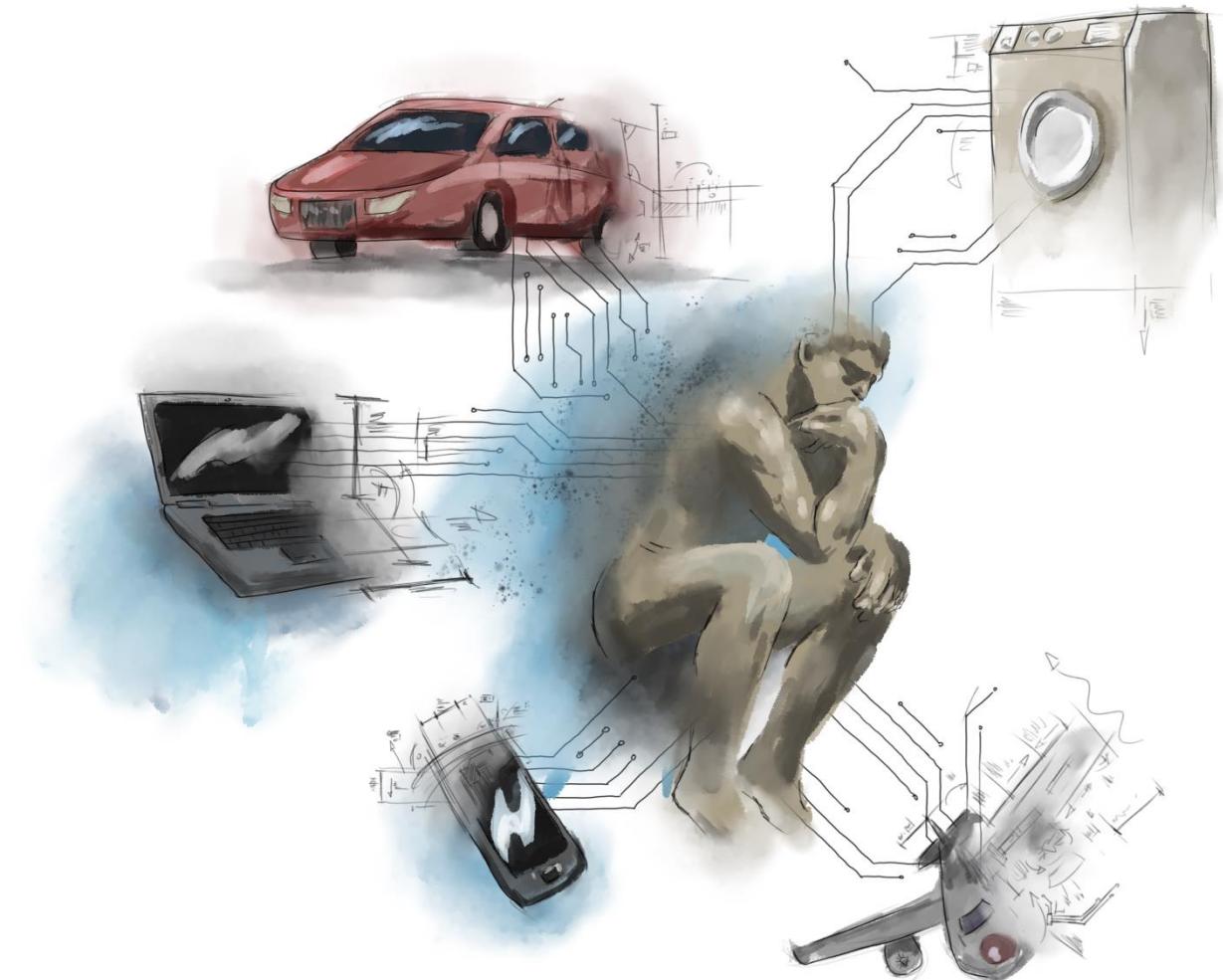




Kapitel 1: Einleitung

Computer sind überall

- Klassisch: Desktop – PC, Laptop, Tablet, Handy, SmartWatch
- Smart-Home: Kühlschrank, Alexa/Siri, Waschmaschine, Heizung, Energieversorgung
- Transport: Auto, Busanzeigen, Stellwerkplanungen, Flugzeuge



Wie baut man solche Systeme?

- Unterschiede:
 - Leistung
 - Größe
 - Kosten
 - Anwendung
- Gemeinsamkeiten:
 - Korrektheit
 - Sicherheit
 - Nachvollziehbarkeit



Zur Einstimmung

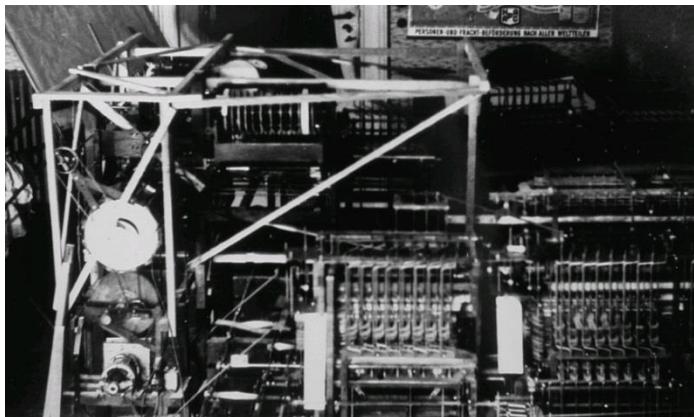
- Geschichte des Rechnerentwurfs
 - Vom Altertum zur Moderne
 - Von Moore's Law und anderen Gesetzen
- Computergestützter Systementwurf
 - Ein Exkurs zu VLSI CAD



Die Geschichte des Rechnerentwurfs

Vom Altertum bis heute

Rechnerarchitektur im Wandel der Zeit



Zuse Z1
(1938)



IBM 360
(1965)

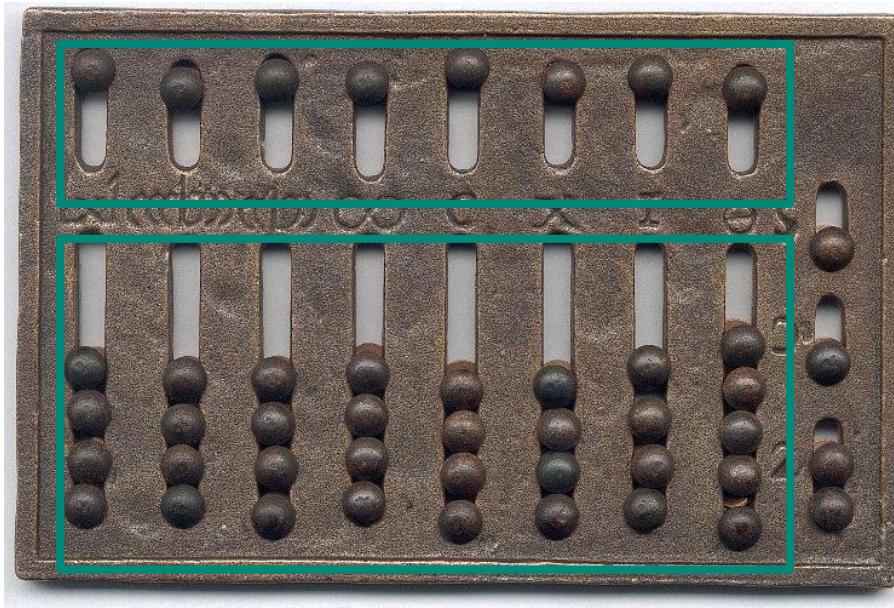


Commodore C64
(1982)



Intel Core i9
(2017)

Altertum – griechische Zahnräder & römische Rechenbretter



← Der obere Teil stellt die 5 dar.

← Der untere Teil stellt die Zahlen von 1-4 dar.



