

Mikroprozessortechnik

Prof. Dr. Michael Lipp

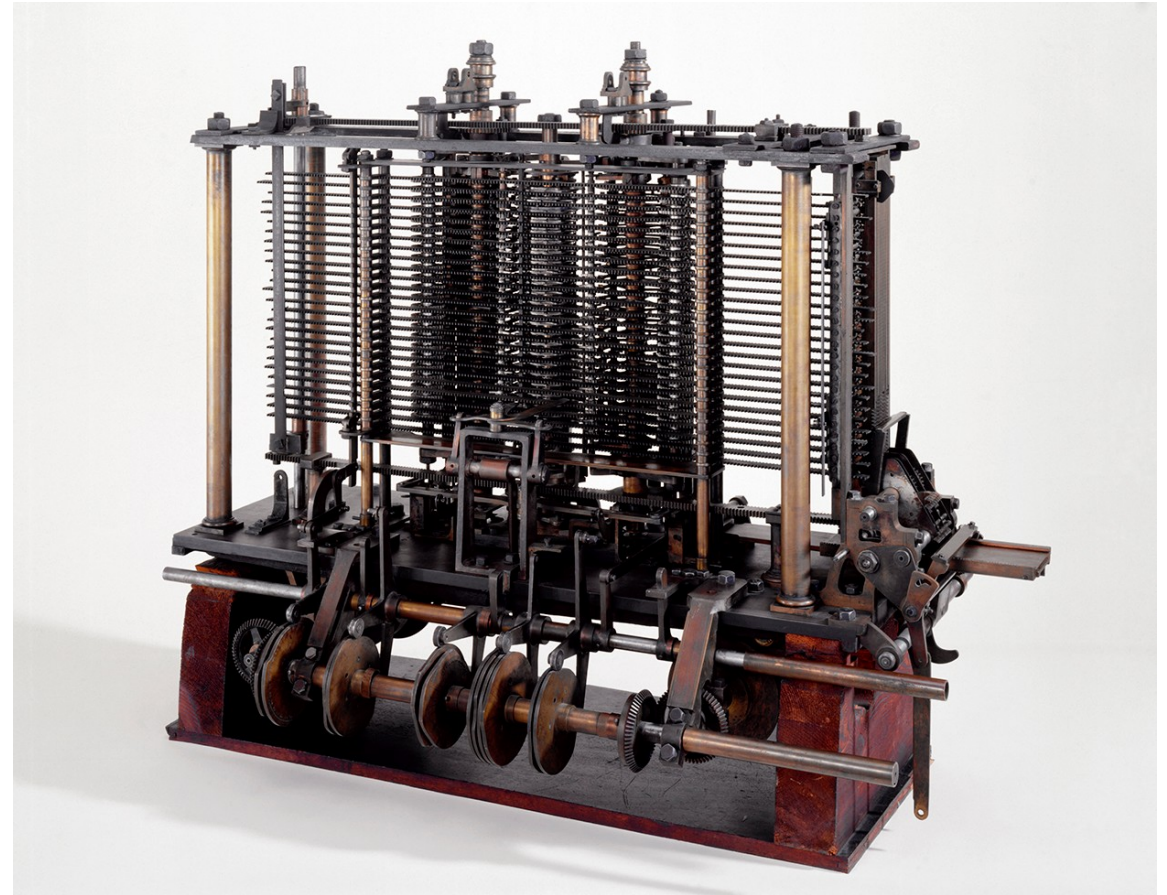
Mikroprozessoren

Mikroprozessoren

- **Modul Mikroprozessoren bzw. Mikroprozessortechnik**
 - Bislang behandelt: Mikrocontroller
 - Thema verfehlt?
 - ... eigentlich nicht

Mikroprozessoren

- **Faszinierendes Ziel:
Flexibel programmierbare
(Rechen-)Maschinen**
 - Entwürfe immer angelehnt an die verfügbare Technik
 - 1822: Charles Babbage „Analytical Engine“
 - Nie realisiert, Mechanik war nicht ausreichend fortgeschritten



Von Science Museum London / Science and Society Picture Library - Babbage's Analytical Engine, 1834-1871.
Uploaded by Mrjohncummings, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28024313>

