

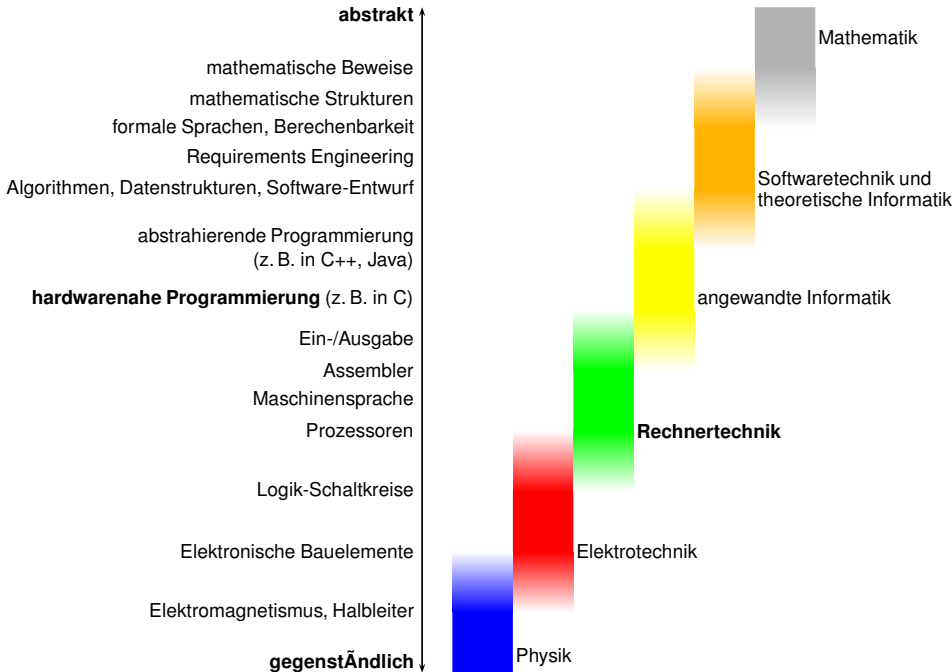
Rechnertechnik

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

22. März 2022

Online-Werkzeuge

- **Mumble:** Seminarraum 2
Fragen: Mikrophon einschalten oder über den Chat
Umfragen: über den Chat
- **VNC:** Kanal 6, Passwort: `testcvh`
Eigenen Bildschirm freigeben: per VNC-Server oder Web-Interface
Kamerabild übertragen: Link zu Web-Interface auf Anfrage
- Allgemeine Informationen: <https://www.cvh-server.de/online-werkzeuge/>
- Notfall-Schnellzugang: <https://www.cvh-server.de/virtuelle-raeume/>
Seminarraum 2, VNC-Passwort: `testcvh`
- Bei Problemen: bitte notieren:
Art des Problems, genaue Uhrzeit, JavaScript-Fehlermeldungen (F12)
- GitLab: <https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/rtech>
Links auf die Datei klicken, nicht mittig auf den Kommentar.



Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

- Finger

Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

dem menschlichen Hirn

- Finger

Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

dem menschlichen Hirn

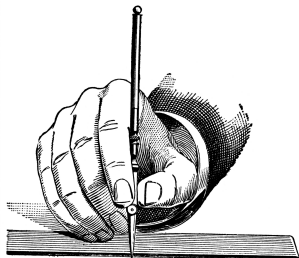
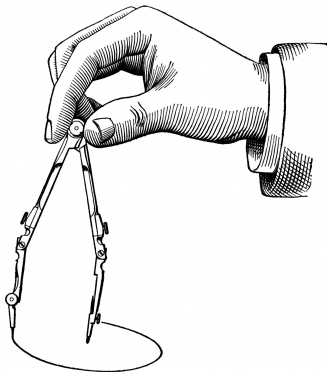
- Finger
- Papier und Bleistift, Sand, Tontafeln etc.

Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

dem menschlichen Hirn

- Finger
- Papier und Bleistift, Sand, Tontafeln etc.
- Zirkel und Lineal



Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

dem menschlichen Hirn

- Finger
- Papier und Bleistift, Sand, Tontafeln etc.
- Zirkel und Lineal
- Abakus
- Mechanische Rechenmaschine
- Rechenschieber
- Taschenrechner



Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

dem menschlichen Hirn

- Finger
- Papier und Bleistift, Sand, Tontafeln etc.
- Zirkel und Lineal
- Abakus
- Mechanische Rechenmaschine
- Rechenschieber
- Taschenrechner
- Computer

Rechnertechnik

Rechner (engl.: Computer) = Werkzeug, das beim Rechnen hilft

dem menschlichen Hirn

- Finger
- Papier und Bleistift, Sand, Tontafeln etc.
- Zirkel und Lineal
- Abakus
- Mechanische Rechenmaschine
- Rechenschieber
- Taschenrechner
- Analog-Computer
- (Digital-)Computer

Rechnertechnik

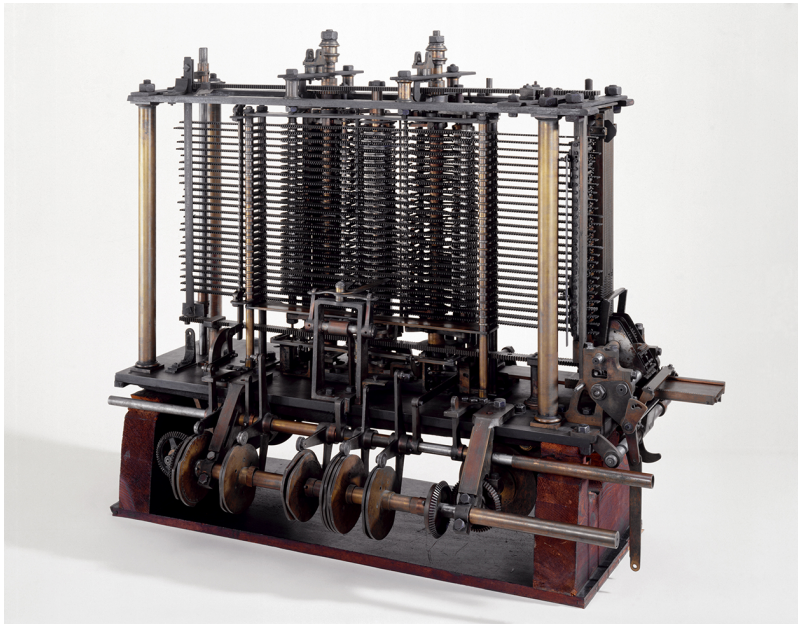
Was ist ein Computer?

- Rechner (engl.: Computer)
= Werkzeug, das (dem menschlichen Gehirn) beim Rechnen hilft
- Computer (im engeren Sinne)
= Turing-vollständiger Rechner

Rechnertechnik

Was ist ein Computer?

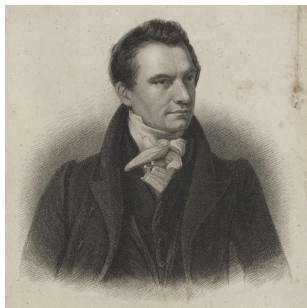
- Rechner (engl.: Computer)
= Werkzeug, das (dem menschlichen Gehirn) beim Rechnen hilft
- Computer (im engeren Sinne)
= Turing-vollständiger Rechner
= programmierbar mit **while**
= programmierbar mit **if** und **goto**



Turing-vollständiger Computer aus Zahnrädern: Analytical Engine (1837)

Rechnertechnik

Was ist ein Computer?



Charles Babbage (1791–1871)



Ada Lovelace (1815–1852)

Turing-vollständiger Computer aus Zahnrädern: Analytical Engine (1837)

- mechanische Rechenmaschine (Antrieb: Dampfmaschine)
- funktionsfähig geplant von Charles Babbage (nie gebaut)
- programmiert von Ada Lovelace (erste Computer-Programme der Welt)

Rechnertechnik

1 Einführung

1.1 Was ist Rechnertechnik?

1.2 Was ist ein Computer?

2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

2.2 Binärdarstellung von Zahlen

2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

2.4 Negative Zahlen

2.5 Vom Addierer zum Computer

...