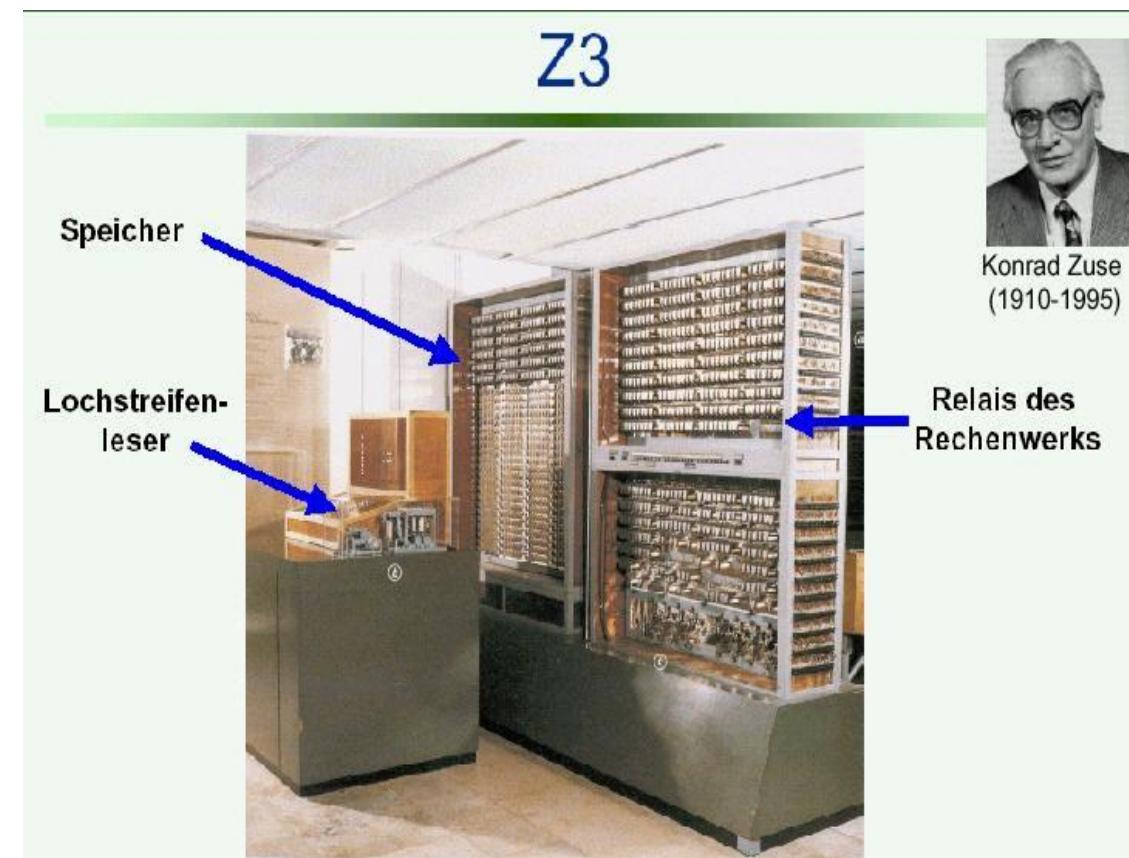
Jede Spalte steht für eine Zehnerpotenz.

Frühe Neuzeit und Moderne

- Rechenmaschine von Schickard (um 1600)
 - Zehnerübertrag wird automatisch erledigt
- Lochkartenmaschine (um die Jahrhundertwende)
- Differentialanalysator (Bush, 1930)
- Theoretische Abhandlungen:
 - Turing (1936): „On Computable Numbers“
 - Shannon (1936): Verbindung zwischen symbolischer Logik und elektrischen Schaltungen
- Binäre Addiermaschine (Stibitz, 1937)

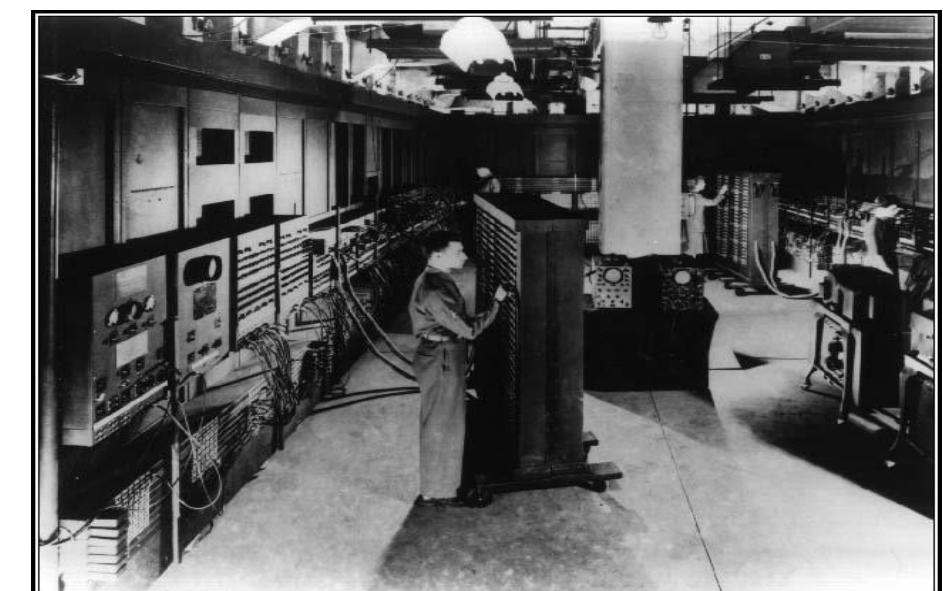


Der erste Allzweck-Computer (Zuse, 1941)



Die Entwicklung nimmt Fahrt auf

- *Colossus* (1943): Knacken von Geheimcodes
- Von Neumann beschreibt wesentliche Elemente eines Computersystems (**1945**)
- *ENIAC* (1946): erster (großer) elektronischer Digitalrechner
 - 30 Tonnen schwer, 3m hoch, 24m breit
 - 18.000 Elektronenröhren
 - Multiplikationszeit: 3ms



Marktreife?

