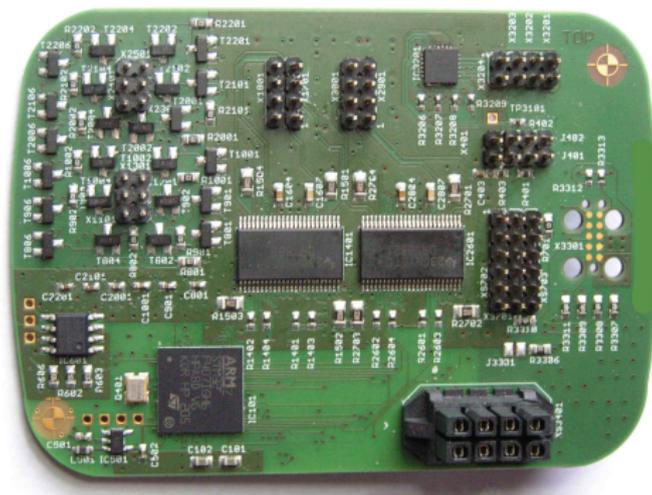


Figure 1: PCBA mit STM32F407 in medizinischer Anwendung

# Entwicklung und Fertigung von Elektronik

Achtung Manager: Elektronik macht man nicht nebenbei !!!

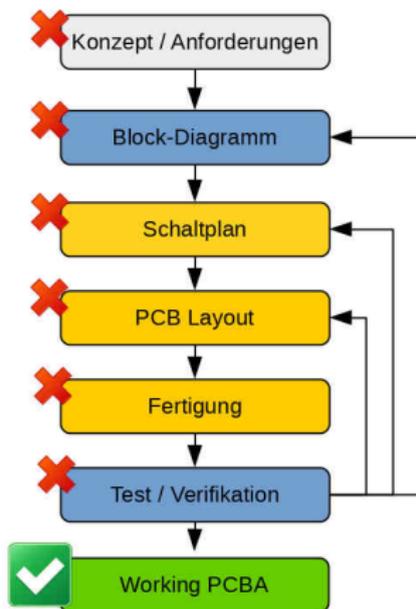


Figure 2: Entwicklung und Fertigung Ablauf

# Grundlagen 1

## Irrtümer



<https://www.gemeinde-hohenwarte.de/bilder/rohrbahnbau.jpg>

1. Es gibt keine "Stromspannung" !
2. Spannung fließt nicht !

# Grundlagen 2

## Spannung, Strom und ohmscher Widerstand

1. Die Ursache für einen Stromfluß ist immer eine Spannung  $U$ .
2. Spannung besteht zwischen Objekten verschiedenen Potentials.
3. Der Strom  $I$  fließt vom höheren zum niedrigeren Potential (techn. Stromrichtung).
4. Strom ist die gerichtete Bewegung von Ladusträgern (Elektronen, Ionen. ...).
5. Der Stromfluß wird durch den ohmschen Widerstand  $R$  behindert.
6. Das Ohmsche Gesetz bringt  $U$ ,  $I$  und  $R$  mathematisch in Verbindung.

$$I = \frac{U}{R} \text{ oder } R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

# Diskrete Bauelemente

1. Schalter (S)
2. Sicherungen (F)
3. Relais (K)
4. Steckverbinder (X)
5. Widerstände (R)
6. Kondensatoren (C)
7. Spulen / Induktivitäten (L)
8. Dioden (D, LED)
9. Transistoren (T)
10. Thyristoren (Th)
11. Röhren (Tub)

# Technologien der Montage

- ▶ konventionelle Bestückung
- ▶ bedrahtete Bauelemente
- ▶ THT - Through-Hole-Technology
- ▶ Gehäusebezeichnungen: 0207, TO18, TO220, TO254, ...
- ▶ [https://www.topline.tv/TopLine\\_Catalog.pdf](https://www.topline.tv/TopLine_Catalog.pdf)
  
- ▶ Oberflächenmontage
- ▶ SMT - Surface Mount Technology
- ▶ SMD - Surface Mounted Device
- ▶ Gehäusebezeichnungen: 0805, 0603, SOT23, SO14, TQFP144, ...
- ▶ [https://www.topline.tv/SMT\\_Nomenclature.pdf](https://www.topline.tv/SMT_Nomenclature.pdf)

# Schalter und Relais 1

## Symbole und Bauformen



Figure 3: Symbole Schalter



Figure 4: Symbole Relais

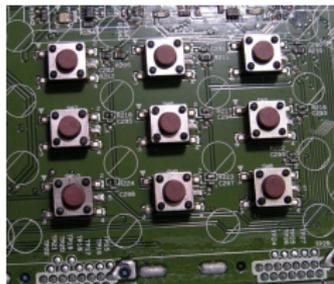


Figure 5: Taster

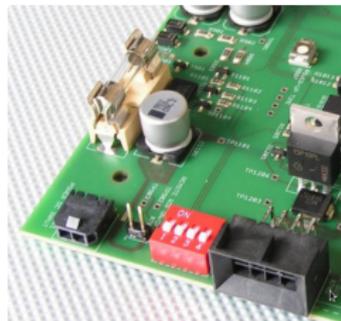


Figure 6: DIL-Schalter



Figure 7: Relais

# Sicherungen

## Symbole und Bauformen

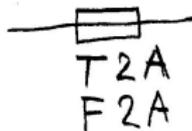


Figure 8: Symbol Sicherung



Figure 9: Sicherungen im THT-Sockel

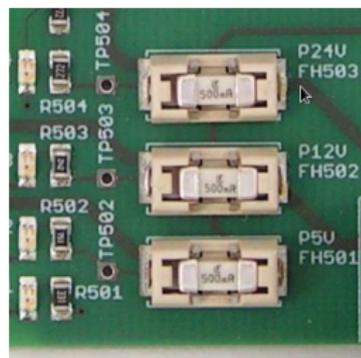


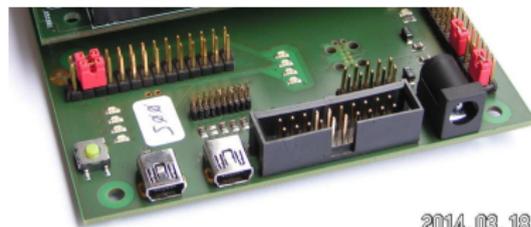
Figure 10: Sicherungen im SMD-Sockel

# Steckverbinder

## Symbole und Bauformen



Figure 11: Symbol Steckverbinder



2014.03.18

Figure 12: USB / Pfostenleisten, Hohlstecker

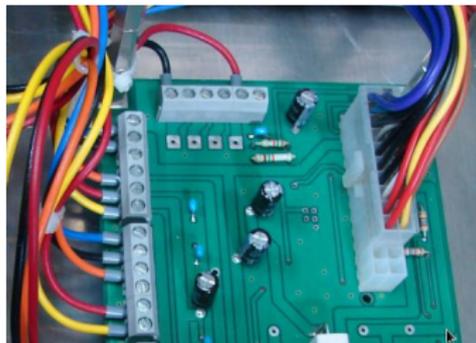


Figure 13: Schraubklemmen / Minifit



Figure 14: Flachband / Pfostenleisten

# Widerstände 1

## Symbole und Bauformen

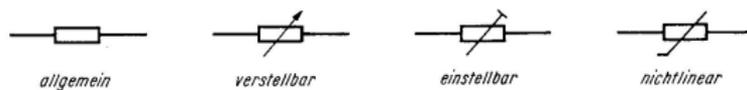


Figure 15: Symbol Widerstände[2]



Figure 16: THT-Widerstände

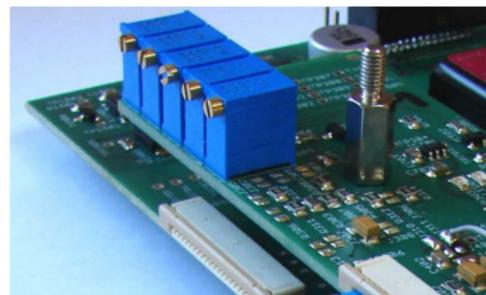


Figure 17: einstellbare Widerstände

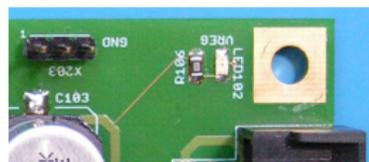


Figure 18: SMD-Widerstand

# Widerstände 2

## Kennlinie

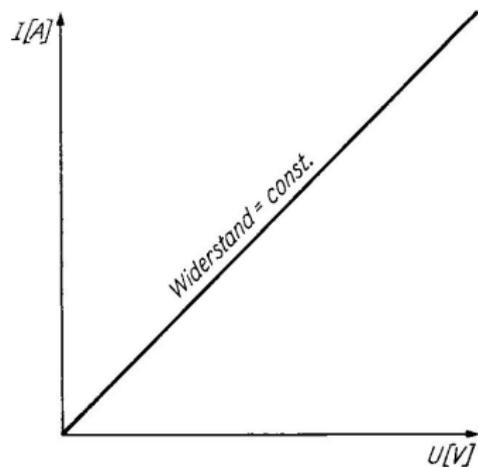


Figure 19: Kennlinie eines ohmschen Widerstandes[1]

$$R = \frac{U}{I} \quad (2)$$

# Widerstände 3

## Farbkennzeichnung / Farbcodes

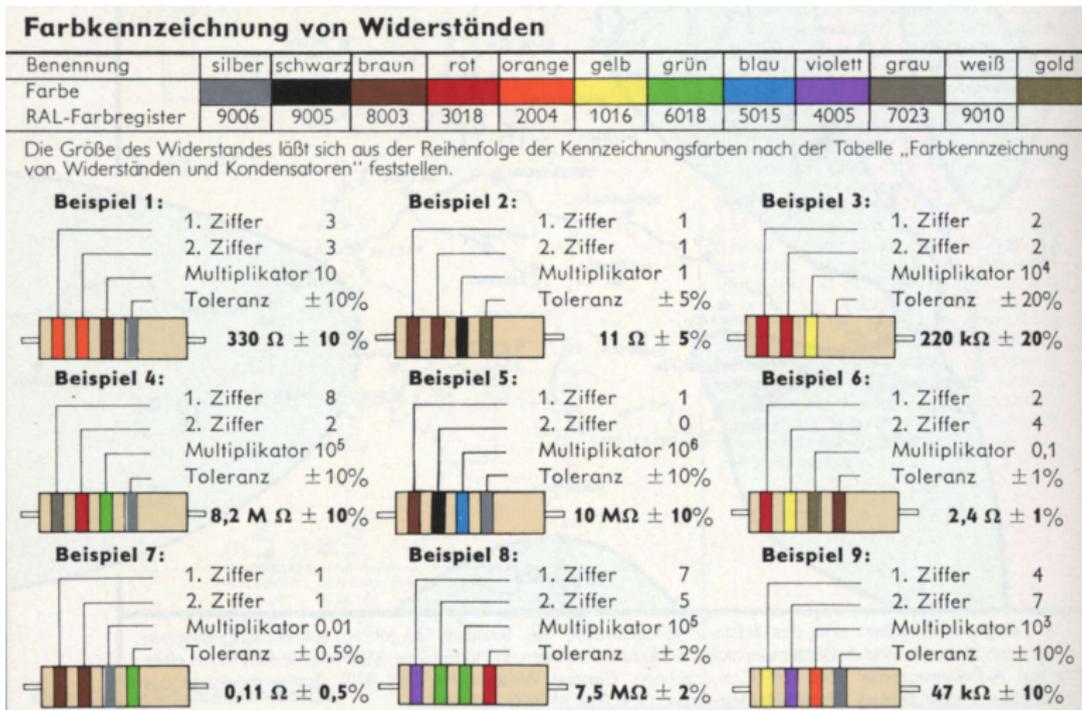


Figure 20: Farbkennzeichnung von Widerständen[6]

# Beispiele Grundstromkreise

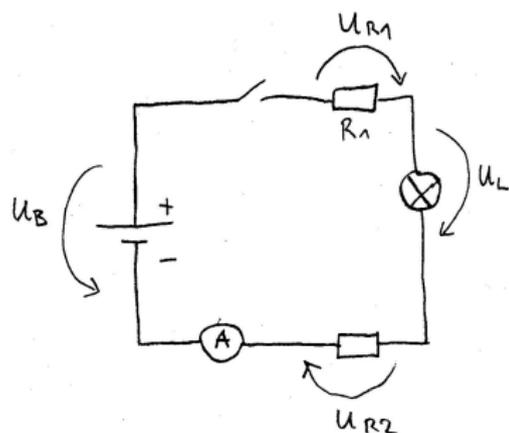


Figure 21: unverzweigter Stromkreis

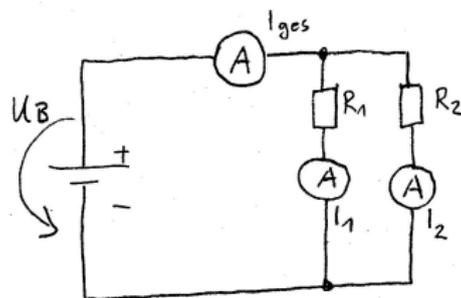


Figure 22: verzweigter Stromkreis

# Kondensatoren 1

## Kondensatoren: Kapazität C

1. Ein Kondensator speichert elektrische Energie in einem elektrischen Feld.
2. Der Strom durch den Kondensator ist nicht synchron zur anliegenden Spannung  $\rightarrow$  Impedanz.
3. Vergleich mit Mechanik: Ein Ballon, der mit Druckluft aufgepumpt wird.
4. Für Gleichspannung  $\rightarrow$  Unterbrechung
5. Für Wechselspannung  $\rightarrow$  frequenzabhängiger Widerstand

$$I = \frac{C \cdot U_{DC}}{t} \quad (3)$$

Zum Zeitpunkt 0 ist I unendlich groß. Nach unendlich langer Zeit ist I Null.

# Kondensatoren 2

## Kennlinie beim Aufladen

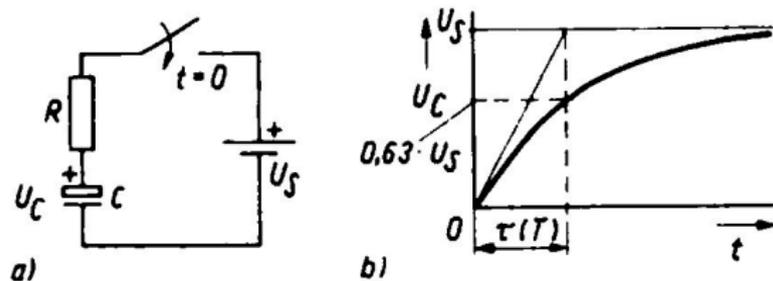


Figure 23: Aufladen eines Kondensators[33]

# Kondensatoren 3

## Symbole und Bauformen

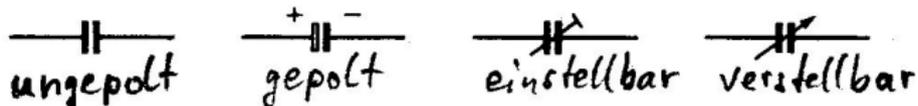


Figure 24: Symbole im Schaltplan[2]



Figure 25: Kondensatoren THT/SMD

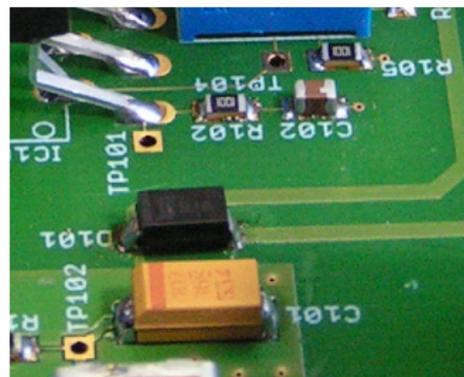


Figure 26: SMD-Kondensatoren

# Induktive Bauelemente 1

## Induktivität L

1. Eine Induktivität (Spule) speichert elektrische Energie in einem magnetischen Feld.
2. Der Strom durch den Kondensator ist nicht synchron zur anliegenden Spannung  $\rightarrow$  Impedanz.
3. Vergleich mit Mechanik: Ein Auto, das angeschoben wird.

$$I = \frac{U_{DC} \cdot t}{L} \quad (4)$$

Zum Zeitpunkt 0 ist I Null. Nach unendlich langer Zeit ist I unendlich groß.

