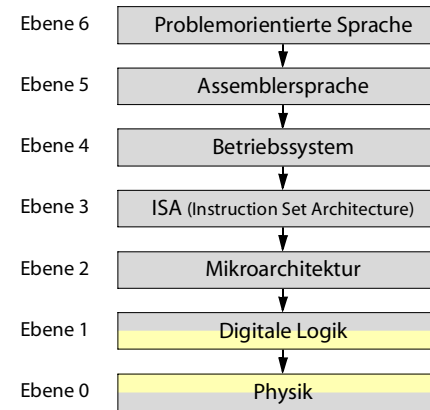




# E Technologische Grundlagen



## 1 Einordnung



### E.1

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

### E.2

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 1 Einordnung (2)



- Bisher
  - ◆ Schaltungen auf logischer Ebene
  - ◆ Implementierung vernachlässigt
- Nun
  - ◆ Einblick in die technische Realisierung **elektronischer** Schaltungen

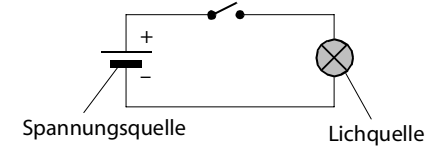
### E.3

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2 Halbleiterdiode



- Grundlage: elektrische Schaltungen



- \* Strom
  - ◆ fließt bei geschlossenem Stromkreis
  - ◆ konzeptionell:
    - Strom fließt von „Plus“ nach „Minus“
  - ◆ physikalisch:
    - Elektronen fließen von „Minus“ nach „Plus“

### E.4

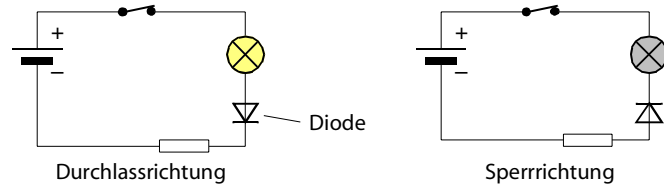
© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2 Halbleiterdiode (2)



### ■ Diode

- ◆ spezielles Bauteil mit zwei Anschlüssen



- ◆ Strom kann nur in eine Richtung durch die Diode fließen.

### ■ Aufbau früher

- ◆ Röhrendiode
  - Glaskolben mit Vakuum

E.5

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2 Halbleiterdiode (3)



### ■ Aufbau heute

- ◆ Halbleiterdiode

### ■ Leiter

- ◆ freie Elektronen können fließen

### ■ Isolator

- ◆ keine freien Elektronen

### ■ Halbleiter

- ◆ zwischen Leiter und Isolator
- ◆ z.B. Germanium (Ge), Silizium (Si)

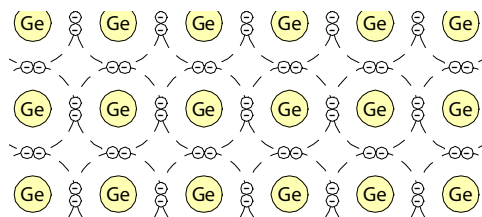
E.6

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2.1 Halbleiter



### ■ Elektronenanordnung bei Halbleiterkristallen



- ◆ je vier Elektronen auf äußerster Schale
- ◆ stabiler Zustand durch Verzahnung der Schalen benachbarter Atome
- ◆ gelegentliche Verunreinigungen:
  - ein Elektron zuviel oder zuwenig auf der äußeren Bahn
  - geringer Stromfluss möglich (Halbleiter)

E.7

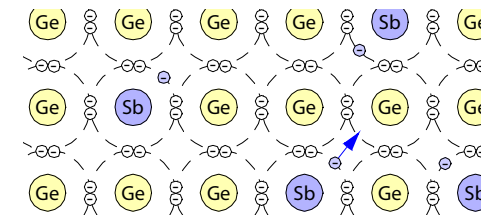
© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2.1 Halbleiter (2)



### ■ Dotieren der Halbleiter mit anderen Materialien

- ◆ gezielte Verunreinigungen
- ◆ Beispiel: Antimon (Sb)



- ein Elektron mehr auf der äußeren Schale
- Elektronenüberschuss
- **N-Leitfähigkeit** des Kristalls (negativ)

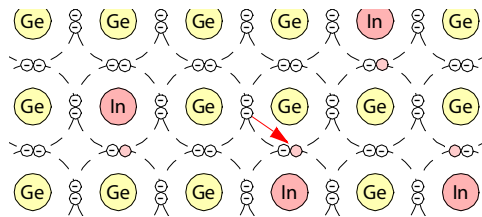
E.8

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2.1 Halbleiter (3)



