Rechnerarchitektur

Jürgen Ruf
Institut für Informatik

Ansprechpartner

- Jürgen Ruf
  - Raum 02-033
  - Gebäude 052
  - Sprechzeiten
    - Dienstags von 14:00-15:00
    - Donnerstags von 13:00-14:00
  - email: jruf@informatik.uni-freiburg.de

Wer bin ich

- Vertretung der Professur für Betriebssysteme am Lehrstuhl für Rechnerarchitektur
- Informatik Studium in Karlsruhe
- Promotion in KA
- seit 1999 Postdoc in Tübingen
- Forschungsinteressen
  - HW/SW-Systementwurf (Vertiefungsvorlesung, MI 10-12)
    - Systembeschreibungssprachen, Entwurfsmethodik
  - Verifikation/Simulation (Seminar, DO 10-12)
    - formale Methoden
    - Kombination

Organisation

- Scheinvergabe:
  Bestehen der Klausur am Ende des Semesters
- Vorlesung/Übung donnerstags:
  im Wechsel jeweils 1,5 Stunden
- Vorlesung:
  45 Minuten, 5 Minuten Pause, 45 Minuten

Literatur

- Patterson/Hennessy: Computer Organization and Design, **1997**
- Hennessy/Patterson: Computer Architecture, **1996**
- A. Tanenbaum: Structured Computer Organization (4th Edition), **1999**
- Hayes: Computer Architecture and Organization, **1998**

Was ist Rechnerarchitektur?

Was ist Rechnerarchitektur?

Rechner

Was ist Rechnerarchitektur?

- Rechner
- -Architektur

Rechner

- „Ein Rechner ist ein universell einsetzbares Gerät zur automatischen Verarbeitung von Daten“ [Duden]

-Architektur

-Architektur

- „externe“

„The term architecture is used here to describe the attributes of a system as seen by the programmer ...“
[Amdahl, Blaauw, Brooks, siehe Bode/Händler 1980]

-Architektur

- „externe“
  „The term architecture is used here to describe the attributes of a system as seen by the programmer ...“
  [Amdahl, Blaauw, Brooks, siehe Bode/Händler 1980]

- „interne“
  „The study of computer architecture is the study of the organization and interconnection of components of computer systems ...“
  [Stone, siehe Bode/Händler 1980]

Zur Einstimmung

Zur Einstimmung

- das „Szenario“
  - von den Anfängen zum Pentium,
    Chips mit 46 Millionen Transistoren
    aber ...

das Szenario

das Szenario

- „Frühgeschichte“

das Szenario

- „Frühgeschichte“

- Erste frei programmierbare Rechner
  1934-41 Zuse Z1, Z3
  1946 ENIAC

das Szenario

- „Frühgeschichte“

- Erste frei programmierbare Rechner
  1934-41 Zuse Z1, Z3
  1946 ENIAC

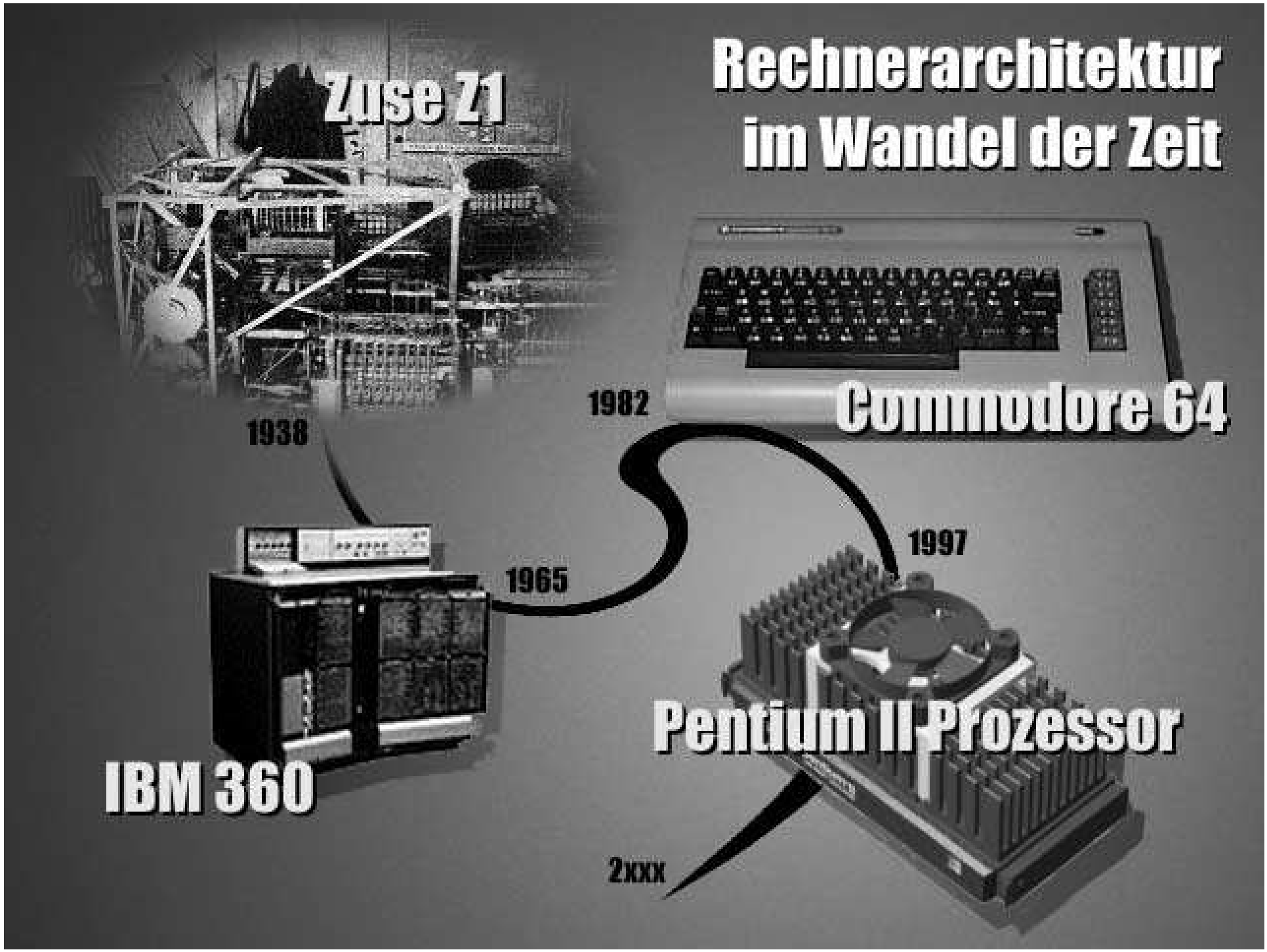
- Pentium 4

Frühgeschichte

- Altertum: griechische Zahnräder, römisches Rechenbrett
- Rechenmaschine von Schickard
- Lochkartenmaschine (um die Jahrhundertwende)
- Differentialanalysator (Bush, **1930**)