# Induktive Bauelemente 2

## Symbole und Bauformen

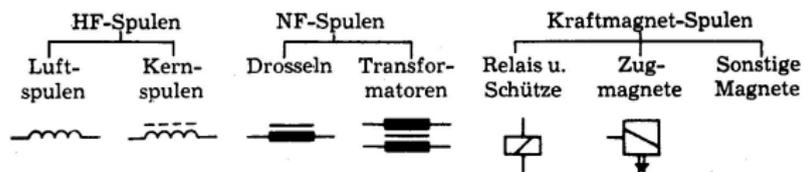


Figure 27: Symbole[2]

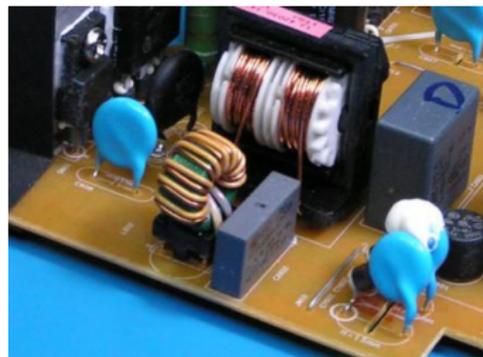


Figure 28: THT-Spule

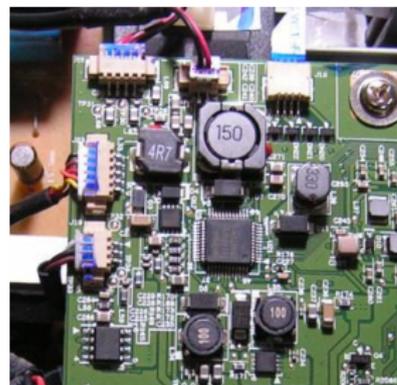
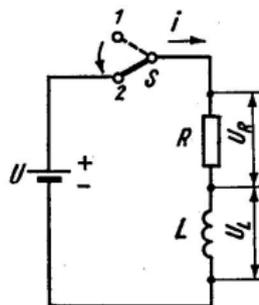


Figure 29: SMD-Spule

# Induktive Bauelemente 3

## Kennlinie beim Aufladen/Magnetisieren



**Bild 4.9. Einschalten einer Reihenschaltung von Widerstand  $R$  und Spule  $L$**

$i$  Augenblickswert des Stroms;  
 $u_L$  Augenblickswert der Spulenspannung;  
 $u_R$  Augenblickswert des Spannungsabfalls am Widerstand

**Bild 4.10. Abhängigkeit des Stroms  $i$  (a) und der Spulenspannung  $u_L$  (b) von der Zeit  $t$  beim Einschalten eines induktiven Stromkreises**

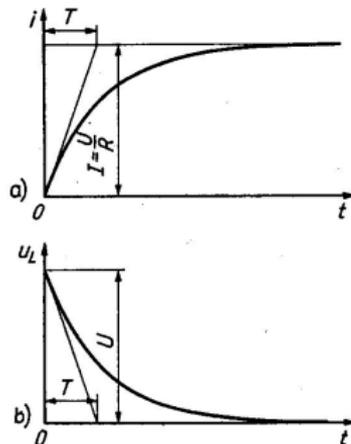
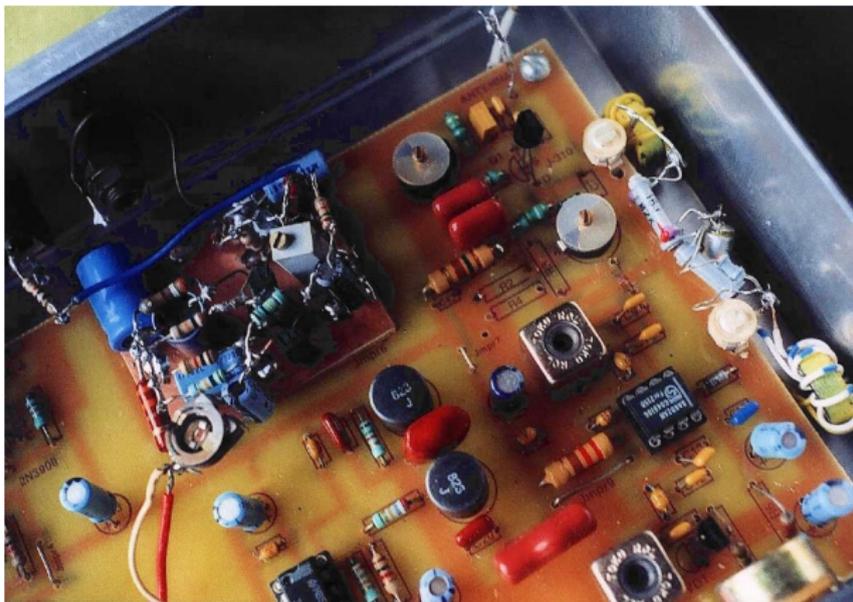


Figure 30: Aufladen/Magnetisieren einer Spule[33]

# Zusammenfassung R/C/L



<https://portia.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/RJove/filters.html>

# Dioden 1

## Symbole und Bauformen

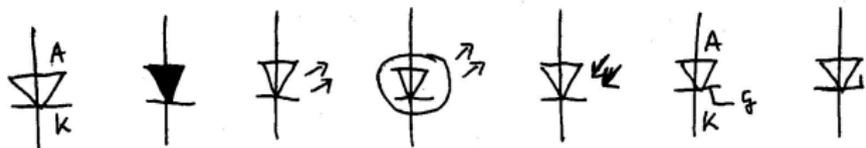


Figure 31: Symbole

1. Eine Diode erlaubt Stromfluß in nur einer Richtung.
2. Mindestspannung / Mindeststrom nötig
3. Kennlinie  $U$  vs.  $I$  nicht linear



# Dioden 3

## Displays 1

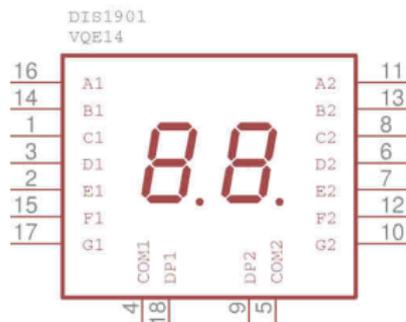


Figure 36: Symbol



Figure 37: 7-Segment Anzeige in THT

# Dioden 4

## Kennlinien

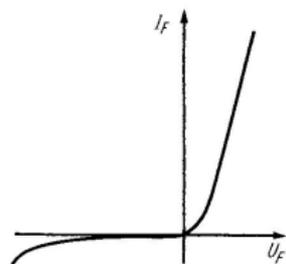


Figure 38: allgemein[2]

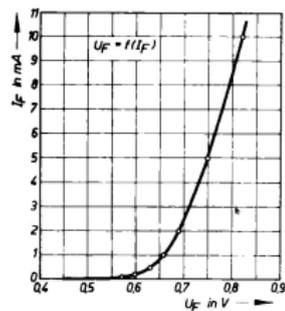


Figure 39: allgemein[3]

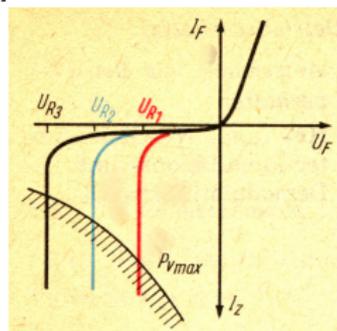


Figure 40: Z-Diode[2]

# Dioden 5

## Beispiel Durchlaß- und Sperrichtung

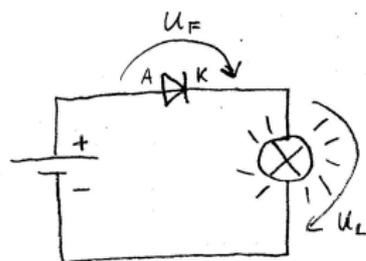


Figure 41: Durchlaß- oder Vorwärtsbetrieb

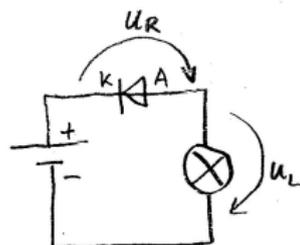


Figure 42: Sperr- oder Rückwärtsbetrieb

# Transistoren 1

1. Ein Transistor ist ein Verstärker.
2. Verwendung als Schalter (Digitaltechnik)
3. Verwendung als Signalverstärker (Analogtechnik)
4. Handhabung Bipolar-Transistor unkompliziert
5. Handhabung SFET/MOSFET aufwendig wg. ESD
6. Ansteuerung SFET/MOSFET fast leistungslos

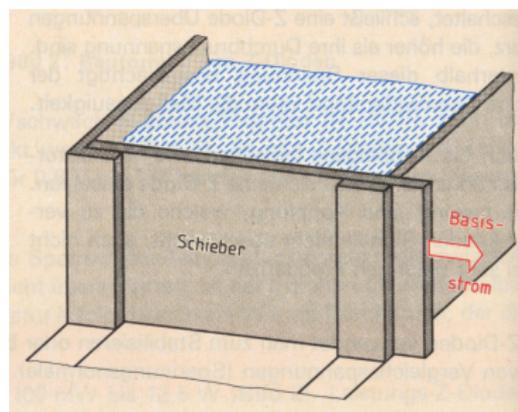


Figure 43: Transistoren[4]

# Transistoren 2

## Typen

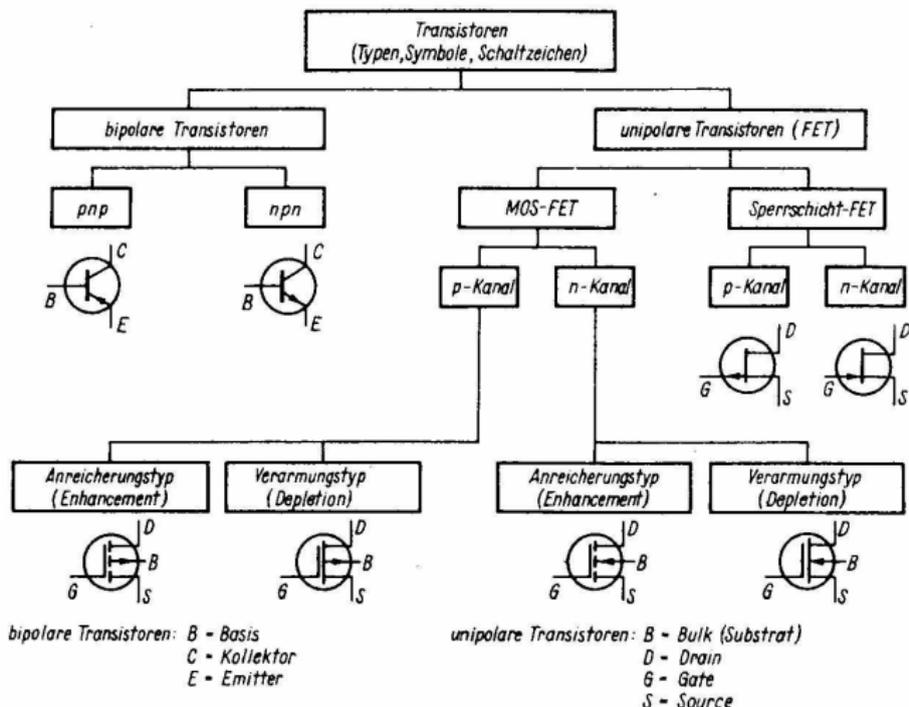


Figure 44: Transistoren[28]



# Transistoren 4

## Kennlinien Bipolartransistor

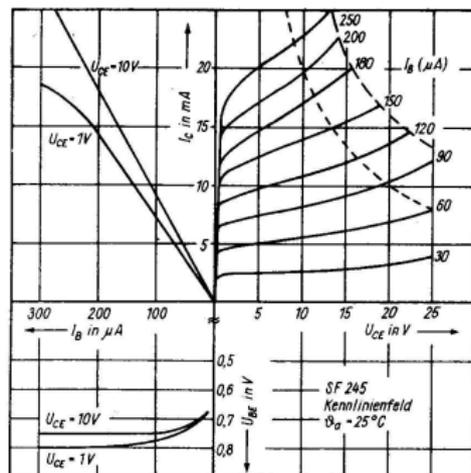


Figure 51: Kennlinie Bipolartransistor[28]

# Transistoren 5

## Kennlinien Feldeffektransistor

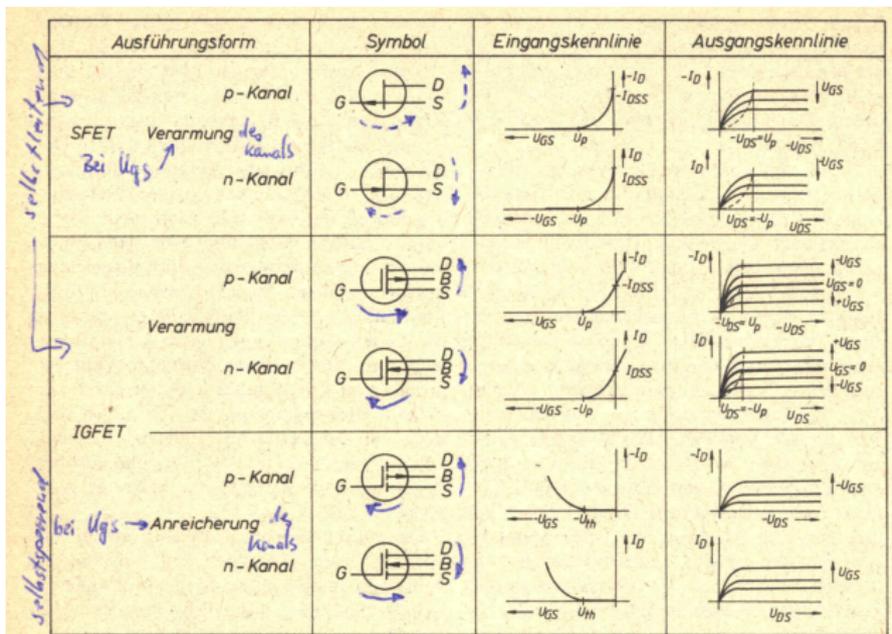


Bild 1.14. Übersicht der FET Ausführungsformen

Zeichenerklärung: B – Bulk; D – Drain; G – Gate; S – Source;  $I_D$  – Drainstrom;  $I_{DSS}$  – Drain-Source-Kurzschlußstrom bei  $U_{GS} = U_{GS} = 0$ ;  $U_{GS}$  – Gate-Source-Spannung;  $U_{DS}$  – Drain-Source-Spannung;  $U_{th}$  – Schwellspannung (engl.: threshold voltage);  $U_p$  – Abschürspannung (engl.: pinch off voltage)

Figure 52: Kennlinien von Feldeffektransistoren[17]

# Transistoren 6

## Bipolar-Transistoren

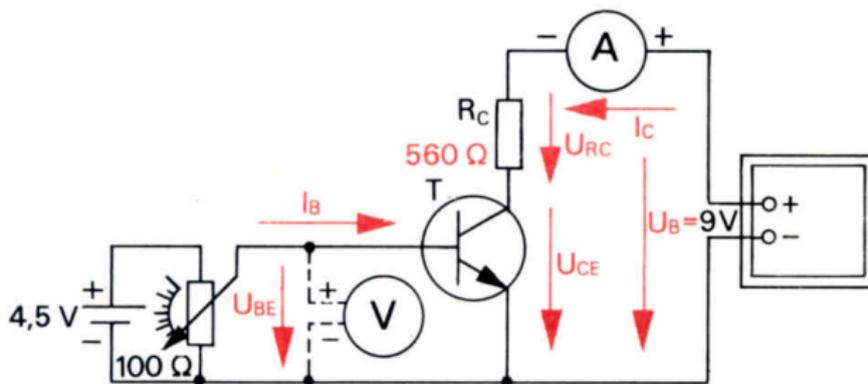


Figure 53: Testschaltung [16]

### Achtung !

Versuch beginnen mit Potentiometer am unteren Anschlag !  $U_{BE}$  max. 0,8V ! Evtl. Basistrom überwachen !