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

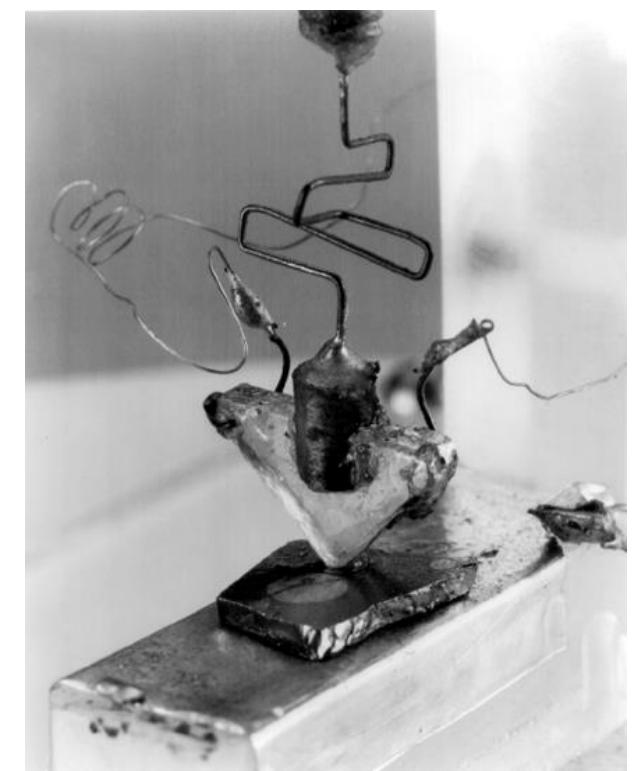
– Thomas Watson, IBM

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

– Popular Mechanics

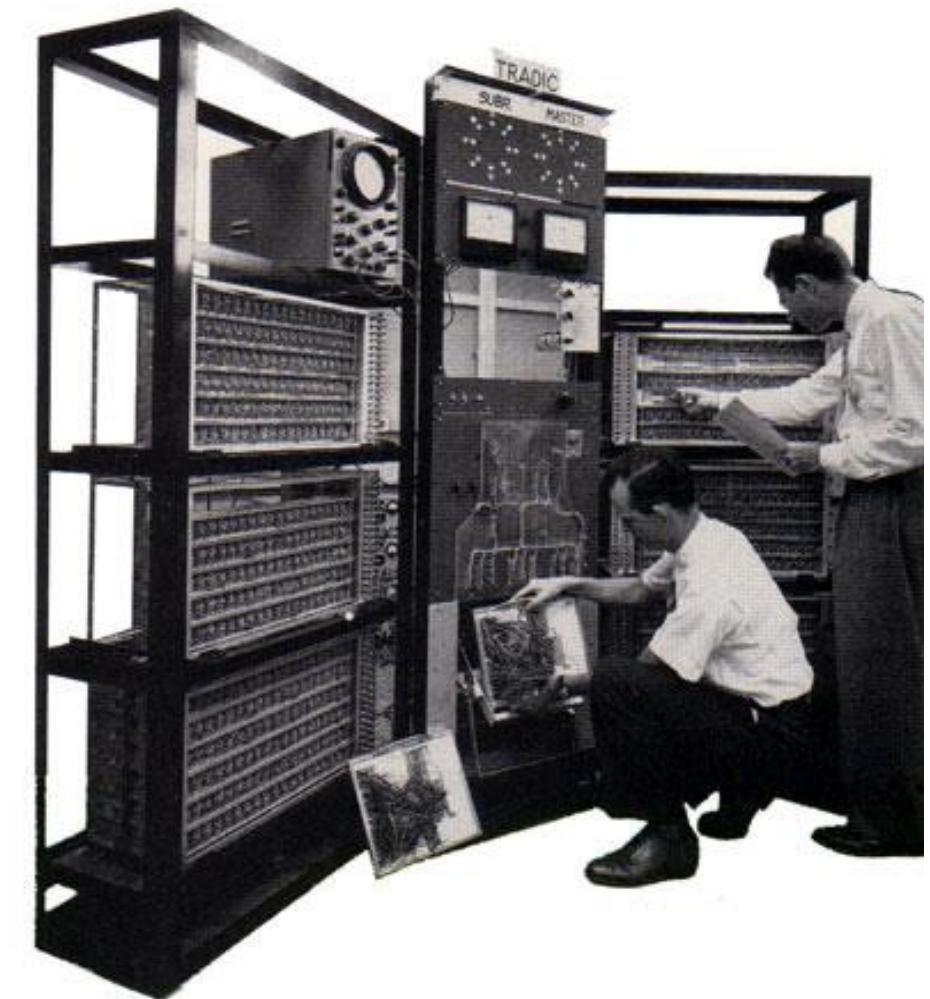
Die Entwicklung geht weiter

- Erfindung des Transistors (1947) durch Bardeen, Shockley und Brattain
 - erhielten 1956 den Nobelpreis
- LEO (1951): erster Rechner für kaufmännische Zwecke
- Computergestützte Wahlprognose in USA (1952)
- Erster Magnetspeicher (Forrester, 1953), zuvor Elektronenröhrenspeicher



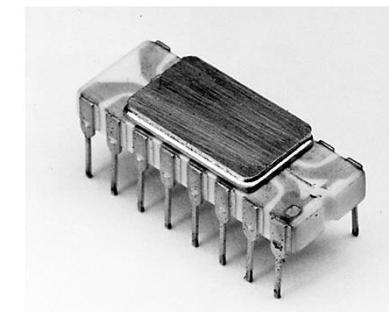
Die Entwicklung geht weiter (2)

- *IBM 650* (1954): in 15 Jahren 1.500mal verkauft
- Transistoren auf Silizium (Teal, 1954)
- *TRADIC* (1955): erster Transistor-Computer der Bell Labs mit 800 Transistoren
- Integrierte Schaltungen und MOS (metal oxide semiconductors)



Die Entwicklung geht weiter (3)

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

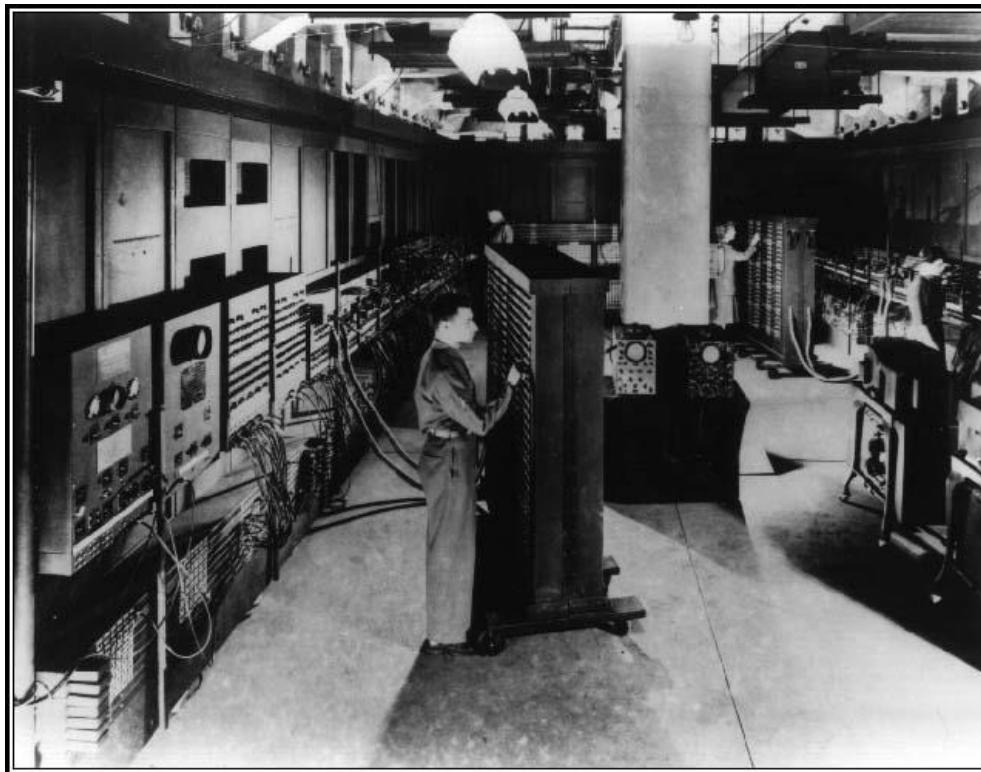


Der Computer erreicht die Bevölkerung

- 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)



Heute



- ENIAC (von 1946) passt auf einen Chip
- Laptop entspricht allen Rechnern von 1950

Pentium IV

- Pentium IV
 - Einführung: November 2000
 - 42 Millionen Transistoren
 - Chip: ca. 2cm² Fläche
 - Takt: 1 - 2 GHz



HALBLEITERKONFERENZ

Intels Prozessor-Flaggschiff gerät zu einem wahren Chip-Monster

San Francisco (fm) – Mit Details zum kommenden 64-Bit-Prozessor McKinley hat Intel auf der Halbleiterkonferenz ISSCC ein Highlight gesetzt. Aber auch Techniken, die den Stromverbrauch der aktuellen CMOS-Chips senken können, sind diskutiert worden.

Intel hat Einzelheiten zur Architektur des McKinley-Prozessors vorgestellt, dessen Leistung Branchenbeobachter als entscheidend für den Erfolg oder Misserfolg von Intels 64-Bit-Strategie erachten. Die für Mitte des Jahres erwartete CPU soll die anderthalb- bis zweifache Performance der ersten Itanium-Generation Merced erreichen. Rein äußerlich wird McKinley ein wahres Chip-Monster: Mit 221 Millionen Transistoren auf einer Chipfläche von 465 Quadratmillimetern übertrifft er locker selbst IBMs zweikernige



Immer komplexere Chips schneiden die Hersteller aus ihren Wafers (Foto) – Intels McKinley ist ein Beispiel. Foto: AMD/Sven Doring

Power-4-CPU. Davon profitiert hauptsächlich der 3 Megabyte große Level-3-Cache, der auf der Chipfläche integriert wird. Im Vergleich zu Merced steigt der Takt um ein Viertel auf 1 Gigahertz, und der System-Bus wird

von 2,1 auf stolze 6,4 Gigabyte pro Sekunde aufgebohrt. Mit bis zu 130 Watt Leistungsaufnahme wird der McKinley wohl auch ein ordentlicher Stromfresser. Dass die aktuelle CMOS-Chiptechnik jedoch auch Strom

