

Technische Informatik

Historisches

Thorsten Thormählen
14. Oktober 2024
Teil 1, Kapitel 2

Dies ist die Druck-Ansicht.

[Aktiviere Präsentationsansicht](#)

Steuerungstasten

- nächste Folie (auch Enter oder Spacebar).
- ← vorherige Folie
- d schaltet das Zeichnen auf Folien ein/aus
- p wechselt zwischen Druck- und Präsentationsansicht
- CTRL + vergrößert die Folien
- CTRL - verkleinert die Folien
- CTRL 0 setzt die Größenänderung zurück

Inhalt

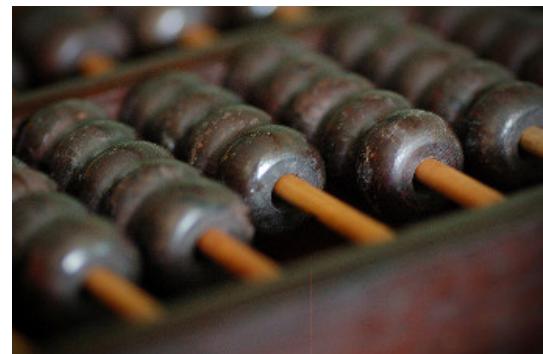
- Mechanische Rechenhilfen
- Mechanische Rechenmaschinen (ab 1600)
- Relais-basierte Computer (ab 1941)
- Elektronenröhren-basierte Computer (ab 1946)
- Transistor-basierte Computer (ab 1955)
- Computer mit integrierten Schaltungen (ab 1965)
- Mikroprozessoren (ab 1971)

Mechanische Rechenhilfe (Abakus), ca. 500 v.u.Z.

Ein Abakus ist ein mechanisches Gerät, welches das Zählen vereinfacht und bei einfachen Berechnungen als Gedächtnisstütze dient

Er besteht aus einem Rahmen und mehreren Stäben auf denen Steine oder Kugeln beweglich aufgereiht sind

Er wird seit Jahrtausenden, u.a. beim Handeln auf den Märkten eingesetzt

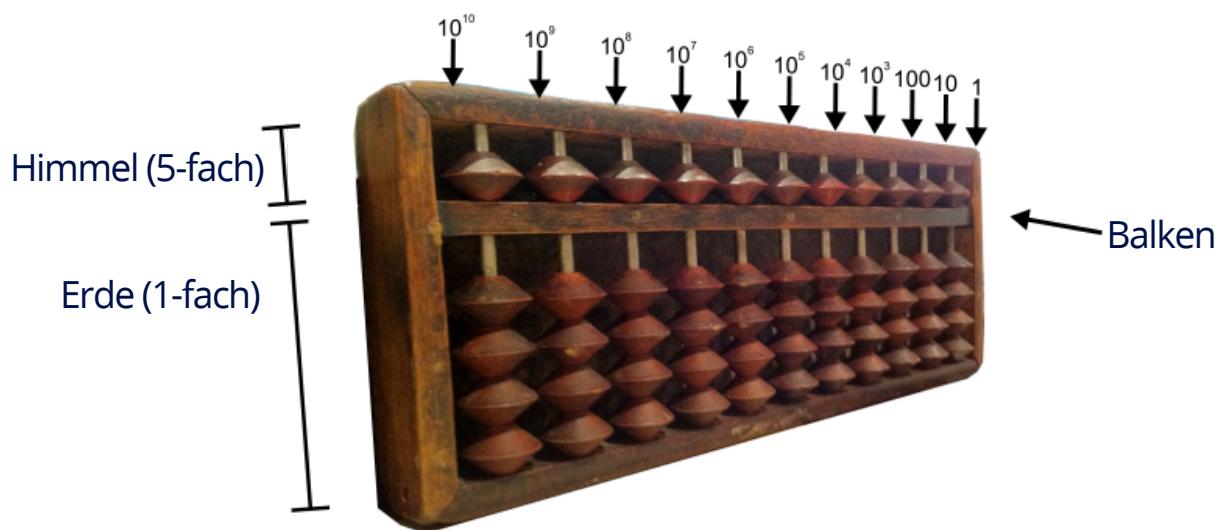


Abakus

[Bildquelle: [Abakus](#), Flickr user: zakulaan, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 4 / 58

Japanischer Abakus (Soroban), ca. 1600



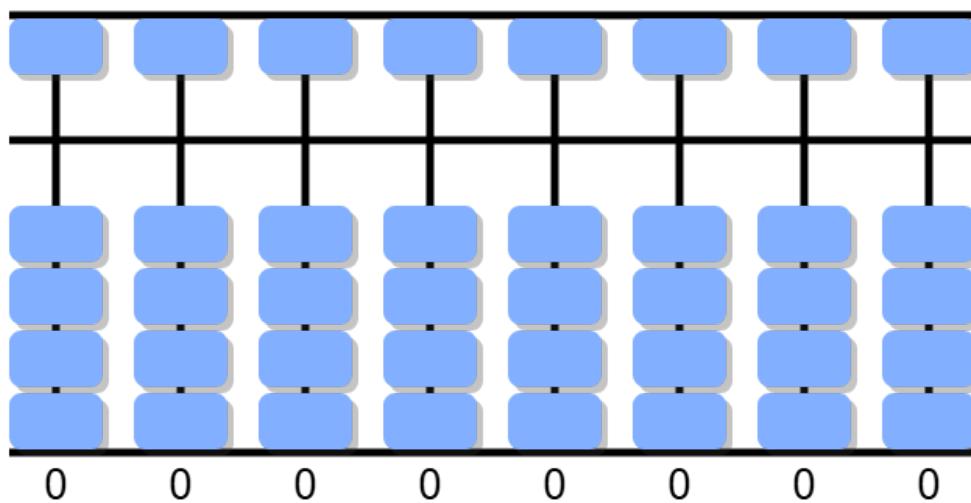
Jeder Stab repräsentiert eine Ziffer von 0 bis 9

Die Kugeln unterhalb des Trennbalken zählen 1-fach und die Kugel oberhalb 5-fach
Kugeln werden gezählt, wenn sie gegen den Trennbalken geschoben sind

[Bildquelle: [Abacus](#), Flickr user: Whity, [Creative Commons License](#), modifiziert]

Thorsten Thormählen 5 / 58

Japanischer Abakus (Soroban)



Dies ist ein interaktiver Soroban Simulator

Durch Klicken auf die Kugeln können diese verschoben werden

Japanischer Abakus (Soroban)

Beispiel: $1823 + 2333 = ???$

Schritt 1: Eingabe von 1823 (siehe Bild)

Schritt 2: Addition von 2333

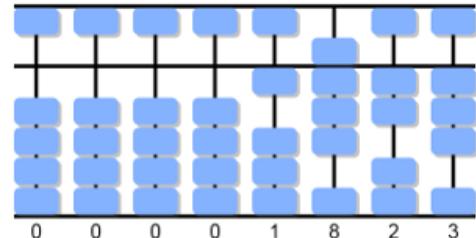
Vorgegangen wird von links nach rechts, nacheinander für jede Ziffer

Addition durch einfaches Hinzufügen von Kugeln

Sind keine passenden Kugeln vorhanden, kann das 5-er oder 10-er Komplement verwendet werden, beispielsweise:

5er-Komplement von 3 ist $(5 - 3) = 2$, d.h. anstatt 3 Kugeln hinzuzufügen, eine Kugel vom Himmel hinzufügen und zwei von der Erde wegnehmen

10er-Komplement von 3 ist $(10 - 3) = 7$, eine Kugel von der nächst höheren Ziffer hinzufügen und insgesamt sieben Zähler von Erde und Himmel wegnehmen



Napiersche Rechenstäbchen, 1617

Im Jahre 1617 beschrieb der schottische Mathematiker John Napier eine Rechenhilfe, mit der eine Multiplikation (bzw. Division) in eine Addition (bzw. Subtraktion) überführt werden kann

Dazu wird das Einmaleins auf Stäbchen notiert

Die Stäbchen werden auf einem Brett platziert, so dass in der obersten Zeile die zu multiplizierende Zahl steht

In den darunter liegenden Zeilen kann die Multiplikation der gelegten Zahl mit den Faktoren 2 bis 9 abgelesen werden

Das Ablesen erfolgt von rechts nach links durch Summation der Zahlen innerhalb der entstehenden Parallelogramme

Bei der Summation ist ein eventueller Übertrag zu berücksichtigen

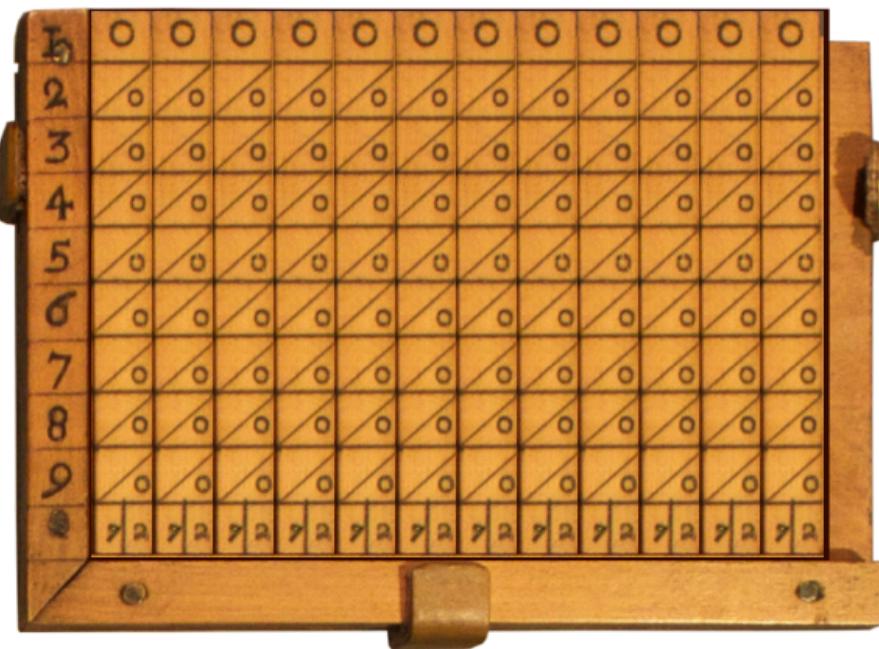


John Napier (1550 - 1617)