# Transistoren 7

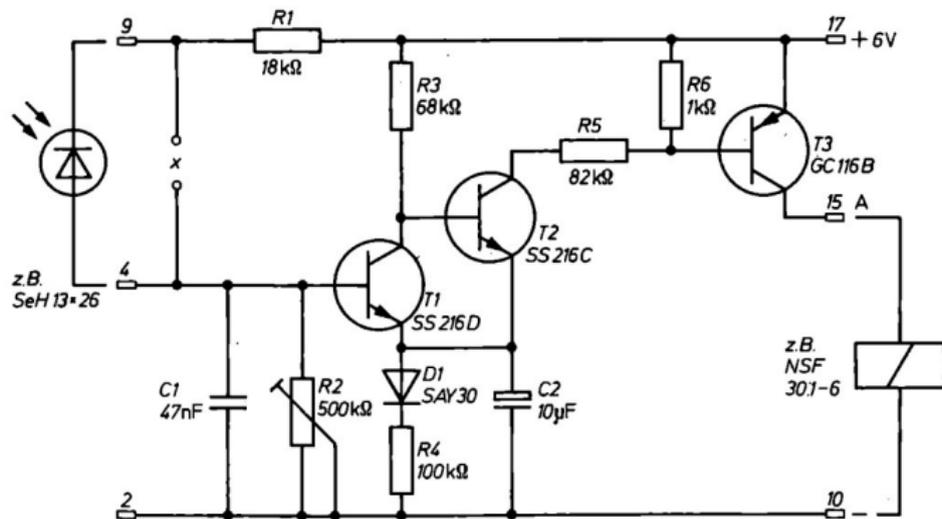


Figure 54: Beispiel Lichtempfindlicher Schalter[30]

# Transistoren 8

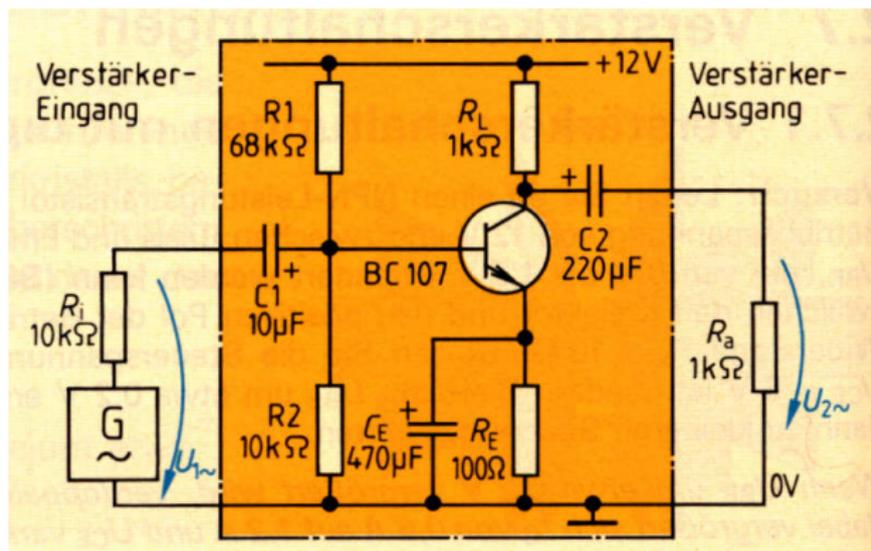


Figure 55: Beispiel NF-Verstärker[5]

# Transistoren 9

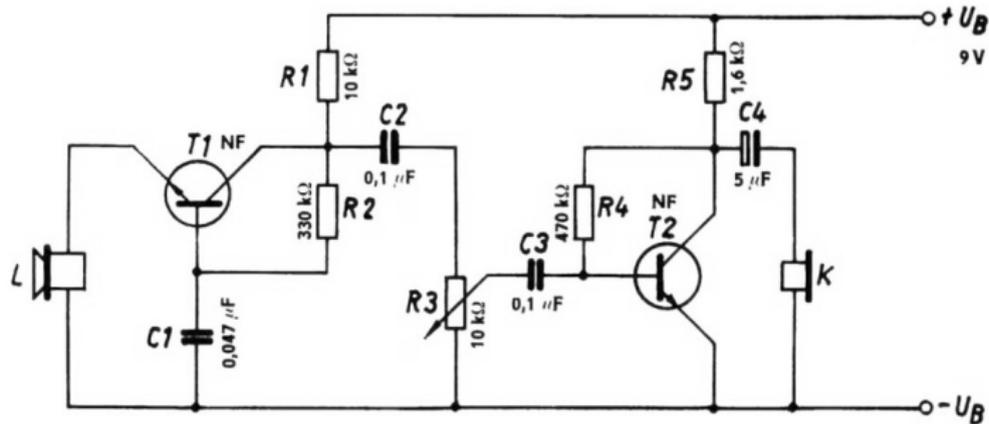


Figure 56: Beispiel Mikrofon-Verstärker[32]

# Integrierte Schaltungen 1

analog	digital	gemischt
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Spannungsregler</li><li>▶ Operationsverstärker</li><li>▶ Verstärker (allgemein)</li><li>▶ Diodenarrays</li><li>▶ Transistorarrays</li><li>▶ Multiplexer</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ AND, NAND, OR, NOR, XOR</li><li>▶ Flip-Flop (D, JK)</li><li>▶ Zähler</li><li>▶ Register</li><li>▶ Multiplexer</li><li>▶ Treiber (Buffer)</li><li>▶ Speicher</li><li>▶ Mikroprozessoren (CPU)</li><li>▶ Mikrocontroller (MCU)</li><li>▶ Signalprozessoren (DSP)</li><li>▶ CPLD / FPGA / GAL</li><li>▶ System-On-Chip (SoC)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ AD-Wandler</li><li>▶ DA-Wandler</li><li>▶ DSS (Direkte Signal Synthese)</li><li>▶ Motortreiber</li><li>▶ LED-Treiber</li><li>▶ MOSFET-Treiber</li></ul>

# Integrierte Schaltungen 2

## Bauformen in SMT

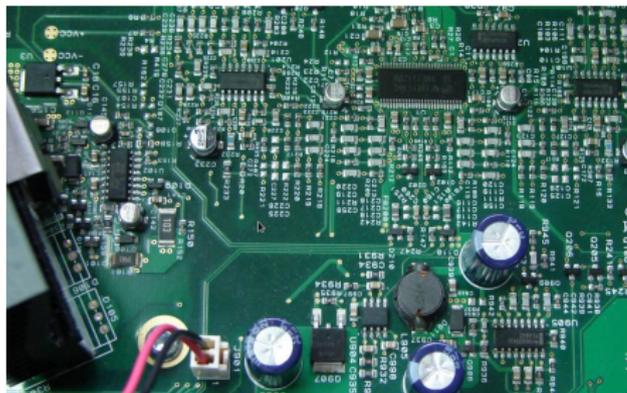


Figure 57: 7x im SOx Gehäuse

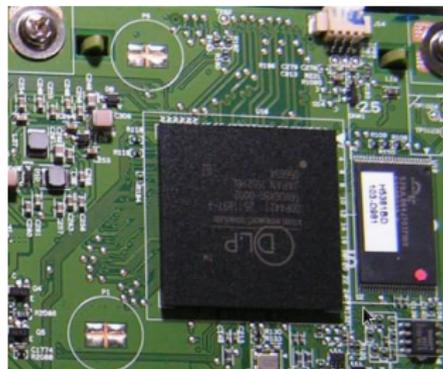


Figure 58: BGA

BGA: Ball Grid Array

# Integrierte Schaltungen 3

## Bauformen in THT



Figure 59: TO220 und herstellerspezifisch (TRACO)



Figure 60: TO100, TO92, TO220

# Beispiel: Spannungsversorgung mit Überspannungsschutz

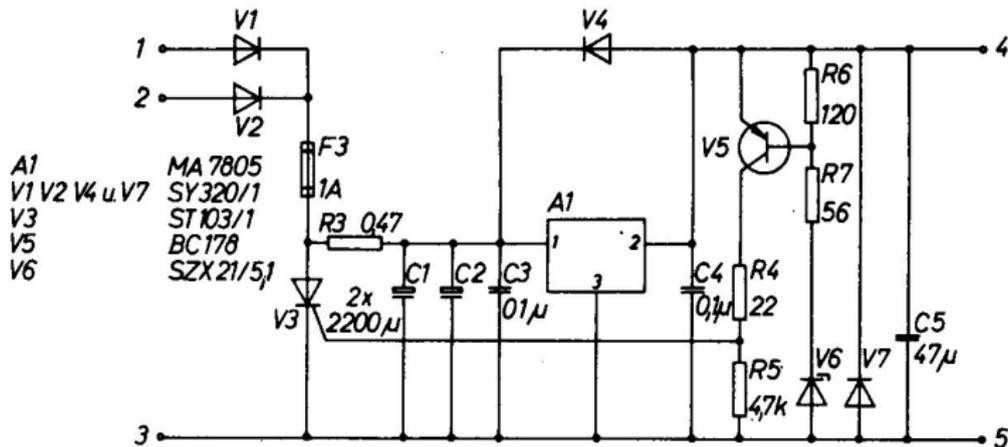


Figure 61: Spannungsversorgung[10]

# Operationsverstärker (OPV) 1

1. Ein OPV verstärkt die Spannung zwischen + und - Eingang
2. + nichtinvertierend, - invertierender Eingang
3. Spannungsversorgung symmetrisch oder unsymmetrisch

Verwendung als:

1. Komparator (Vergleicher)
2. Signalverstärker (z.B. Audiotechnik)
3. Schmitt-Trigger (z.B. Straßenbeleuchtung)
4. Rechner (addieren, subtrahieren, ...)
5. Signalaufbereitung vor AD-Wandlern
6. Signalaufbereitung nach DA-Wandlern

# Operationsverstärker 2

Spannungsversorgung vereinfacht

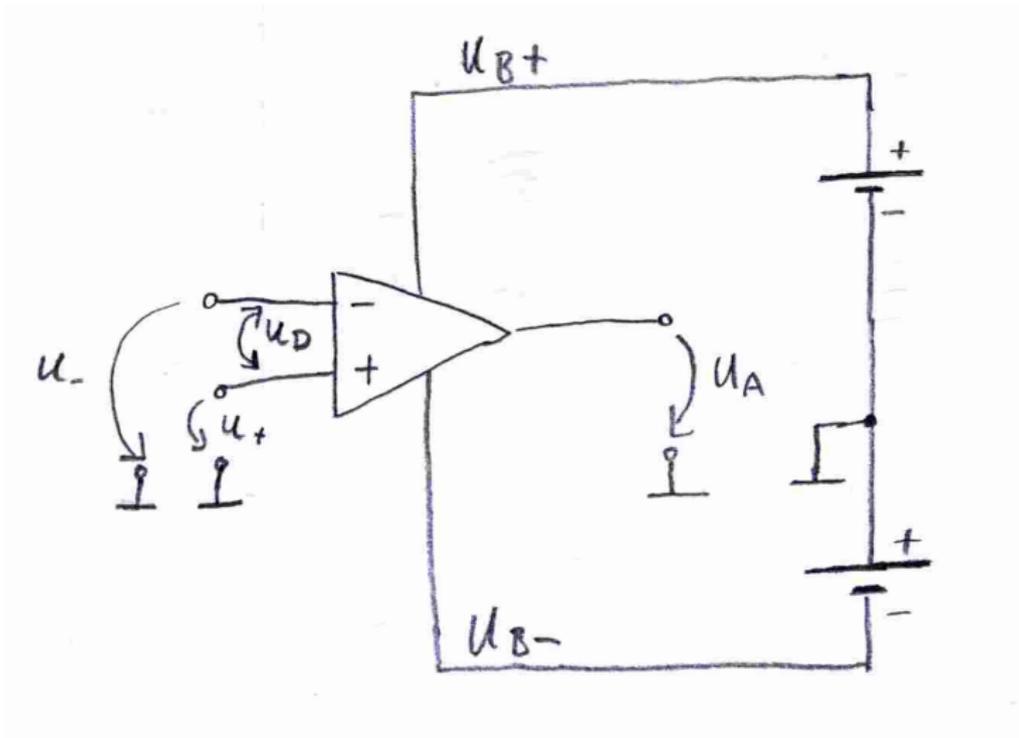
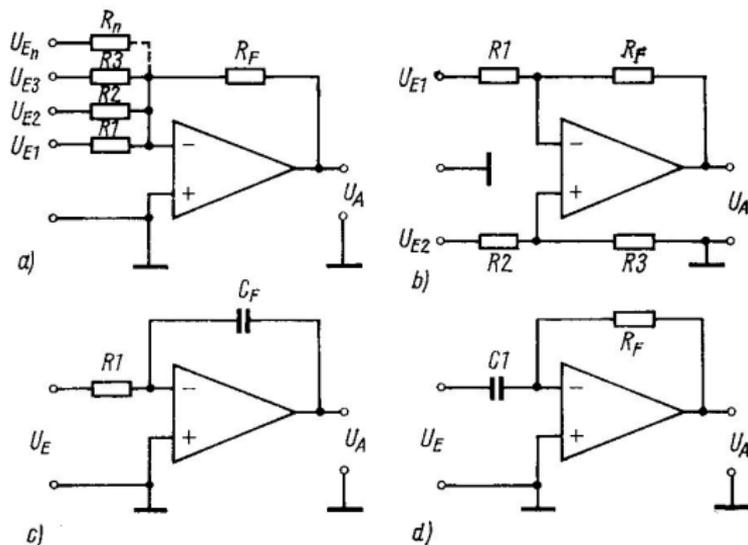


Figure 62: Spannungsversorgung

# Operationsverstärker 3

## Grundsaltungen



**Bild 6** Grundsaltungen von Operationsverstärkern;

a – Summierverstärker, b – Differenzverstärker,

c – Integrierverstärker, d – Differenzierverstärker

Figure 63: Grundsaltungen[11]

# Operationsverstärker 4

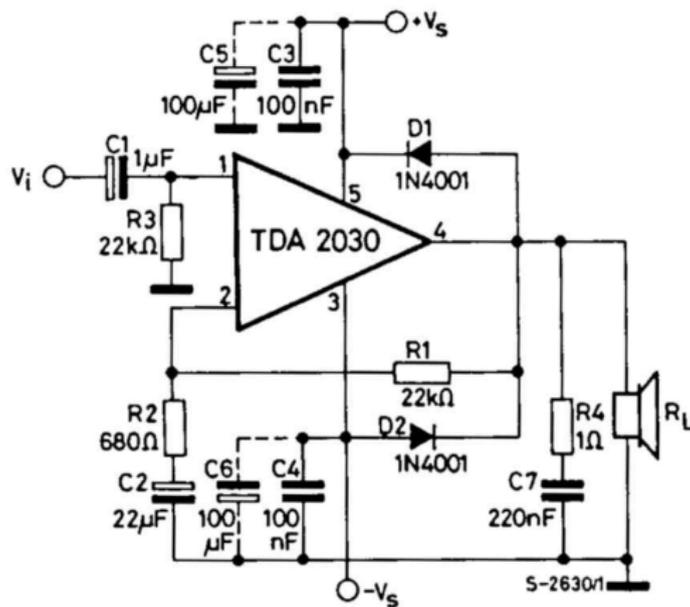


Figure 64: Beispiel NF-Verstärker[12]

# Operationsverstärker 5

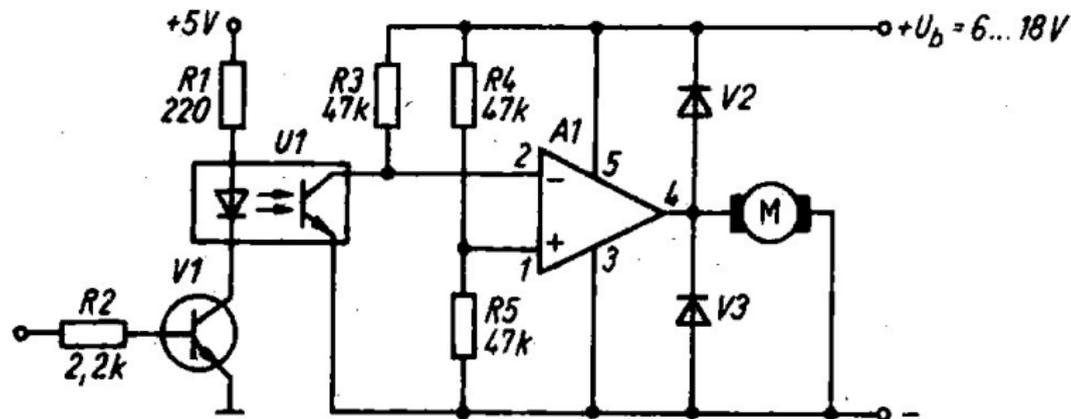


Figure 65: Beispiel Motor-Treiber mit Schnell-Stop[24]

Für A1 TDA2030 oder L165 verwendbar.

# Operationsverstärker 6

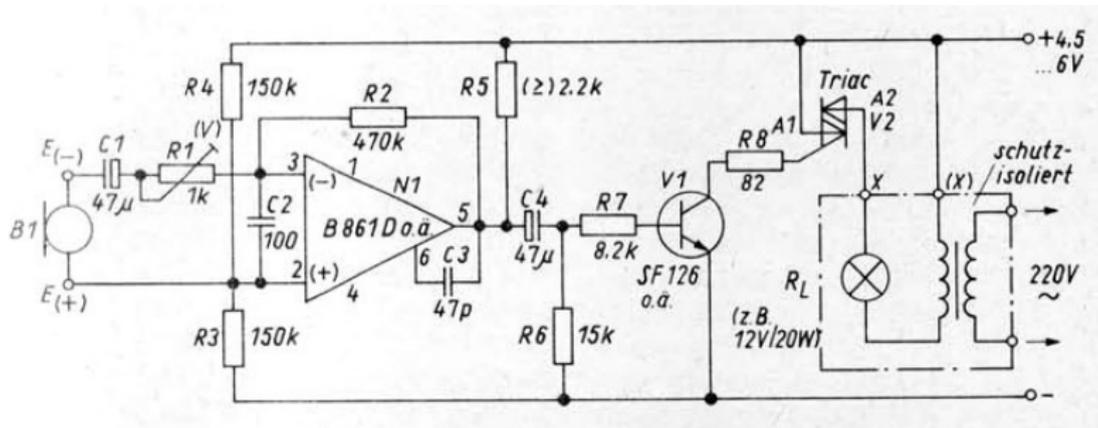


Figure 66: Beispiel Schallgesteuerte Lampe (Licht-Organ)[33]

# Energieversorgung 1

1. Gleichrichtung
2. Lineare Regler
3. Schaltregler

Nebenbaustellen:

1. Wärmeabführung
2. Störunterdrückung (Hochfrequenzbereich)

# Energieversorgung 2

## Ein- und Ausgangsgrößen

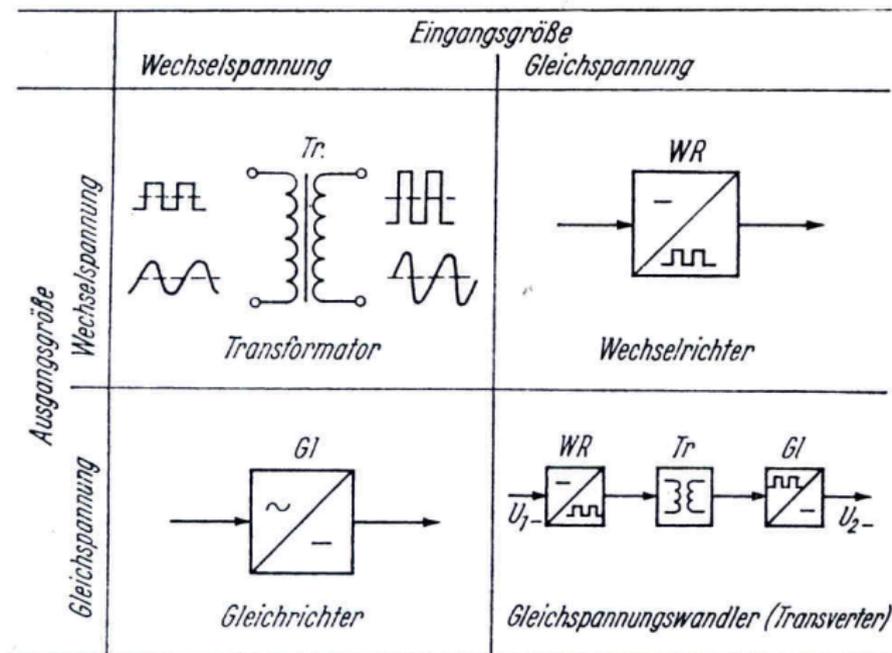


Figure 67: Ein- und Ausgangsgrößen[9]