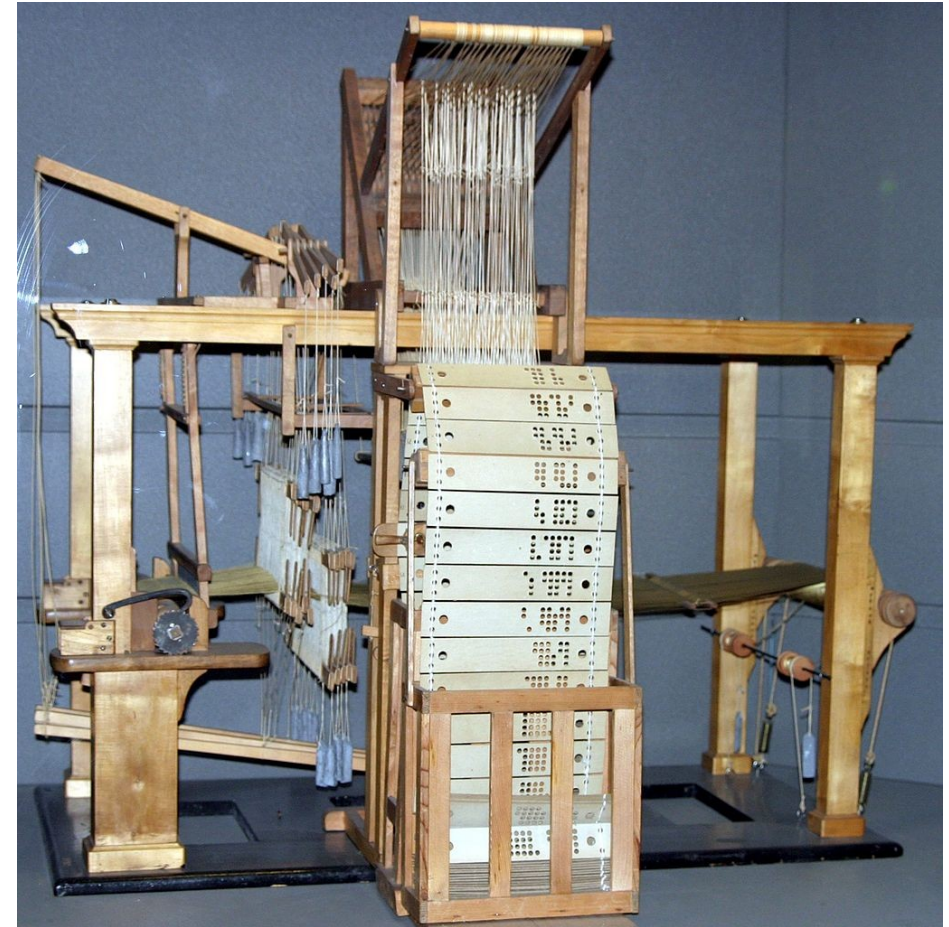
Mikroprozessoren

- **Obwohl nie realisiert, wurde für die Analytical Engine ein Programm geschrieben**
 - Ada Lovelace (1815 – 1852)
 - 1842 Translation of Luigi Menebrea's algorithm of Bernoulli numbers on Charles Babbages "Analytical Engine"
 - Das erste jemals geschriebene Computer-Programm



Mikroprozessoren

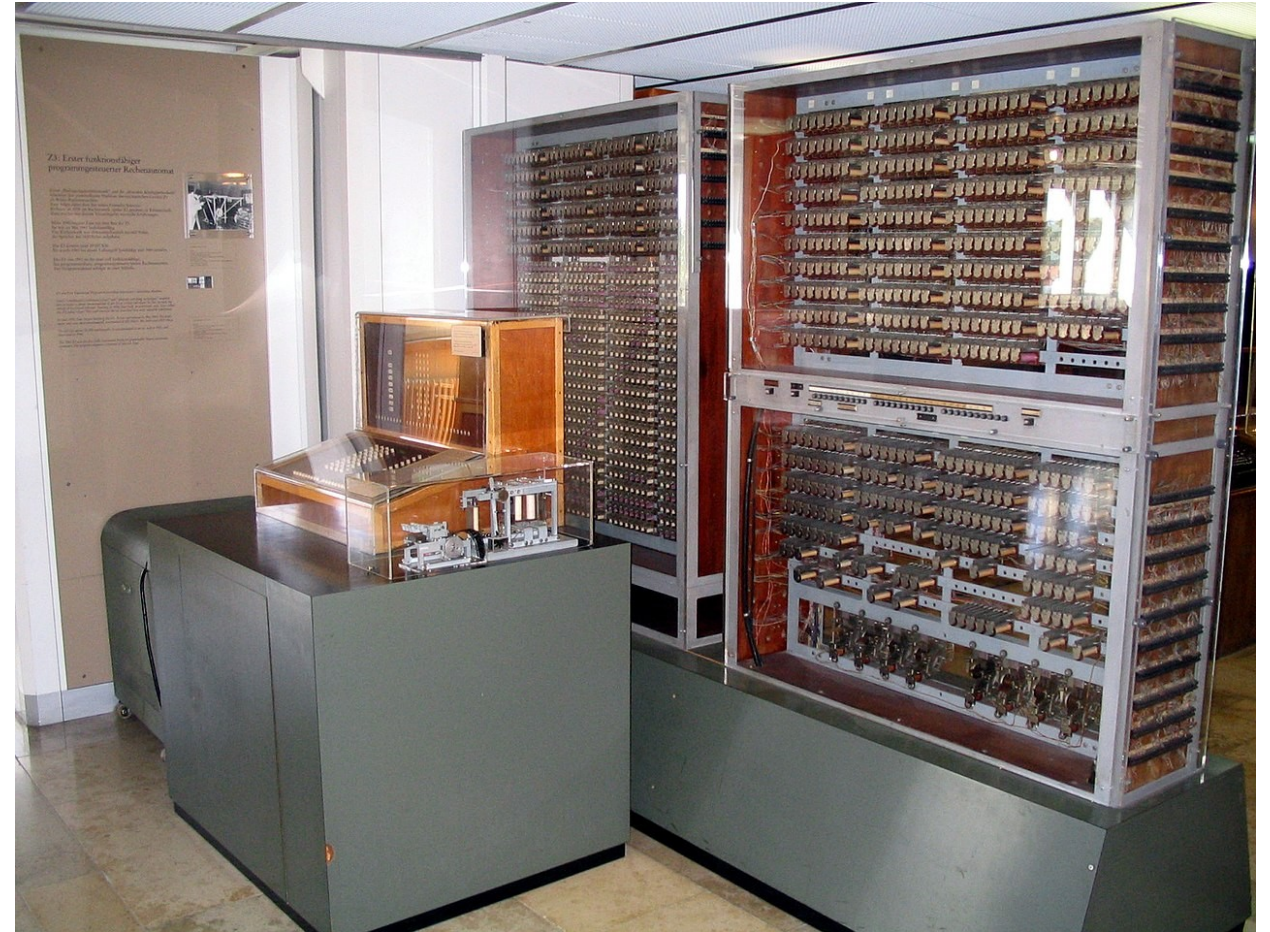
- **Inspiriert war der Analytical Engine von mit Lochkarten steuerbaren Webstühlen**
 - Jaquardwebstuhl von Joseph-Marie Jacquard (1752 – 1834)



Von Rama - Eigenes Werk, CC BY-SA 2.0 fr,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=957310>