Frühgeschichte

- Theoretische Abhandlungen:
  - Turing (**1936**): "On Computable Numbers"
  - Shannon (**1936**): Verbindung zwischen symbolischer Logik und elektrischen Schaltungen
- Binäre Addiermaschine (Stibitz, **1937**)
- Allzweck-Computer (Zuse, **1938**)


Rechnerarchitektur
im Wandel der Zeit
Zuse Z1
1938
1982
Commodore 64
1965
1997
IBM 360
Pentium II Prozessor
2xxx

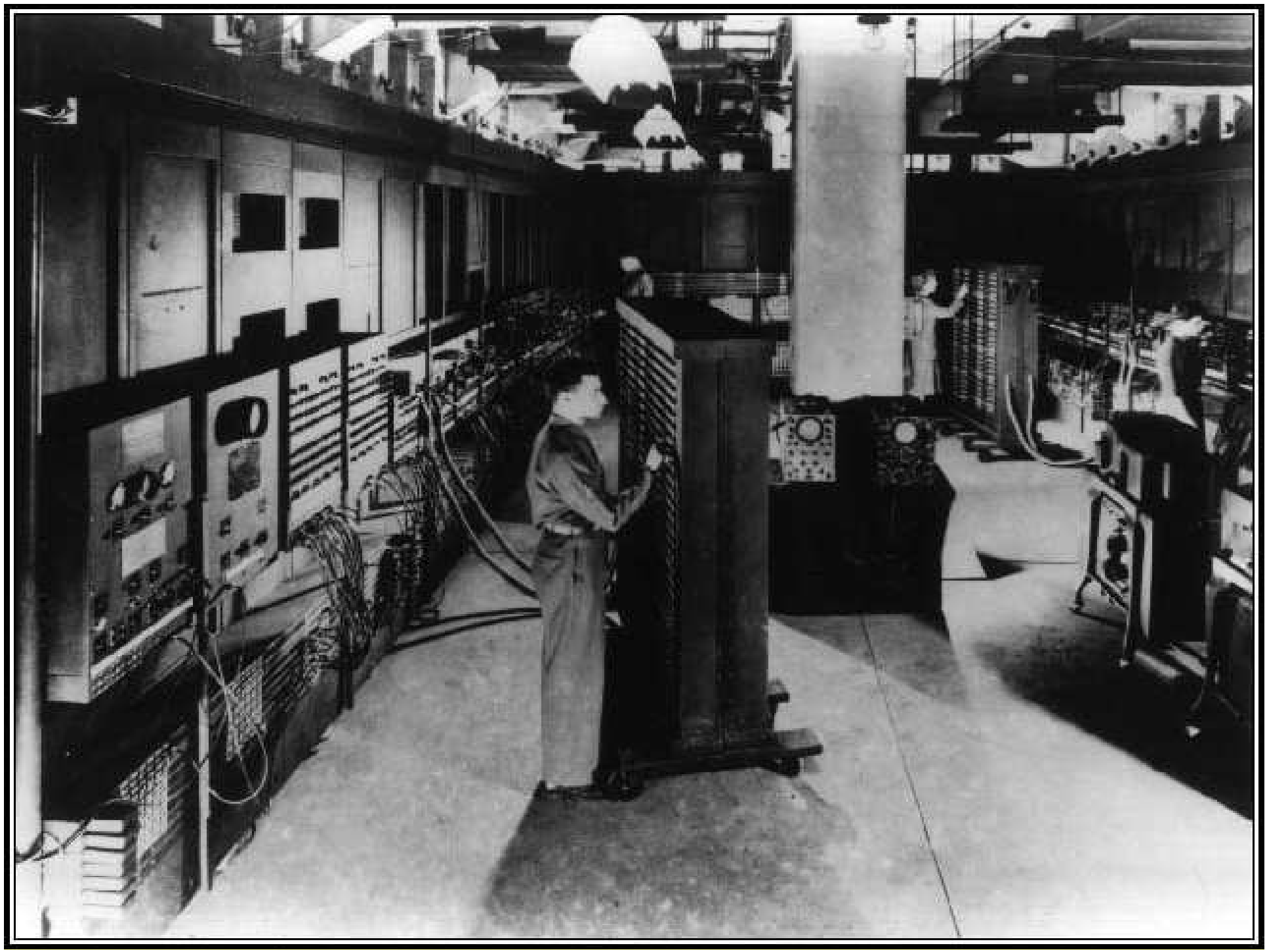
Geschichte des Rechners

- ***Colossus*** (**1943**): Knacken von Geheimcodes
- von Neumann beschreibt wesentliche Elemente eines Computersystems (**1945**)
- ***ENIAC*** (**1946**): erster (großer) elektronischer Digitalrechner

ENIAC

ENIAC

- 30 Tonnen, 3m hoch, 24m breit
- 18 000 Elektronenröhren
- Multiplikationszeit: 3ms



1943-50

1943-50

- Thomas Watson (IBM):

  „I think there is a world market for maybe five computers.“

1943-50

- Thomas Watson (IBM):

  „I think there is a world market for maybe five computers.“

- Popular Mechanics:

  „Computers in the future may weigh no more than 1.5 tons.“

Auf der anderen Seite:

- Erfindung des Transistors (**1947**) durch Bardeen, Shockley und Brattain
- ***LEO*** (**1951**): erster Rechner für kaufmännische Zwecke
- Computergestützte Wahlprognose in USA (**1952**)
- Erster Magnetspeicher (Forrester, **1953**), zuvor Elektronenröhrenspeicher

- ***IBM 650*** (**1954**): in 15 Jahren 1500mal verkauft
- Transistoren auf Silizium (Teal, **1954**)
- ***TRADIC*** (**1955**): erster Transistor-Computer der Bell Labs mit 800 Transistoren
- Integrierte Schaltungen und MOS (metal oxide semiconductors)

- ***PDP-8*** (DEC, **1965**): erster Minicomputer mit kommerziellem Erfolg (20.000 Dollar)
- ***Intel 4004*** (Hoff, **1971**): Chip, mit Zentraleinheit als wesentlichen Bestandteil
- ***Altair*** (Roberts, **1974**): Bausatz eines Mikrocomputers für 397 Dollar

- BASIC für ***Altair*** (Gates, Allen, **1975**)
- PCs für den 'Massenmarkt' (**1977**), z.B. ***Apple II***, ***Radio Shack TRS-80***, ***Commodore PET***
- VisiCalc (**1979**): erste kaufmännische Software für PC
- IBM PC (**1981**)