# Energieversorgung 3

## Lineares geregeltes Netzteil: Blockschaltung

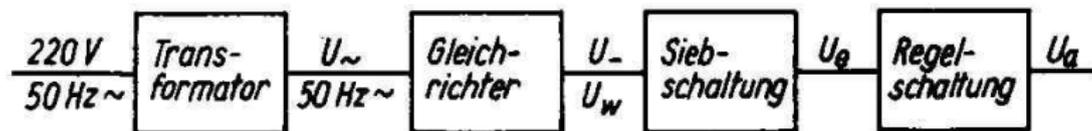


Figure 68: Blockschaltung [18]

# Energieversorgung 4

## Geregeltes Schalt-Netzteil: Blockschaltung

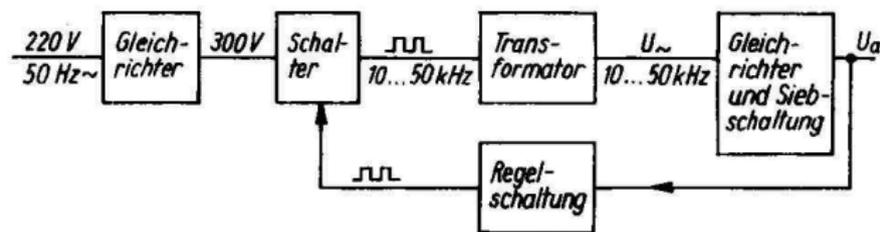


Figure 69: Blockschaltung [18]

# Energieversorgung 5

## Einweg-Gleichrichtung

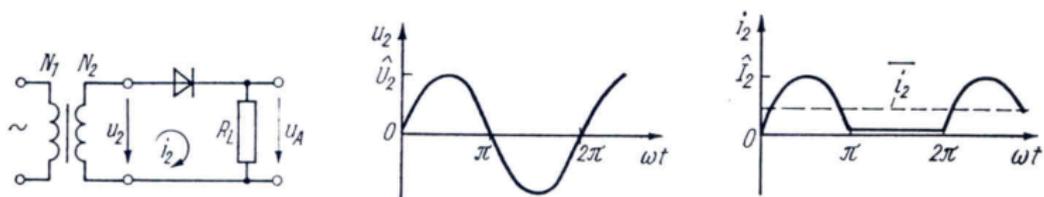


Figure 70: Transformator und Diode [9]

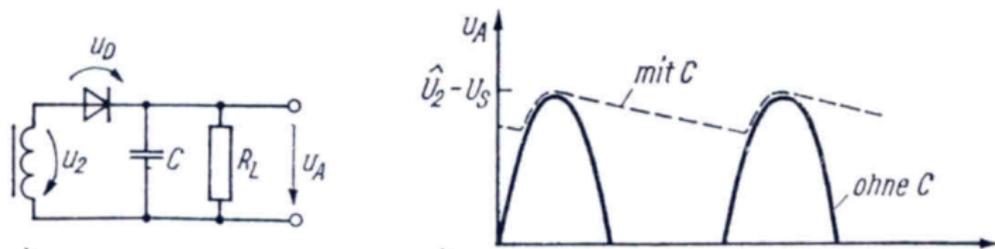


Figure 71: mit Kondensator zur Glättung [9]

Zur Dimensionierung siehe [28].

# Energieversorgung 6

## Zweiweg-Gleichrichtung

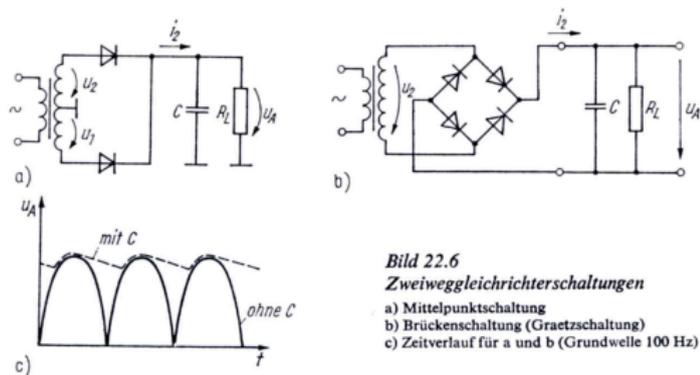


Bild 22.6  
Zweiweggleichrichterschaltungen

- a) Mittelpunktschaltung
- b) Brückenschaltung (Graetzschaltung)
- c) Zeitverlauf für a und b (Grundwelle 100 Hz)

Figure 72: Brücke [9]

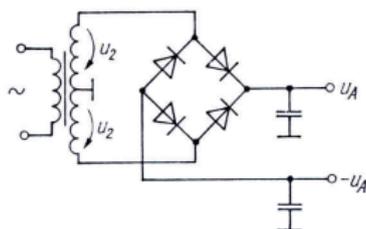


Figure 73: symmetrisch [9]

Zur Dimensionierung siehe [28].

# Energieversorgung 7

Spannungsstabilisierung: sehr einfach und robust

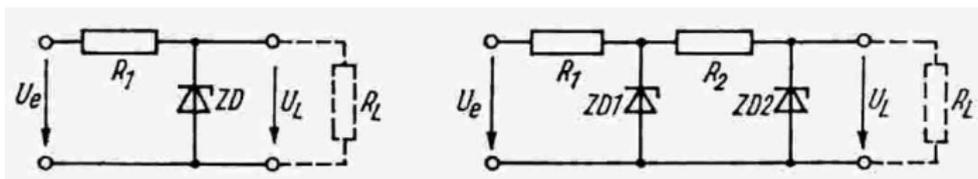
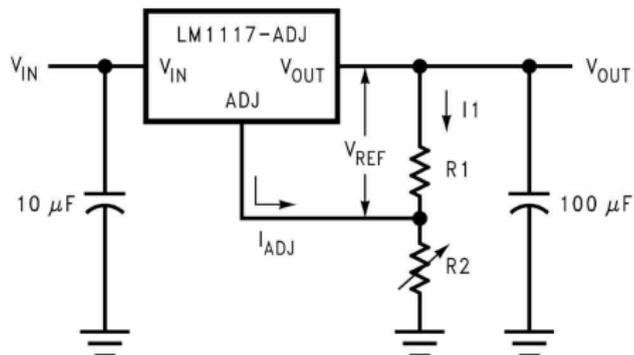


Figure 74: Z-Diode [9]

# Energieversorgung 8



$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} R2$$

Figure 75: integrierter Linearregler[14]

# Energieversorgung 9

## Schaltregler Prinzip

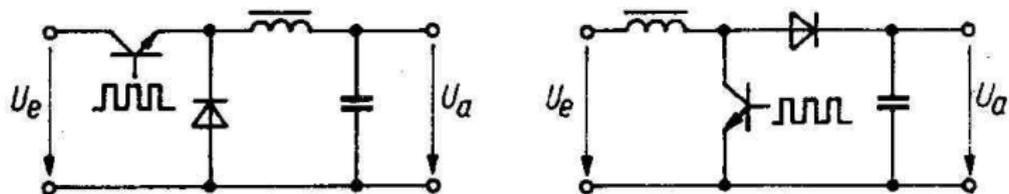


Figure 76: Abwärts- und Aufwärtsregler mit Drossel [18]

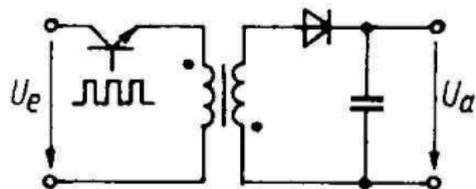


Figure 77: mit Transformator/Übertrager [18]

# Energieversorgung 10

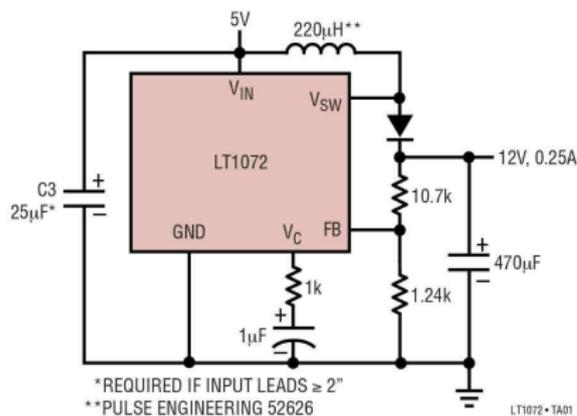


Figure 78: Schaltregler mit LT1072 [15]



Figure 79: fertige Baugruppe

# Energieversorgung 11

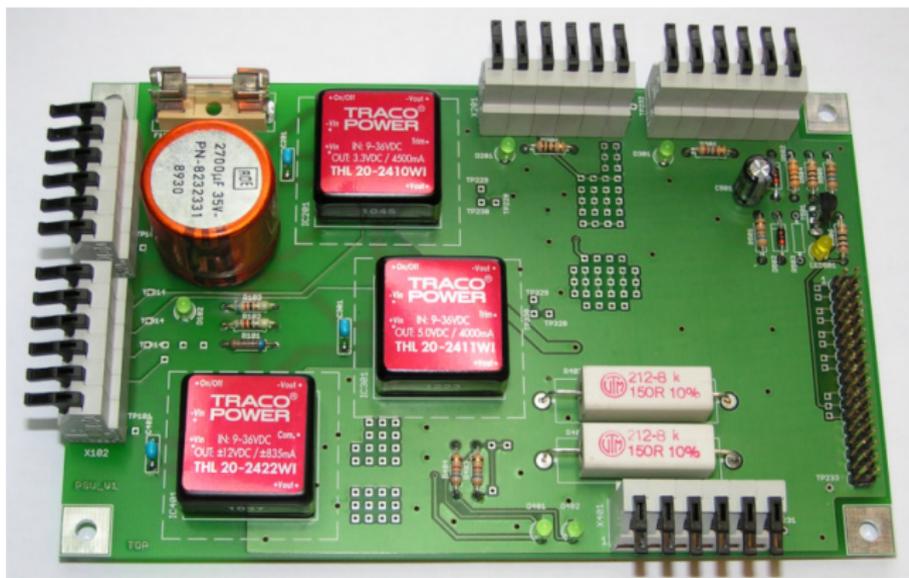


Figure 80: integrierte DCDC-Wandler (TRACO)

# Energieversorgung 12

## Lineare vs. Schaltregler

Linear-Regler	Schaltregler
HF-freie Ausgangsspannung (keine Filter nötig)	wenig Verlustleistung, hoher Wirkungsgrad
Aufwand an Schaltungstechnik minimal	Aufwand für Kühlung minimal
schnelle Reaktion auf Lastschwankungen	Platzbedarf minimal

# Energieversorgung 13

## Negative Hilfsspannungen

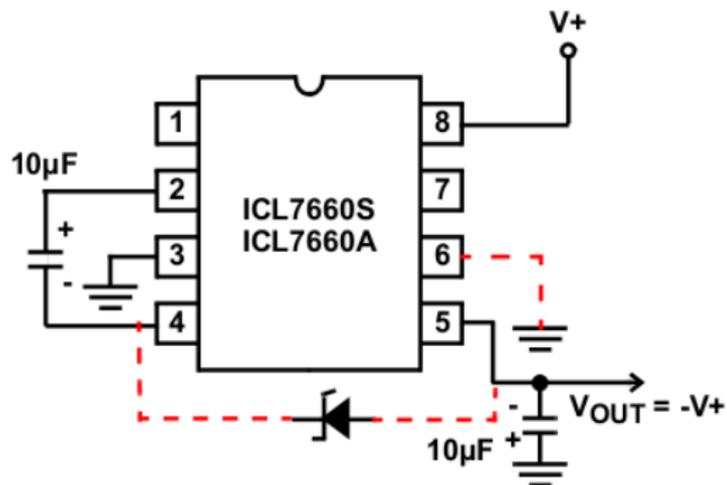


Figure 81: ICL7660[27]

# Kühlung von Halbleitern 1



Figure 82: Analogie ohmscher Widerstand zu thermischer Widerstand

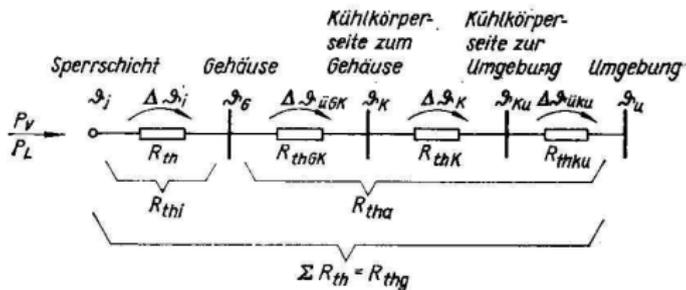


Figure 83: Wärmefluß Transistor-Kühlkörper-Umgebung[22]

siehe [22] [9]

## Kühlung von Halbleitern 2



Figure 84: Analogie ohmscher Widerstand zu thermischer Widerstand

siehe [22] [9]

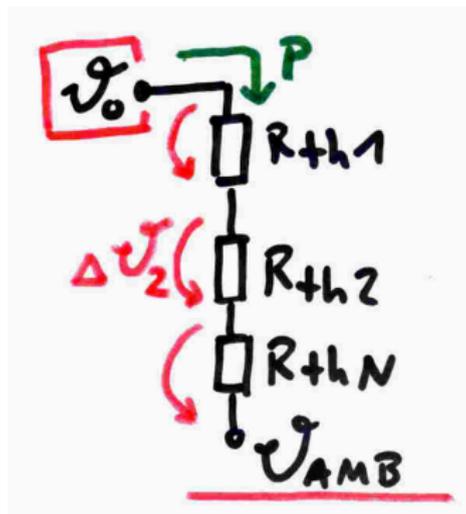


Figure 85: Kette der Wärmewiderstände

# Kühlung von Halbleitern 3

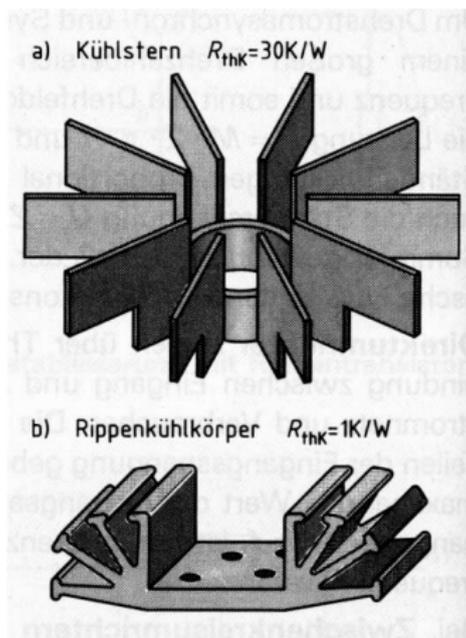


Figure 86: Kühlkörper[5]

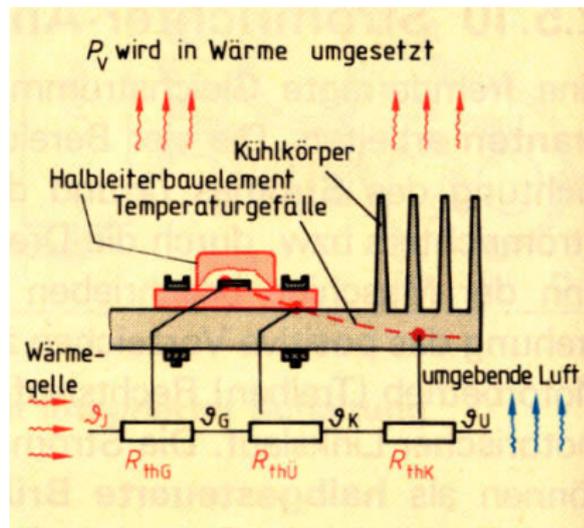


Figure 87: Wärmewiderstände[5]

# Digitale Schaltungen 1

## Überblick

1. Diskrete Logik (Gatter, Zähler, Multiplexer)
2. Schaltkreisfamilien (TTL, LVTTTL, CMOS, ECL, ...)
3. Programmierbare Logik (CPLD, FPGA)
4. Speicher
5. Mikrocontroller (MCU), CPU, DSP