[Bildquelle: [John Napier](#), public domain]

Thorsten Thormählen 8 / 58

Napiersche Rechenstäbchen

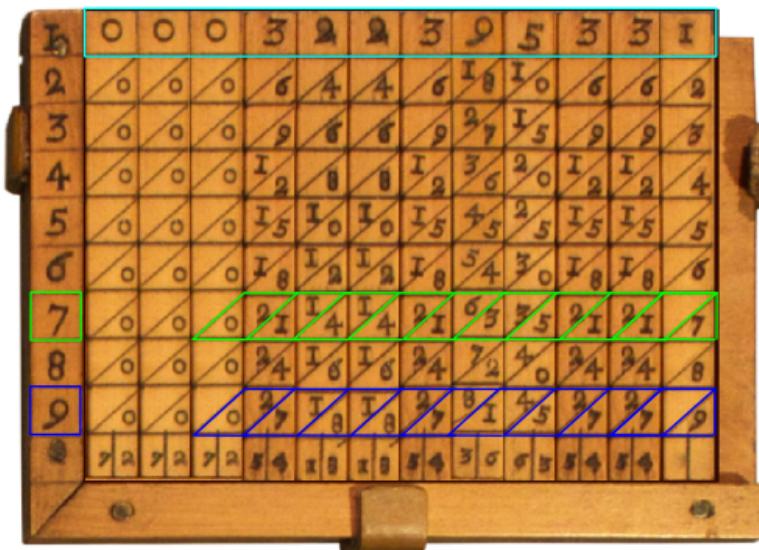


Dies ist ein interaktiver Simulator der Napierschen Rechenstäbchen

Durch Klicken auf die einzelnen Stäbchen kann deren Wertigkeit verändert werden

Napiersche Rechenstäbchen

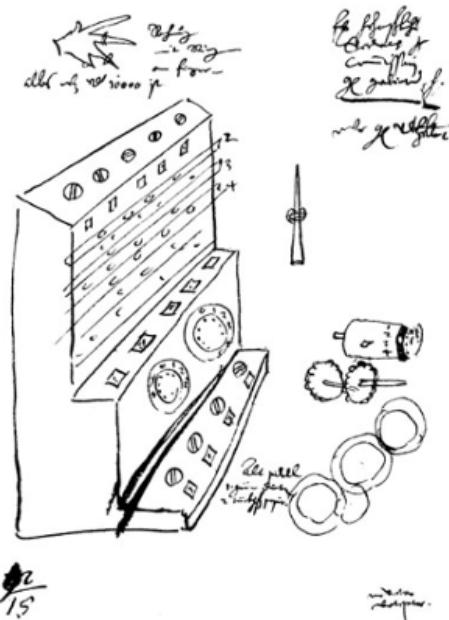
Beispiel:



$$\begin{array}{r} 97 * 322395331 \\ \hline 2256767317 \\ +2901557979 \\ \hline =31272347107 \end{array}$$

Thorsten Thormählen 10 / 58

Mechanische Rechenmaschinen (ab 1600)



Originalzeichnung der "Rechenuhr"

Wilhelm Schickard (1592-1635), Professor in Tübingen, baute im Jahr 1623 eine erste zahnradgetriebene Rechenmaschine

Er schreibt am 20. September 1623 an Johannes Kepler:

"Dasselbe, was Du auf rechnerischem Weg gemacht hast, habe ich kürzlich mechanisch versucht und eine aus 11 vollständigen und 6 verstümmelten Rädchen bestehende Maschine gebaut, welche gegebene Zahlen im Augenblick automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert."

Du würdest hell auflachen, wenn Du da wärest und sehen könntest, wie sie, so oft es über einen Zehner oder Hunderter weggeht, die Stellen zur Linken ganz von selbst erhöht oder ihnen beim Subtrahieren etwas wegnimmt."

[Bildquelle: [Originalzeichnung von Wilhelm Schickard](#), public domain]

Thorsten Thormählen 11 / 58

Rechenuhr von Schickard, 1623



Rechenuhr von Schickard (Replika aus dem Jahre 1957)

[Bildquelle: [Wilhelm Schickard machine replica](#), Flickr user: Daniel Sancho, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 12 / 58

Rechenuhr von Schickard

Die Rechenuhr von Schickard beherrschte die automatische Addition und Subtraktion inkl. dem automatischen Zehnerübertrag

Der Zehnerübertrag wurde durch eine Zahnradkonstruktion erreicht

Zur Multiplikation wurden Napierische Rechenstäbchen (oben) verwendet, deren Werte manuell in das mechanische Additionswerk (unten) übertragen werden mussten

Difference Engine von Charles Babbage, ab 1822

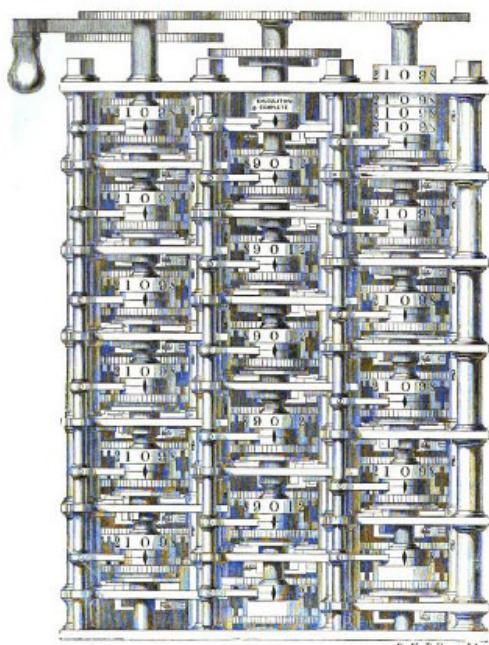
"What are you dreaming about? - I am thinking that all these tables of logarithms might be calculated by machinery."

Beginnend im Jahre 1822 arbeitete der englische Mathematikprofessor Charles Babbage an einer mechanischen Rechenmaschine zur Berechnung von Polynomen mit Newtons Differenzmethode

Die Maschine wurde leider nie von ihm fertig gestellt (trotz großer finanzieller Förderung durch die Britische Regierung bis ins Jahr 1842)

Die Motivation war, dass die damals verwendeten Tabellenwerke häufig fehlerhaft waren, da sie manuell in eintöniger Rechenarbeit erstellt wurden

Um Kopierfehler beim Übertragen der Ergebnisse zu vermeiden, hatte Babbage in einer zweiten Version "Difference Engine No. 2" sogar einen Drucker vorgesehen



Teil der Difference Engine No. 1

[Quelle: [Harper's new monthly magazine / Volume 30, Issue 175, p.34](#), public domain]

Thorsten Thormählen 14 / 58

Difference Engine von Charles Babbage



Für die "Difference Engine No. 2" wurde im Jahr 1849 von Charles Babbage nur eine Konstruktionszeichnung angefertigt

Erst 1991 wurde sie am Science Museum in London gebaut (etwa fünf Tonnen schwer)

[Bildquelle: [Let the computing begin!](#), Flickr user: Jitze Couperus, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 15 / 58

Difference Engine von Charles Babbage

Nachbildung der "Difference Engine No. 2" im Computer History Museum, Kalifornien, USA

0:00 / 0:26

[Quelle: [Babbage Engine in Operation](#) by xRez Studio]

Thorsten Thormählen 16 / 58

Analytic Engine von Charles Babbage

Neben seinen Arbeiten an der Difference Engine hat Charles Babbage 1842 ebenfalls eine universell einsetzbare mechanische "Analytic Engine" beschrieben

Diese besaß bereits viele Komponenten eines heutigen Universalrechners (inkl. Trennung von Speicher und Rechenwerk, Schleifen, bedingte Sprünge, etc.)