Mikroprozessoren

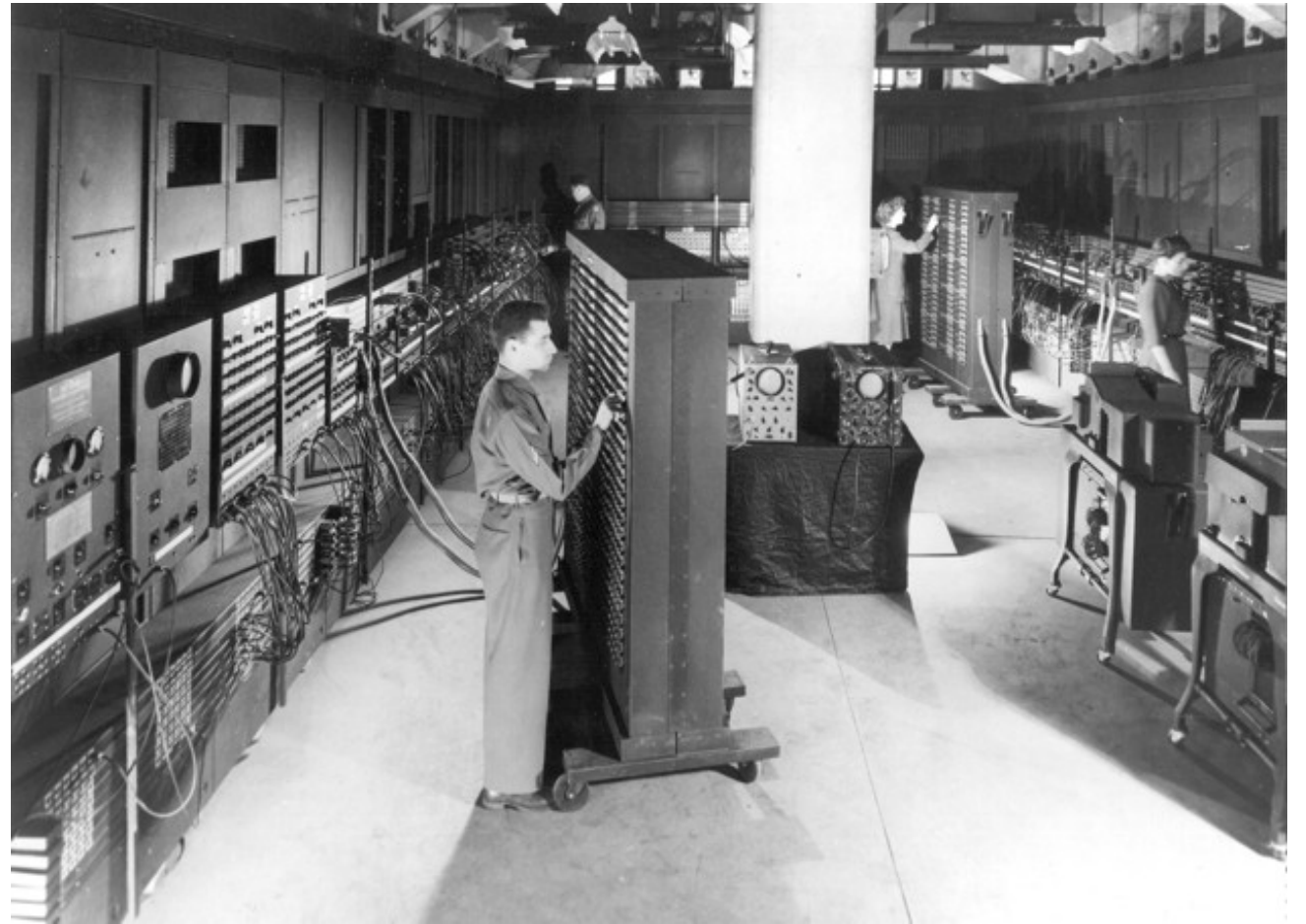
- Erste „nutzbare“ programmierbare Rechenmaschinen mit Einführung der Relais-Technik
 - Z3 (Konrad Zuse, fertiggestellt 1941)



By Venusianer, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3632073>

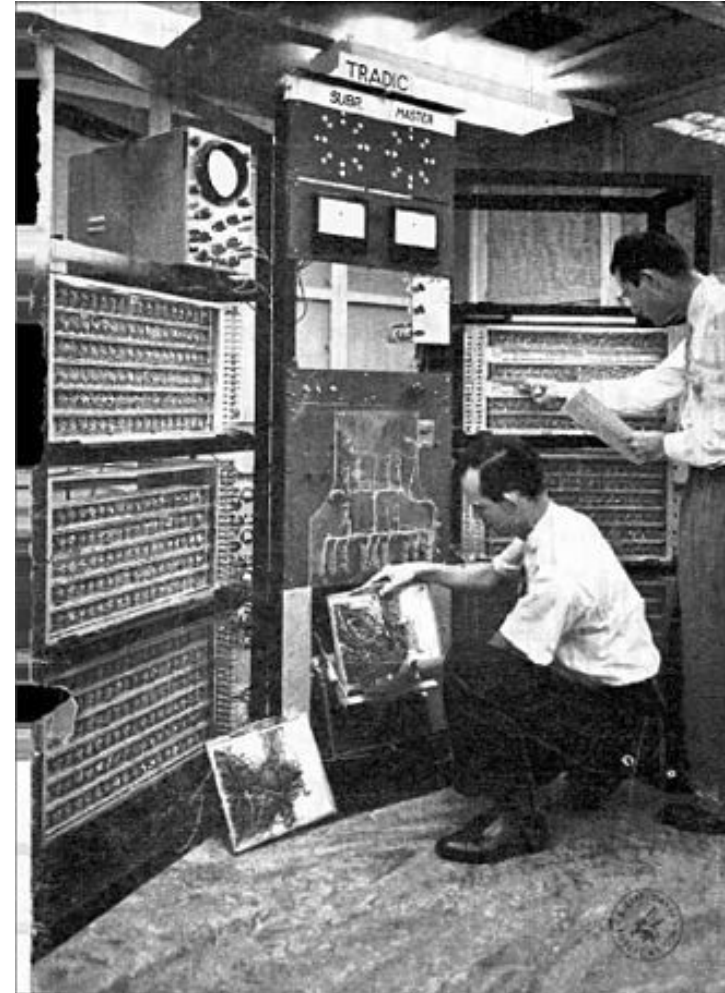
Mikroprozessoren

- **Elektronenröhren sind schneller**
 - ENIAC (ca. 1945)
 - 17.468 Elektronenröhren