# Digitale Schaltungen 2

## Logikelemente und Symbole

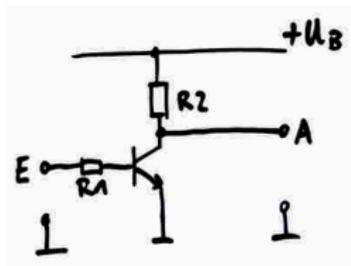


Figure 88: Negation

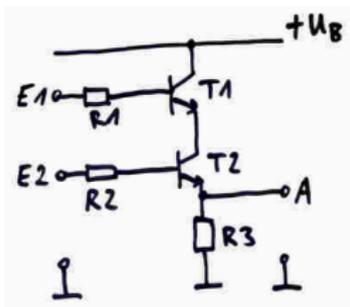


Figure 89: UND

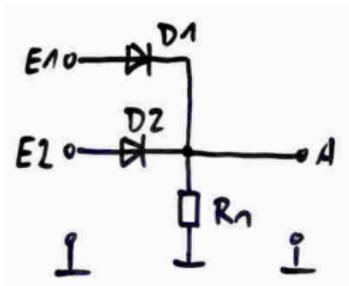


Figure 90: ODER

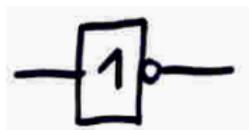


Figure 91: Negation

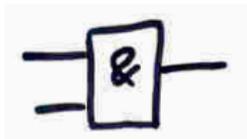


Figure 92: UND

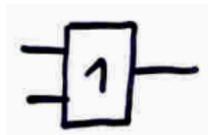


Figure 93: ODER

# Digitale Schaltungen 3

## Multiplexer

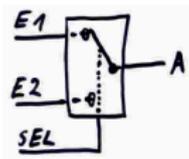


Figure 94: Symbol

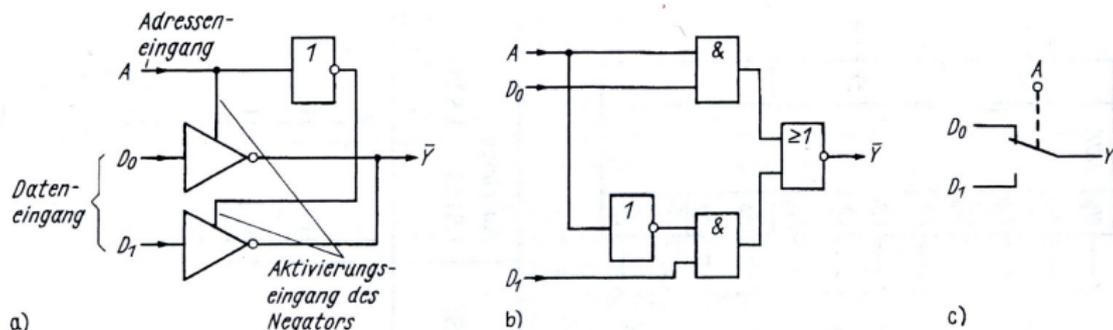


Bild 6.9 Umschalter

a) mit Dreizustands-Invertiern; b) mit Gattern ohne Dreizustands-Eigenschaften; c) äquivalenter mechanischer Umschalter

Figure 95: Multiplexer mit Einzel-Gattern[8]

# Digitale Schaltungen 4

## Demultiplexer

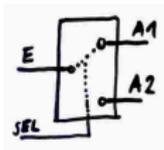


Figure 96: Symbol

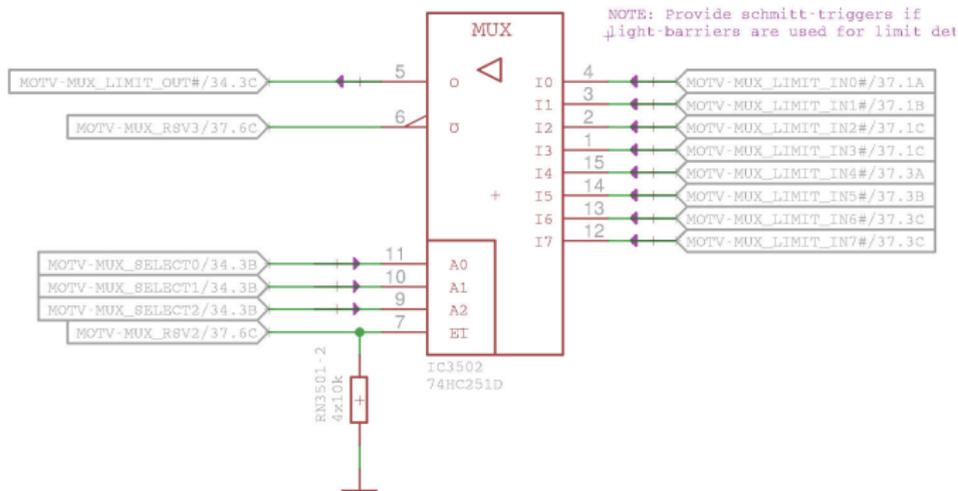


Figure 97: Beispiel

# Digitale Schaltungen 5

## Register seriell und parallel

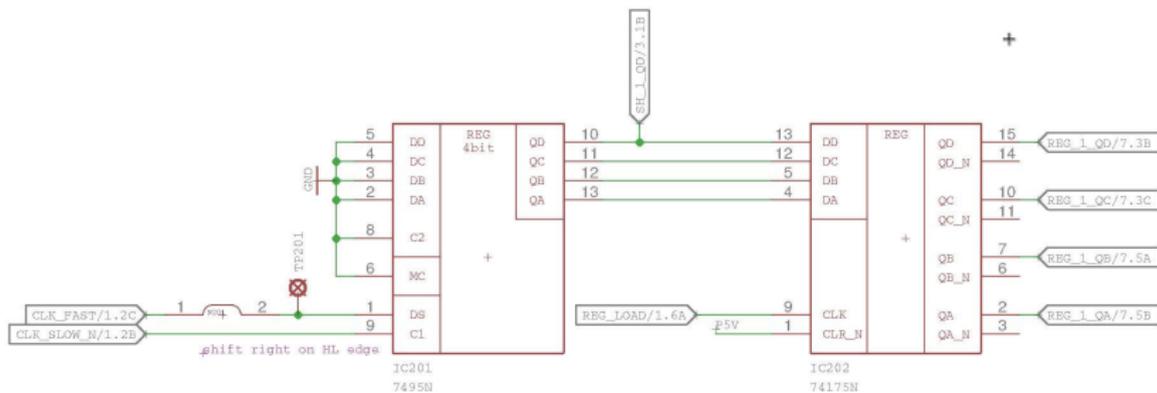


Figure 98: Schieberegister und Parallelregister

# Digitale Schaltungen 6

## Zähler

	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H
0	L	L	L	L

c)

*Dateneingang  $D_B$*

*Ausgang  $Q_B$*

*Ausgang  $Q_A$*

*Eingang Zählen Rückwärts*

*Eingang Zählen Vorwärts*

*Ausgang  $Q_C$*

*Ausgang  $Q_D$*

*Masse*

d)

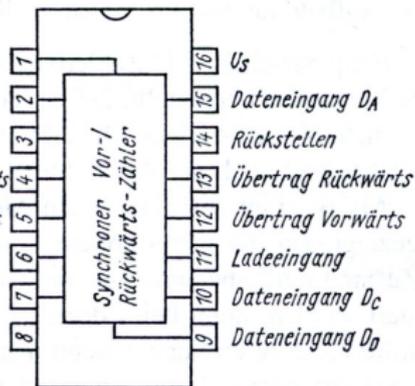


Figure 99: Binär-Tabelle 4-Bit-Zähler[8]

# Digitale Schaltungen 7

## Zähler

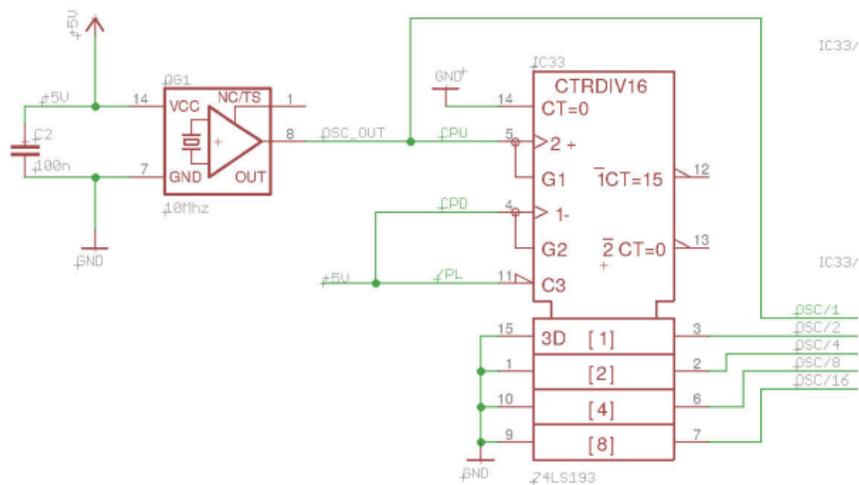


Figure 100: Frequenzteiler

# Digitale Schaltungen 8

## Zähler

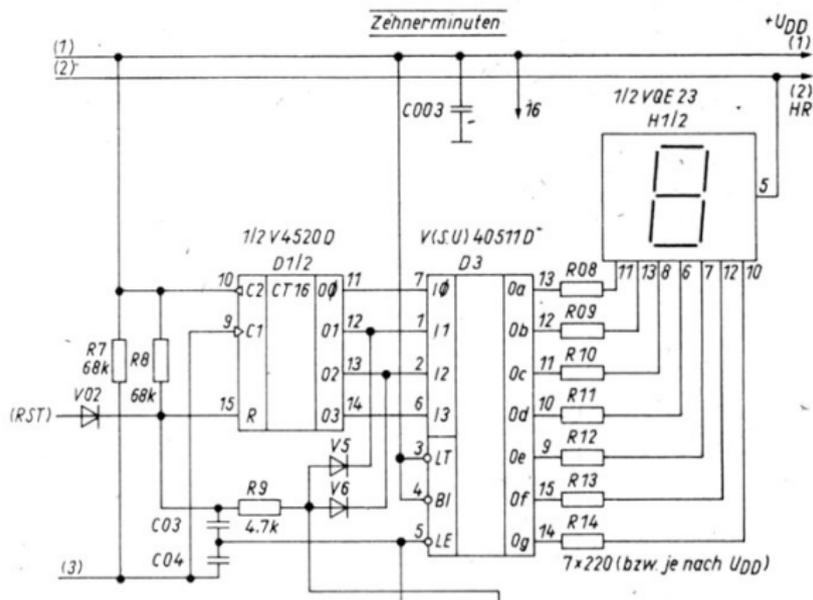


Figure 101: Beispiel Ansteuerung 7-Segment-Anzeige[33]

# Digitale Schaltungen 9

Schaltkreisfamilien: TTL, LVTTTL, CMOS, ECL, ...

1. Betriebsspannung
2. Stromaufnahme / Leistungsaufnahme
3. Spannungen für H/L Pegel
4. Schaltgeschwindigkeit

# Digitale Schaltungen 10

## Schaltkreisfamilien

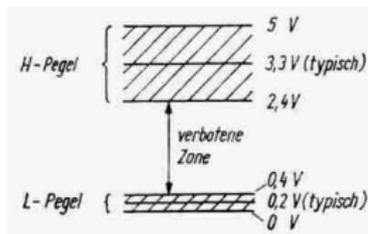


Figure 102: Pegel TTL [8]

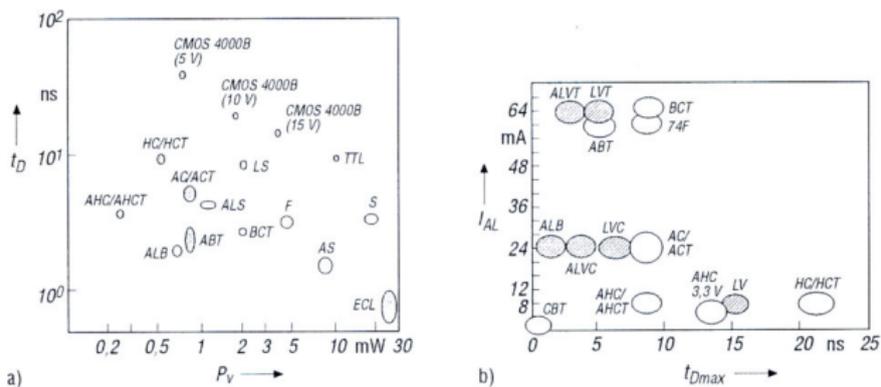


Figure 103: Leistungsaufnahme, Schaltzeiten, Ausgangsstrom [8]

# Programmierbare Logik 1

## Ursprung und Prinzip

1. Problem 1 der diskreten Logik: Änderungen kaum/nicht möglich !
2. Problem 2 der diskreten Logik: Simulation aufwändig !
3. Lösung: programmierbare Universal-ICs !!
4. HW wird am Rechner mittels "Programmiersprache" (HDL) modelliert
5. Nachteil 1: SW und Programmier-Equipment nötig
6. Nachteil 2: Einarbeitung, Schulung nötig
7. Nachteil 3: Bindung an Hersteller

# Programmierbare Logik 2

## Überblick des Systems

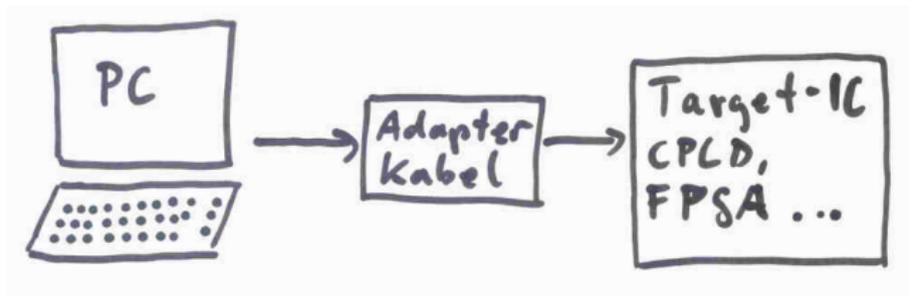


Figure 104: System

# Programmierbare Logik 3

Sprachen: VHDL, Verilog, ...

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity and_or_top is
    Port ( INA1 : in  STD_LOGIC;    -- AND gate input
          INA2 : in  STD_LOGIC;    -- AND gate input
          OA   : out STD_LOGIC;    -- AND gate output
    end and_or_top;

architecture Behavioral of and_or_top is
begin
    OA <= INA1 and INA2;    -- 2 input AND gate
end Behavioral;
```

Figure 105: VHDL Beispiel [19]