3 Architekturmerkmale von Prozessoren

4 Der CPU-Stack

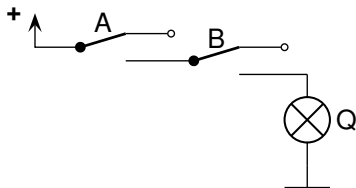
...

2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

- *Reihenschaltung*



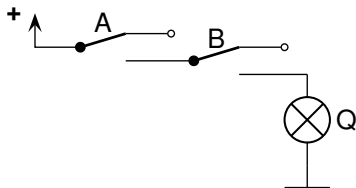
2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

- *Reihenschaltung*

Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.



2 Vom Schaltkreis zum Computer

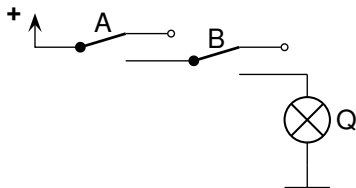
2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

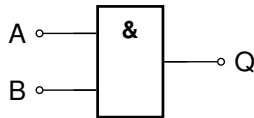
- Reihenschaltung*

Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.

Und-Verknüpfung



A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

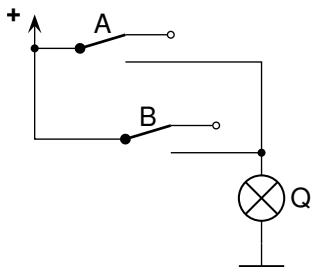
Logik mit Lichtschaltern

- *Reihenschaltung*

Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.

Und-Verknüpfung

- *Parallelschaltung*



2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

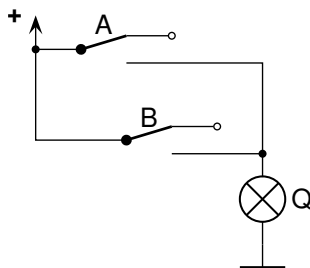
- *Reihenschaltung*

Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.

Und-Verknüpfung

- *Parallelschaltung*

Lampe leuchtet, wenn mindestens ein Schalter betätigt ist.



2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

- *Reihenschaltung*

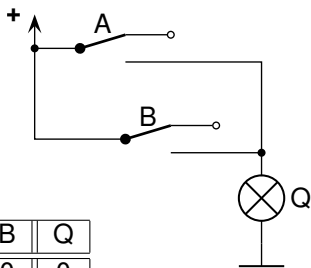
Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.

Und-Verknüpfung

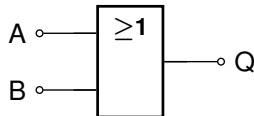
- *Parallelschaltung*

Lampe leuchtet, wenn mindestens ein Schalter betätigt ist.

Oder-Verknüpfung



A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

- *Reihenschaltung*

Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.

Und-Verknüpfung

- *Parallelschaltung*

Lampe leuchtet, wenn mindestens ein Schalter betätigt ist.

Oder-Verknüpfung

- **Sie sind dran:**

Man kann die Lampe jederzeit an jedem der beiden Schalter ein- oder ausschalten.

Exklusiv-Oder-Verknüpfung

2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik mit Lichtschaltern

- *Reihenschaltung*

Lampe leuchtet nur, wenn beide Schalter betätigt sind.

Und-Verknüpfung

- *Parallelschaltung*

Lampe leuchtet, wenn mindestens ein Schalter betätigt ist.

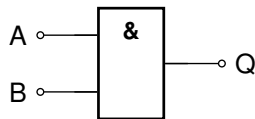
Oder-Verknüpfung

- **Sie sind dran:**

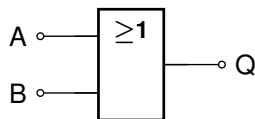
Man kann die Lampe jederzeit an jedem der beiden Schalter ein- oder ausschalten.