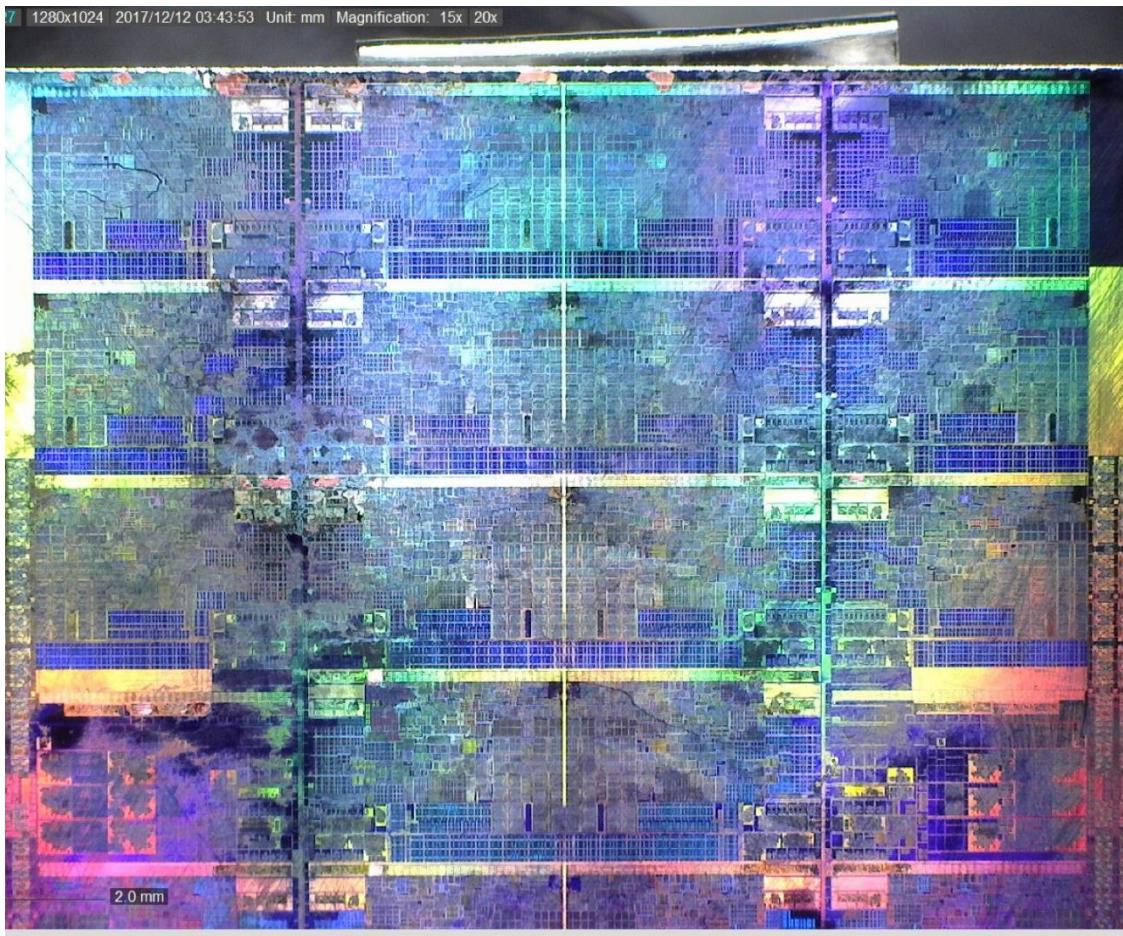
sparende Designs ermöglicht, zeigen Entwicklungen wie Intels Body-Bias-Technik. Dabei wird eine Vorspannung am Substrat angelegt, welche die problematischen Leckströme bei Prozessoren mit niedriger Spannung reduziert. Der Energieverbrauch soll im aktiven wie auch im Standby-Modus sinken. Auf Basis dieser Technik hat der Chip-Krösus einen Prozessorkern gezeigt, der bei Raumtemperatur mit 5 Gigahertz Takt läuft. Widerspruch erntete in San Francisco die Befürchtung, die CMOS-Technik biete nicht genügend Spielraum für weitere Senkung der Schwellenspannung. Aus wirtschaftlichen Gründen seien Strom sparende CMOS-Designs nun einmal die aussichtsreichsten Kandidaten für künftige Mobilgerätegenerationen, argumentierte Texas-Instruments-Manger Dennis Buss pragmatisch.

Pentium IV & Core i9-7890XE

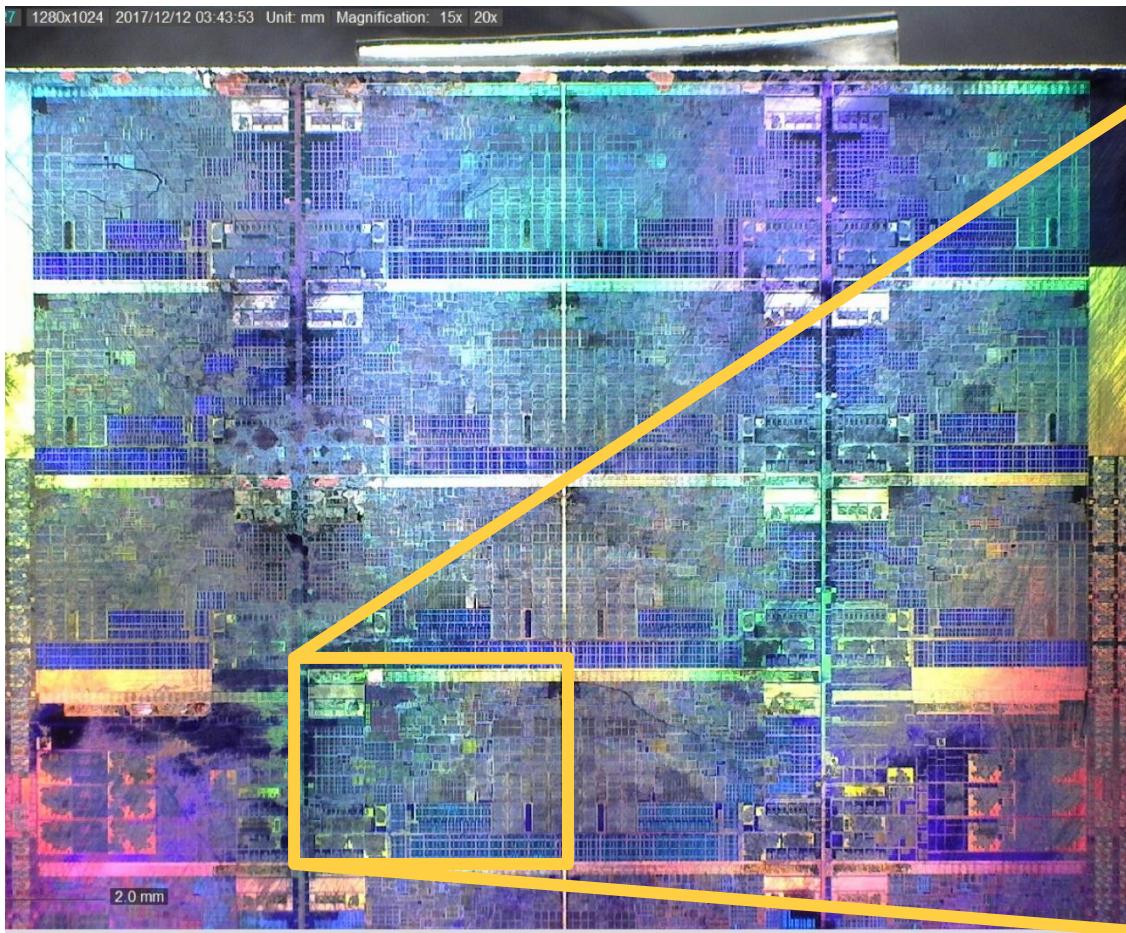
- Pentium IV
 - Einführung: November 2000
 - 42 Millionen Transistoren
 - Chip: ca. 2cm² Fläche
 - Takt: 1 - 2 GHz
- Core i9-7890XE
 - Einführung: September 2017
 - 18 Kerne
 - Etwa 7 Mrd. Transistoren
 - Takt: 2,60 – 4,40 GHz