```
/* A simple AND gate
File: and.v */
module andgate (a, b, y);
input a, b;
output y;
assign y = a & b;
endmodule
```

Figure 106: Verilog Beispiel [20]

# Programmierbare Logik 4

CPLD, FPGA, ...

1. Der zu programmierende IC wird als Target (Ziel) bezeichnet.
2. CPLD: Complex Programmable Logic Device
3. FPGA: Field Programmable Grid Array
4. SoC: System On Chip

# Programmierbare Logik 5

## Beispiel: Beschaltung eines FPGA

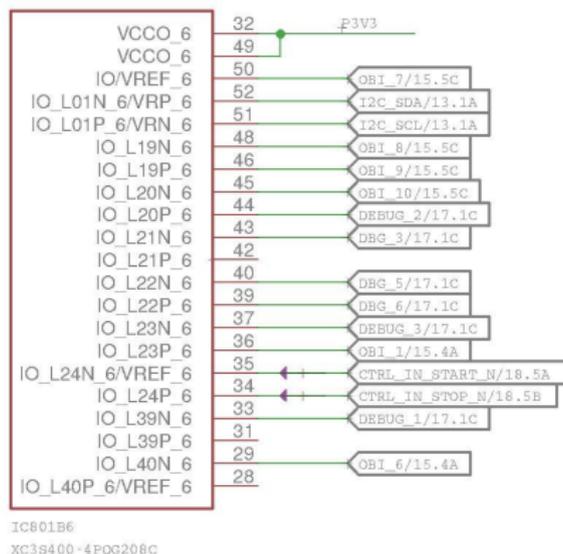


Figure 107: FPGA-seitig

Das Innenleben, die innere Logik, ist nicht erkennbar ! Nur der VHDL- oder Verilog-Code gibt über die Funktionen Aufschluß !

# Programmierbare Logik 6

## Beispiel: Beschaltung eines FPGA

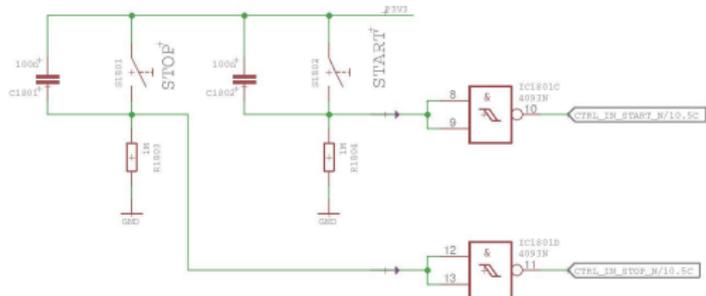


Figure 108: Peripherie für Tastenentprellung

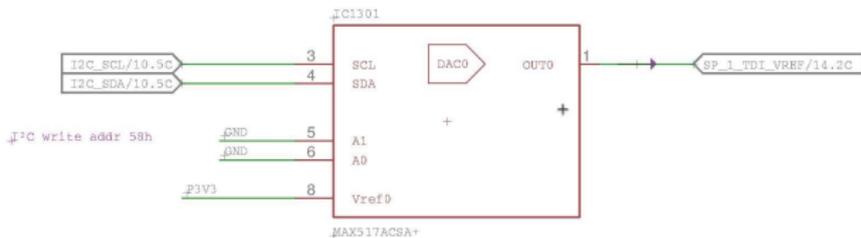


Figure 109: DA-Wandler in Peripherie

# Programmierbare Logik 7

## Beispiel: Beschaltung eines FPGA

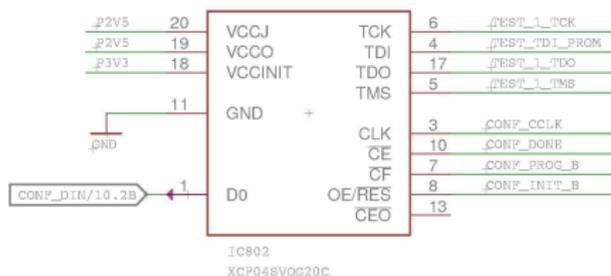


Figure 110: Anschlüsse für Programmierung und Test / Boundary Scan

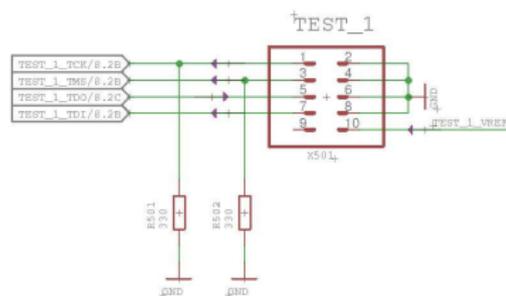


Figure 111: Anschlüsse für Programmierung und Test / Boundary Scan

# Speicher 1

## Symbol und Organisation

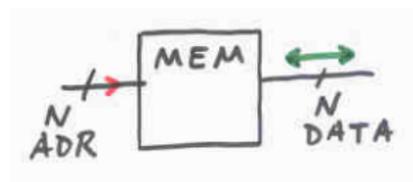


Figure 112: Symbol

1. Programmcode, Prozessdaten, Anwenderdaten
2. 1024 × 1 Bit, 512k × 16 Bit, ...
3. Adresse A[15:0], Daten D[7:0] → 64k × 8 Bit

# Speicher 2

## Speicher aus Sicht des SW-Entwicklers

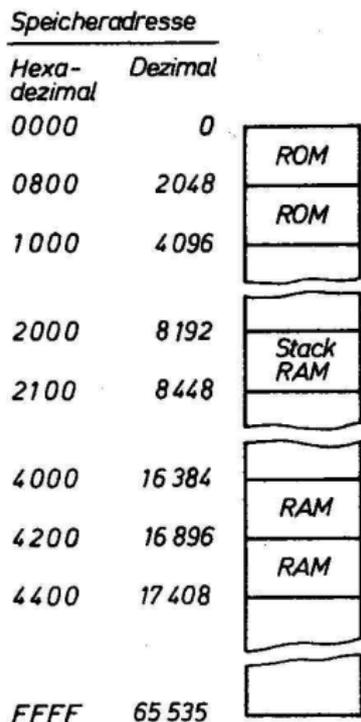


Figure 113: Adressen in Hex- und Dezimalform[21]

# Speicher 3

## Speicher aus Sicht des HW-Entwicklers

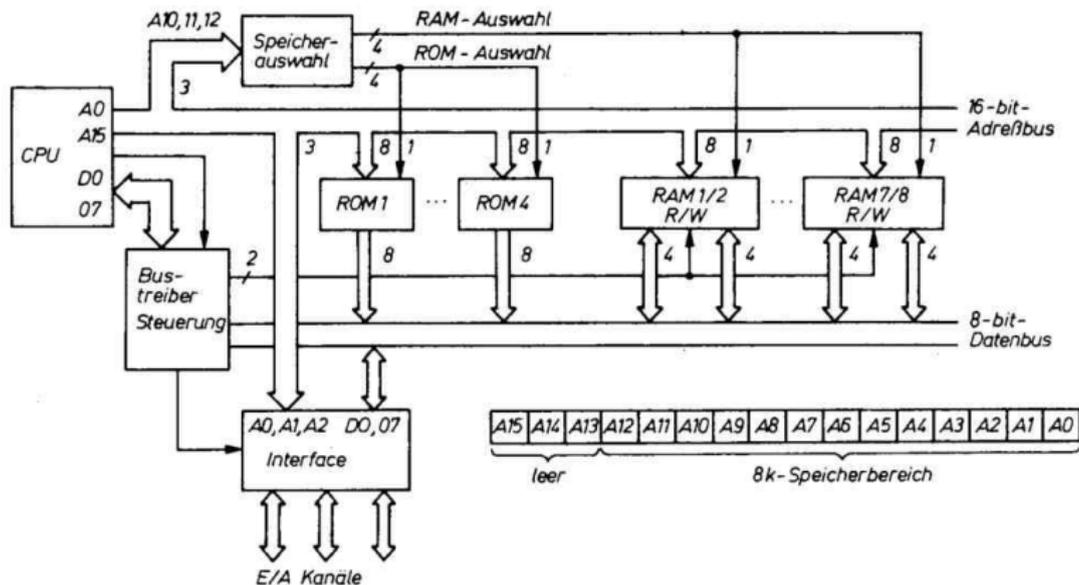


Figure 114: Beispiel CPU mit Speicherbänken [21]

# Speicher 4

Flüchtige: RAM, SRAM, SDRAM, DDRAM, ...

1. Technologie statisch: Information wird per Flip-Flop gehalten
2. Technologie dynamisch: Information wird in Kondensatoren gehalten
3. SDRAM, DDRAM: Datentransfer synchron zu Taktsignal (CLK)
4. evtl. anspruchsvolles PCB-Layout (SI, Laufzeiten, Leitungslängen, ...)
5. asynchron: via Ports WE und OE
6. synchron: zu CLOCK Signal (positive, negative oder beide Flanken)
7. ggf. aufwändiger Controller nötig

# Speicher 5

## Beispiel SRAM 1a

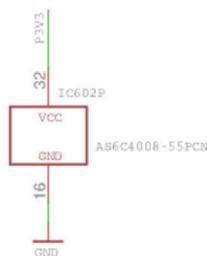
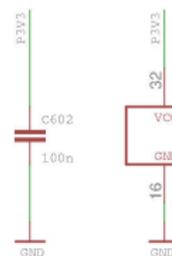
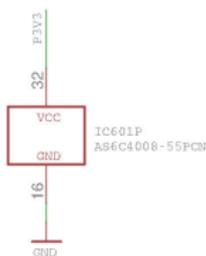
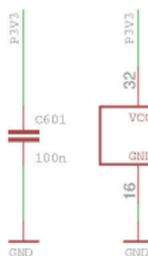
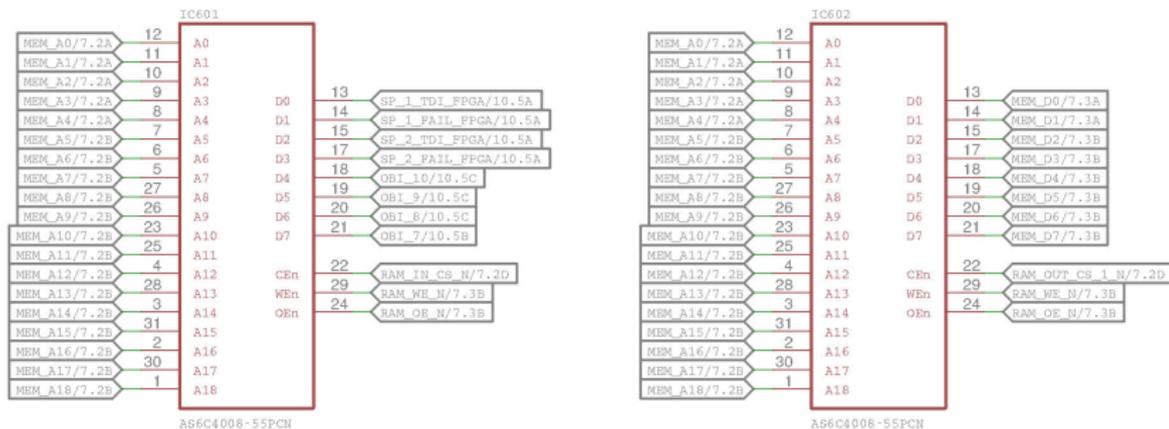


Figure 115: Anschluß speicherseitig

# Speicher 6

## Beispiel SRAM 1b

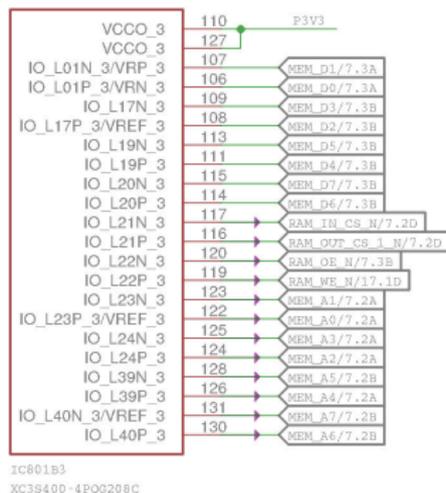


Figure 116: Anschluß FPGA-seitig

# Speicher 7

## Beispiel SDRAM

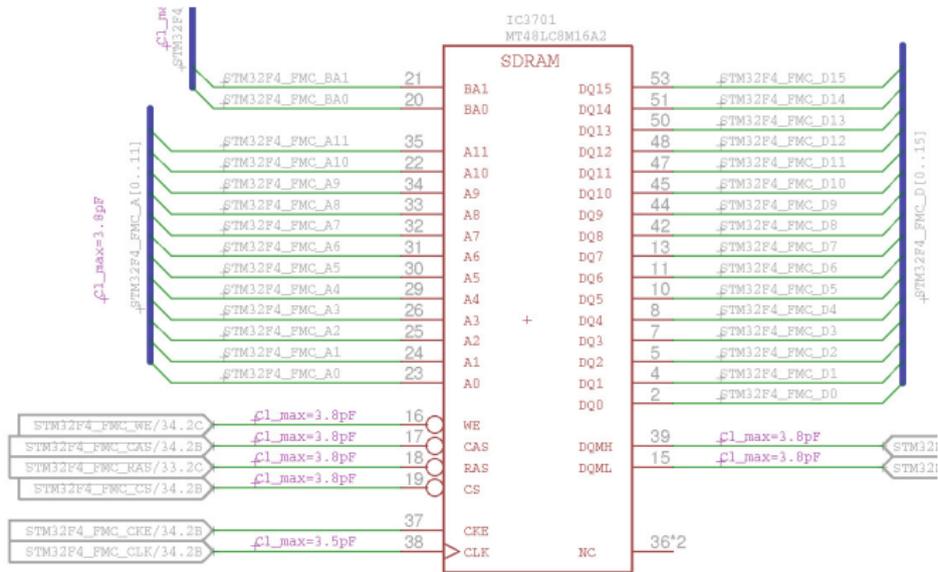


Figure 117: Anschluß speicherseitig

# Speicher 8

Nicht-flüchtige: ROM, OTP, EPROM, FLASH, ...

1. Dateninhalt bleibt auch ohne Betriebsspannung erhalten.
2. Datentransfer seriell (I<sup>2</sup>C, SPI) oder parallel
3. Technologien: Fuse, Antifuse, ...
4. ggf. Programmier-Equipment nötig
5. Daten über Jahrzehnte stabil (Gewährleistung ?!)

# Speicher 9

## Beispiel FLASH-EEPROM

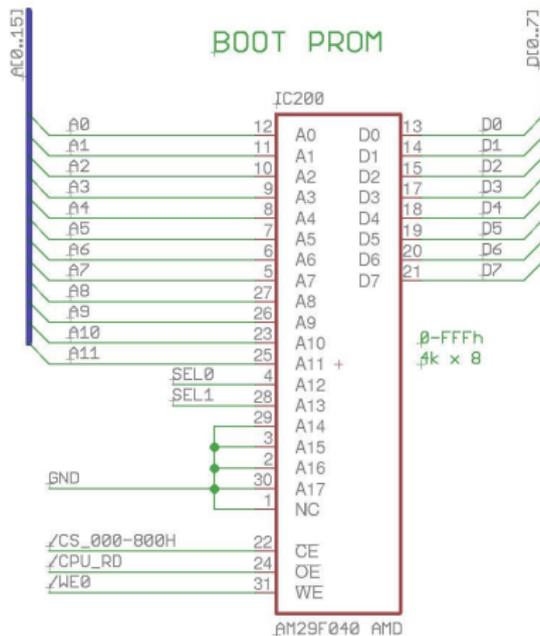


Figure 118: Anschluß speicherseitig

# Prozessoren 1

## Das Konzept

1. Problem der diskreten Logik: Änderungen kaum/nicht möglich !
2. Lösung: CPU (Central Processing Unit) !!
3. Programmablauf wird per Programmiersprache festgelegt
4. Compiler/Assembler übersetzt in Maschinencode
5. Maschinencode wird in Speicher geladen und vom Prozessor ausgeführt
6. Adaption an verschiedenste Aufgaben möglich
7. Nachteil 1: Einarbeitung, Schulung nötig
8. Nachteil 2: Bindung an Hersteller
9. Nachteil 3: Programmier-Equipment nötig
10. Nachteil 4: Aufwand für SW-Dokumentation
11. Nachteil 5: Erheblicher Schaltungsaufwand

# Prozessoren 2

Das System: CPU, ROM, RAM, ...

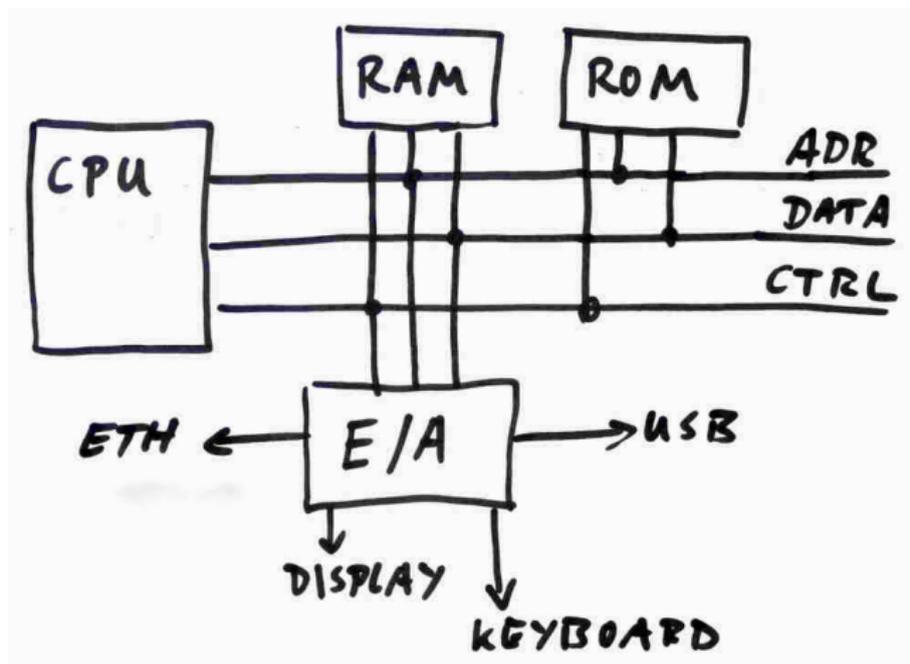


Figure 119: System

# Prozessoren 3

## CPU intern

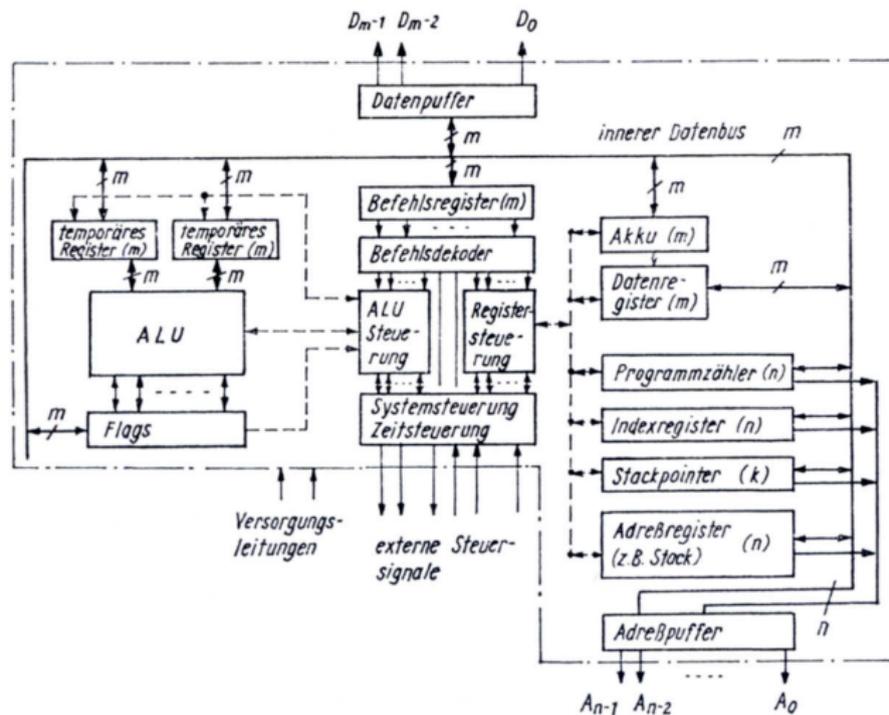


Figure 120: Beispiel Z80 [8]

# Prozessoren 4

## Beispiele

1. Z80, I486, Intel i9-7980XE, ...
2. Motorola 68000, PowerPC G4 CPU, ...
3. synthetisiert in VHDL: SPARC-V8 LEON, ...
4. IP-Cores

# Prozessoren 5

Sprachen: Maschinencode, Assembler, C, Ada, ...

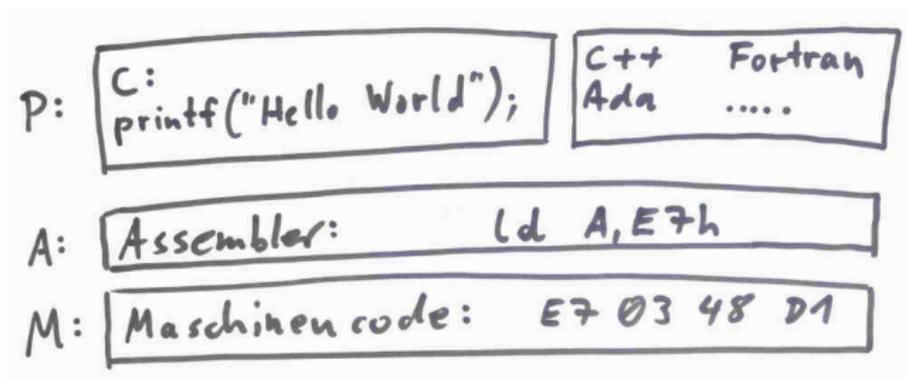


Figure 121: System-Level

# Mikrocontroller 1

## Das Konzept

1. Komponenten des gesamten Prozessor-Systems auf einem Chip
2. CPU, RAM, FLASH-ROM
3. Schnittstellen: USB, UART, Bildschirm, Tastatur, ...
4. Programmier-Equipment nötig
5. In-System-Programmierung (ISP)
6. Beispiele 8051, 80C166, STM32F407, ...