Exklusiv-Oder-Verknüpfung

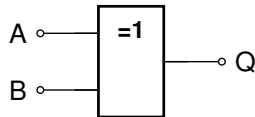
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

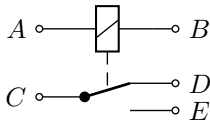
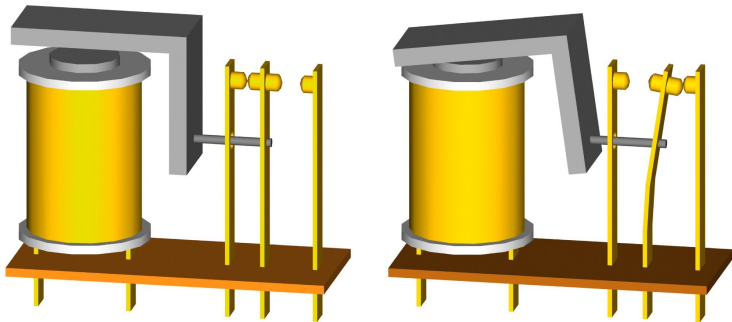


A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



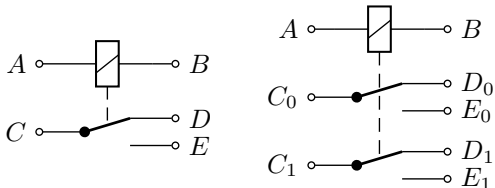
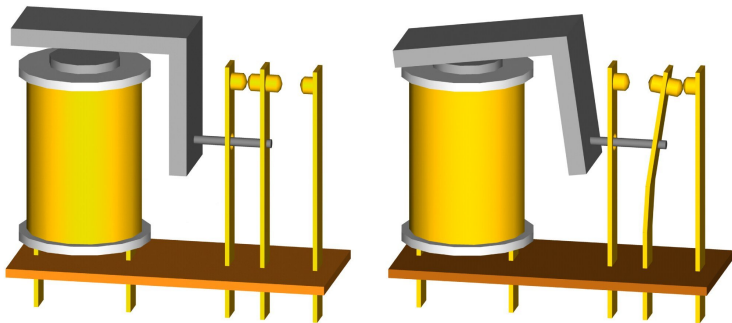
2.1 Logik-Schaltkreise

Relais: Strom schaltet einen Schalter



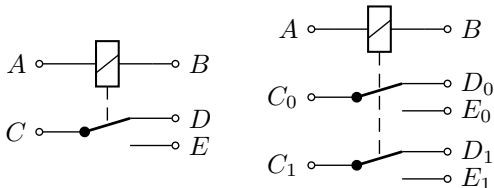
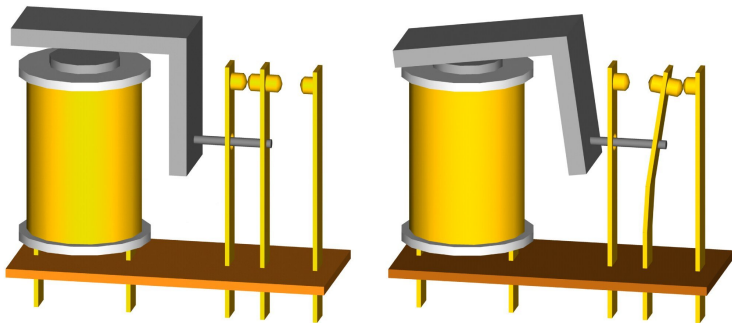
2.1 Logik-Schaltkreise

Relais: Strom schaltet einen Schalter



2.1 Logik-Schaltkreise

Relais: Strom schaltet einen Schalter



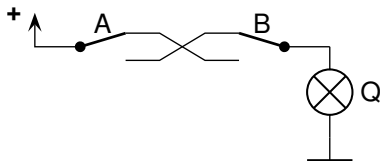
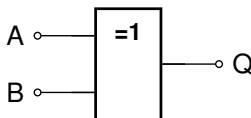
→ Logik-Schaltungen
werden kombinierbar.