Er war damit seine Zeit weit voraus

Aufgrund der unvorhersehbaren Kosten wollte die Britische Regierung den Bau jedoch nicht finanzieren



Charles Babbage

[Bildquelle: [The Late Mr. Babbage](#), The Illustrated London News, 4 November 1871, public domain]

Thorsten Thormählen 17 / 58

Relais-basierte Computer

Durch den Einsatz elektromechanischer Relais können Rechner viel leichter konstruiert werden, als mit reiner Mechanik

Der deutsche Computer-Pionier Konrad Zuse baute 1941 aus 2200 Relais einen voll funktionsfähigen Rechner



Ein Relais ist ein elektrisch gesteuerter Ein-/Aus-Schalter

Kein Strom durch Spule = Anker nicht angezogen = Arbeitskontakt offen

Strom durch Spule = Anker wird durch Magnetfeld angezogen = Arbeitskontakt geschlossen

Es gibt nur zwei Zustände für jeden Schalter: Ein/Aus (bzw. 1/0)

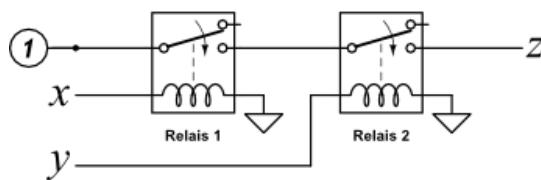
Bis heute verwenden Computer das Binärsystem

[Bildquelle: [Schematische Darstellung eines Relais](#), public domain]

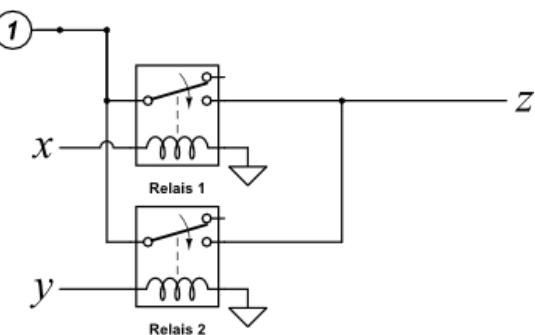
Thorsten Thormählen 18 / 58

Logische Verknüpfungen mittels Relais-Schaltungen

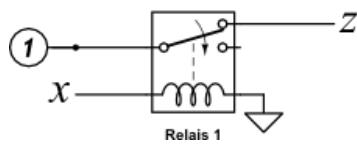
AND-Verknüpfung



OR-Verknüpfung



NOT-Verknüpfung



Die Z3 von Konrad Zuse, 1941

Basierend auf seinen Erfahrungen mit der mechanisch arbeitenden Z1 (1935 bis 1938), baut Konrad Zuse 1939 ein Versuchsmodell eines Relais-basierten Computers: die Z2

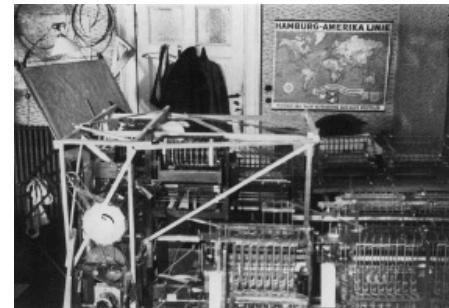
In 1941 baute er die Z3, der erste Relais-basierte funktionstüchtige Rechner mit einer Taktrate von 5,3 Hertz

Die Relaistechnik wurde zu diesem Zeitpunkt schon länger in der Telekommunikation eingesetzt

Die Z3 besaß einen Speicher (1600 Relais) sowie Steuer- und Rechenwerk (600 Relais)

Es gab 9 Befehle: Eingabe, Ausgabe, Speicher lesen, Speicher schreiben, Multiplizieren, Dividieren, Wurzelziehen, Addieren, Subtrahieren. Die Befehle konnten direkt über ein Bedienfeld mit Tastatur und numerischer Anzeige oder programmatisch mittels Lochstreifen übergeben werden

Vorführung der Z3 im Deutschen Museum



Die Z1 im Wohnzimmer der Eltern



Zuse mit Z3-Nachbau

[Bildquelle: [Deutsches Museum](#) , Frei zur Veröffentlichung nur mit diesem Vermerk]

Thorsten Thormählen 20 / 58

Die Z3 von Konrad Zuse, 1941

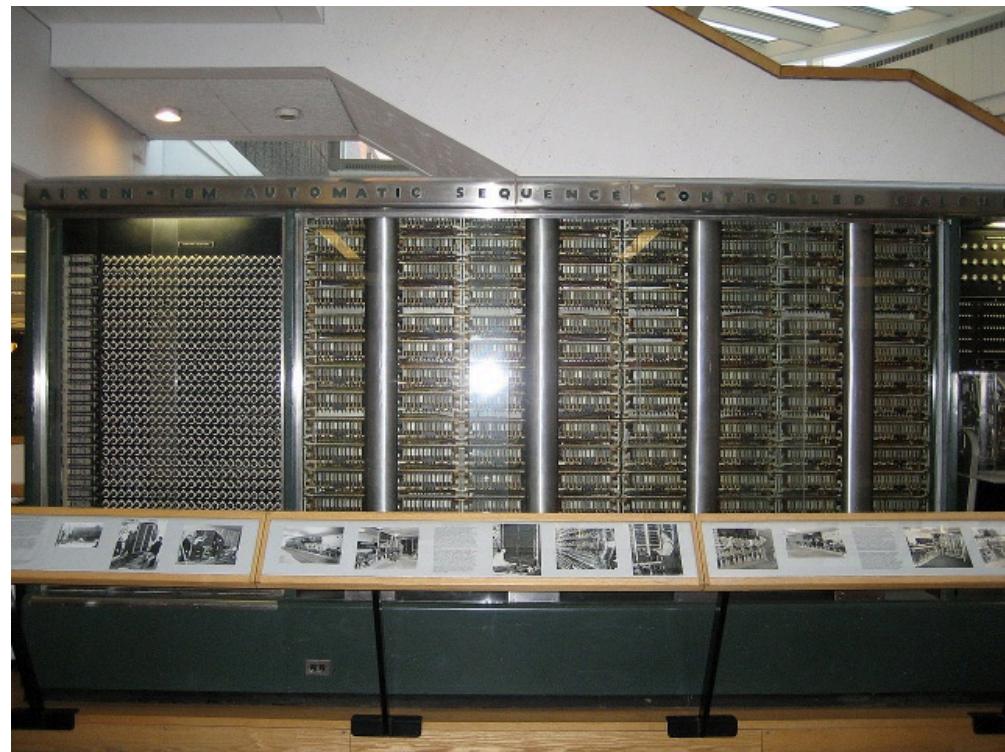
[Vorführung der Z3 im Deutschen Museum](#)

0:00 / 5:11

[Quelle:[Deutsches Museum](#)]

Thorsten Thormählen 21 / 58

Harvard Mark I, 1944



[Bildquelle: [HarvardMarkI](#) , public domain]

Thorsten Thormählen 22 / 58

Harvard Mark I, 1944

Die Harvard Mark I war ein Relais-basierter Rechner, der vom Harvard Professor Howard H. Aiken entworfen wurde

Aiken begann 1939 mit der Arbeit an dem "Automatic Sequence Controlled Calculator", der 1944 mit Unterstützung von IBM fertiggestellt wurde und den Namen "Harvard Mark I" erhielt

Die Befehle konnten programmatisch mittels Lochstreifen übergeben werden

Der Rechner hatte eine Länge von 15,5 Metern und war fast 5 Tonnen schwer

IBM hatte aufgrund ihrer Buchungs- und Tabelliermaschinen bereits viel Erfahrungen mit der Relaistechnik und Lochkartengeräten

Aiken entwarf seinen Rechner zeitgleich mit Zuse und kannte dessen Arbeiten aufgrund des fehlenden Informatikaustausches während des zweiten Weltkrieges nicht

Im Gegensatz zu Zuse verwendete Aiken Dezimalarithmetik

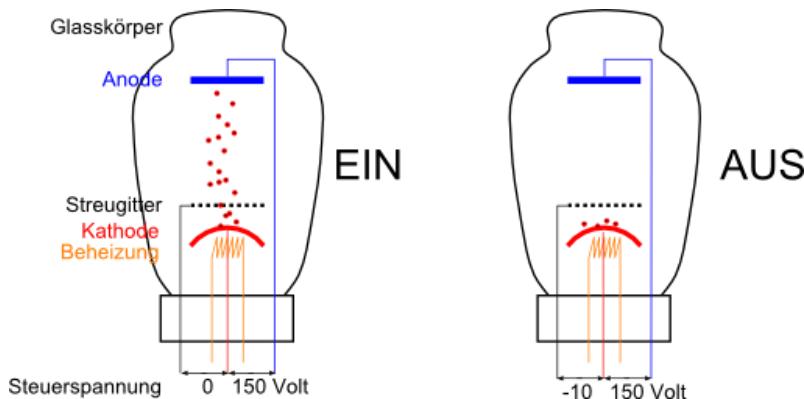


[Bildquelle: [Harvard Mark I Computer](#) by Rocky Acosta, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 23 / 58

Elektronenröhren-basierte Computer

Elektronenröhren können ebenfalls als Schalter verwendet werden (Triode). Sie erreichen ca. 1000 bis 2000-mal schnellere Schaltzeiten als die besten Relais.