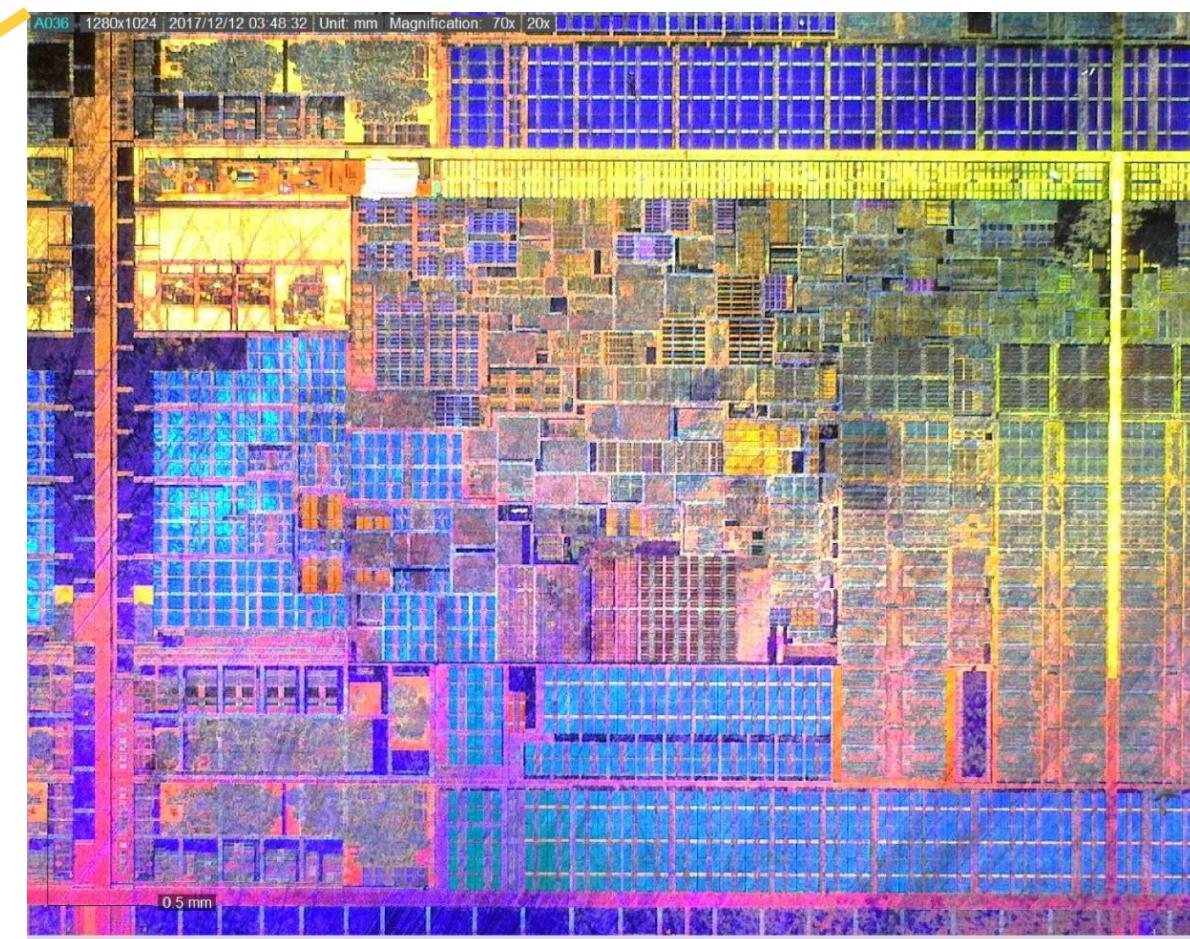
Core i9 – Gesamtsystem



Core i9 – Gesamtsystem

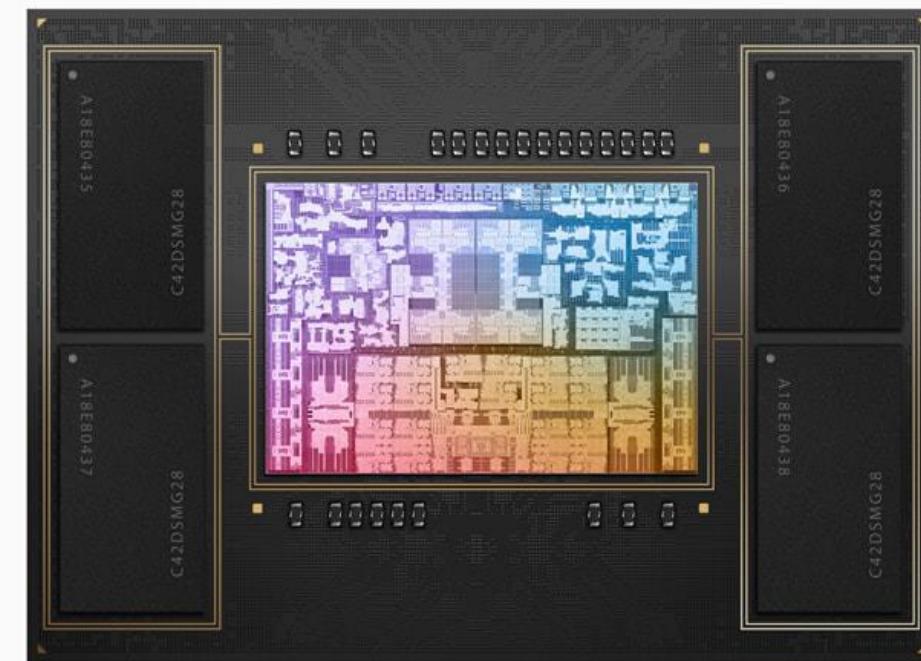


Core i9 – Einzelner Kern



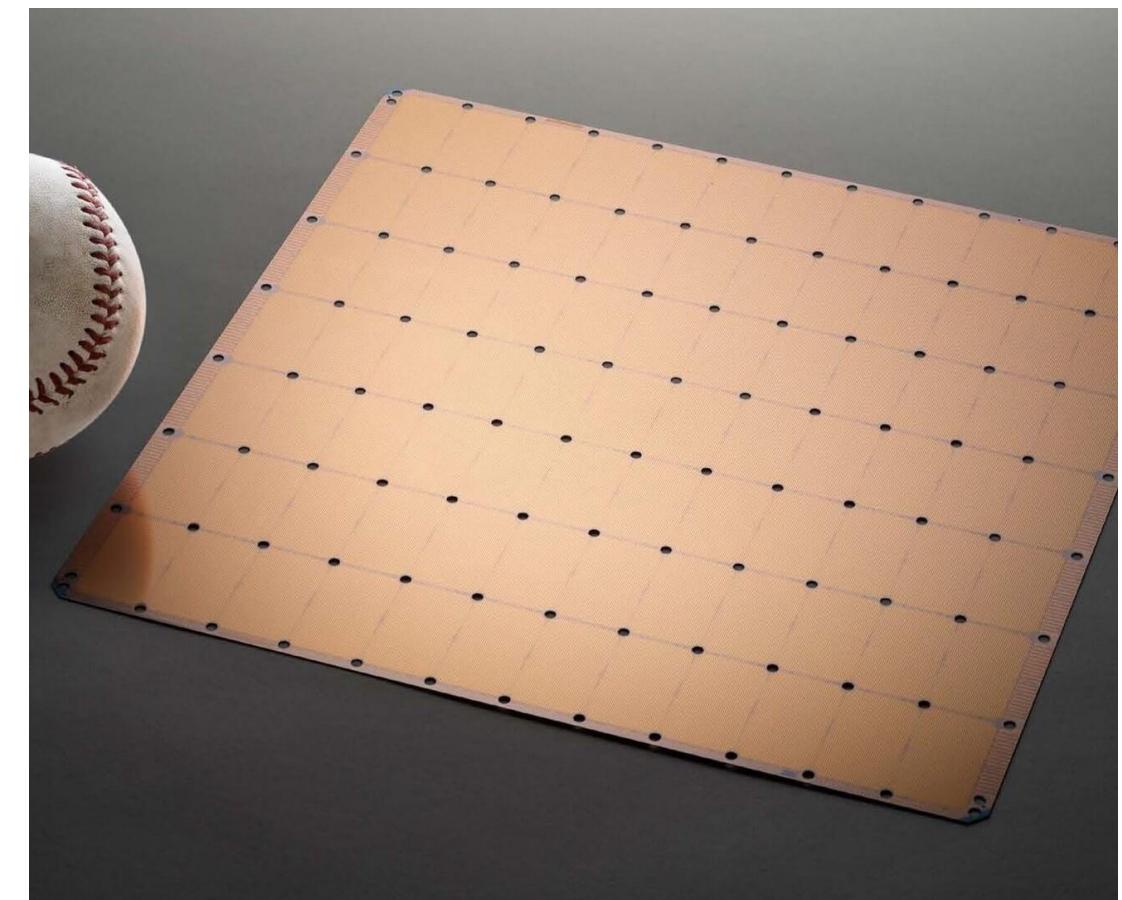
Apple M2 Max

- Einführung: voraussichtlich 2023
- 12 Kerne
- 67 Milliarden Transistoren



...und es geht noch größer

- KI-dedizierter Chip von Cerebras
- Größe eines Tablets
- 1,2 Billionen Transistoren
(1.200.000.000.000)
- 400.000 Kerne