# Mikrocontroller 2

## Blockschaltbild Baugruppe mit MCU

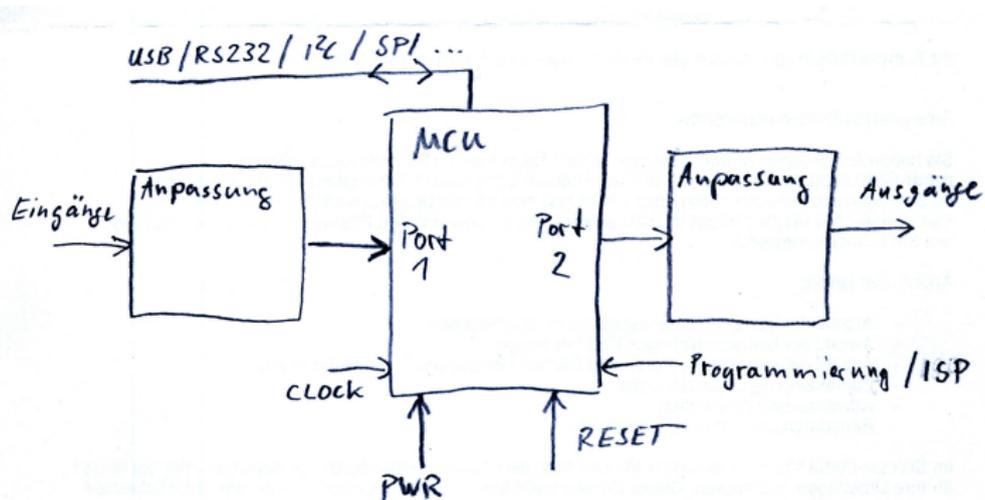
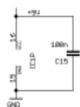
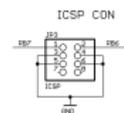
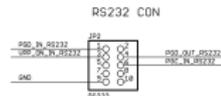
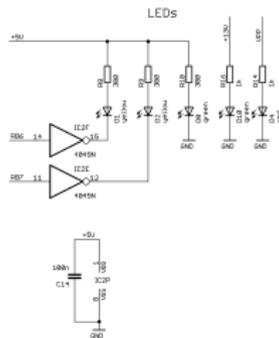
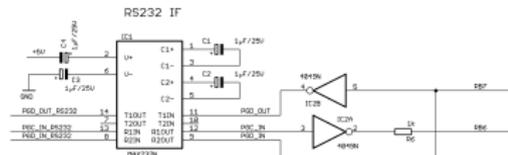
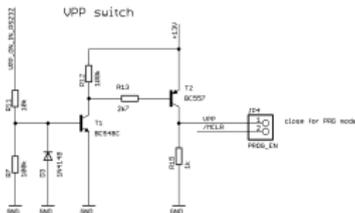
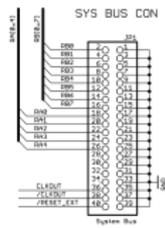
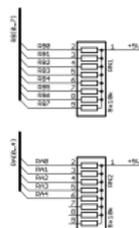
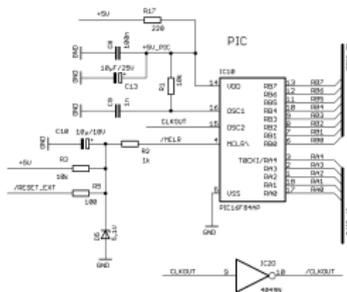
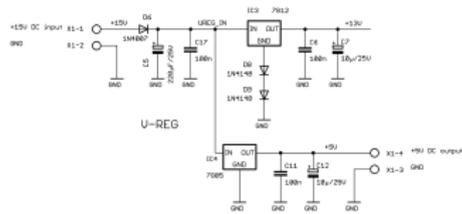


Figure 122: allgemeine Beschaltung

# Mikrocontroller 3

## Beispiel: Schaltplan MCU-V21



# Digitale Signalprozessoren 1

## Das Konzept

1. DSP
2. Trennung von Programmcode und Prozessdaten (Harvard-Architektur)
3. schnelle Multiplikation, Shift, ...
4. Verarbeitung von Audio, HF, ...
5. Mustererkennung, Kompression, Filter, Echo, Klang, Radar, ...
6. Programmier-Equipment nötig ...
7. Beispiele: Texas Instruments TMS320xx, Analog Devices ADSP-21xx, ..

# Digitale Signalprozessoren 2

## Beschaltung

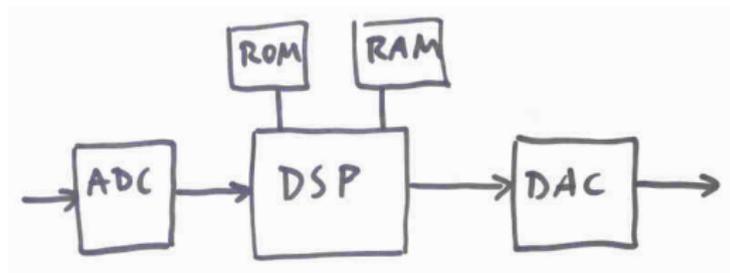


Figure 123: Beschaltung

# Gemischte Schaltungen 1

1. mixed signal
2. Analog-Digital-Wandler (ADC)
3. Digital-Analog-Wandler (DAC)
4. direkte Signalsynthese (DDS)

# Gemischte Schaltungen 2

## Kriterien ADC und DAC

1. Geschwindigkeit (Umsetzzeit)
2. Bereich für Eingangs/Ausgangsspannung/Strom
3. Auflösung (Zahl der Bits)
4. Linearität
5. Abhängigkeit von Temperatur
6. Leistungsaufnahme, Betriebsspannung
7. Schnittstellen (I2C, SPI, parallel, ...)
8. Kosten

# Analog-Digital-Wandler (ADC) 1

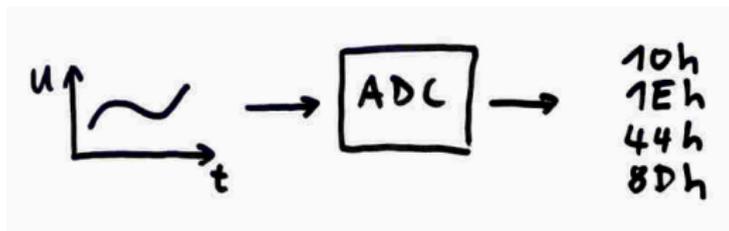


Figure 124: Prinzip und Symbol

# Analog-Digital-Wandler 2

## Verfahren der Umsetzung

1. Parallelumsetzer
2. Wägeverfahren (sukzessive Approximation)
3. Zählverfahren (serielle Wandler)

siehe [9]

# Analog-Digital-Wandler 3

im Mikrocontroller integriert

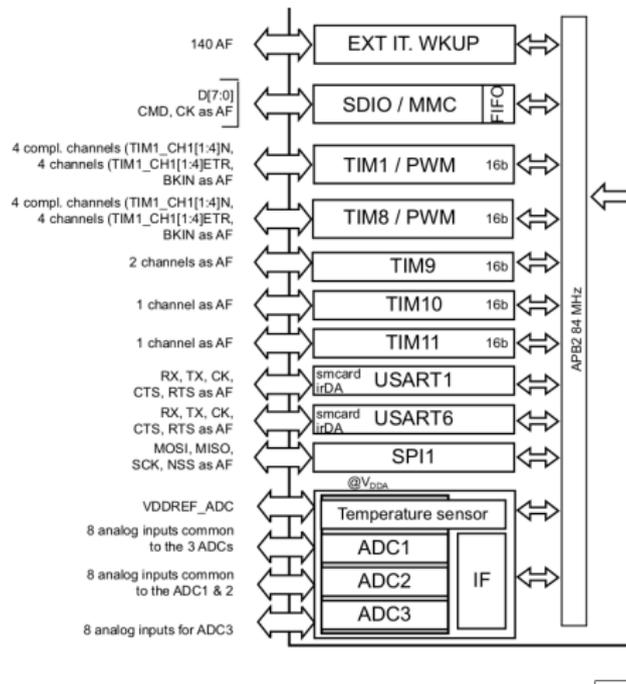


Figure 125: ADC im MCU[12]

# Analog-Digital-Wandler 4

## Beispiel MAX1169

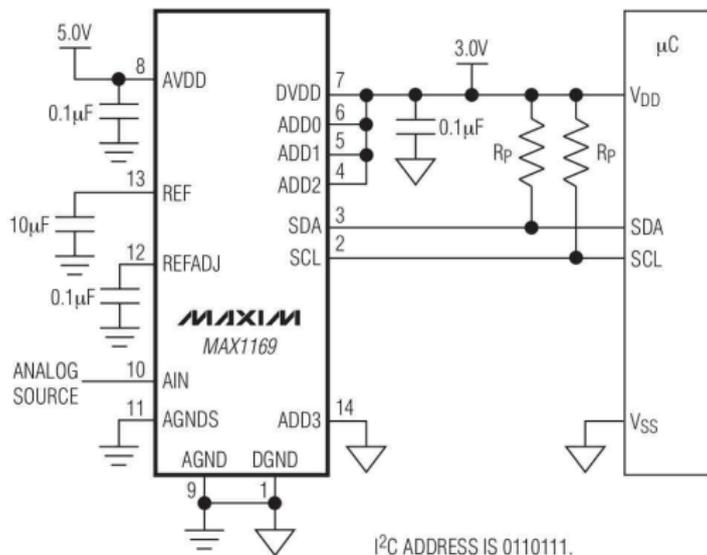


Figure 126: Quelle Datenblatt MAXIM MAX1169

AGND und DGND treffen sich an der Spannungsversorgung ! [25]

# Analog-Digital-Wandler 5

## Analog GND und digital GND

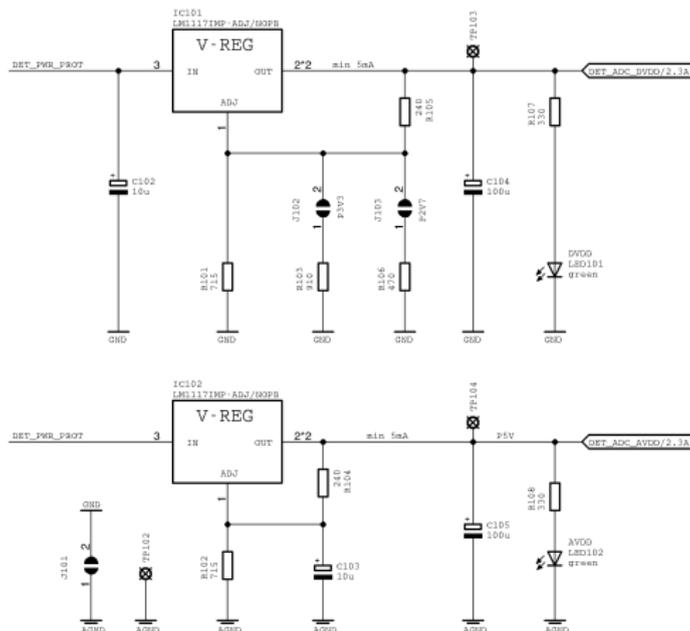


Figure 127: AGND und DGND treffen sich in Spannungsversorgung ! [25]



# Digital-Analog-Wandler (DAC) 1

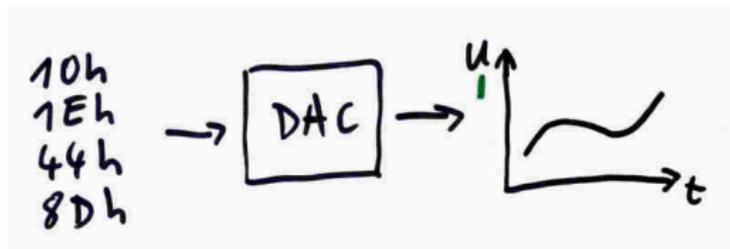


Figure 129: Symbol und Prinzip

Verfahren der Umsetzung:

1. Parallelumsetzer (gewichtete Widerstände)
2. Puls-Weite-Modulation (PWM)

siehe [9]

# Digital-Analog-Wandler 2

## Beispiele für diskreten Aufbau

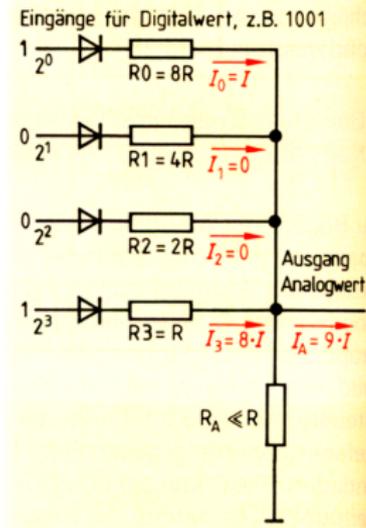


Figure 130: 4 Bit DAC mit R und D[5]

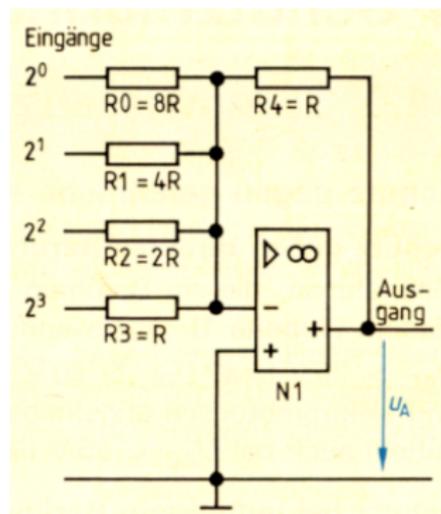


Figure 131: 4 Bit DAC mit OPV[5]

# Digital-Analog-Wandler 3

## Beispiel mit MAX5823

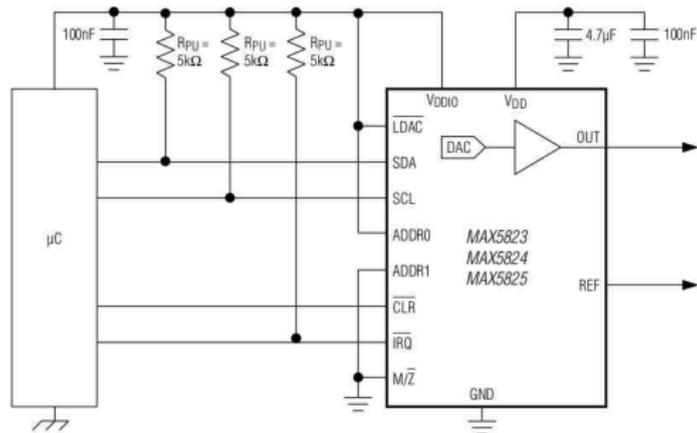


Figure 132: Quelle Datenblatt MAXIM MAX5823

# Digital-Analog-Wandler 4

## Beispiel eines 8-fach DAC

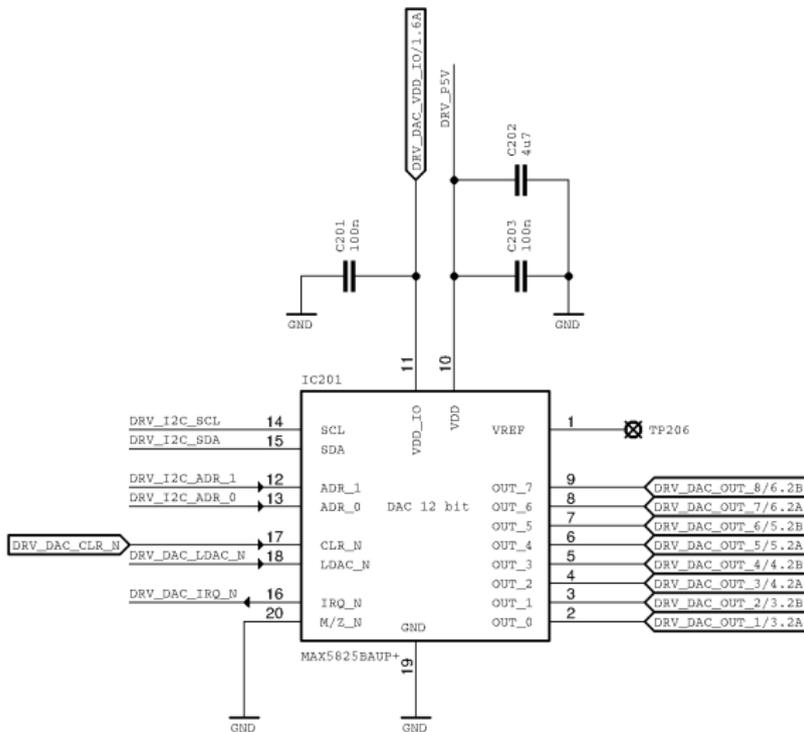


Figure 133: MAX5825

# Digital-Analog-Wandler 5

via Puls-Weite-Modulation (PWM)

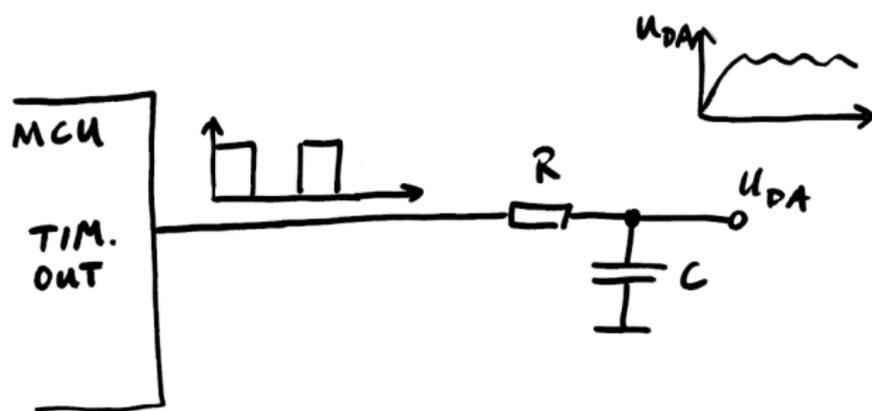


Figure 134: Glättung des PWM-Signals

$$\tau_{RC} > 10 \cdot T_{TIM}$$

(5)

# Digital-Analog-Wandler 6

## Spezielle Register für PWM

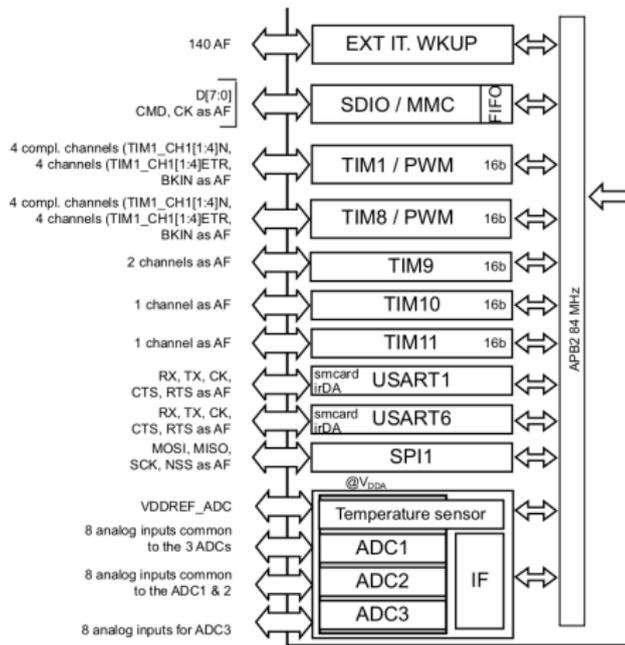


Figure 135: Timer im MCU[12]

# Digital-Analog-Wandler 7

PWM

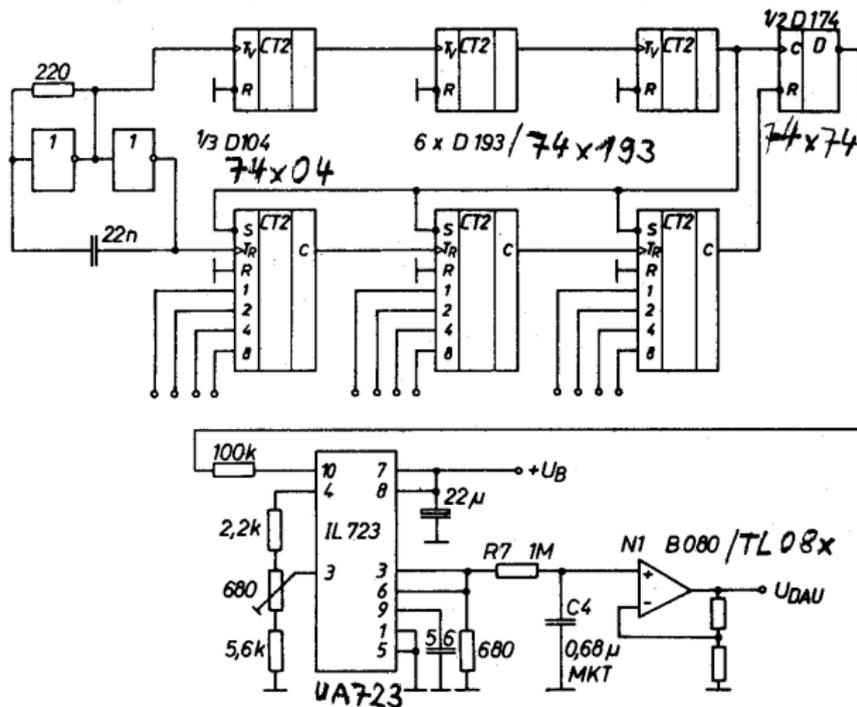


Figure 136: 12 Bit DAC mit diskreter Logik[16]

# Direkte Signalsynthese (DSS) 1

## Grundlegendes Prinzip

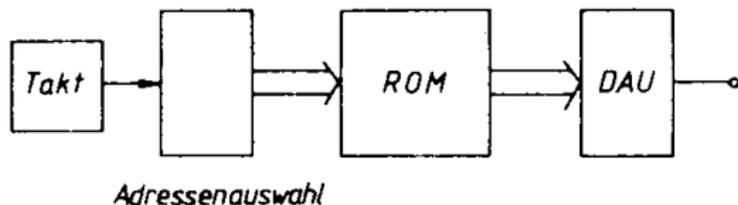


Figure 137: Prinzip eines ROM-basierten Funktionsgenerators[23]

1. beliebige Signalform bis in GHz-Bereich erzeugbar
2. Ausgangsfrequenz sehr stabil und fein abstimmbar
3. Ausgangsfrequenz per MCU oder CPU steuerbar
4. Anwendung: Mobilfunk, WLAN, Funktionsgeneratoren

# Direkte Signalsynthese (DSS) 2

## Grundlegendes Prinzip

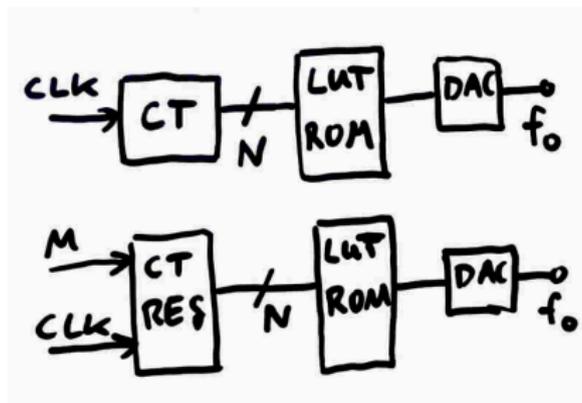


Figure 138: Blockschaltung

1. beliebige Signalform bis in GHz-Bereich erzeugbar
2. Ausgangsfrequenz sehr stabil und fein abstimmbar
3. Ausgangsfrequenz digital per MCU oder CPU steuerbar

# Direkte Signalsynthese (DSS) 3

## Beispiel AD9833

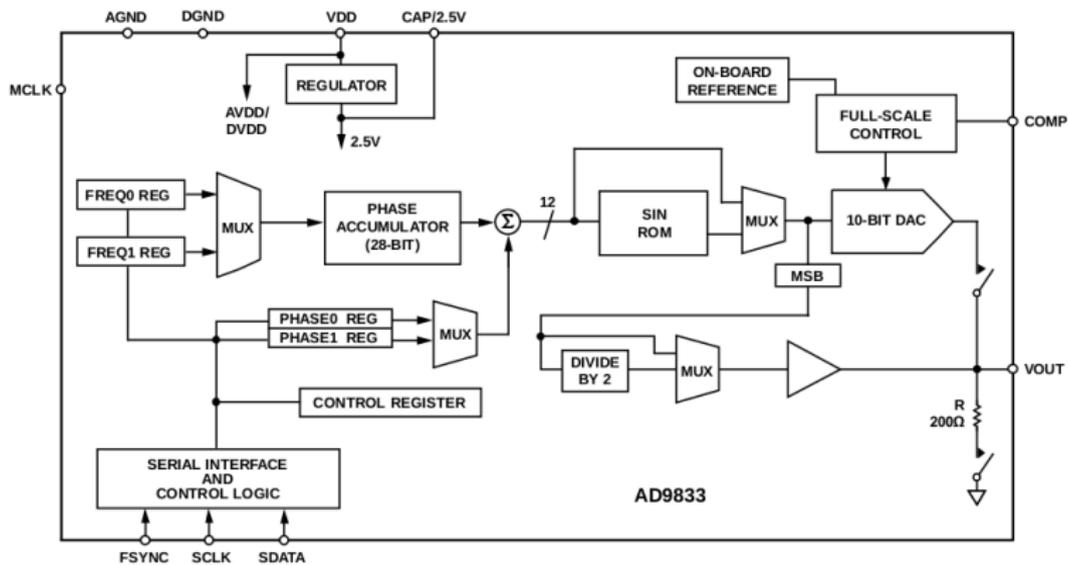


Figure 139: Innenschaltung AD9833 [26]

# Entwicklung und Fertigung von Elektronik

## Ablauf

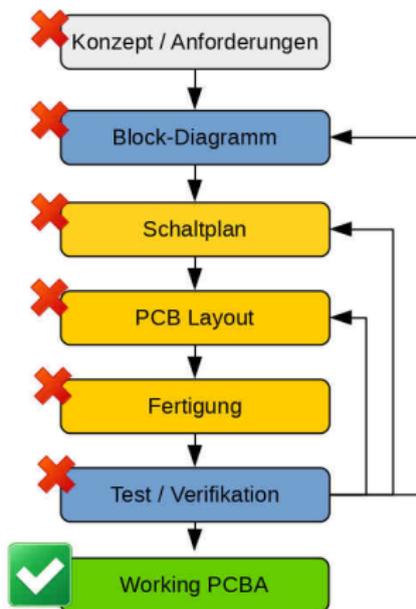


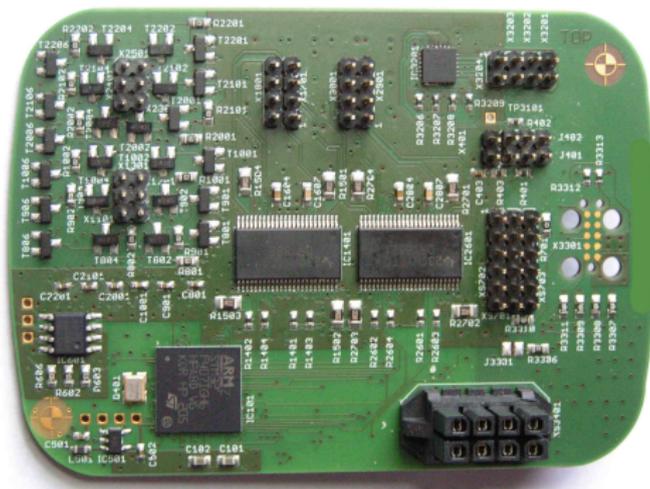
Figure 140: Entwicklung und Fertigung Ablauf

# Entwicklung und Fertigung von Elektronik

## Sonstiges

1. Modelle der Entwicklung: Wasserfall, agile Entwicklung [39]
