max planck institut
informatik

Ideen und Konzepte der Informatik

Rechner

Antonios Antoniadis

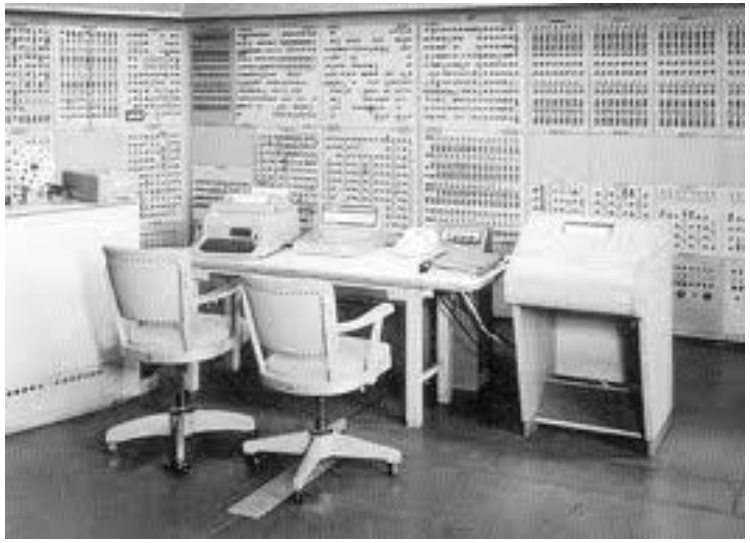
(basierend auf Folien von Kurt Mehlhorn)

Thema heute

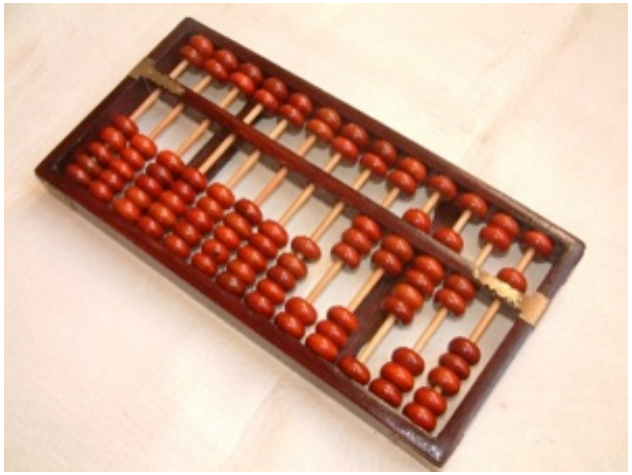
Rechner/Computer

1. Wie funktionieren Computer?
   - Der Von-Neumann-Rechner
2. Universalität von Rechnern (Basis für Siegeszug der Informatik)
   - Was bedeutet Universalität ?
3. Geschichtlicher Rückblick
4. Alan Turing
   - Person / Turingmaschine / Turingthese

Was ist ein Computer?



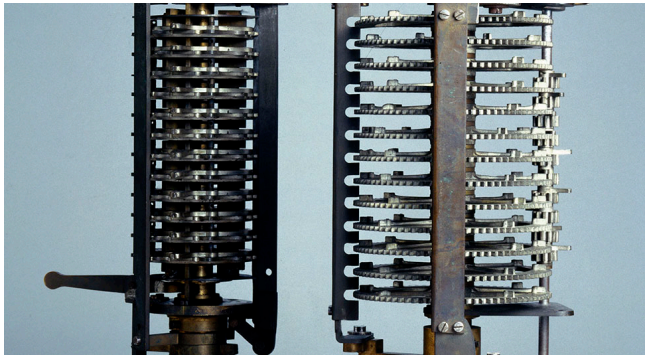
Frühe “analoge” Rechner



Abacus 2400 BC

Mechanismus von Antikythera 100 BC

Programmierbare Rechner



Charles Babagge (1791-1871), Ada Lovelace (1815-1852)