Die Geschichte des Rechners

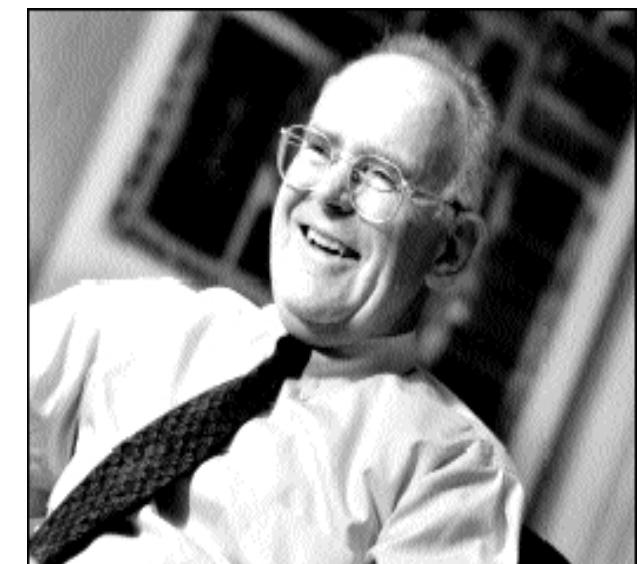
Moore's Law und andere Gesetze

Moore's Law

- Gordon Moore (1929 – 2023), Mitbegründer von Intel
- Stellt Prognose auf:
 - 1968: Verdopplung der Transistordichte alle 12 Monate
 - 1975: Korrektur auf 24 Monate

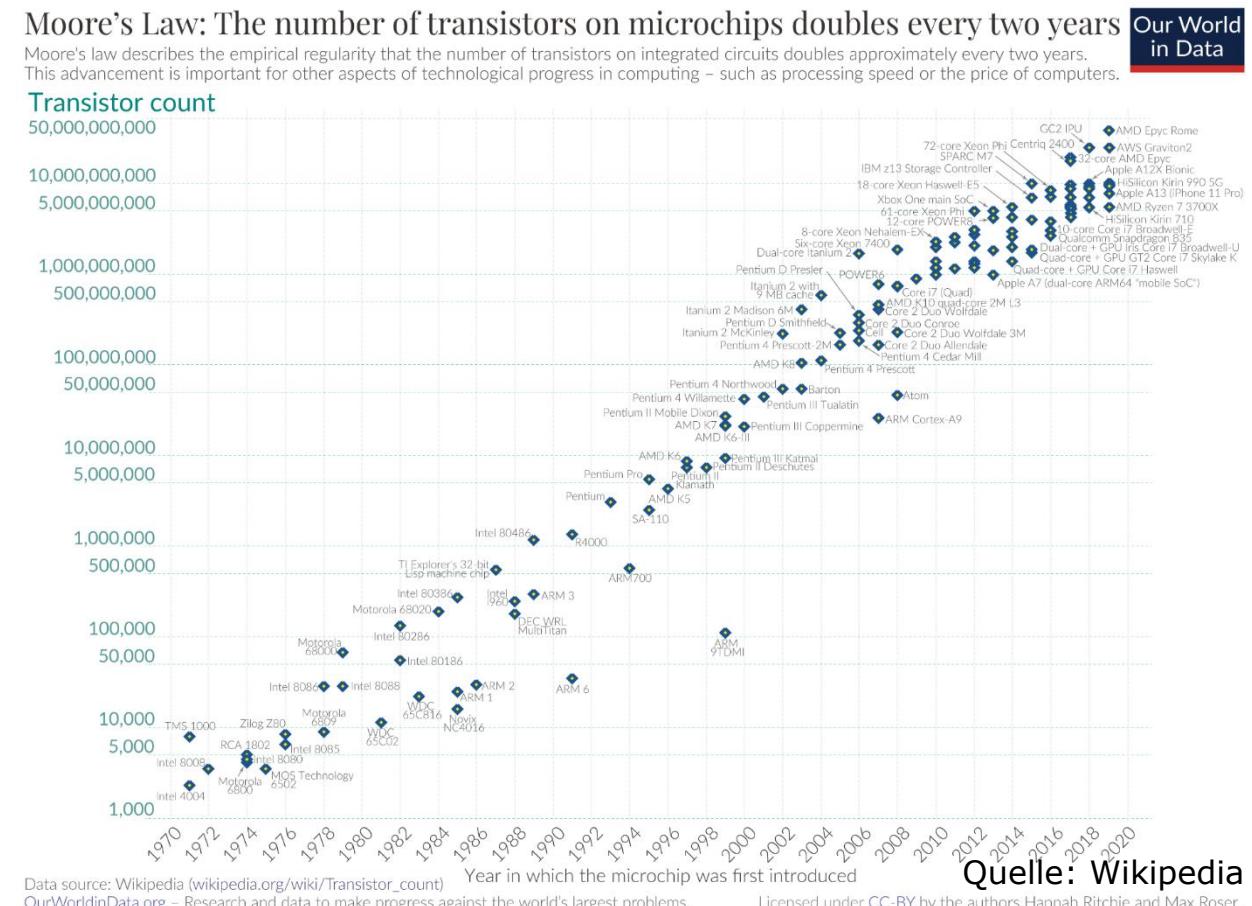
Aber:

Kein Naturgesetz, sondern eine Prognose dessen, was ökonomisch sinnvoll ist.



(Das Ende von) Moore's Law

- Moore sagte selber: „*We're approaching the size of atoms which is a fundamental barrier [...]. We have another 10 to 20 years before we reach a fundamental limit.[...]*“ (2005)