2.1 Logik-Schaltkreise

Logik-Schaltungen kombinieren

- Und-Verknüpfung: Reihenschaltung
- Oder-Verknüpfung: Parallelschaltung
- Exklusiv-Oder-Verknüpfung
„entweder A oder B, aber nicht beide“

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

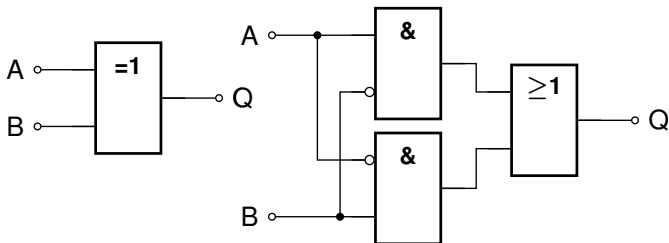


2.1 Logik-Schaltkreise

Logik-Schaltungen kombinieren

- Und-Verknüpfung: Reihenschaltung
- Oder-Verknüpfung: Parallelschaltung
- Exklusiv-Oder-Verknüpfung:
(A und nicht B) oder (B und nicht A)

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



2.2 Binärdarstellung von Zahlen

Dezimalzahl:

$$\begin{aligned} 537_{10} &= 7 \cdot 1 + 3 \cdot 10 + 5 \cdot 100 \\ &= 7 \cdot 10^0 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^2 \end{aligned}$$

Binärzahl:

$$\begin{aligned} 26_{10} = 11010_2 &= 0 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 16 \\ &= 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 \end{aligned}$$

2.2 Binärdarstellung von Zahlen

Rechnen mit Dezimalzahlen: $44_{10} + 46_{10}$

$$\begin{array}{r} 44 \\ + 46 \\ \hline 90 \end{array}$$

Rechnen mit Binärzahlen: $44_{10} + 46_{10} = 101100_2 + 101110_2$

$$\begin{array}{r} 101100 \\ + 101110 \\ \hline 1\ 11110 \\ 1011010 \end{array}$$

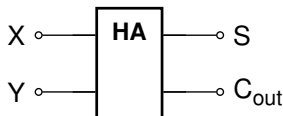
Ergebnis:

$$\begin{aligned} 1011010_2 &= 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 \\ &= 2 + 8 + 16 + 64 \\ &= 90 \end{aligned}$$

2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

- Und-Verknüpfung: Reihenschaltung
- Oder-Verknüpfung: Parallelschaltung
- Exklusiv-Oder-Verknüpfung:
(A und nicht B) oder (B und nicht A)
- Halbaddierer: 1-Bit-Addierer mit 2 Eingängen (X, Y)
Ausgang $S = X$ exklusiv-oder Y
Ausgang $C_{out} = X$ und Y

X	Y	C_{out}	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0



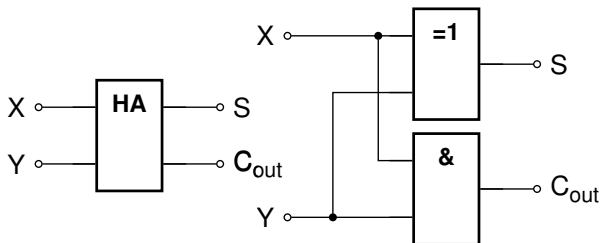
2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

- Und-Verknüpfung: Reihenschaltung
- Oder-Verknüpfung: Parallelschaltung
- Exklusiv-Oder-Verknüpfung:
(A und nicht B) oder (B und nicht A)
- Halbaddierer: 1-Bit-Addierer mit 2 Eingängen (X, Y)