### ◆ Beispiel: Indium (In)



- ein Elektron weniger auf der äußeren Schale
- Elektronenmangel (dargestellt durch Loch auf der äußeren Schale)
- **P-Leitfähigkeit** des Kristalls (positiv)

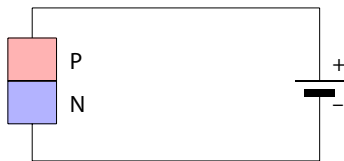
E.9

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2.2 Aufbau der Halbleiterdiode (2)



### ■ Durchlassrichtung



- ◆ Elektronen der Spannungsquelle drücken in den N-Bereich
- ◆ Spannungsquelle zieht Elektronen aus dem P-Bereich ab
- ◆ PN-Übergang wird kleiner
- ◆ Strom kann fließen

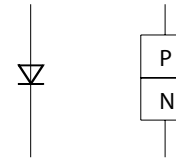
E.11

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2.2 Aufbau der Halbleiterdiode

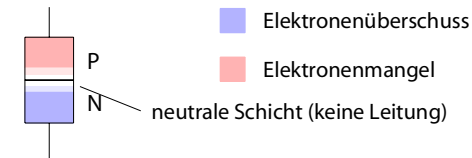


### ■ Aufbau mit N- und P-Bereich



### ■ Grenzbereich (PN-Übergang)

#### ◆ freie Elektronen füllen Löcher



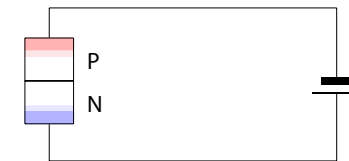
E.10

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 2.2 Aufbau der Halbleiterdiode (3)



### ■ Sperrrichtung



- ◆ Elektronen der Spannungsquelle drücken in den P-Bereich und füllen Löcher auf
- ◆ Spannungsquelle zieht Elektronen aus dem N-Bereich ab
- ◆ PN-Übergang wird größer
- ◆ Strom kann nicht fließen

E.12

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

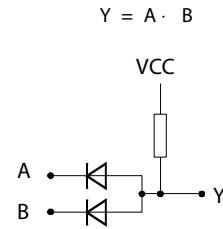
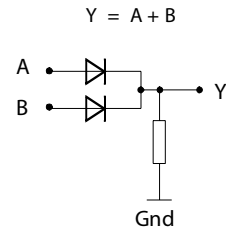
## 2.3 Digitale Diodenschaltungen



### ■ Abbildung der Wahrheitswerte (positive Logik)

- ◆ 1: Stromfluss/positive Spannung
- ◆ 0: kein Stromfluss/keine Spannung

### ■ Aufbau einfacher Gatter



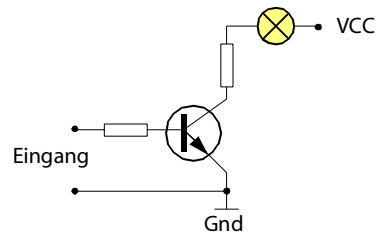
E.13

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 3 Transistor (2)



### ■ Transistor als Schalter und Verstärker



- ◆ kleiner Schaltstrom an der Basis
- ◆ großer Ausgangsstrom zwischen Collector und Emmitter
- ◆ Verstärkung zwischen Basis- und Collector-Kreis

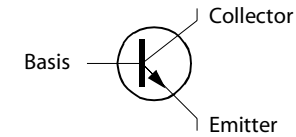
E.15

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 3 Transistor



### ■ Halbleiterbauteil mit drei Anschlüssen (bipolare Transistoren)



- ◆ zwischen Basis und Emmitter sowie zwischen Basis und Collector wirkt Transistor wie eine Diode
- ◆ zwischen Emmitter und Collector fließt zunächst kein Strom
- ◆ durch geringen Strom an der Basis wird Transistor zwischen Collector und Emmitter leitend

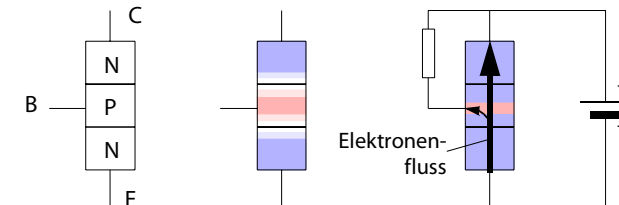
E.14

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 3 Transistor (3)