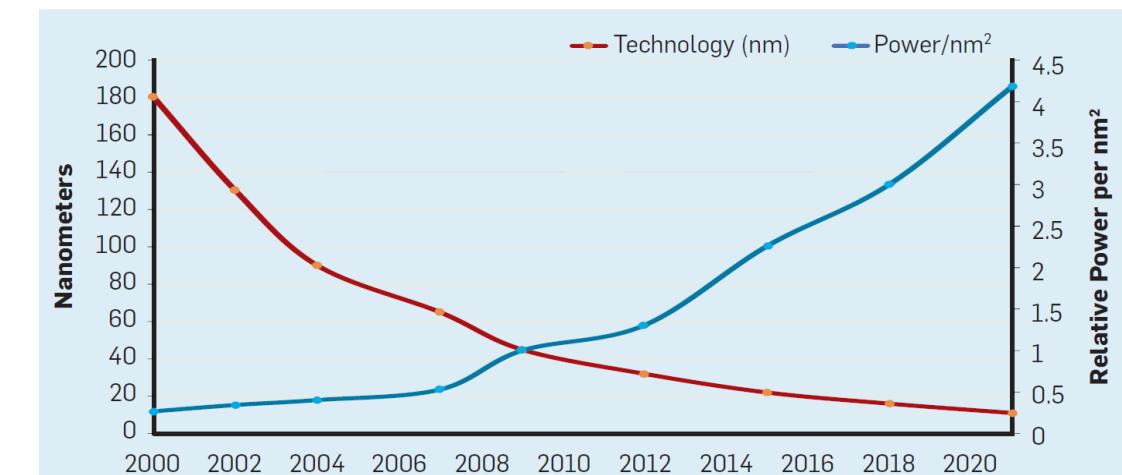
Perspektiven



<http://www.noerdman.de/>

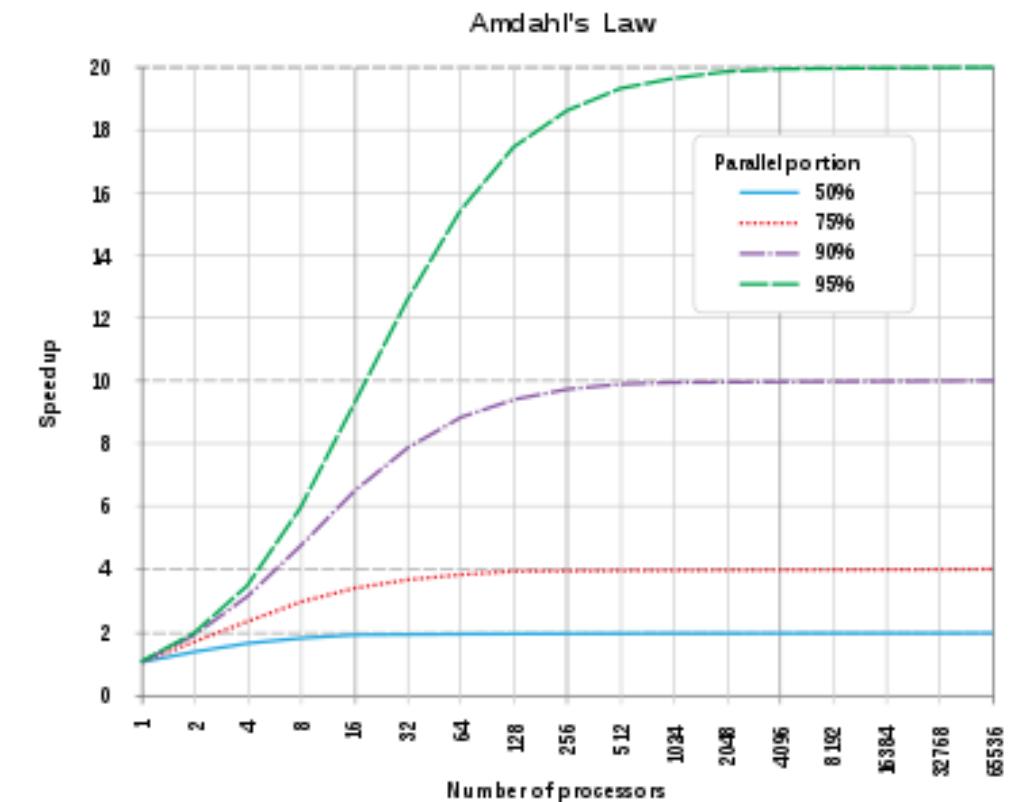
Ende des „Dennard Scaling“

- Dennard Scaling: „Trotz steigender Transistordichte konstanter Energieverbrauch bei gleicher Chipfläche“
 - Kontinuierliche Steigerung der Energieeffizienz
 - Aber: nur gültig bis Ende der 2000er-Jahre

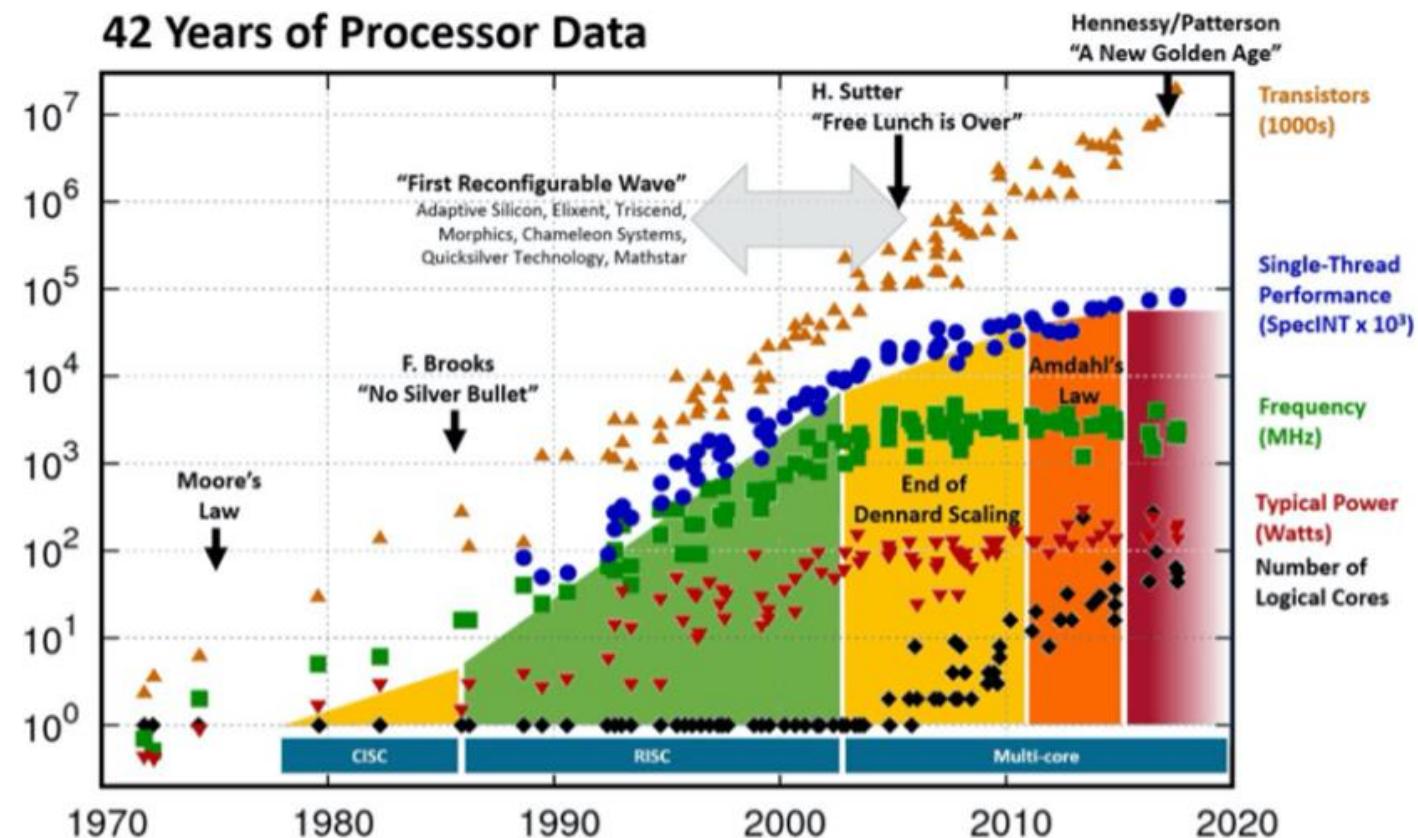


Multicore und Amdahl's Law

- Konsequenz: neue Prozessorarchitektur nötig
- Wechsel zu Multicore-Prozessoren
- Aber: Performance-Gewinn begrenzt durch Programmanteil, der nicht parallelisiert werden kann (*Amdahl's Law*)



Ende von Moore's Law



Hennessy and Patterson, Turing Lecture 2018, overlaid over "42 Years of Processors Data"

<https://www.karlrupp.net/2018/02/42-years-of-microprocessor-trend-data/>; "First Wave" added by Les Wilson, Frank Schirrmeyer

Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

17 Sep 2018 | 20:09 GMT

David Patterson Says It's Time for New Computer Architectures and Software Languages

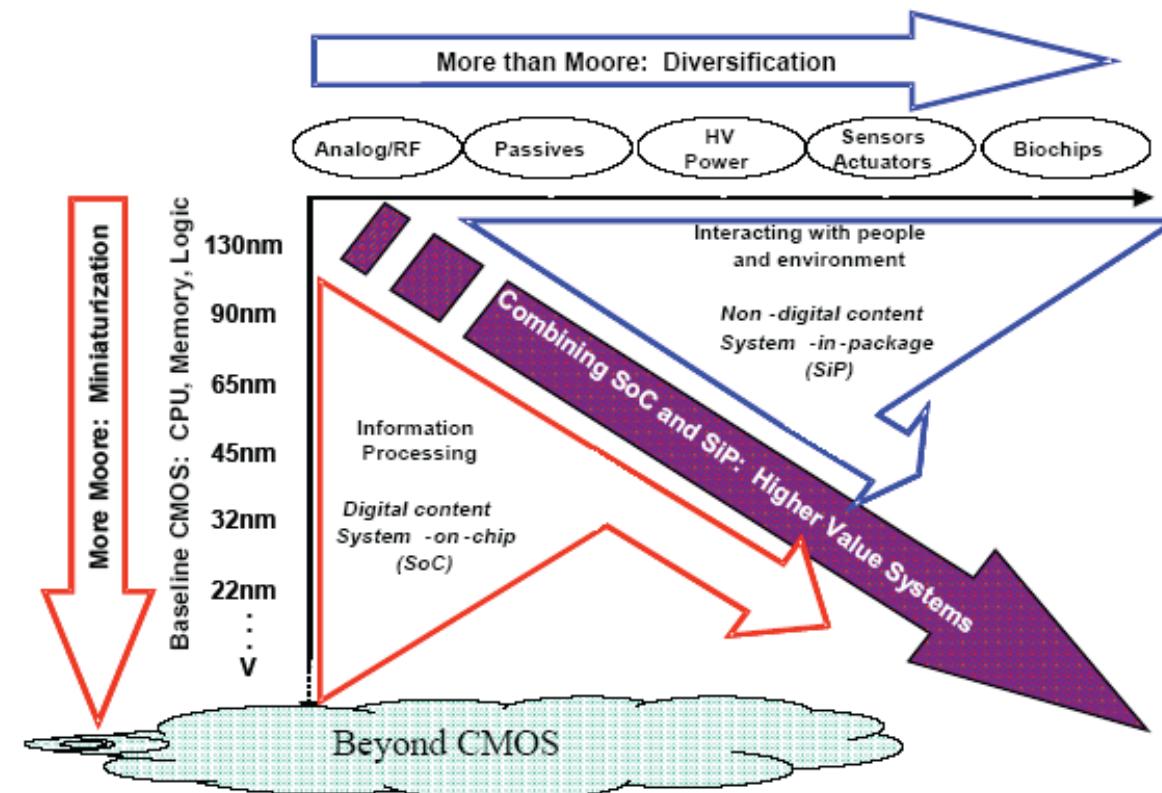
Moore's Law is over, ushering in a golden age for computer architecture, says RISC pioneer