2. Dokumentation wird oft vernachlässigt
3. Entwicklung von Firmware (Logiksynthese, ...)
4. Materialwirtschaft
5. Design for Manufacturing/Test (DFM/DFT) [36]
6. Testverfahren (MVI, AOI, AXI, ICT, FPT, BST, BIST, FT) [35]
7. Boundary Scan (IEEE1149.x) [37] [38]
8. Zuverlässigkeit[34]

# Das Ziel



# Literaturquellen I

- [1] H. Löbig / G. Schöne *Grundkenntnisse der Elektrotechnik*. Verlag Technik Berlin, 1967
- [2] H. Semrad / w. Otto *Grundlagen der Elektronik*. Verlag Technik Berlin, 1970
- [3] H. Prochnow *Ermittlung der charakteristischen statischen Kennwerte von Si-Dioden in Durchlaß- und Sperrichtung*. Radio Fernsehen Elektronik 1975/12, Seiten 394-396
- [4] Elektrotechnik Grundbildung *Elektrotechnik Grundbildung*. Verlag EUROPA-Lehrmittel
- [5] Elektrotechnik Fachbildung *Elektrotechnik Fachbildung*. Verlag EUROPA-Lehrmittel
- [6] Tabellenbuch Elektrotechnik *Tabellenbuch Elektrotechnik*. Verlag EUROPA-Lehrmittel, 1989
- [7] TopLine Corporation *Dummy Components Practice Kits*. 95 Highway 22 W, Milledgeville, GA 31061, USA
- [8] Seifart/Beikirch *Digitale Schaltungen*. Verlag Technik Berlin, 1998
- [9] Seifart *Analoge Schaltungen*. Verlag Technik Berlin, 1996
- [10] Harro Kühne *Schaltungspraxis für Meßgeräte*. Militärverlag, 1984
- [11] Karl-Heinz Schubert *Elektronisches Jahrbuch 1974*. Militärverlag 1973
- [12] STMicroelectronics *Datenblatt TDA2030*. Datenblatt Leistungs-OPV TDA2030
- [13] Texas Instruments *Datenblatt CD74HC4051*. Datenblatt Analogmultiplexer CD74HC4051
- [14] Texas Instruments *Datenblatt LM1117x*. Datenblatt Spannungsregler LM1117x
- [15] Analog / Linear Technology *Datenblatt LT1072*. Datenblatt Spannungsregler LT1072
- [16] Lothar König *Rundfunktechnik selbst erlebt*. Urania Verlag, 1988
- [17] Rainer Erlenkampff, Manfred Kramer, Hans-Joachim Mönig *Mikroelektronik in der Amateurpraxis 2* Militärverlag, 1984

# Literaturquellen II

- [18] Günter Kurz *Electronica 201: Grundlagen und Schaltungsbeispiele der Stromversorgung*. Militärverlag, 1982
- [19] Startling Electronics *VHDL-CPLD course*  
<https://startingelectronics.org/software/VHDL-CPLD-course/tut2-AND-and-OR-gates>
- [20] Electrosofts *Verilog course* <http://electrosofts.com/verilog/introduction.html>
- [21] Gerd Thiele *Electronica 229: Digitale Halbleiterspeicher*. Militärverlag, 1986
- [22] Helmut Hantzsch *Electronica 161: Wärmeableitung bei Halbleitern*. Militärverlag, 1978
- [23] Claus Kühnel *Electronica 232: AD- und DA-Umsetzer für den Amateur*. Militärverlag, 1986
- [24] Winfried Müller *Optoelektronische Sender, Empfänger und Koppler*. Militärverlag, 1985
- [25] Walt Kester, James Bryant, Mike Byrne / *Analog Devices Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"*.
- [26] Analog Devices *Datenblatt AD9833*
- [27] Intersil *Datenblatt Spannungskonverter ICL7660*
- [28] H.J.Fischer / K.Schlenzig *Schaltungssammlung für den Amateur*. Militärverlag, 1969
- [29] R.Funke / S.Liebscher *Grundsaltungen der Elektronik*. Verlag Technik Berlin, 1969
- [30] R.Burmeister / H.Hänsel / F.Höppner *Elektronik*. Verlag Volk und Wissen, 1980
- [31] R.Erlempf / M. Kramer / H.J.Mönig *Mikroelektronik in der Amateurpraxis 2*. Militärverlag, 1984
- [32] K.Schlenzig *Pikotron Anleitung*. PIKO Sonneberg, 1971
- [33] K.Schlenzig *Das Bauplan-Bastel-Buch 3*. Militärverlag, 1989

# Literaturquellen III

- [34] Mario Blunk / Blunk electronic *Zuverlässigkeit in der Elektronik*.  
<http://www.blunk-electronic.de/pdf/zuverlaessigkeit.pdf>
- [35] Mario Blunk / Blunk electronic *Testverfahren der Elektronik*.  
[http://www.blunk-electronic.de/pdf/testverfahren\\_der\\_elektronik.pdf](http://www.blunk-electronic.de/pdf/testverfahren_der_elektronik.pdf)
- [36] Mario Blunk / Blunk electronic *Design Checklist*.  
[http://www.blunk-electronic.de/pdf/Design\\_Checklist\\_en.pdf](http://www.blunk-electronic.de/pdf/Design_Checklist_en.pdf)
- [37] Mario Blunk / Blunk electronic *Boundary Scan Training Teil 1*.  
[http://www.blunk-electronic.de/pdf/bst\\_teil\\_1.pdf](http://www.blunk-electronic.de/pdf/bst_teil_1.pdf)
- [38] Mario Blunk / Blunk electronic *Boundary Scan Training Teil 2*.  
[http://www.blunk-electronic.de/pdf/bst\\_teil\\_2.pdf](http://www.blunk-electronic.de/pdf/bst_teil_2.pdf)
- [39] Mario Blunk / Blunk electronic *Agile Hardware-Entwicklung*.  
[http://www.blunk-electronic.de/pdf/agile\\_HW/AgileHW-AgileSystems-2018\\_de.pdf](http://www.blunk-electronic.de/pdf/agile_HW/AgileHW-AgileSystems-2018_de.pdf)