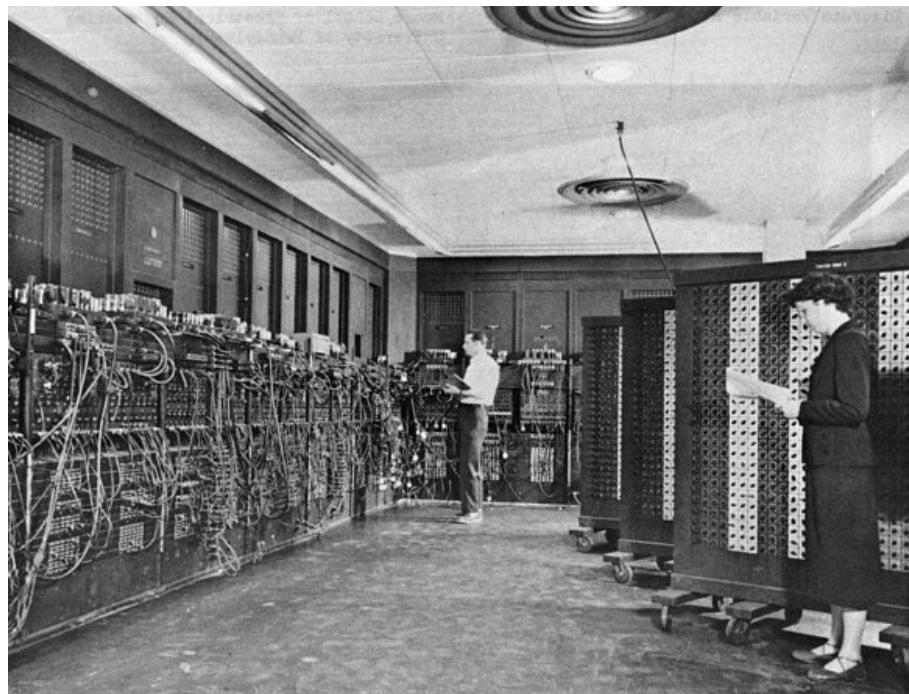
Im Vakuum treten aus der geheizten Kathode Elektronen aus und werden von der starken positiven Ladung der Anode angezogen

Keine Spannung an Streugitter = Strom fließt

Negative Spannung an Streugitter = kein Strom fließt

Damit gibt es (genau wie beim Relais) wieder zwei Zustände: Ein/Aus (bzw. 1/0)

ENIAC, der erste rein elektronische Rechner, 1946



"Electronic Numerical Integrator and Computer" (ENIAC)

[Bildquelle: [Eniac](#), U.S. Army Photo, public domain]

Thorsten Thormählen 25 / 58

ENIAC, 1946

ENIAC wurde ab 1942 von John W. Mauchly und Persper Eckert an der Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, entwickelt, und 1946 öffentlich vorgestellt

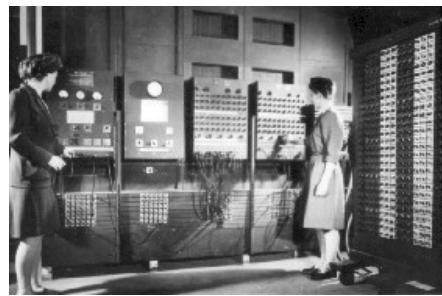
Sie benötigte einen ganzen Raum, wog ca. 30 Tonnen und bestand aus 17.468 Elektronenröhren, 7.200 Dioden, 1.500 Relais, 70.000 Widerständen und 10.000 Kondensatoren

Durch die Elektronenröhren war die ENIAC schneller (ca. 1000 Hz) als Relais-basierte Computer, hatte jedoch folgende Nachteile:

Sehr hoher Stromverbrauchs (174.000 Watt)

Die Röhren gingen schnell kaputt (Lebensdauer ca. 2 Jahre; d.h. im Durchschnitt war jede Stunde eine Röhre defekt). Durch Modulbauweise war es möglich, schnell ganze Module auszutauschen.

Die Programmierung erfolgte durch neue Verkabelung, daher war die ENIAC nicht sehr flexibel. Hauptaufgabe war die Berechnung ballistischer Tabellen für die U.S. Army



[Bildquelle: [Eniac](#), U.S. Army Photos, public domain]

Thorsten Thormählen 26 / 58

UNIVAC I, 1951

Eckert und Mauchly gründeten die "Eckert-Mauchly Computer Corporation", um ihre Erfindung zu kommerzialisieren

Nachfolge-Modell des ENIAC, war der UNIVAC I (UNIVersal Automatic Computer)

Der UNIVAC war Speicher-programmierbar und konnte Daten auf einem Magnetband speichern (12.800 Zeichen pro Sekunde)

Nach Übernahme durch "Remington Rand" wurden 46 Systeme verkauft



Rechenanlage UNIVAC I im Deutschen Museum, München

[Bildquelle: [Univac 1](#), by Jordi Marsol, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 27 / 58

IAS (von Neumann-Rechner), 1952

Am Institute for Advanced Study (IAS) in Princeton entwickelte John von Neumann einen auf Elektronikröhren basierten Rechner, der im Gegensatz zur ENIAC im Binärsystem arbeitete

Von Neumanns hatte bereits 1944 gemeinsam mit Eckert and Mauchly (zunächst theoretisch) ein Konzept für einen Universal-Rechner beschrieben.



John von Neumann

[Bildquelle: [John von Neumann](#), public domain]

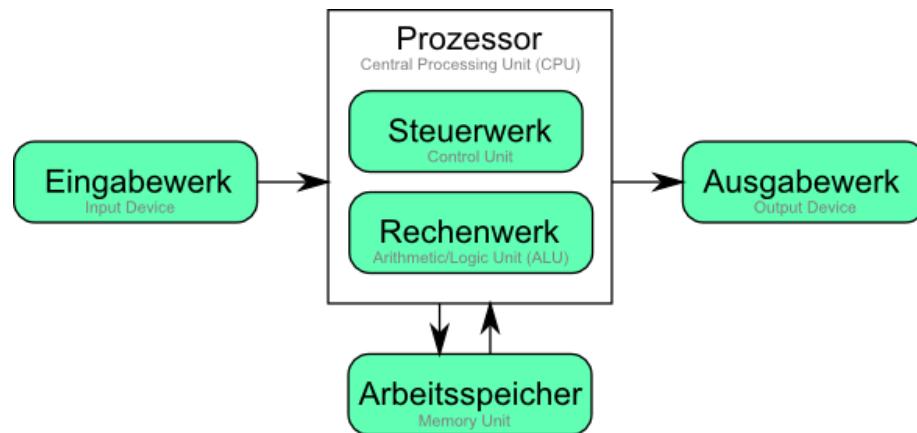
Thorsten Thormählen 28 / 58

Von Neumannsches Rechnerkonzept

Das von Neumannsche Rechnerkonzept besagt u.a.:

Die Struktur des Rechners ist unabhängig vom zu bearbeitenden Problem

Es gibt 5 Funktionseinheiten: Steuerwerk, Rechenwerk, Speicher, Eingabewerk und Ausgabewerk.



Von Neumannsches Rechnerkonzept

Befehle und Daten werden binär codiert und in einem gemeinsamen Speicher gehalten

Der Speicher ist in Zellen gleicher Größe geteilt, die mit fortlaufenden Nummern adressierbar sind

Befehle, die im Speicher hintereinander liegen, werden nacheinander abgearbeitet

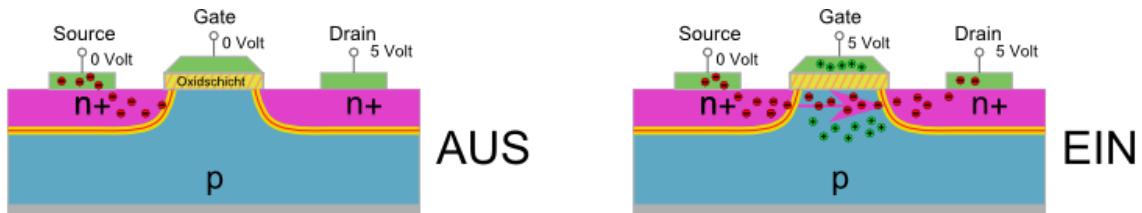
Es gibt Sprungbefehle, um den Ablauf zu ändern

Der Speicherinhalt (Daten und Befehle) kann durch die Maschine modifiziert werden

Das Konzept ist immer noch beliebt, da die Programmierung durch den streng sequentiellen Ablauf einfach ist (nichts passiert parallel)

Transistor-basierte Computer

Elektronenröhren waren unzuverlässig und wurden seit Anfang der Fünfzigerjahre durch ein neues elektrisches Bauteil ersetzt: **der Transistor**



Der hier gezeigte Feldeffekttransistor besteht aus p- und n-dotiertem Halbleitermaterial. Es gibt drei Kontakte aus Metall: Source, Drain und Gate.

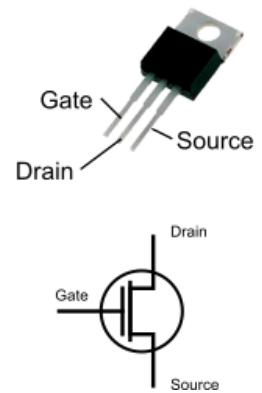
Der Strom zwischen Source und Drain wird über die Spannung zwischen Gate und Source gesteuert

0 Volt am Gate = die Elektronen können das p-dotierte Gebiet nicht überwinden = kein Strom fließt

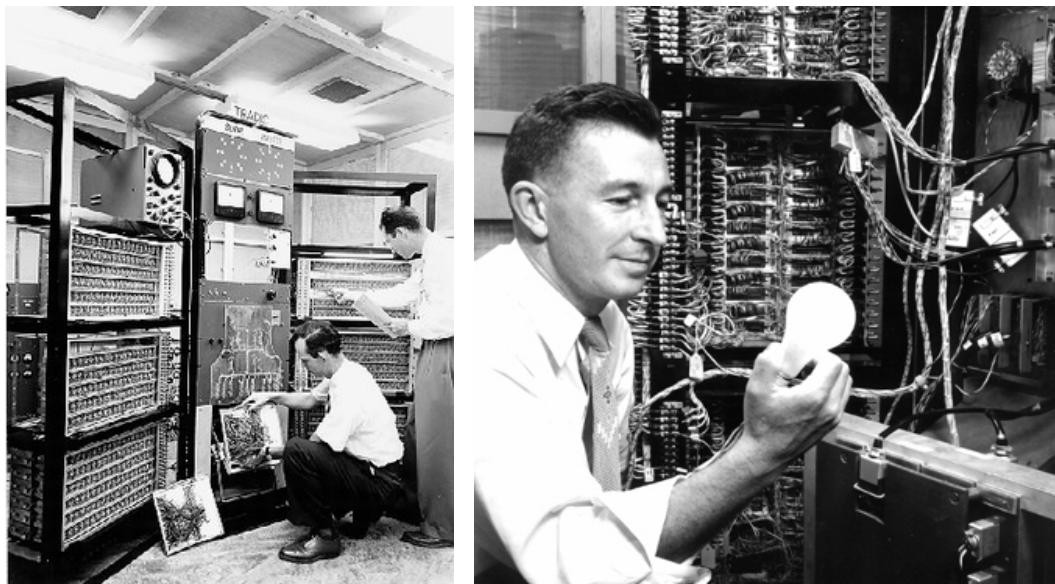
5 Volt am Gate = Elektronen reichern sich unterhalb des Gate an (n-Kanal) = Elektronen fließen durch Kanal = Strom fließt