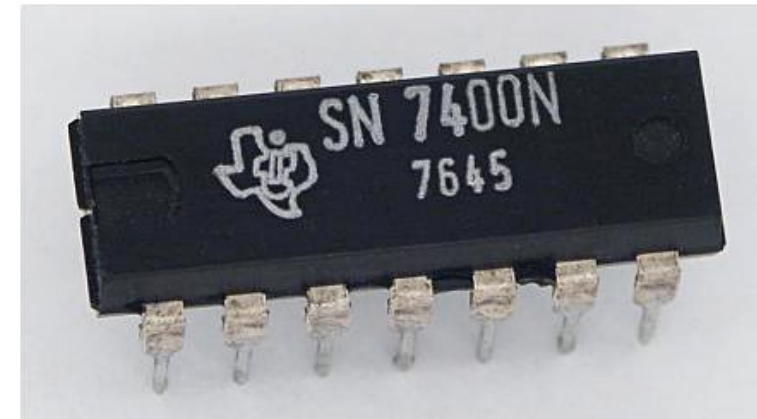
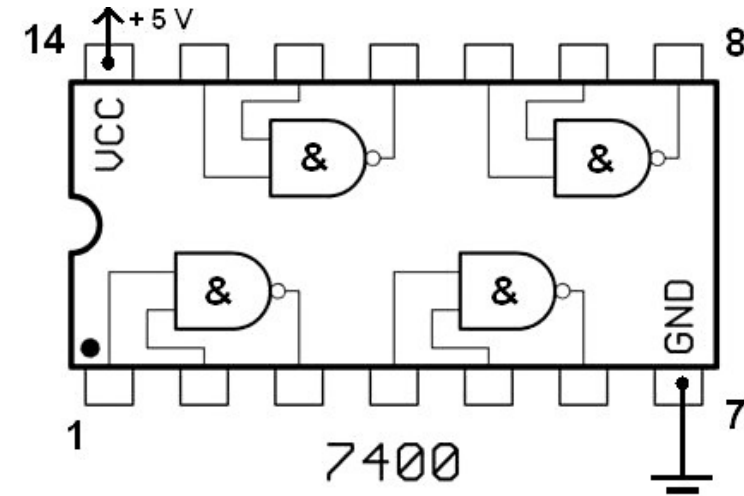
Mikroprozessoren

- **Transistor-Computer**
 - Ab 1953
 - Kleiner
 - Geringerer Energiebedarf
 - Z.B. TRADIC (1954)



Mikroprozessoren

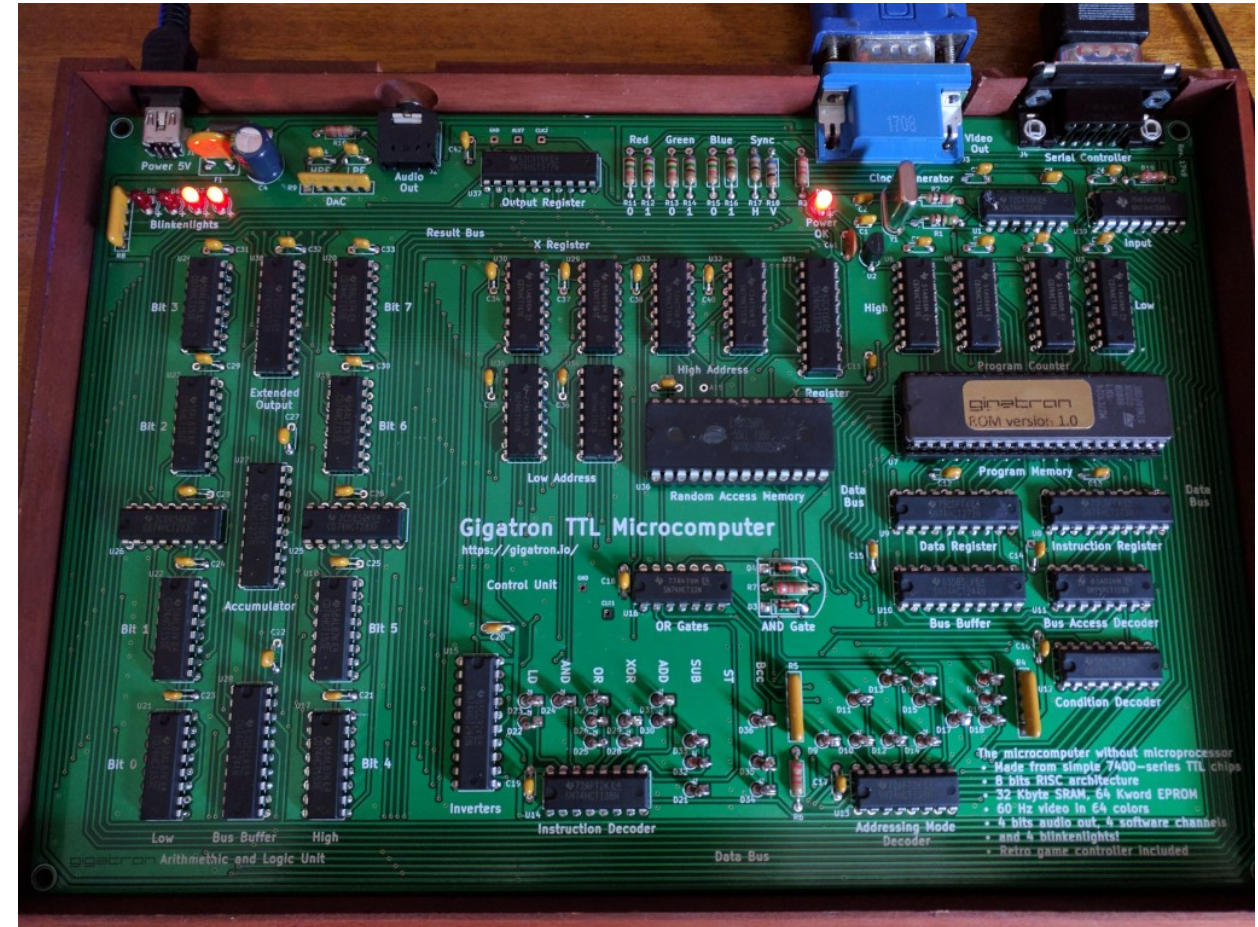
- **Nächster Technologischer Schritt**
 - Logikgatter-basierte Schaltungen
 - 1962 „TTL“