„Analytical Machine“

Maschine zur Auswertung von Polynomen, Logarithmentafeln

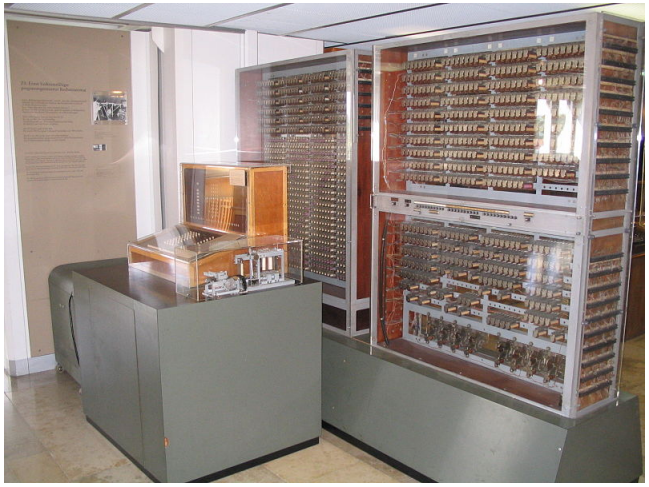
nie fertig geworden

Konrad Zuse (1910-1995)

Z1, 1938

Mechanisch

Frühe Computer (Konrad Zuse)



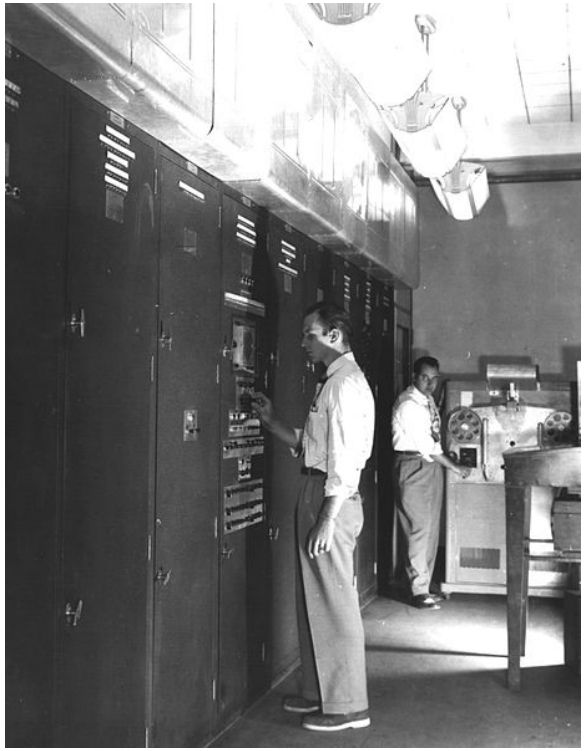
Zuse Z3

Zuse Z4

- Z3 und Z4 arbeiten mit Relais (elektromagnetische Schalter)
- Z3 und Z4 sind programmierbar (Programm extern) und universell

ENIAC *(1946)*

EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer)



"First Draft of a Report on the EDVAC"