1995

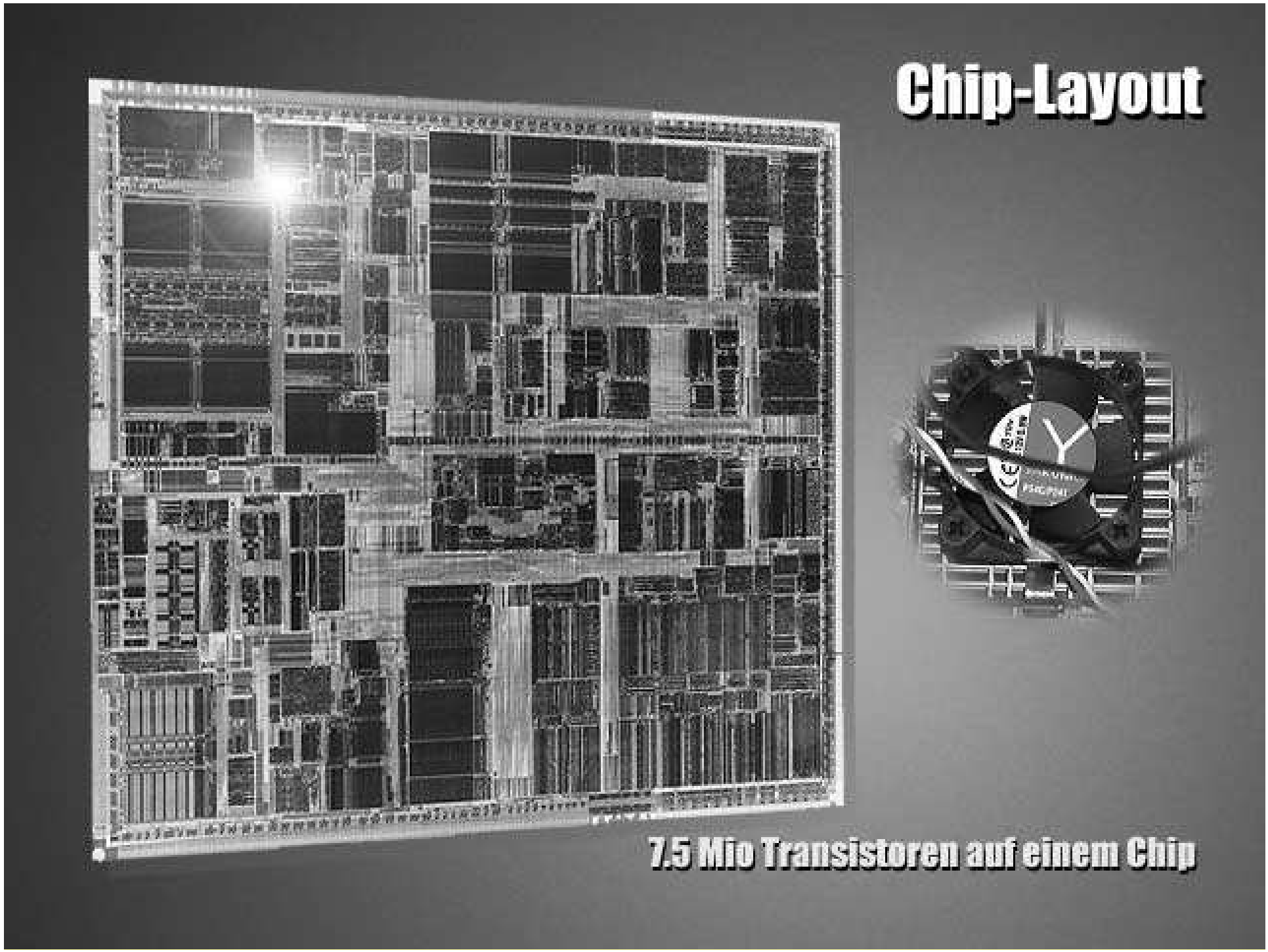
1995

- ENIAC on a chip
- Laptop = alle Rechner der Welt in 1950

Pentium II

Pentium II

- 7.5 Millionen Transistoren
- Chip: 1.2 cm Kantenlänge
- 450 MHz


Chip-Layout
7.5 Mio Transistoren auf einem Chip

Pentium 4

- Chipgröße 217 mm^2
- Zahl der Transistoren 42 Millionen
- Taktfrequenz 2 GHz
- Taktzyklen pro Instruktion 0.17

Moore’s Law

Moore’s Law

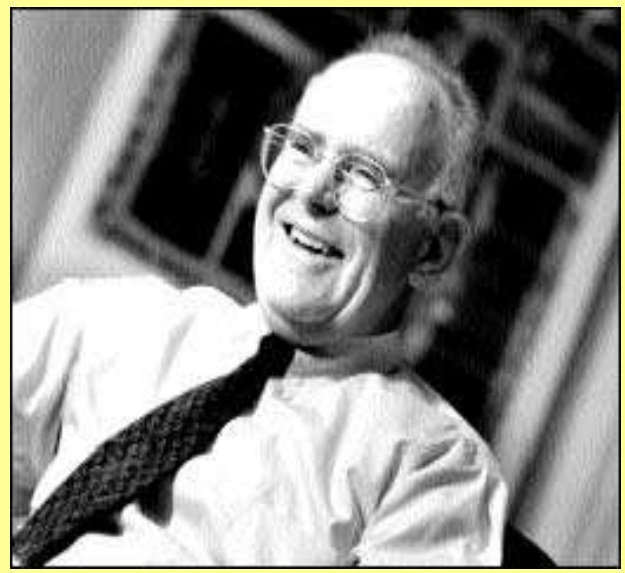
- Verdopplung der Transistor-Dichte alle 18 Monate

  (Gordon Moore, Mitbegründer von Intel, 1965)