Quelle: Wikipedia

Mikroprozessoren

- **Praktische Nutzung von ICs in „Mini-Computern“ (ab ca. 1970, z. B. PDP-11)**
- **Grundsätzlich können Mikrocomputer allein auf Basis der TTL-Technik gebaut werden**
 - Beispiel „Spaß-Projekt“
Gigatron TTL

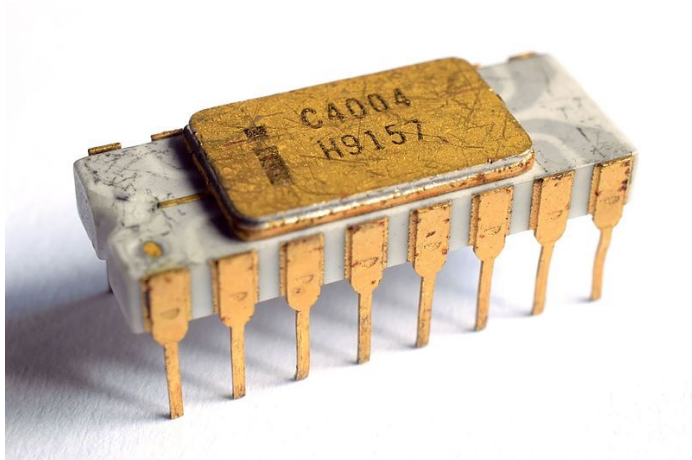


Quelle: <https://projects.drogon.net/gigatron/>

Mikroprozessoren

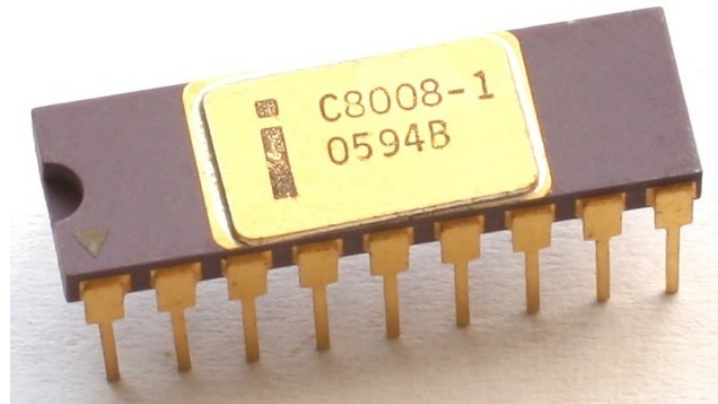
- Mit höherer Integration komplette Prozessoren (CPUs) auf einem Chip integriert

1971: Intel 4004
2250 Transistoren



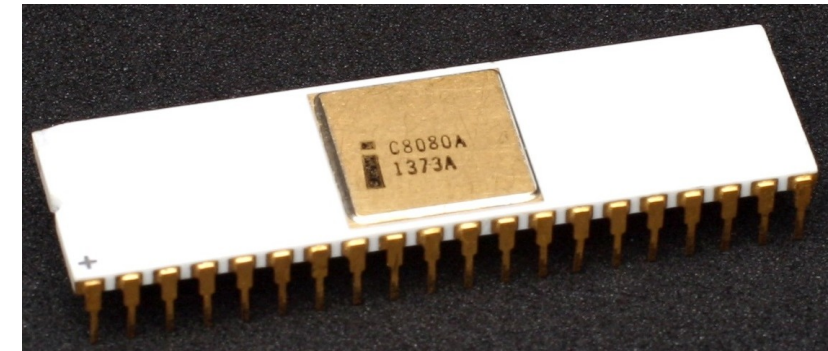
By Thomas Nguyen, CC BY-SA 4.0,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_C4004.jpg

1972: Intel 8008
3500 Transistoren



By Konstantin Lanzet - CPU Collection Konstantin LanzetCamera:
Canon EOS 400D, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5694177>