Damit gibt es wieder zwei Zustände: Ein/Aus (bzw. 1/0)

Feldeffekttransistor



TRADIC, 1955



TRADIC (TRansistorized Airborne Digital Computer)

[Bildquelle:[Tradic](#) , [Tradic Detail](#)]

Thorsten Thormählen 32 / 58

TRADIC, 1955

TRADIC (TRansistorized Airborne Digital Computer) wurde von AT&T Bell Labs für die US Air Force entwickelt und 1955 in Betrieb genommen

Es wurden keine Elektronenröhren mehr verbaut, sondern ca. 700-800 einzelne Transistoren

Neben der Ausfallwahrscheinlichkeit und der Baugröße reduzierte sich auch die Leistungsaufnahme auf ca. 100 Watt

Die Rechengeschwindigkeit betrug bereits ca. eine Million logische Operationen pro Sekunde (1 MHz)

IBM 1401, 1959

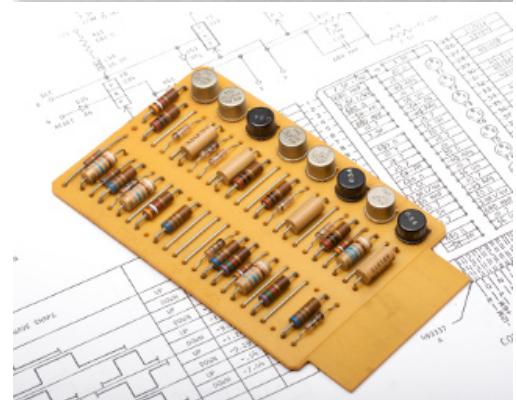
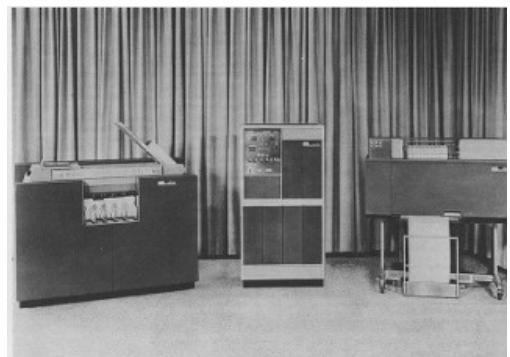
IBM 1401 war ein Großrechner, der für die Verarbeitung von Massendaten (Volkszählung, Buchhaltung, Kundendaten, etc.) in großen Firmen oder staatlichen Einrichtungen gedacht war

Insgesamt wurde mehr als 10.000 Stück gebaut

Die Logikschaltungen wurde aus einzelnen Platinen mit bedrahteten Bauteilen (Transistoren, Kondensatoren und Dioden) aufgebaut

Die Basisausstattung hatte einen Lochkartenleser (Bild links) und einen Drucker (rechts). Es konnten mehrere Magnetbandeinheiten angeschlossen werden (Übertragungsgeschwindigkeit 41.000 Zeichen pro Sekunde)

Die IBM 1401 konnte u.a. mit der höheren Programmiersprache FORTRAN programmiert werden



[Bildquelle: [Basic IBM 1401 system](#) , public domain, [IBM Standard Modular System card](#), by Marcin Wichařy, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 34 / 58

Computer mit integrierten Schaltungen, ab 1965

Anstatt einzelne Transistoren als diskretes Bauelement herzustellen, werden viele Transistoren auf einem Stück Halbleitermaterial integriert (engl. Integrated Circuit, IC)



Bereits 1958 gelang es Jack Kibly von Texas Instruments einen ersten IC zu erzeugen

Einige Jahre später waren die ICs marktreif. Das erste Computersystem, in dem sie kommerziell zum Einsatz kamen, waren die IBM /360 Rechner.

IBM /360, 1965

Einführung eines Familienkonzepts: Alle Rechner einer Familie sind kompatibel

Idee: Alle Maschinen haben den selben Maschinenbefehlssatz. Die Implementierung auf unterschiedlichen physikalischen Bausteinen erfolgt durch **Mikroprogrammierung**

Ein Mikroprogramm gibt an, wie bei der Ausführung eines bestimmten Maschinenbefehls (z.B. Addition) die einzelnen Logikbausteine angesteuert werden müssen

IBM /360 Modell 85 verwendete als erstes kommerzielles System einen "Cache" (schneller lokaler Speicher, der eine Kopie der Hauptspeicher-Daten vorhält)



[Bildquelle: [IBM System 360/20 computer, Deutsches Museum](#), by Ben Franske, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 36 / 58

IBM /360, 1965

0:00 / 0:43

Werbefilm zur Modellreihe /360 von IBM

[Quelle: [IBMMainframesvideos](#)]

Thorsten Thormählen 37 / 58

Intel 4004: der erste Mikroprozessor von Intel, 1971

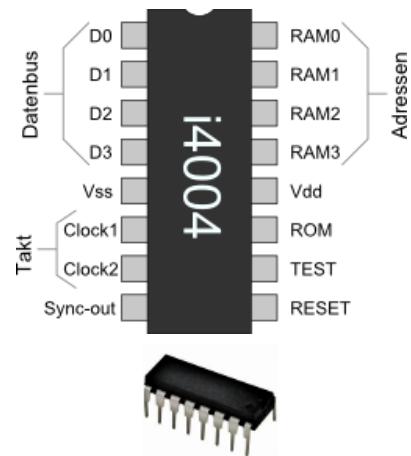
Intel (Integrated Electronics Corporation) wurde im Jahr 1968 von Gordon Moore und Robert Noyce gegründet

Im November 1971 kam Intel's erster Mikroprozessor, der 4004, auf den Markt

Der IC wurde mit einer Strukturbreite von 10 Mikrometern gefertigt. Er hatte 2250 Transistoren und arbeitete zunächst mit einer Taktrate von 108 KHz

Der 4004 hat einen Datenbus von 4 Bit, d.h. pro Bustakt können nur 4 Ein/Aus Zustände (= 4 Bit) gelesen werden

Ein Befehl war jedoch als eine Folge von 8 Einsen und Nullen kodiert, z.B. 01101000. Daher arbeitete der Datenbus doppelt so schnell, um einen Befehl pro Prozessortakt lesen zu können



Intel 8080, 1974

Im April 1974 stellt Intel den 8080 vor, der von vielen als der erste wirklich verwendbare Mikroprozessor bezeichnet wird

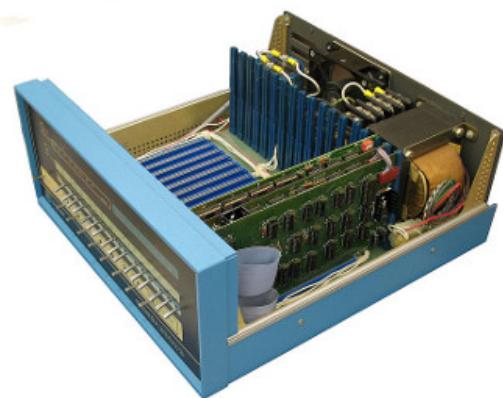
Der Intel 8080 und sein Vorgänger 8008 (1972) waren 8-Bit Computer, d.h dass 8 Bit (=1 Byte) innerhalb eines Taktes verarbeitet werden können

Der 8080 hat einen 8-Bit Datenbus und 16-Bit Adressbus. Damit war es möglich, (2^{16}) = 65536 Bytes im externen Speicher zu adressieren

Der IC wurde mit einer Strukturbreite von 6 Mikrometern gefertigt. Er hatte 4500 Transistoren und arbeitete mit einer Taktrate von 2 MHz

Basierend auf dem 8080 konnten sich Bastler ab 1975 den kostengünstigen Bausatz-Computer Altair 8800 bestellen

Damit hielt der Computer Einzug in den Privatbesitz von Technikbegeisterten: Der PC (Personal Computer) war geboren



Altair 8800 mit Intel 8080 CPU

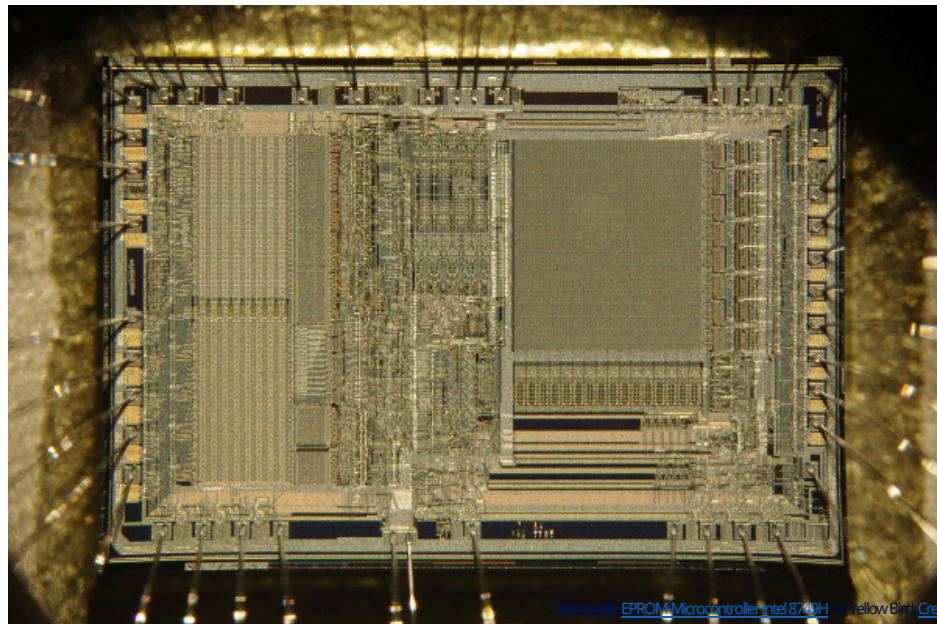
[Bildquelle: [MITS Altair 8800](#), public domain]