Ausgang $S = X$ exklusiv-oder Y

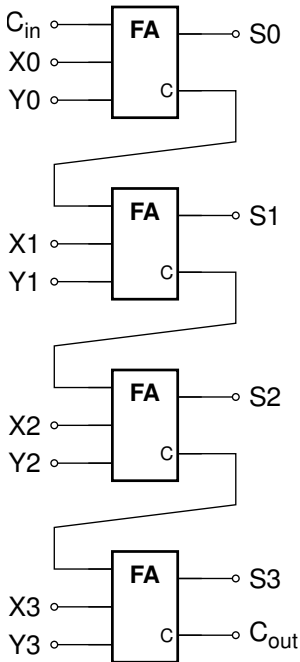
Ausgang $C_{out} = X$ und Y

X	Y	C_{out}	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0



2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

- Und-Verknüpfung: Reihenschaltung
- Oder-Verknüpfung: Parallelschaltung
- Exklusiv-Oder-Verknüpfung:
(A und nicht B) oder (B und nicht A)
- Halbaddierer: 1-Bit-Addierer mit 2 Eingängen (X, Y)
Ausgang $S = X \text{ exklusiv-oder } Y$
Ausgang $C_{\text{out}} = X \text{ und } Y$
- Volladdierer: 1-Bit-Addierer mit 3 Eingängen (X, Y, C_{in})
Sie sind dran.



2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

- 4 Volladdierer
→ 4-Bit-Addierer mit Übertrag
- allgemein: n -Bit-Addierer

Problem: Das Signal für den Übertrag wandert von Volladdierer zu Volladdierer; die Schaltzeiten addieren sich.
→ langsam

Lösungswege: siehe
<http://de.wikipedia.org/wiki/Addierer>

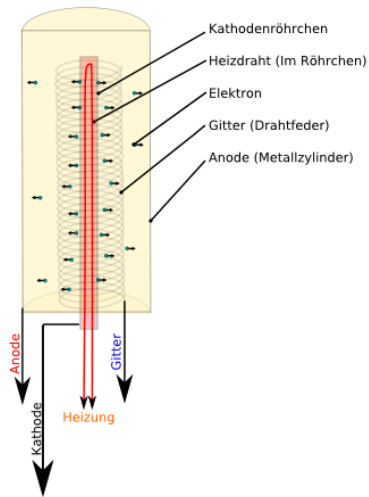
2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

Zuse Z3: Rechner aus Relais



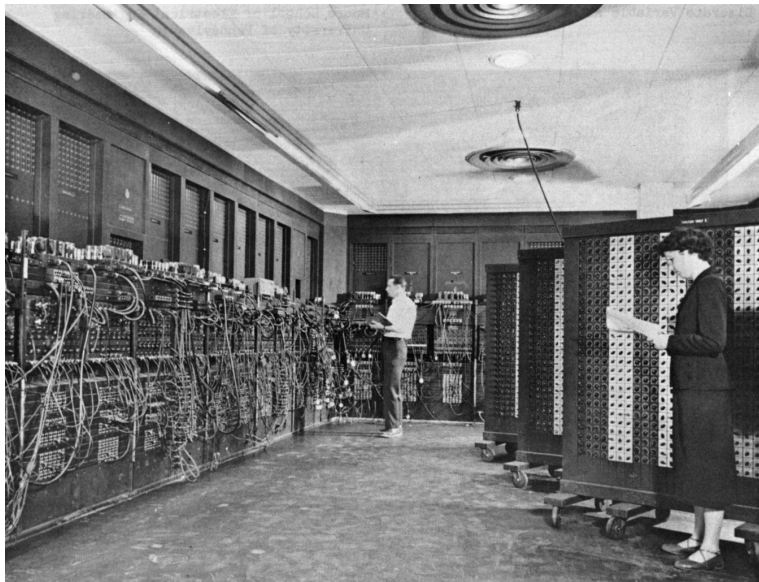
2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