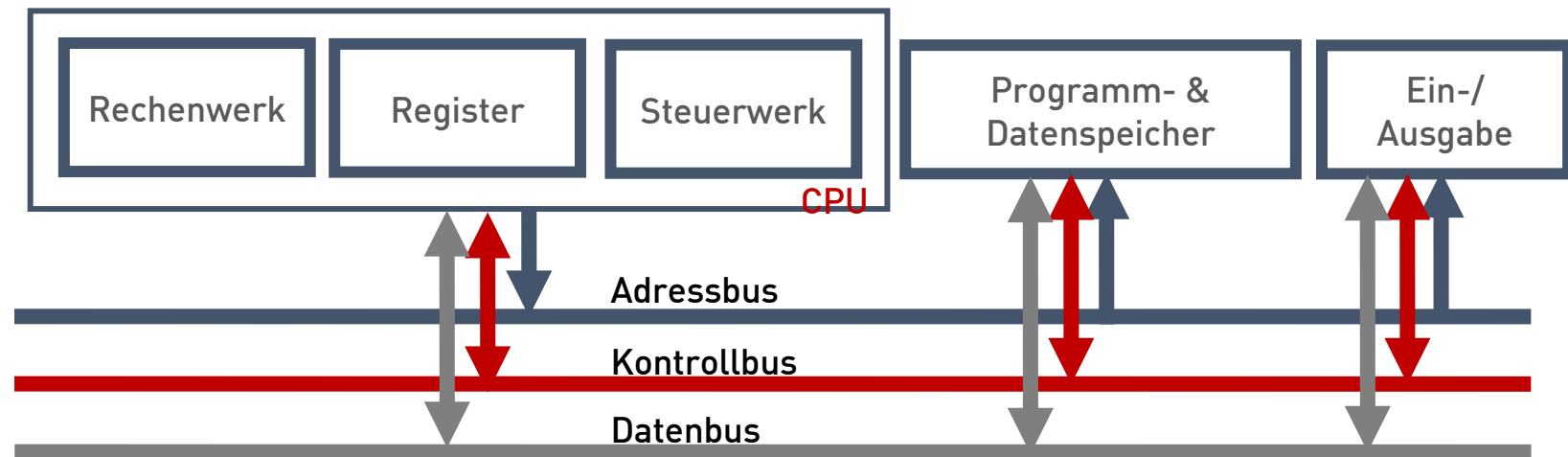
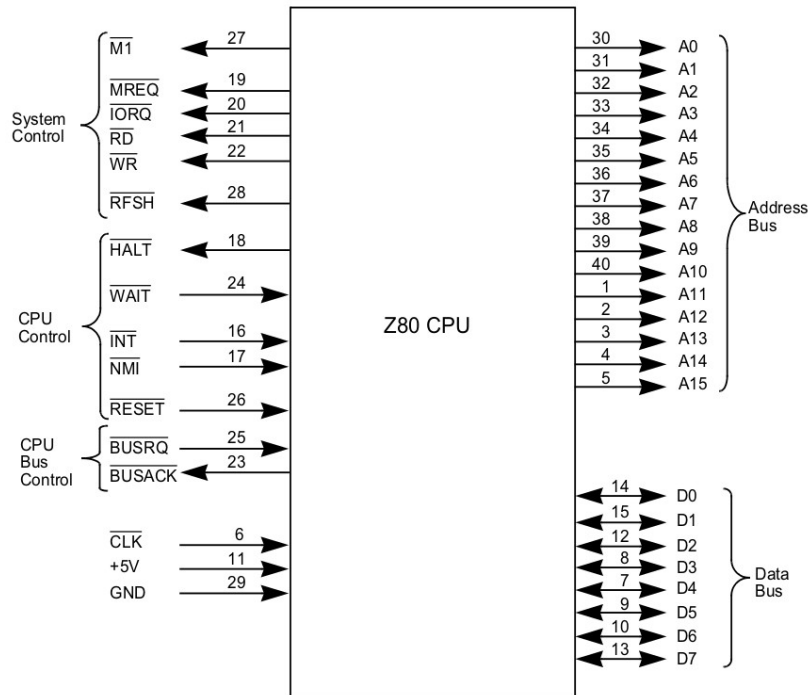
1974: Intel 8080
6000 Transistoren



Konstantin Lanzet - CPU collection Camera:
Canon EOS 400D, CC-BY-SA 3.0, https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_8080#/media/File:KL_Intel_i8080_Black_Background.jpg

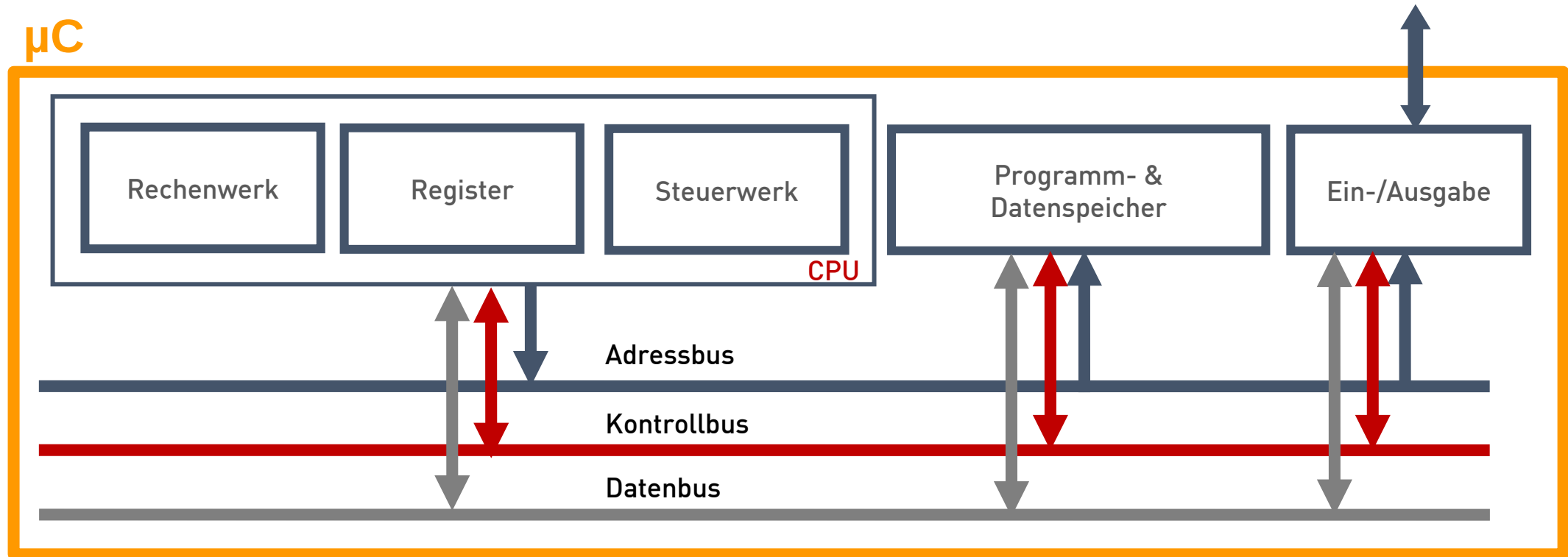
Mikroprozessoren

- Speicher etc. von zusätzlichen Chips bereitgestellt, über einen Bus mit dem μ P (CPU) verbunden



Mikroprozessoren

- Mit fortschreitender Integration auch Speicher und Ein-/Ausgabekomponenten mit auf dem Chip integriert