Thorsten Thormählen 39 / 58

Intel 8748 Mikrocontroller, 1976

Ab 1976 gelang es Intel, einen 8-Bit Micro-Controller, d.h einen vollständigen Rechner (Prozessor, Speicher und Ein-/Ausgabeeinheiten), auf einen IC zu integrieren

Damit startete Intel die Micro-Controller-Familie MCS-48 (Bild zeigt Intel 8749)



[Bildquelle: [EPROM/Microcontroller Intel 8749H](#) by yellowBird. Creative Commons License]

Thorsten Thormählen 40 / 58

Apple II, 1977

Der Apple II war vergleichsweise günstig und war als erster Personal Computer weit verbreitet. Der erste große kommerzieller Erfolg für die Gründer von Apple: Steve Wozniak und Steve Jobs

Interessant ist, dass die Baupläne des Apple II veröffentlicht wurden, d.h. andere Hersteller konnten ihn erweitern - aber auch nachbauen

Neben Text konnte der Apple II bereits Farbgrafiken darstellen: Entweder 15 Farben mit niedriger Auflösung (40×48 Pixel) oder 6 Farben mit hoher Auflösung (280×192 Pixel)

Selbst ausprobieren: [Apple II Emulator](#)



[Bildquelle: [Apple II](#), by Marcin Wichary, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 41 / 58

Intel 8086, 1978

Der 8086 ist ein 16-Bit Prozessor von Intel

Der Intel 8086 wurde mit einer Strukturbreite von 3 Mikrometern gefertigt, hatte 29000 Transistoren und arbeitete mit einer Taktrate von 5 MHz bis 10 MHz

Die nach dem 8086 benannte x86-Mikroprozessor-Architektur wird später zum Industrie-Standard, vor allem, weil IBM eine spätere Variante des Prozessors, den Intel 8088, ab 1981 in ihren PCs verbaute

Der IBM-PC wurde sehr erfolgreich. Auch gab es viele Nachahmer, die kompatible PCs mit den gleichen Komponenten bauten

Somit wurde die x86-Mikroprozessor-Architektur sehr verbreitet



IBM 5150 mit Intel 8086 CPU

[Bildquelle: [IBM PC](#) by Marcin Wicha, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 42 / 58

Intel-x86-CPU-Familie

Name	Datum	Taktrate	Anzahl Transistoren	adressierbarer Speicher	Anmerkungen
8086	6/1978	5-10 MHz	29000	1 MiB	16-Bit-CPU
80286	2/1982	6-20 MHz	134000	16 MiB	
80386	10/1985	16-33 MHz	275000	4 GiB	32-Bit-CPU
80486	4/1989	25-50 MHz	1,2 M	4 GiB	8K-Cache
Pentium	1993	60-233 MHz	3,1 M	4 GiB	zwei Pipelines
Pentium Pro	3/1995	150-200 MHz	5,5 M	4 GiB	zwei Cache-Ebenen
Pentium II	5/1997	233-400 MHz	7,5 M	4 GiB	MMX (SIMD)
Pentium III 2	1999	450-600 MHz	9,5 M	4 GiB	SSE (SIMD)
Pentium 4	2/2000	1,3-2,0 GHz	42 M	4 GiB	drei Cache-Ebenen
Pentium 4 Prescott	2/2004	3,8 GHz	125 M	4 GiB	64-Bit-CPU
Core 2 Duo	7/2006	2*(1,8-3,2) GHz	bis zu 410 M	4 GiB	2-Kern Prozessor
Core 2 Quad	1/2007	4*(2,5-3,2) GHz	bis zu 820 M	64 GiB	4-Kern Prozessor
Core i7 (1st Gen)	9/2009	6* (2,8-3,9) GHz	ca. 1 G	16 TiB	6-Kern Prozessor

[Quelle:[Wikipedia](#)]

Thorsten Thormählen 43 / 58

Moore's Law

"The complexity for minimum component costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year. Certainly over the short term this rate can be expected to continue, if not to increase. Over the longer term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least ten years" - Gordon E. Moore, 1965

1975 korrigierte Moore seine Aussage und sagte eine Verdoppelung der Anzahl der Transistoren auf einem Mikrochip alle zwei Jahre voraus (teilweise wird in der Literatur auch von einer Verdopplung alle 18 Monate gesprochen)

Auf die genaue Zeitspanne kommt es bei seiner Aussage jedoch gar nicht an, wichtig ist, dass die Anzahl der Transistoren exponentiell wächst

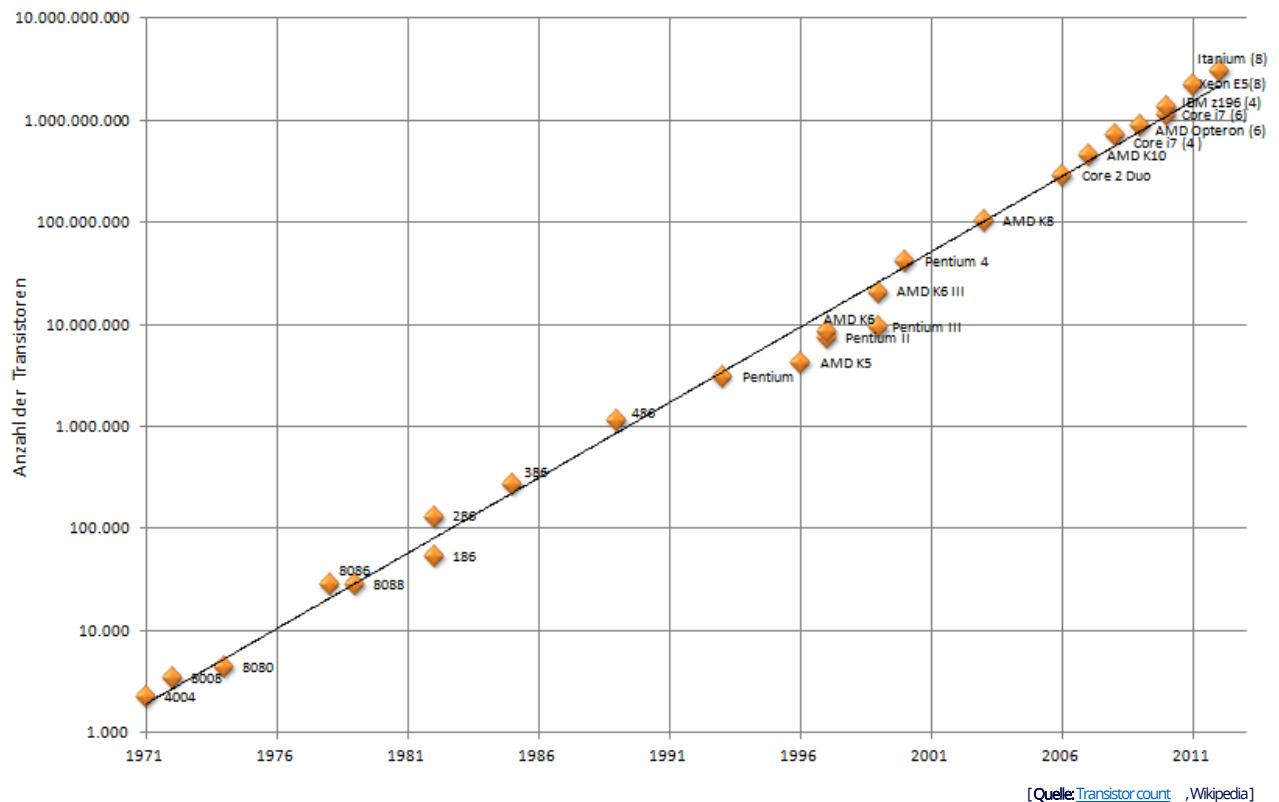
Die Mikrochip-Hersteller versuchen dieses exponentielle Wachstum aufrecht erhalten (selbsterfüllende Prophezeiung), obwohl schon häufig mit dem Ende von Moore's Law aufgrund von technologischen Limitationen gerechnet wurde

Seit 2006 kann beobachtet werden, dass die Taktraten nicht mehr stark steigen, sondern mehrere Recheneinheiten (Cores) auf einem Chip platziert werden

[Quelle: Gordon E. Moore, "Cramming More Components onto Integrated Circuits," Electronics, pp. 114-117, April 19, 1965.]