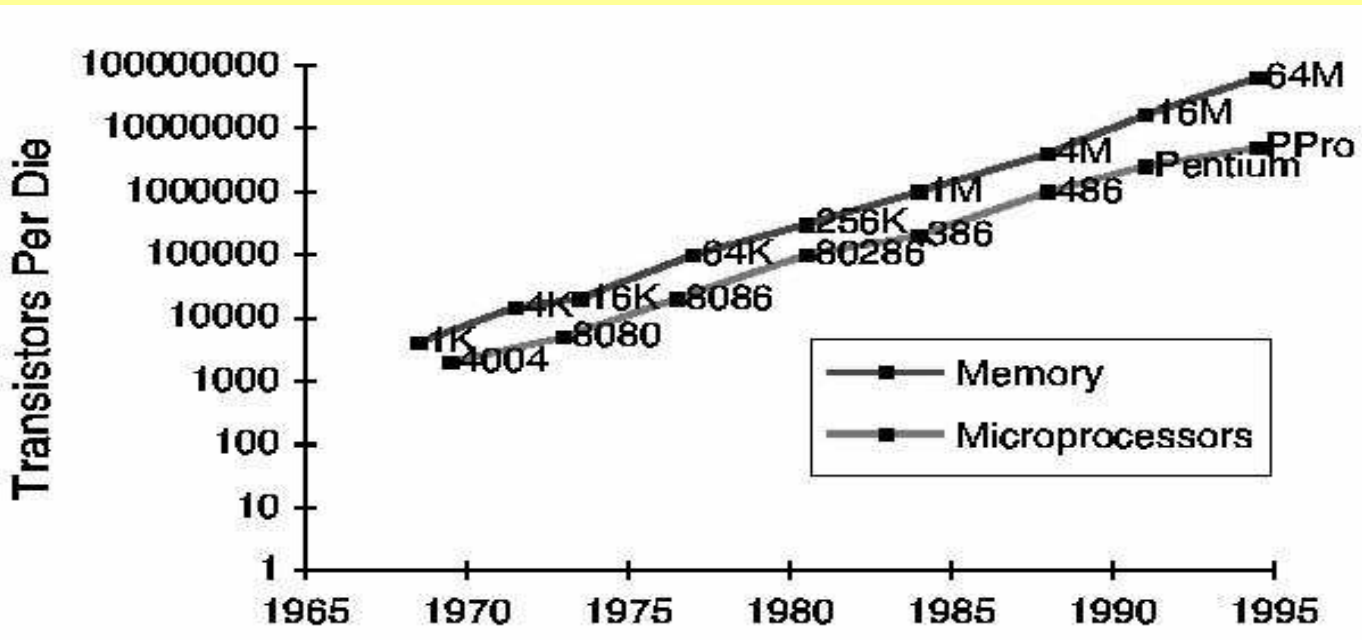
Moore’s Law

- Verdopplung der Transistor-Dichte alle 18 Monate

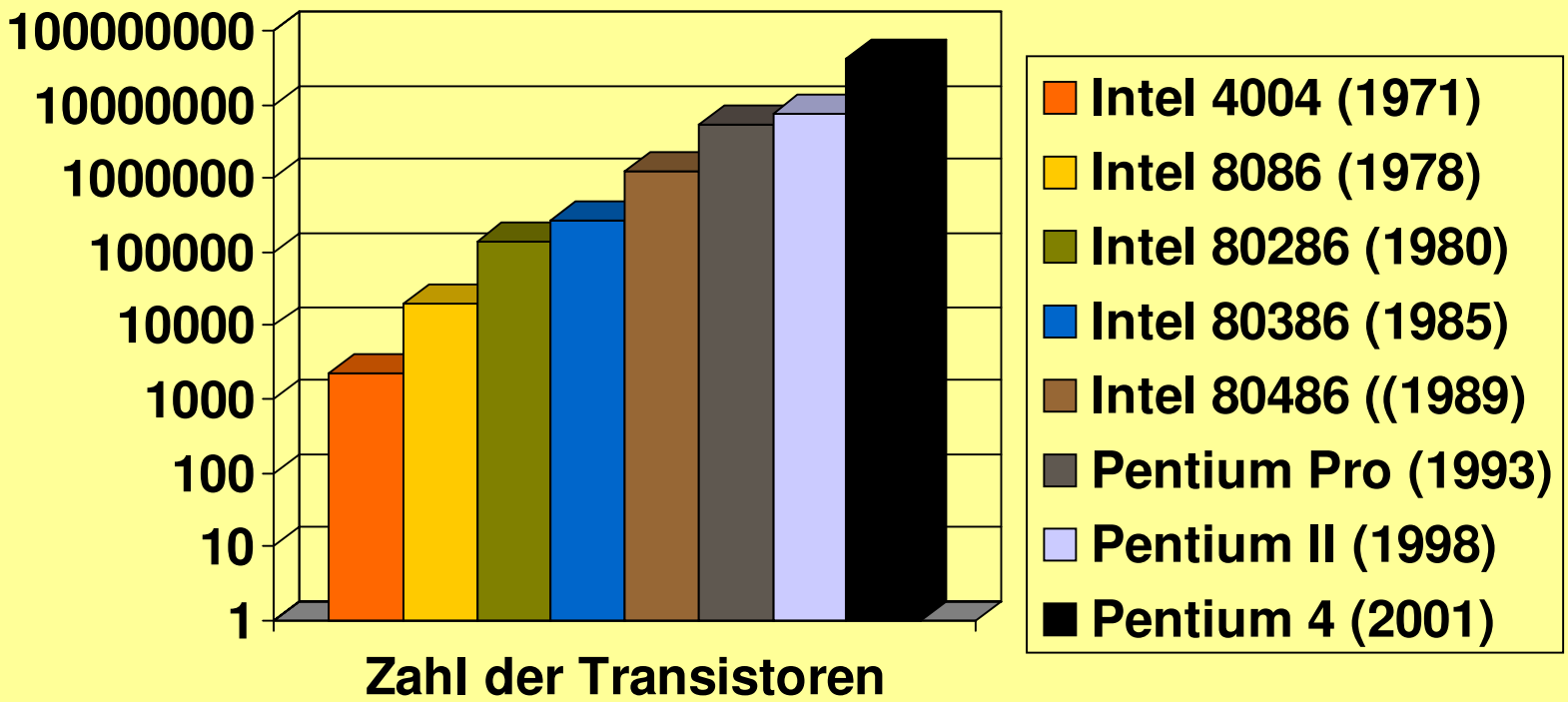
  (Gordon Moore, Mitbegründer von Intel, 1965)