### ■ Interner Aufbau



- ◆ drei Schichten: NPN
- ◆ Ruhezustand: PN-Übergänge
- ◆ geringer Basisstrom
  - Verringerung des PN-Übergangs zwischen Emmitter und Basis
  - Verringerung des PN-Übergangs zwischen Basis und Collector

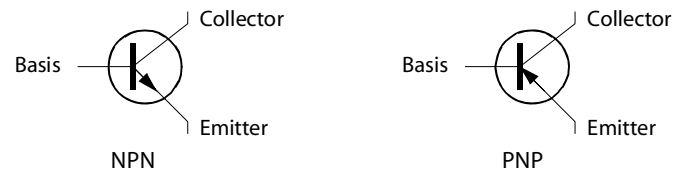
E.16

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

### 3 Transistor (4)



#### ■ NPN- und PNP-Transistoren



- ◆ prinzipiell gleiche Funktionsweise
- ◆ verschiedene Polung

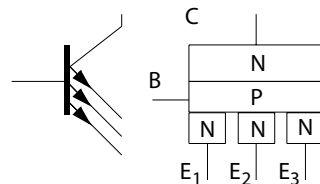
E.17

### 3.1 Digitale Transistorschaltungen (2)



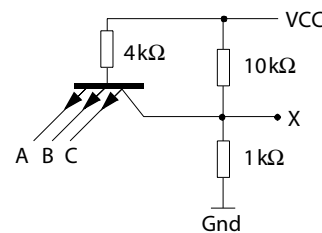
#### ■ Multi-Emitter-Transistoren

- ◆ je eine Basis- und Collector-Zone
- ◆ mehrere Emitterzonen



#### ■ AND-Gatter mit Multi-Emitter-Transistor

- ◆ Transistor schaltet durch
- ◆ einer von A, B, C auf Masse
  - X hat nur geringe Spannung
- ◆ alle A, B, C auf VCC
  - X hat hohe Spannung

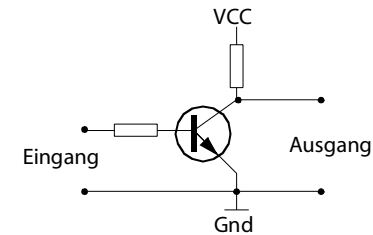


E.19

### 3.1 Digitale Transistorschaltungen



#### ■ Einfacher Inverter



- ◆ liegt Masse (0) am Eingang an sperrt Transistor
  - am Ausgang liegt fast vollständige Versorgungsspannung (1)
- ◆ liegt Versorgungsspannung (1) am Eingang schaltet Transistor durch
  - am Ausgang liegt nur geringe Spannung an (0)

E.18

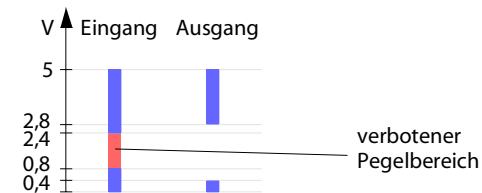
### 3.2 TTL



#### ■ Transistor-Transistor-Logic (TTL)

- ◆ Gatteraufbau nur mit bipolaren Transistoren

#### ■ Pegelbereiche

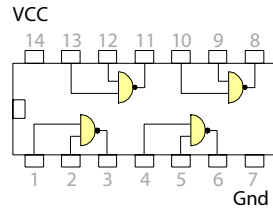


E.20

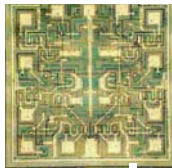
### 3.2 TTL (2)



- TTL-Schaltkreise
  - ◆ meist als Dual-in-Line-Gehäuse
- Beispiel: Baustein 7400



vier NAND-Gatter mit je zwei Eingängen



Blick auf das Siliziumsubstrat

E.21

### 3.2 TTL (4)



- TTL-Familien

	TTL	LS-TTL	ALS-TTL	F-TTL	AS-TTL
Bezeichnung	74xx	74LSxx	74ALSxx	74Fxx	74ASxx
Spannung	5V				
Leistung pro Gatter	10mW	2mW	1mW	4mW	22mW
Schaltzeit	10ns	9ns	4ns	2,5ns	1,5ns
max. Frequenz	40MHz	50MHz	100MHz	125MHz	230MHz

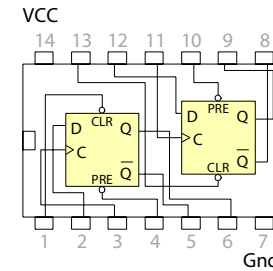
- Problem
  - ◆ Erhöhung der Schaltgeschwindigkeit führt zu höherer Leistungsaufnahme.
  - ◆ spezielle „Low-power“ Transistoren und Schaltungen im Einsatz