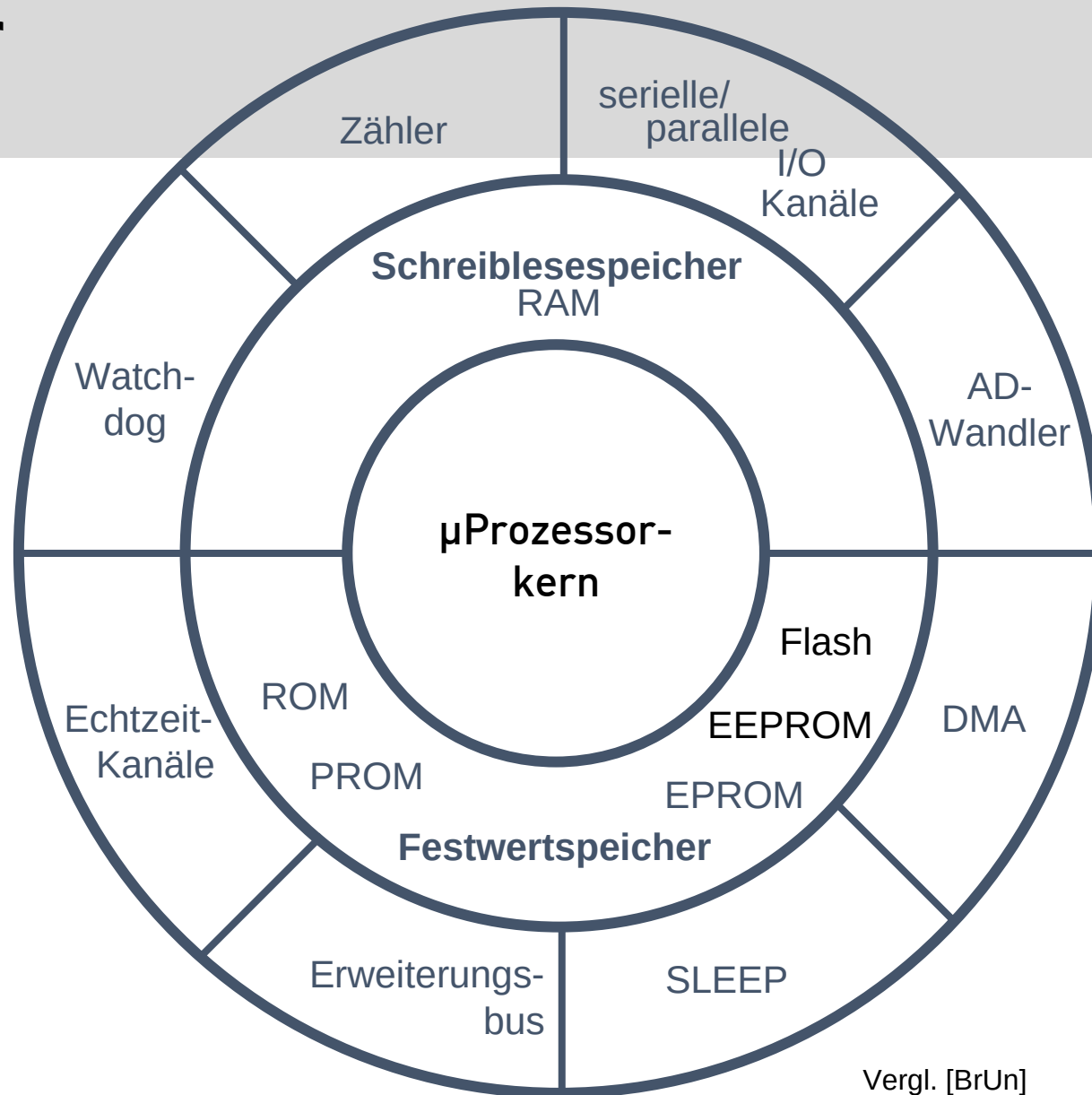


Mikrocontroller

Mikrocontroller

- **Schalenmodell**

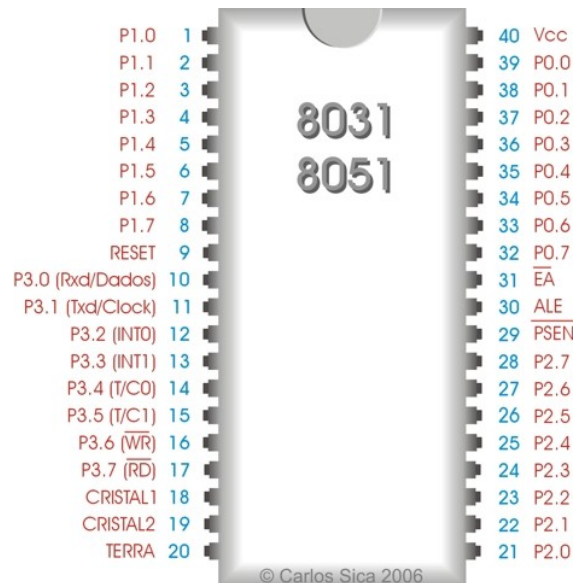
- μ C beinhalten immer auch einen μ P



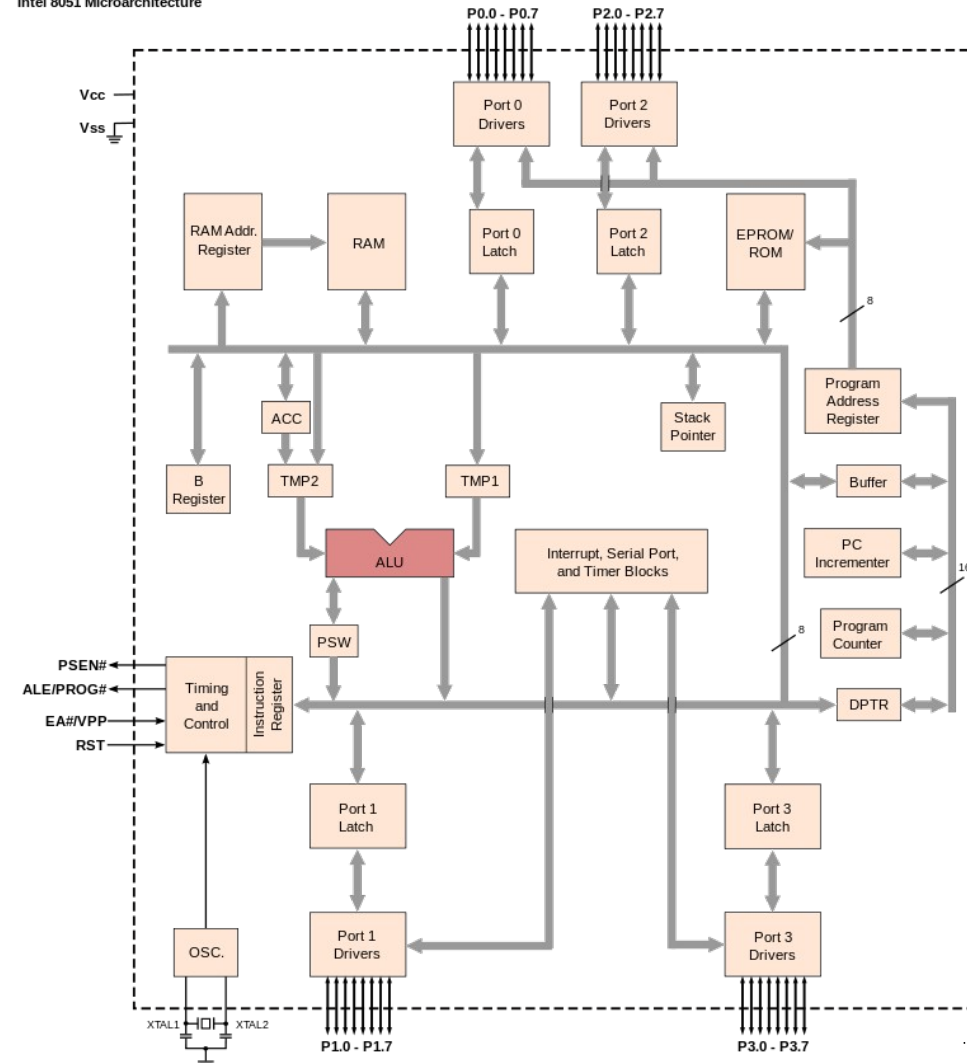
Vergl. [BrUn]

Mikrocontroller

- Erster μC (1974): TMS 1000
- Vielleicht bekanntester früher μC (1980): 8051
 - Noch heute als „Soft-Core“ auf FPGAs verwendet



Intel 8051 Microarchitecture



Mikrocontroller

- **Bekannte neuere Familie (ab 1997): AVR**

Ausschnitt aus der AVR Familie

Atmel

Type	Flash	SRAM	IO	Timer 8/16	UART	I ² C	AD	Price (€)
ATTINY11	1 KiB		6	1/-	-	-	-	0.31
ATTINY13	1 KiB	64 B	6	1/-	-	-	4*10	0.66
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	1	1	-	1.06
ATMEGA4820	4 KiB	512 B	23	2/1	2	1	6*10	1.26
ATMEGA8515	8 KiB	512 B	35	1/1	1	-	-	2.04
ATMEGA8535	8 KiB	512 B	32	2/1	1	1	-	2.67
ATMEGA169	16 KiB	1024 B	54	2/1	1	1	8*10	4.03
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	5.60
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	7.91

← Einzelstückpreis
Distributor
Farnell (nicht
mehr aktuell!)

Verfügbarkeit
von Speicher