Thorsten Thormählen 44 / 58

Anzahl an Transistoren pro Mikroprozessor IC



Thorsten Thormählen 45 / 58

Commodore 64, 1982

Commodore 64 (C64) war ein 8-Bit Computer von "Commodore International", der ca. 17 Millionen Mal verkauft wurde

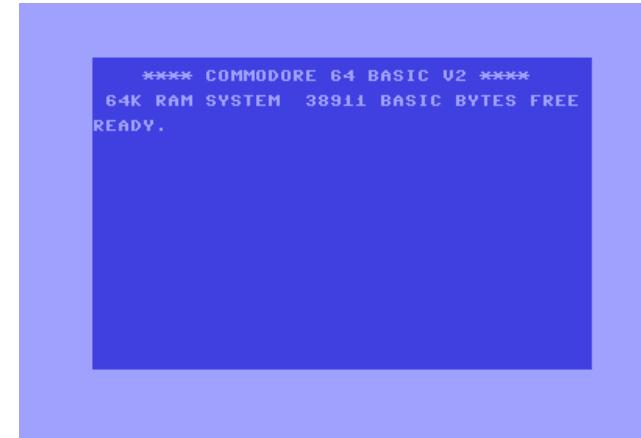
Er war sehr leicht zu bedienen und stand in den 80er-Jahren u.a. als "Spiel-Computer" in vielen Kinderzimmern

Neben Assembler-Programmierung konnte der C64 mit einem BASIC-Interpreter programmiert werden, der beim Start aus dem ROM (Read-Only-Memory) gelesen wurde

Selbst ausprobieren:

[C64 Online Emulator](#)

[C64 JavaScript Emulator](#)



[Bildquelle: [Commodore64](#), public domain]

Thorsten Thormählen 46 / 58

Apple Macintosh, 1984

1984 präsentierte Apple den Macintosh mit Maus und graphischer Benutzeroberfläche



[Bildquelle: [Macintosh](#), by Marcin Wichař, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 47 / 58

Die Erfolgsgeschichte von Microsoft und Apple

0:00 / 28:19

ZDF doku: Eine kurze Geschichte des PCs

Thorsten Thormählen 48 / 58

MIPS R2000, 1986

Der MIPS R2000 ist ein Vertreter der RISC-Architektur

Da die Maschinenbefehle der etablierten Architekturen immer umfangreicher und komplexer wurden kam in den 80er Jahren eine Gegenbewegung auf

Computer mit den bisherigen Befehlssätzen wurden bezeichnet als:
CISC (Complex Instruction Set Computer)

Eine neue Computerarchitektur wurde vorgeschlagen:
RISC (Reduced Instruction Set Computer)

Die einfachen RISC-Befehle sind schneller auszuführen und benötigen jeweils ungefähr die gleiche Zeit

Die einfachen Befehle verwenden dedizierte Hardware und ersetzen die bei CISC Prozessoren übliche Mikroprogrammierung

Die RISC-Prozessoren können daher schneller getaktet werden und die Fließbandverarbeitung von Befehlssequenzen (Pipelining) wird effizienter

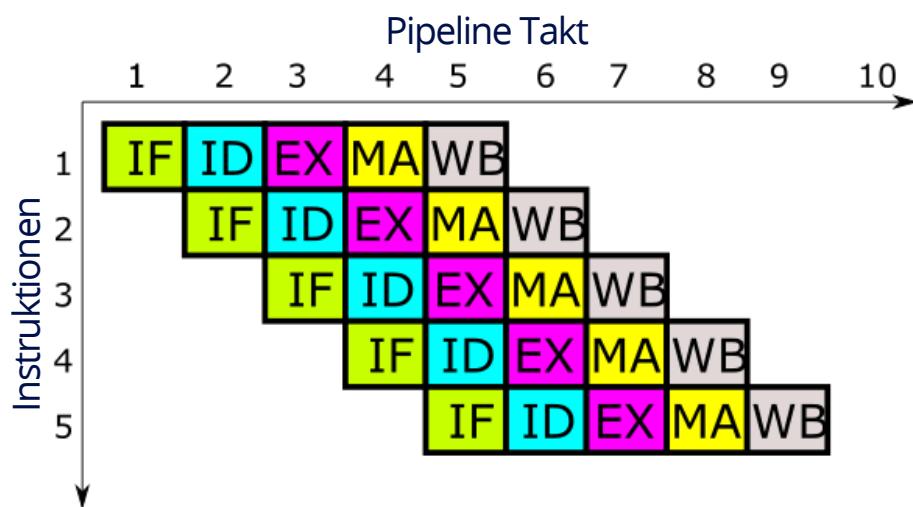
Motorola 68000, PowerPC (Apple), ARM (Smartphone) sind weitere Beispiele für RISC-Processoren

Fließbandverarbeitung (Pipelining)

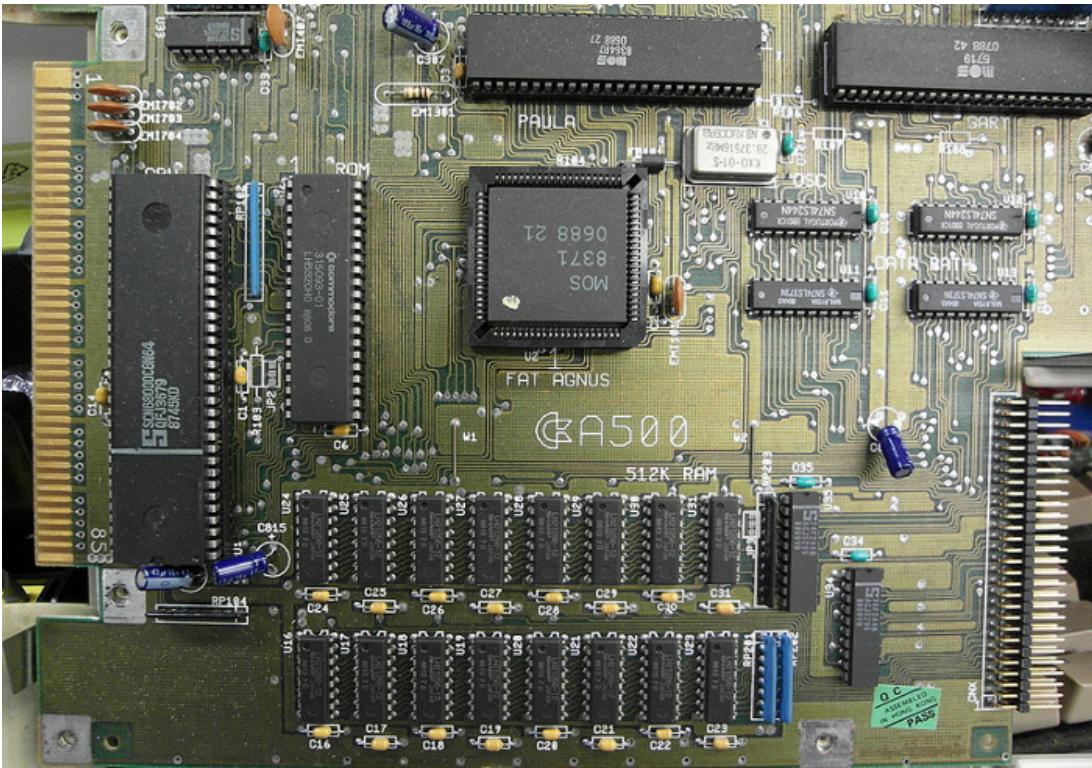
Mehrere Aufgaben werden mit mehreren Ressourcen simultan verarbeitet

In der MIPS Architektur z.B. dedizierte Hardware für: Instruction Fetch (IF), Instruction Decode (ID), Execute (EX), Memory Accessss (MA) und Write Back (WB)

Durch Pipelining kann so z.B. eine bis zu 5-fache Beschleunigung gegenüber einer hintereinander Ausführung erreicht werden



Amiga 500, 1987



[Bildquelle: [Amiga 500](#) by Dave Jones, Creative Commons License]

Thorsten Thormählen 51 / 58

iMac G3, 1998

Spätestens seit dem iMac wird bei Apple viel Wert auf das Design gelegt

Apple's Idee: Der iMac integriert Monitor und Rechner-Hardware in einem Gehäuse während dies sonst nicht üblich ist. Dies verhindert Kabelsalat auf dem Schreibtisch, hat aber den Nachteil, dass Komponenten nicht so leicht ausgetauscht werden können.

Das Konzept wird bis heute fortgeführt (oben iMac G3 von 1998, unten iMac von 2007)

Der iMac G3 hatte eine 233 MHz PowerPC CPU mit 512 KB Cache, 4 GB Festplatte, 32 MB RAM, 2 MB Video RAM und wurde mit Mac OS 8.1 ausgeliefert



[Bildquelle: [iMac G3](#), by Rudolf Schuba, [iMac 2007](#), by Burgermac, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 52 / 58

iPhone, 2007

Das Apple's iPhone revolutionierte den Mobiltelefonmarkt, indem es statt Tasten einen Multi-Touch Bildschirm verwendet

Dies erlaubt ein neuartiges und vereinfachtes Bedienkonzept

Als Mikrocontroller wurde ein Samsung 32-Bit RISC ARM-1176-Prozessor mit 667-MHz verwendet

Das Telefon hatte 128 MB DRAM, ein 3,5-Zoll Display mit einer Auflösung von 320x480 Bildpunkten und eine 2 Megapixel Kamera

D.h. das iPhone der ersten Generation war leistungsstärker als der iMac bei seiner Einführung 10 Jahre zuvor

Smartphones und Tablet-PC (wie z.B. iPad, 2010) erleben seitdem einen immer größeren Zulauf