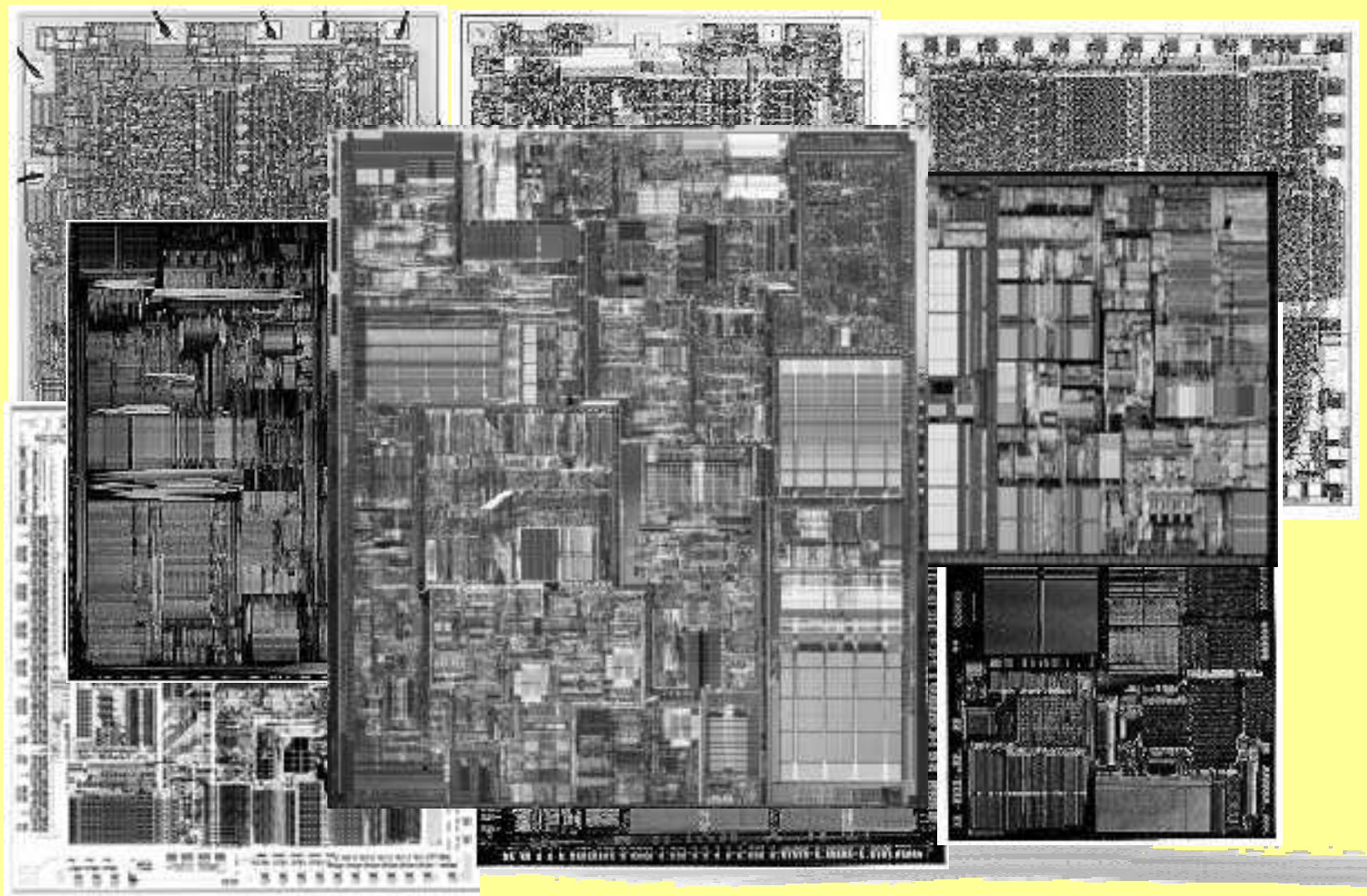
Moore’s Law


Transistors Per Die
100000000
10000000
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
1K
4K
16K
64K
256K
1M
4M
16M
64M
4004
8080
8086
80286
386
486
Pentium
PPro
Memory
Microprocessors

Anstieg der Komplexität



Anstieg der Komplexität



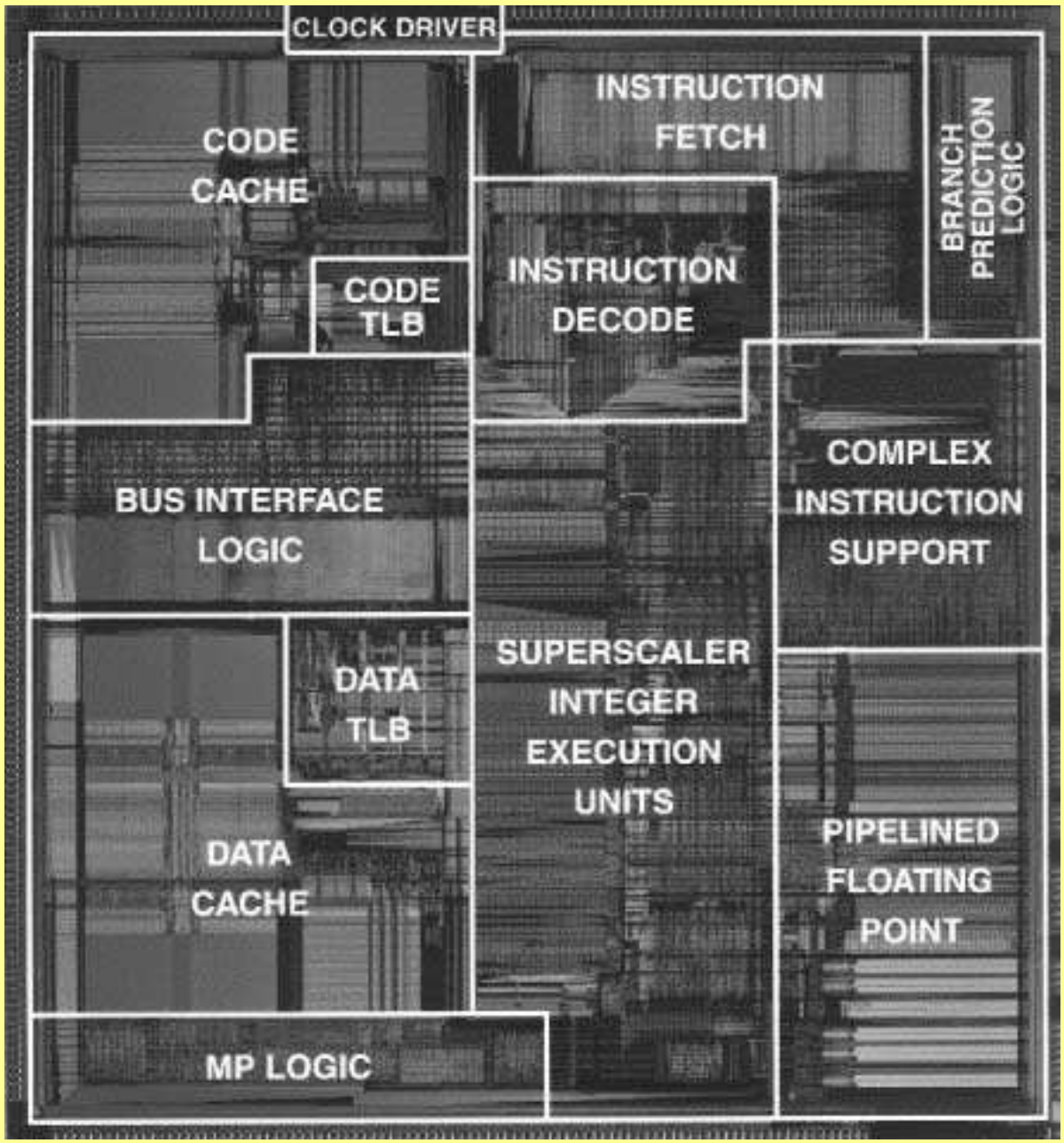
aber:

- kein Gesetz,

  sondern Voraussage,
  was technologisch möglich

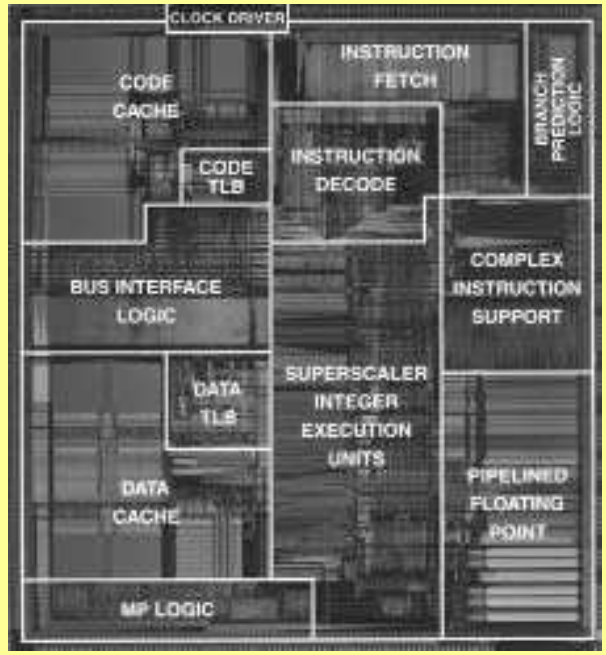
Vorsicht!

- Mars Pathfinder Mission
- Challenger
- ...
- **Pentium Bug**

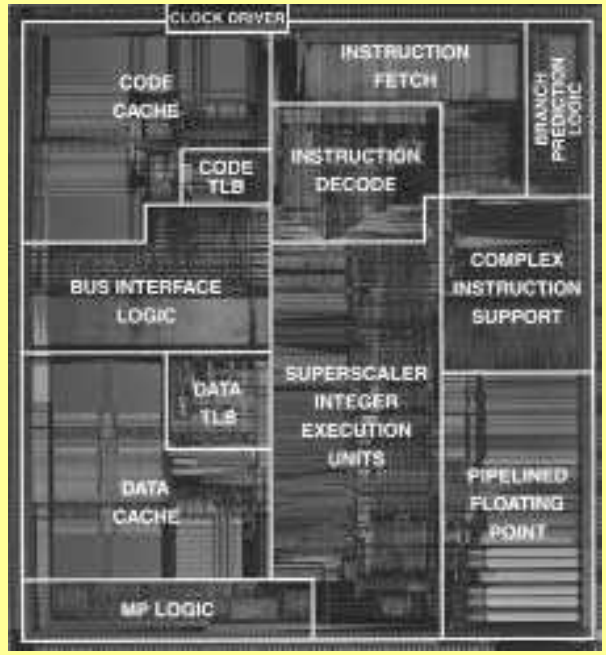

CLOCK DRIVER
CODE CACHE
CODE TLB
INSTRUCTION FETCH
INSTRUCTION DECODE
BRANCH PREDICTION LOGIC
BUS INTERFACE LOGIC
COMPLEX INSTRUCTION SUPPORT
DATA TLB
SUPERSCALER INTEGER EXECUTION UNITS
DATA CACHE
PIPELINED FLOATING POINT
MP LOGIC

Pentium Bug

- Fehler in FP-Unit
- Imageverlust
- 475 Millionen $



Pentium Bug

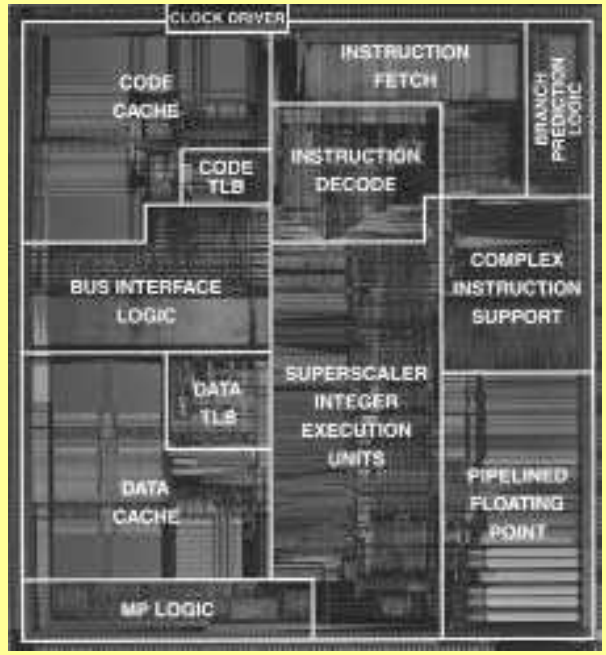

CLOCK DRIVER
CODE CACHE
CODE TLB
INSTRUCTION FETCH
INSTRUCTION DECODE
BRANCH PREDICTION LOGIC
BUS INTERFACE LOGIC
COMPLEX INSTRUCTION SUPPORT
DATA TLB
SUPERSCALER INTEGER EXECUTION UNITS
DATA CACHE
PIPELINED FLOATING POINT
MP LOGIC