Statt Relais: Elektronenröhren



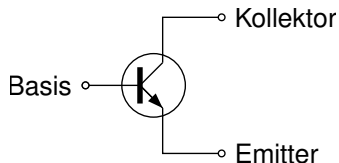
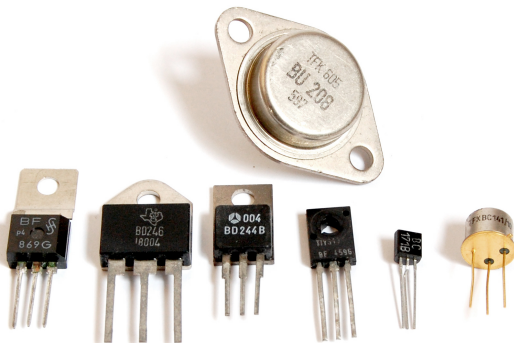
2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

ENIAC: Rechner aus Elektronenröhren

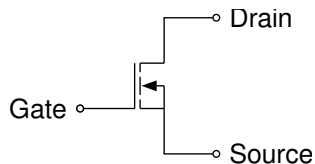


2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

Statt Elektronenröhren: Transistoren



Bipolartransistor

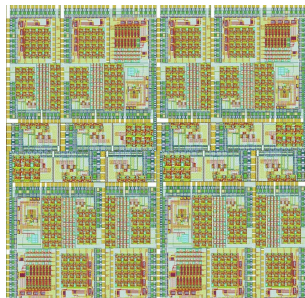
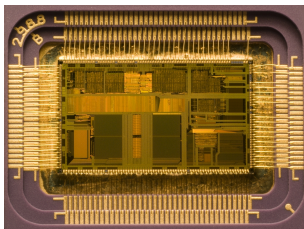
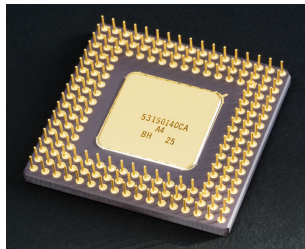


Feldeffekttransistor

2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

Miniaturisierte Transistoren: Integrierte Schaltkreise

Integrated Circuit – IC



Rechnertechnik

1 Einführung

1.1 Was ist Rechnertechnik?

1.2 Was ist ein Computer?

2 Vom Schaltkreis zum Computer

2.1 Logik-Schaltkreise

2.2 Binärdarstellung von Zahlen

2.3 Vom Logik-Schaltkreis zum Addierer

2.4 Negative Zahlen

2.5 Vom Addierer zum Computer

...

3 Architekturmerkmale von Prozessoren

4 Der CPU-Stack

...

2.4 Negative Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

2.4 Negative Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

2.4 Negative Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

2.4 Negative Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

2.4 Negative Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→ $127 + 1 = -128$

2.4 Negative Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

16-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint16_t`

→ Zahlenwerte von `0x0000` bis `0xffff` = 0 bis 65535

→ $65535 + 1 = 0$

`uint8_t`

0 bis 255

$255 + 1 = 0$

16-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int16_t`

`0xffff` = 65535 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

`int8_t`

`0xff` = 255 = -1

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→ $32767 + 1 = -32768$

Literatur: <http://xkcd.com/571/>

2.4 Negative Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

2.4 Negative Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

2.4 Negative Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

Little-Endian:

als <code>int8_t</code> :	−93	(nur erstes Byte)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur erstes Byte)
als <code>int16_t</code> :	−28509	
als <code>uint16_t</code> :	37027	
<code>int32_t</code> oder größer:	37027	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)

2.4 Negative Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt

a3	90
----	----

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

Little-Endian:

als <code>int8_t</code> :	−93	(nur erstes Byte)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur erstes Byte)
als <code>int16_t</code> :	−28509	
als <code>uint16_t</code> :	37027	
<code>int32_t</code> oder größer:	37027	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)

Big-Endian:

als <code>int8_t</code> :	−93	(nur erstes Byte)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur erstes Byte)
als <code>int16_t</code> :	−23664	
als <code>uint16_t</code> :	41872	
als <code>int32_t</code> :	−1550843904	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)
als <code>uint32_t</code> :	2744123392	
als <code>int64_t</code> :	−6660823848880963584	
als <code>uint64_t</code> :	11785920224828588032	

2.4 Negative Zahlen

Aufbau einer Schaltung zum Bilden des Zweierkomplements:

Sie sind dran.