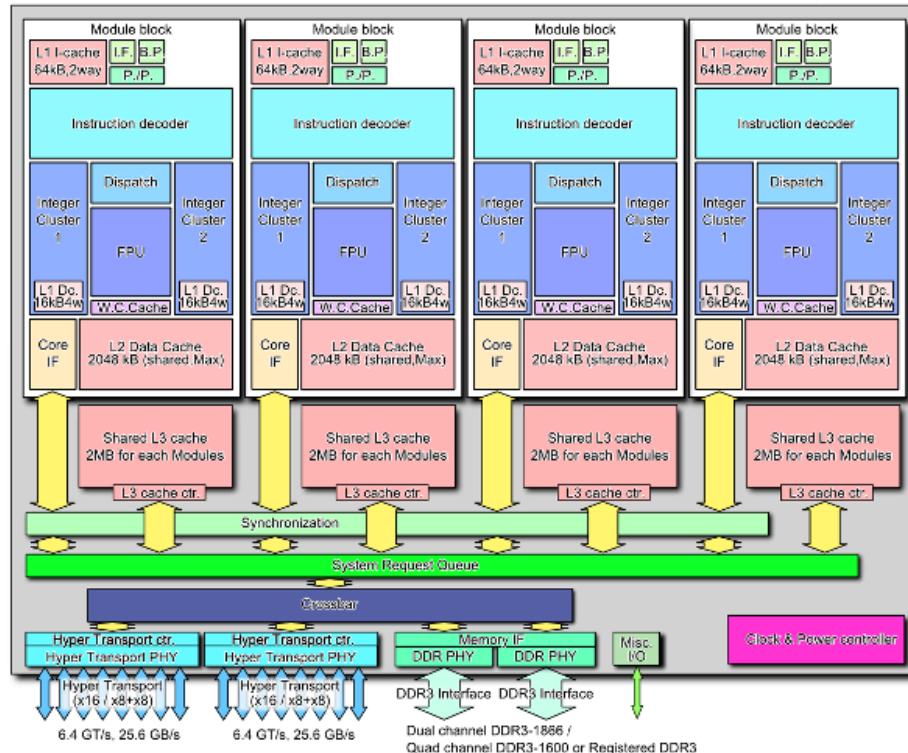


iPhone 4, 2010

[Bildquelle: [iPhone](#), Flickr User: Yutaka Tsutano; [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 53 / 58

AMD Bulldozer (8-Kern-CPU), 2011



[Quelle: [AMD Bulldozer block diagram \(8-core CPU\)](#) , by Shigeru23, Creative Commons License]

Thorsten Thormählen 54 / 58

Intel's und AMD's aktuelle High-End-Desktop-Prozessoren

Intel's und AMD's aktuelle High-End-Desktop-Prozessoren haben beeindruckende technische Daten
(Stand: Okt. 2022)

Z.B. der AMD Ryzen 9 7950X hat:

- eine Strukturbreite von 5 Nanometern
- 13,1 Milliarden Transistoren
- 16 Kerne
- Taktfrequenz 4,5 GHz bis 5,7 GHz
- 80 MB Cache (Level 2 + 3)

der Intel Core i9-13900K hat:

- eine Strukturbreite von 10 Nanometern
- unbekannt (laut grober Schätzungen ca. 25 Milliarden)
- 24 Kerne
- Taktfrequenz 3,0 GHz bis 5,8 GHz
- 68 MB Cache (Level 2 + 3)

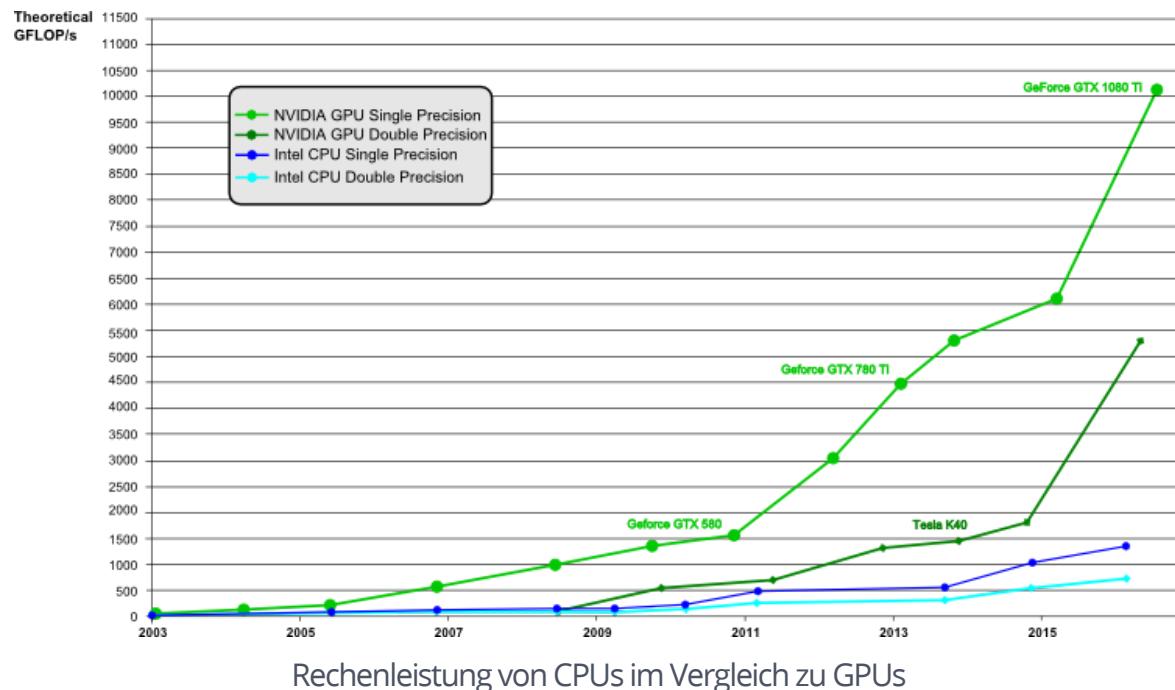


Intel Core i7 CPU
(1. Generation)

[Quelle: [Intel Core i9-13900K](#) , [AMD Ryzen 9 7950X](#) Bildquelle: [Intel Core i7 8200M Q1NG ES Processor Mobile CPU](#) , by Emilian Robert Vicol, [Creative Commons License](#)]

Thorsten Thormählen 55 / 58

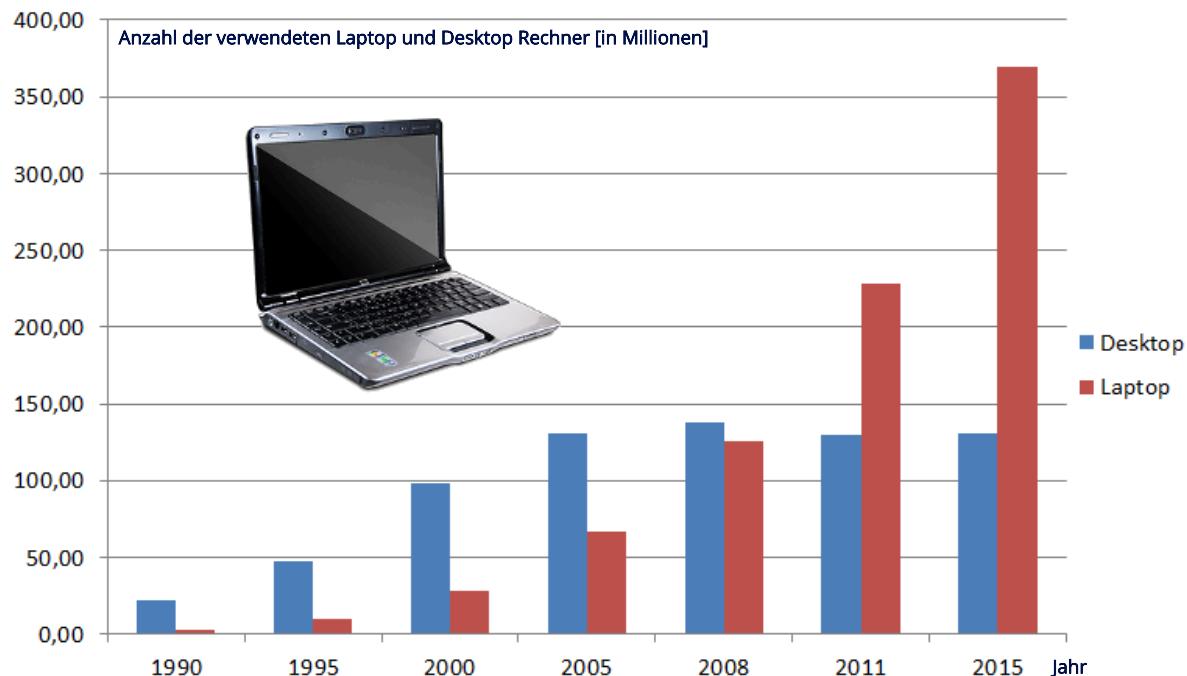
Rechenleistung von CPUs und Grafikkarten (GPUs)



[Quelle: Basiert auf CUDA C Programming Guide Version 6.5]

Thorsten Thormählen 56 / 58

Der Trend geht zum tragbaren Computer



[Quelle: Worldwide PC market, Computer Industry Almanac Inc., Bildquelle: Laptop, by Aaron Patterson, Creative Commons License]

Thorsten Thormählen 57 / 58

Gibt es Fragen?



Anregungen oder Verbesserungsvorschläge können auch gerne per E-mail an mich gesendet werden: [Kontakt](#)

[Weitere Vorlesungsfolien](#)

[Folien auf Englisch \(Slides in English\)](#)

[\[Impressum\]](#) , [\[Datenschutz\]](#) , []

Thorsten Thormählen 58 / 58