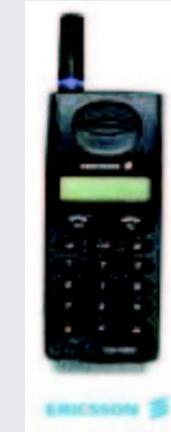
„Wir sind um einen Faktor 15 hinter dem von Moore's Law vorhergesagten Stand“

„Revolutionäre neue Hardware-Architekturen und neue Software-Sprachen warten nur darauf, entwickelt zu werden“

More than Moore...



Entwicklung am Beispiel des Handys

Jahr	1986	1989	1996	2006	2011
Modell	Ericsson 450 combi	Hotline 900 pocket	GH388 450	V600I	Nokia X1-01
Gewicht	4 kg	630 g	245 g	102 g	93 g
Laufzeit	3 Std.	1 Tag	3 Tage	12 Tage	60 Tage
					

Aktueller Trend

- **Smartphone:** Integration von Handy und Personal Digital Assistent (PDA) ...
- **Smartwatch**

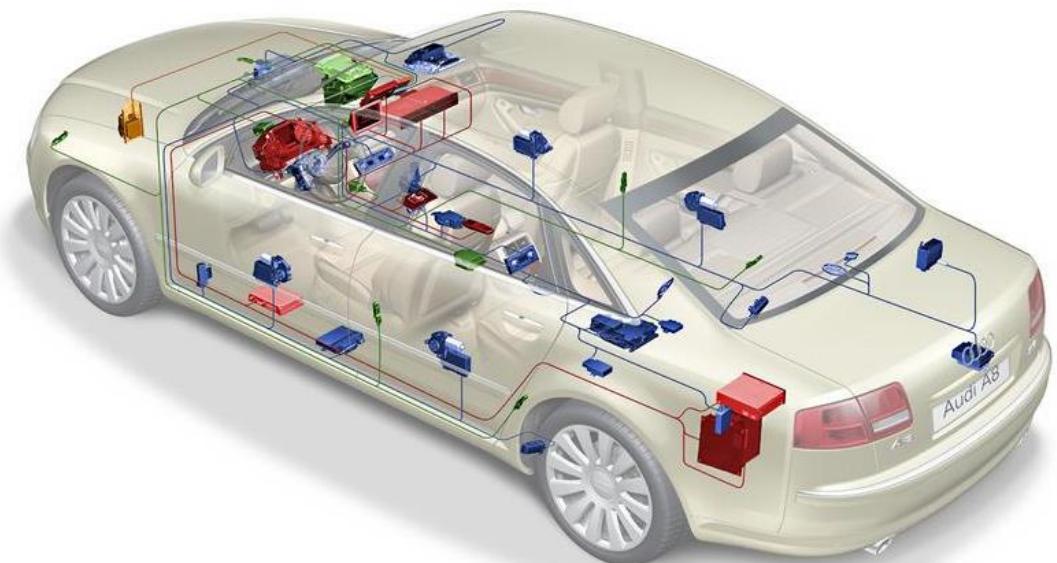


Cloud Computing



Elektronik im Auto

- Elektronikanteil im Auto nimmt ständig zu
- 20 – 80 Steuergeräte in heutigen Autos
- Innovation



Vorsicht – Fehler!

Software Fehler

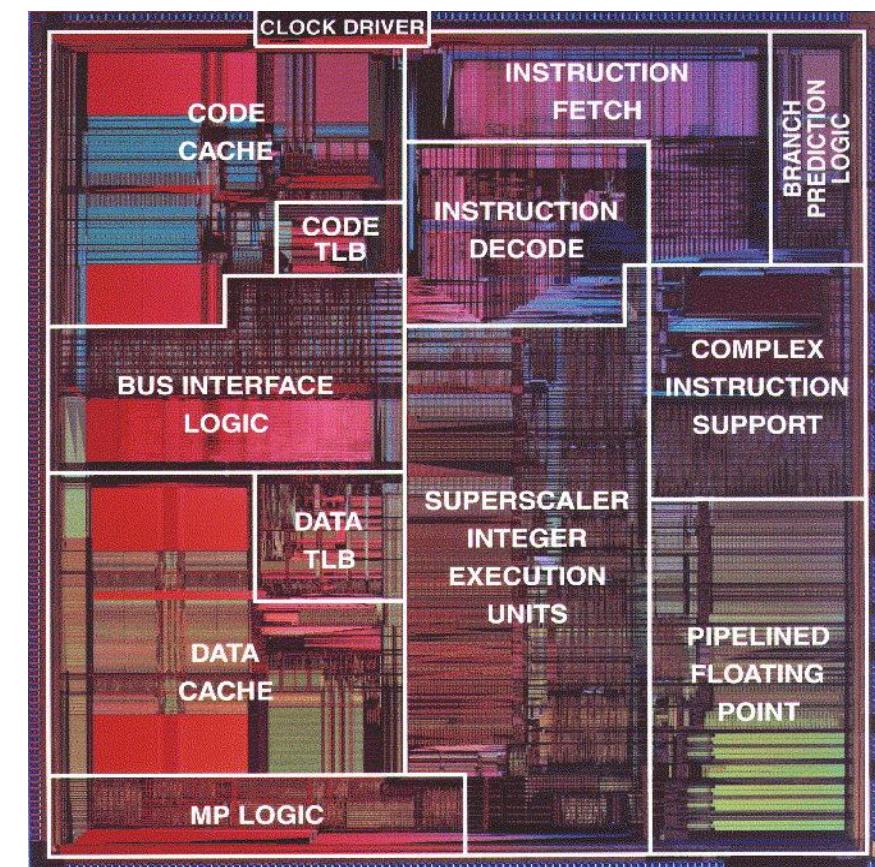
- Ariane 5 (1996) – Überlauf bei Float zu Integer Konvertierung
- Mars Climate Orbiter (1999) – metrische und angelsächsische Maßeinheiten

Hardware Fehler

- Pentium Bug (1994)
- Meltdown/Spectre (2017)

Pentium Bug

- Fehler in FP-Unit
 $x = 4195835$
 $y = 3145727$
 $z = x - (x/y)*y \quad z = 256 !!$
- Imageverlust
- 475 Millionen \$ Schaden



Meltdown & Spectre



Analyse zur Prozessorlücke
Meltdown und Spectre sind ein Security-Supergau

Die Sicherheitslücken Meltdown und Spectre treffen die Prozessorhersteller ins Mark - vor allem Intel. Aus den Lücken ergeben sich mehr als ein Dutzend Angriffsmöglichkeiten - ein Security-Supergau. Eine Analyse von Andreas Stiller.

Prozessor-Lücken Meltdown und Spectre
Intel, ARM nennen betroffene Prozessoren, Nvidia prüft noch

Betroffen sind unter anderem sämtliche Intel-Core-Prozessoren bis zurück zum Jahr 2008 sowie eine Vielzahl von ARM-Cortex-CPUs. Nvidia glaubt, dass die CUDA-GPUs nicht anfällig sind und analysiert noch seine Tegra-Prozessoren.

Was tun mit all den Transistoren?

- Wie funktioniert der Rechnerentwurf?
 - Architektur:
 - Technische Informatik
 - Rechnerarchitektur
- Wie können Fehler ausgeschlossen werden?
 - Computergestützter Rechnerentwurf:
 - VLSI CAD
 - Technische Informatik
 - Schaltkreisentwurf
 - Formale Verifikation