by John von Neumann, 1945

EDVAC, fertiggestellt im Jahr 1951

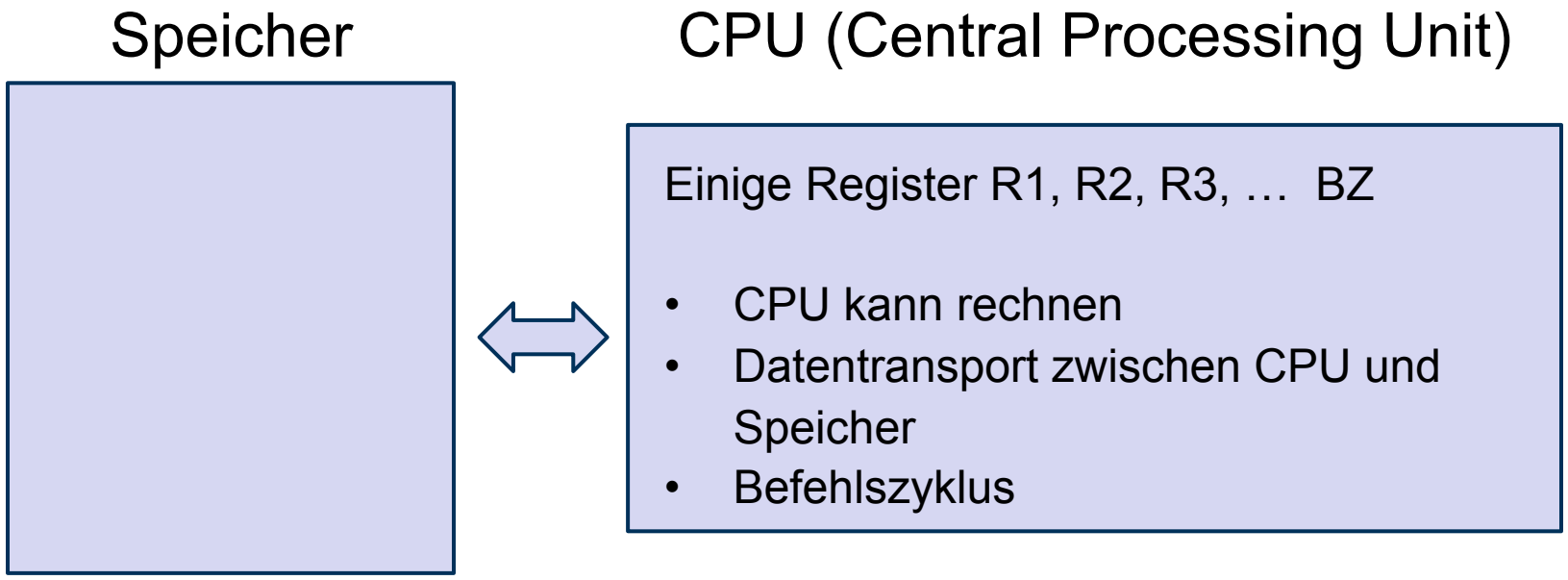
- Speicherinterne Programme
- Speicher: 5,5 kilobytes
- Eine Multiplikation in 2,9 Millisekunden
- 6000 Vakuumrohre
- Stromverbrauch 56 kW
- 45,5 m² Bodenfläche und 7850 kg Gewicht
- Betriebspersonal 30 Personen für jede 8-Stunden-Schicht
- Kosten: 500000 Dollar (entspricht etwa 6 Millionen in 2010)

Das Vorbild für alle modernen Rechner

Bitstrings und Speicher

- Bitstring = Folge von Nullen und Einsen, z.B. 00110110
- Bitstring kann man interpretieren als
  - Zahl, z. B. 1010 ≡ 1x8 + 0x4 + 1x2 + 0x1 = 10
  - Buchstabe, z. B. 01000000 ≡ @
    01100001 ≡ a
- Speicher besteht aus Speicherzellen
  - sind nummeriert: 0, 1, 2, 3, 4, 5 …
  - speichern Bitstring der Länge 64, früher: 32, 16

Von-Neumann-Rechner



- Speicherzellen in der CPU heißen Register
- CPU kann rechnen (Befehlsumfang = billiger Taschenrechner)
- Speicher enthält Daten und Programm
- Befehlszyklus sorgt für die Ausführung des Programms,
  BZ = Befehlszähler

Typische Befehle

Transport	R3 ← M[5] M[5] ← R2	R1 ← M[R4] M[R2] ← R1
Rechnen	R1 ← 0	R1 ← R2 + R3
Sprung	BZ ← 7	BZ ← R1
Bed. Sprung	if R1 > 0, BZ ← n, else BZ ← BZ + 1	
Stop	STOP	

Programme und Befehlszyklus

Programm ist eine Folge von Befehlen

- Befehl 1
- Befehl 2
- Befehl 3
- Befehl 4
- Befehl 5
- Befehl 6

Befehlszyklus,

BZ = Befehlszähler

1. BZ ← 1
2. Führe Befehl mit der Nummer BZ aus. Falls STOP, halte an.
3. Erhöhe BZ um eins (außer bei Sprungbefehl, der BZ setzt)
4. Gehe nach 2.