E.23

### 3.2 TTL (3)



- Beispiel: Baustein 74LS74



zwei positiv-flankengetriggerte D-Flip-Flops

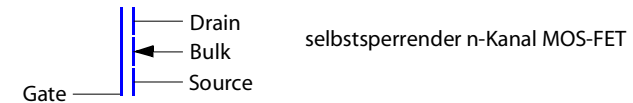
- CLR = explizites asynchr. Rücksetzen
- PRE = explizites asynchr. Setzen

E.22

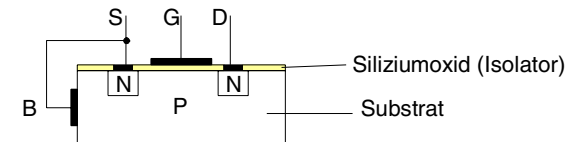
### 4 MOS-Feldeffekttransistor



- MOS-FET (Metal-Oxide-Semiconductor, Metall-Oxid-Halbleiter)
- Elektrisches Feld steuert Leitfähigkeit im Halbleiterkristall
  - ◆ Schaltbild



- ◆ Bulk (Substrat) üblicherweise mit Source verbunden
- ◆ Aufbau



E.24

## 4 Feldeffekttransistor (2)



### ■ Funktionsweise

- ◆ zunächst Transistor gesperrt
  - zwischen Drain und Source hoher Widerstand, kein Stromfluss (selbstsperrend)
- ◆ positive Spannung zwischen Gate und Source
  - elektrisches Feld sorgt für Leitfähigkeit zwischen Source und Drain, Stromfluss

### \* Vorteil

- ◆ elektrisches Feld benötigt keinen Stromfluss (nur Spannung)
- ◆ leistungsloser Betrieb
- ◆ lediglich Umschalten erfordert Wechsel der Ladungszustände (kostet Energie)
- ◆ Leistungsaufnahme von Umschaltfrequenz abhängig

E.25

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

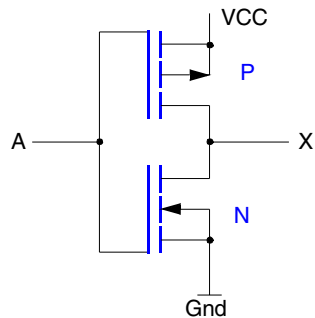
## 4.1 CMOS-Schaltung



### ■ CMOS (Complementary Symmetry-Metal Oxide Semiconductor)

- ◆ komplementär symmetrischer MOS-Halbleiter
- ◆ Einsatz selbstsperrender n- und p-Kanal MOS-FETs

### ■ Beispiel: Nicht-Gatter



- ◆ einer der Transistoren ist immer gesperrt
- ◆ niedrige Leistungsaufnahme
- ◆ kaum Stromfluss durch beide Transistoren

E.27

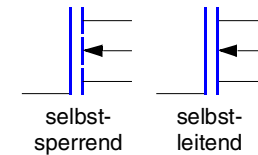
© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 4 Feldeffekttransistor (3)

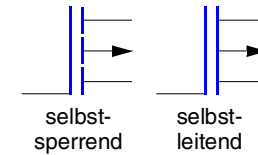


### ■ Typen

- ◆ n-Kanal MOS FET
  - selbstsperrend (Gate-Source-Spannung schaltet durch)
  - selbstleitend (Gate-Source-Spannung sperrt)



- ◆ p-Kanal MOS FET
  - selbstsperrend
  - selbstleitend



E.26

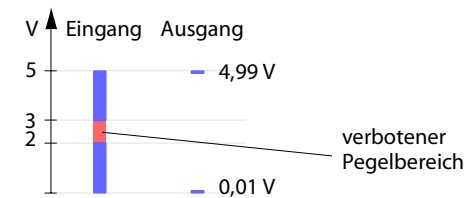
© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>

## 4.1 CMOS-Schaltung (2)



### ■ Versorgungsspannung

- ◆ kann in weiten Grenzen schwanken
- ◆ TTL-kompatible Pegel möglich
  - Beispiel



### ■ Schaltungen empfindlich gegen Überspannungen (Entladungen)

- ◆ Schutzschaltungen an den Eingängen integrierter Bausteine

E.28

© 2002-2007, Franz J. Hauck, Verteilte Systeme, Univ. Ulm, [2007s-T11-E-Tech.fm, 2007-05-15 12.12] <http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/teach/ss07/ti1/>