Pentium Bug

x = 4195835

y = 3145727

z = x - (x/y)*y

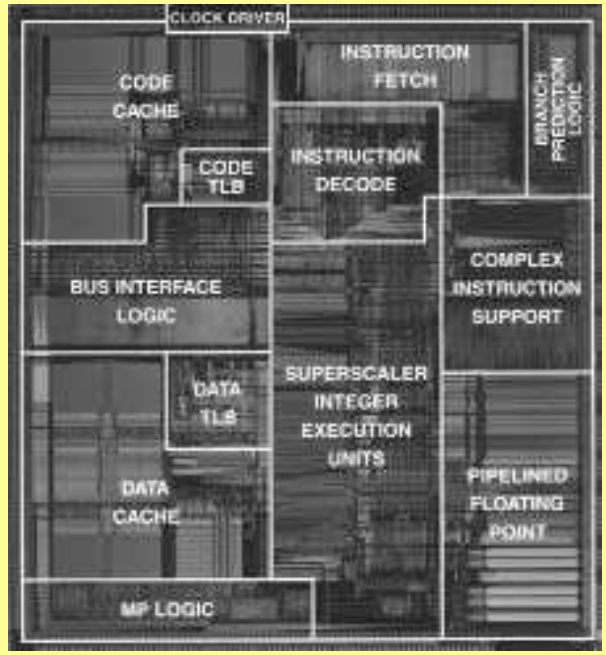


Pentium Bug

x = 4195835

y = 3145727

z = x - (x/y)*y

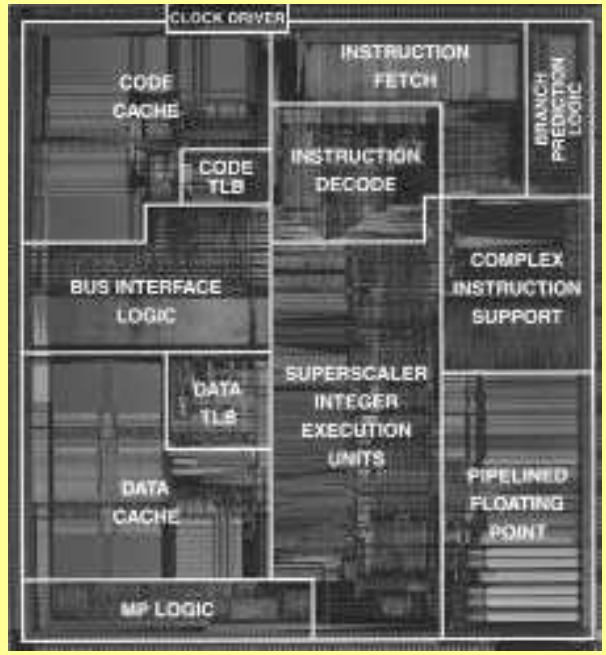


Pentium Bug

x = 4195835

y = 3145727

z = x - (x/y)*y

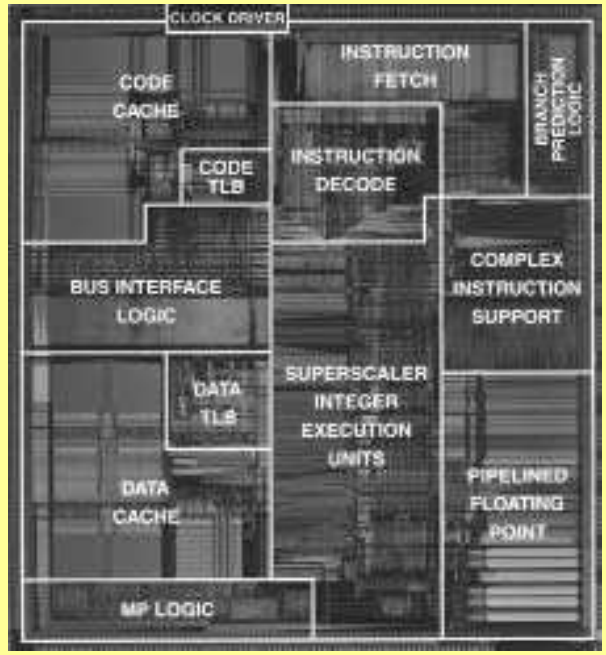


Pentium Bug

x = 4195835

y = 3145727

z = x - (x/y)*y

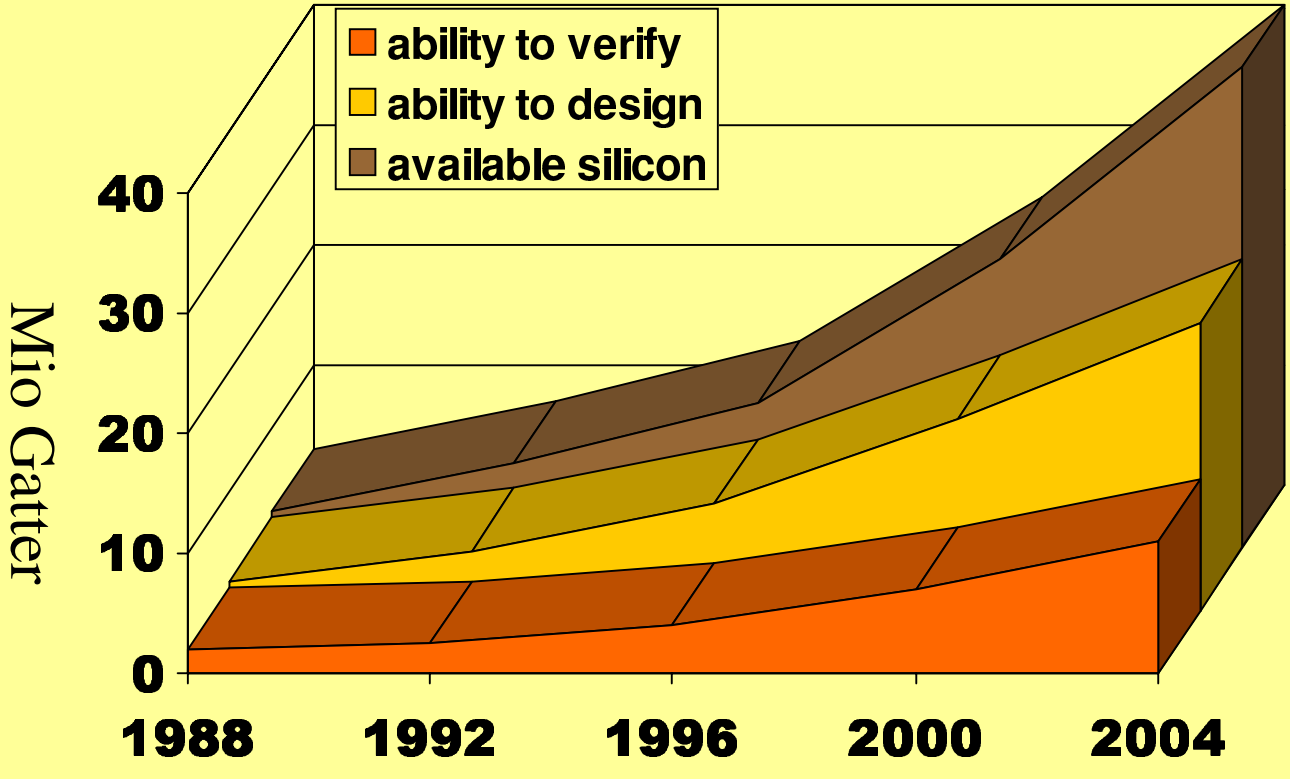


z = 256 !!