In M[1] steht eine Zahl n, bilde 1 + … + n

1. R1 ← 0
2. M[2] ← R1
3. R1 ← M[2]
4. R1 ← R1 + M[1]
5. M[2] ← R1
6. R1 ← M[1]
7. R1 ← R1 - 1
8. M[1] ← R1
9. IF R1 > 0, BZ ← 3
10. STOP

Ausführung für n = 4

BZ

R1

M[1]

M[2]

Laufzeit =

Korrektheit des Programs

1. **R1 ← 0**
2. **R2 ← M[1]**
3. **R1 ← R1 + R2**
4. **R2 ← R2 - 1**
5. **IF R2 > 0, BZ ← 3**
6. **STOP**

Am Anfang steht in M[1] eine natürliche Zahl $n \geq 1$.

Wenn das Programm stoppt, dann steht in R1 die Summe $1 + \ldots + n$.

Jedes Mal bevor Befehl 3 ausgeführt wird, gilt:

- In R2 steht eine natürliche Zahl i mit $n \geq i \geq 1$.
- In R1 steht $n + \ldots + (i + 1)$

Höhere Programmiersprachen

1. R1 ← 0
2. M[2] ← R1
3. R1 ← M[2]
4. R1 ← R1 + M[1]
5. M[2] ← R1
6. R1 ← M[1]
7. R1 ← R1 - 1
8. M[1] ← R1
9. IF R1 > 0, BZ ← 3
10. STOP

```
sum ← 0;
i ← n;
while (i > 0)
    sum ← sum + i;
    i ← i – 1;
```

Produktivitätsgewinn

Java, C, C++, Python,

Compiler übersetzen

Hardware

- Der Speicher, die CPU (Central Processing Unit), die Peripherie (Bildschirm, Tastatur, Maus, Netzanbindung, …)
- Führt Befehle aus und realisiert den Befehlszyklus.
- Reagiert auf Peripherie.
- Kauft man im Laden.
- Kann jedes Programm ausführen.

Software

- Die Summe der installierten Programme.
- Programme sind im Speicher abgelegt und werden durch die Hardware ausgeführt.
- Der Fantasie sind kaum Grenzen gesetzt.
- Lädt man aus dem Netz.
- Erstellen von guter Software ist teuer.
- Vervielfältigen ist billig, Grenzkosten ≈ Null

Kenngrößen und Neuerungen

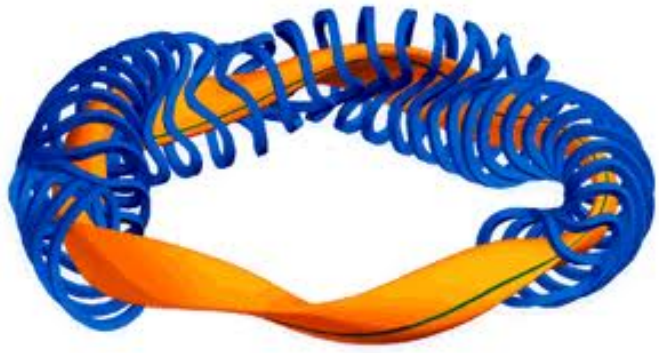
- Hauptspeicher: 10^9 Worte a 64 Bit
- Befehlszyklus: 10^9 Befehle pro Sekunde
- Eine Million mal leistungsfähiger (Geschwindigkeit, Speicher, Größe), Tausend mal billiger als 1950
- Neuerungen seit 1950
  - Interrupts (Unterbrechungen), mehrere Programme gleichzeitig
  - Speicherhierarchie: Cache, Main, Disk
  - Bildschirme, Grafik, Maus, Sound, Touch, Mikro
  - Netze
  - Preis und Leistung
  - **Software, Nutzerfreundlichkeit**

Bildschirme und Graphik

- Dieser Schirm: 1366 x 768 Bildpunkte (Pixels)
- Die CPU kann für jedes Pixel Farbe und Helligkeit einstellen

Supercomputer

- 72 Schränke
- 73000 PowerPCs mit je 2 Gbyte RAM
- Simulation: Physik, Klima, Chemie, Strömung
- 13 Mio Euro



Universalität von Rechnern

- Rechner sind **universell,** d.h., sie können **jedes** Programm ausführen, sofern es nur in ihre Maschinensprache übersetzt ist und es die Ressourcen des Rechners nicht sprengt

- Universalität von Rechnern ist wesentlich für den Erfolg der Informatik
  - Ein Programm auf vielen Rechnern
  - Viele Programme auf einem Rechner

Rechner sind universell

- Normale Werkzeuge sind nicht universell: Hammer, Feile, Zange, Auto, ….
- Viele Programme auf einem Rechner: Ein Smartphone ist Telefon, aktiver Kalender, Fitnesstrainer, Bankterminal, Wetterauskunft, Browser, Suchmaschine, Musik- und Filmspieler, Spielzeug, …
- Ein Programm auf viele Rechner: Office läuft auf Rechnern von IBM, Lenovo, Toshiba, Samsung, Apple, …

Laufzeit von Programmen

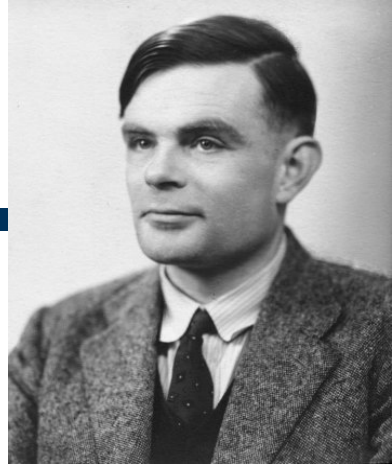
- Ausführungszeit in Sekunden
  - $n = 10^8$, 0.19 sec $n = 10^9$, 1.23 sec
- Für theoretische Überlegungen: Anzahl der ausgeführten Befehle
- Hier: $3 + 7n = O(n)$
- O( ) = Landausymbol für asymptotisches Wachstum: gibt nur den am schnellsten wachsenden Anteil wieder und ignoriert konstante Faktoren

Geschichtlicher Rückblick

- Charles Babbage (1791 – 1871) + Ada Lovelace: Maschine zur Auswertung von Polynomen, Logarithmentafeln, nie fertig

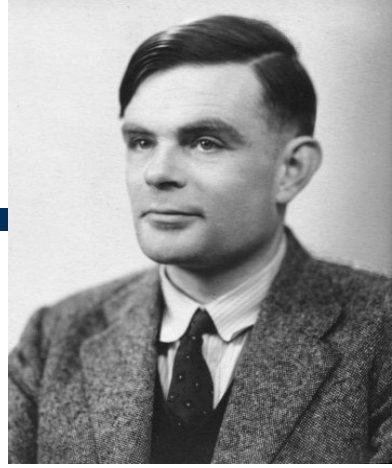
- Alan Turing (1936) entwirft einfachen universellen Rechner als Gedankenexperiment.
- Konrad Zuse (1941): erster funktionierender programmierbarer Rechner
- Mauchly und Presper (43/44) bauen ENIAC
- Grace Hopper (53): erste Programmiersprache (Cobol)

Alan Turing (1912 – 1952)