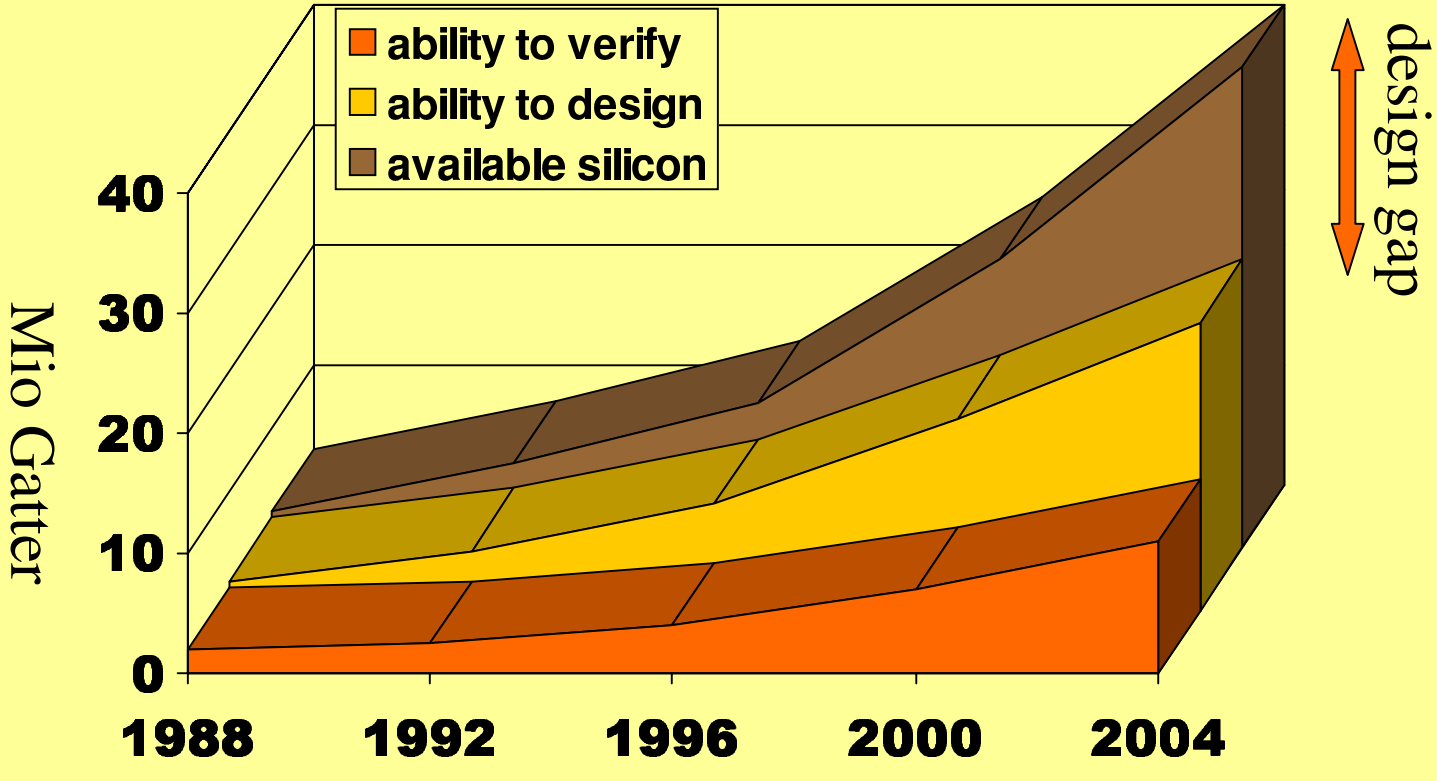
Designgap

- Die Größe von Systemen übersteigt die Fähigkeiten im Entwurf auf niedrigen Abstraktionsebenen

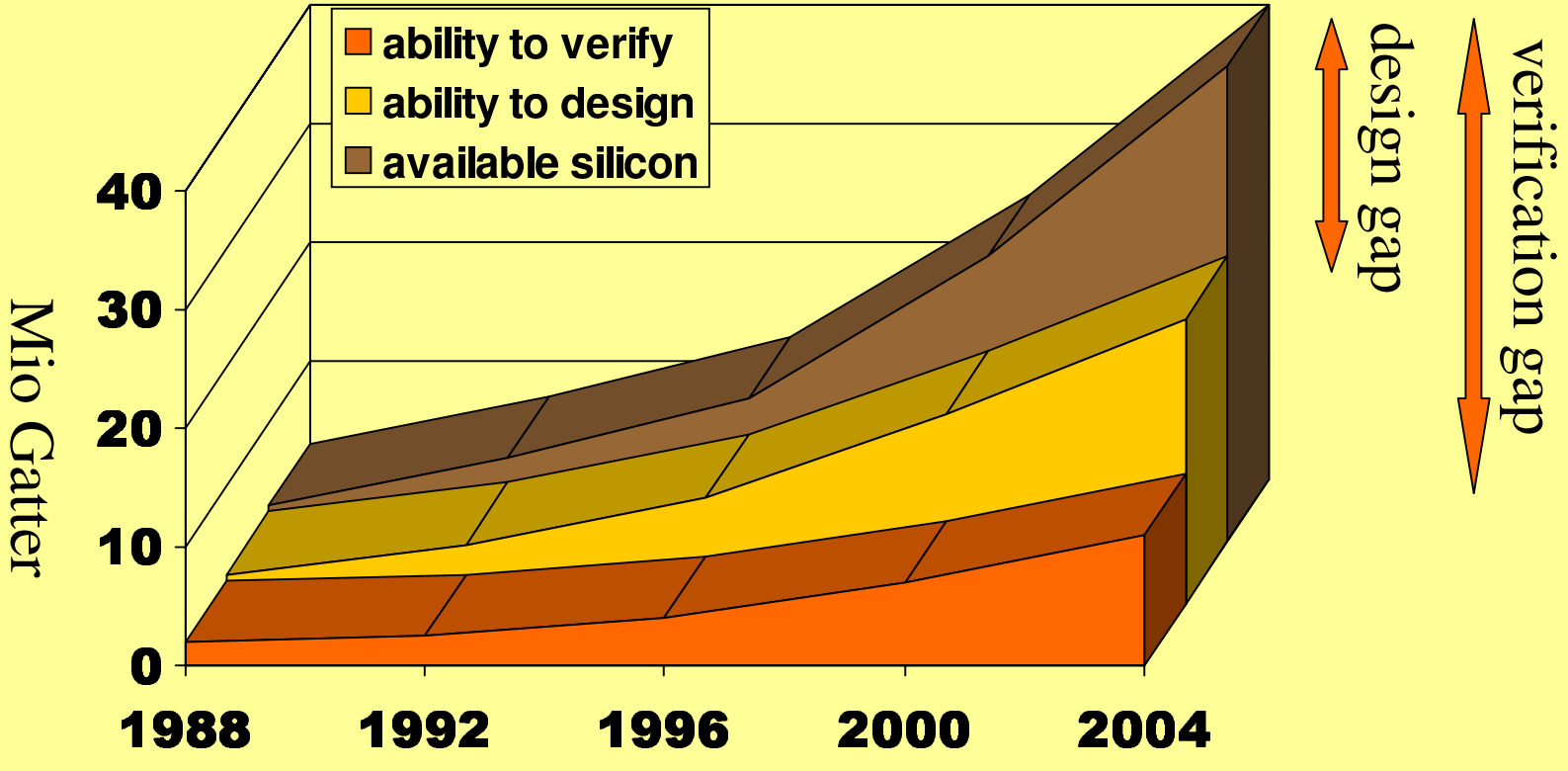
Design-/Verification Gap



Design-/Verification Gap



Design-/Verification Gap



Was tun mit all den Transistoren?

- Was tun mit all den Transistoren?
- Wie entwerfen?