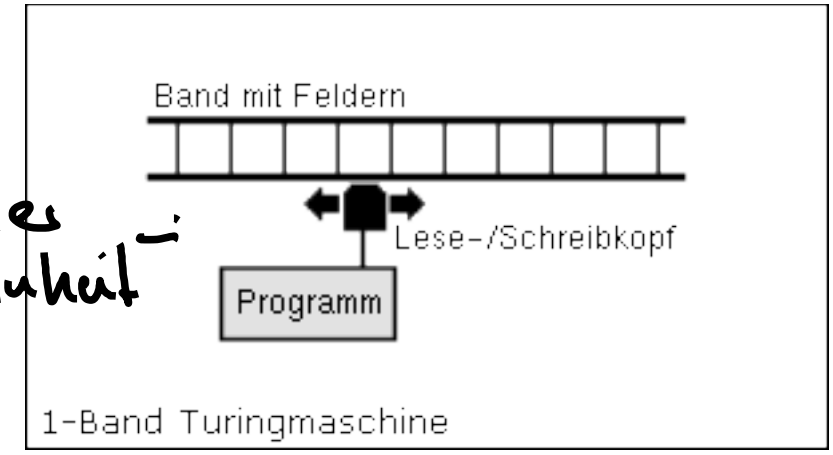
- Britischer Mathematiker
- „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem“, 1936
- David Hilbert (1928): kann Mathematik mechanisiert werden?
- Kurt Goedel (1931): NEIN (Parallelen zum „Lügner Paradox“: Dieser Satz ist falsch.)
- Turings Arbeit von 1936 vereinfacht den Beweis wesentlich und führt TM ein

Alan Turing (1912 – 1952)



- Kryptanalyse: Churchill: „Alan Turing made the single biggest contribution to Allied victory in the war against Nazi Germany.“
- Muster in der Natur
- Sehr guter Sportler, Marathon in 2:46 (Olympiasieger in 1948, Zeit 2:35)
- Verurteilung wegen Homosexualität in 1952, chemische Kastration
- Selbstmord durch Blausäure in 1954

Die Turingmaschine



Steuereinheit

Auf jedem Bandquadrat steht ein Buchstabe (Symbol, Zeichen) in
A, …, Z, a, …, z, 0, …, 9, $, §, …, leer

Endliches Alphabet

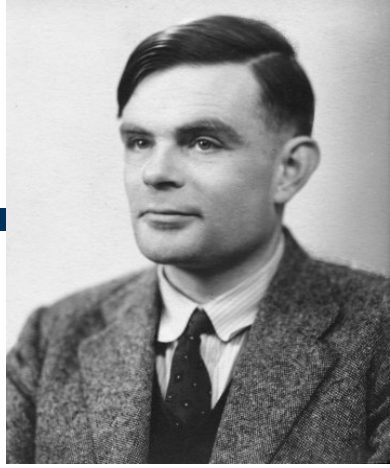
Steuereinheit befindet sich in einem von **endlich** vielen Zuständen
p, q, q0, q1, q2, …

Turingbefehl	Zustand	Zeichen	neuer Zustand	neues Zeichen	Bewegung
	q1	a	q2	b	R

Wenn du im Zustand q1 ein a liest, dann gehe in den Zustand q2 über, drucke ein b und bewege den Kopf nach rechts

Turingprogramm = Menge (Folge) von Turingbefehlen, je zwei unterscheiden sich in den ersten Spalten

Turing-These (1936)



- Turing hat TM im Jahr 1936 eingeführt
- These: Turing Maschine fasst den Begriff „nach Regeln berechenbar“
- 4 Argumente
  - Menschliche Rechner, siehe nächste Folie
  - Beispiele, zählen, Dezimaldarstellung von pi
  - Universelle Turingmaschine
  - Äquivalenz zur Formalisierung von Church
- These ist allgemein akzeptiert

AEG Rechnerraum (1920)

Zusammenfassung

- Rechner sind (im Prinzip) recht einfach aufgebaut: Recheneinheit und Speicher
- Befehlzyklus: wiederhole bis STOP-Befehl
  - Führe Befehl aus und erhöhe Befehlszähler um 1
  - Bei Sprungbefehl setze BZ auf die genannte Adresse
- Übersetzung von höherer Programmiersprache in Maschinensprache erfolgt maschinell
- Rechner sind universell: viele Programme auf einem Rechner, das gleiche Programm auf vielen Rechnern