korreliert stark
mit dem Preis

- Ressourcen sind limitiert!

FLASH Speicher für konstante Daten und Programmcode → knapp

SRAM Speicher für Laufzeitvariablen → knapp

Sorgfältiger Umgang! Wenige ‚unbedacht‘ eingesetzte Bytes → höhere Stückzahlkosten!

Mikrocontroller

- **Aktuell populär: ARM Prozessoren**

- ARM = Advanced Risc Machine
- Von ARM Limited entwickelte SoC-Architektur
- Keine eigene Chip-Produktion
- Lizenznehmer kaufen...
 - Entwicklerlizenz (ermöglicht Weiterentwicklung) oder
 - Funktionsblöcke (IP-Cores) um eigene SoCs zusammenzustellen
- Unterschiedliche Versionen (ARMv1 bis ARMv8)
 - Beispiel: Raspberry Pi 4: ARMv7

→ **Unzahl möglicher Ausprägungen**

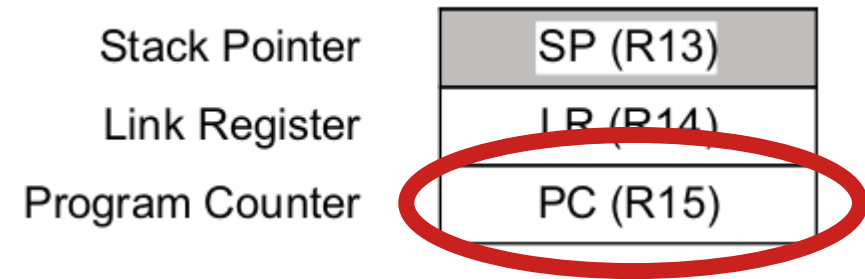
Mikrocontroller

- **„Unser“ Prozessor STM32F401RE**
 - Verwendet ARM Cortex-M4 Core (ARMv7)
 - FPU (single precision)
 - DSP instructions
 - MPU (Memory Protection Unit)
 - ST-Konfiguration
 - 512 Kbytes Flash, 96 Kbytes SRAM
 - 2 APB Busse, 2 AHB Busse, 32-bit multi-AHB Bus-Matrix
 - 12-bit ADC
 - Low-Power RTC
 - ...

Advanced Feature Instruction Pipeline

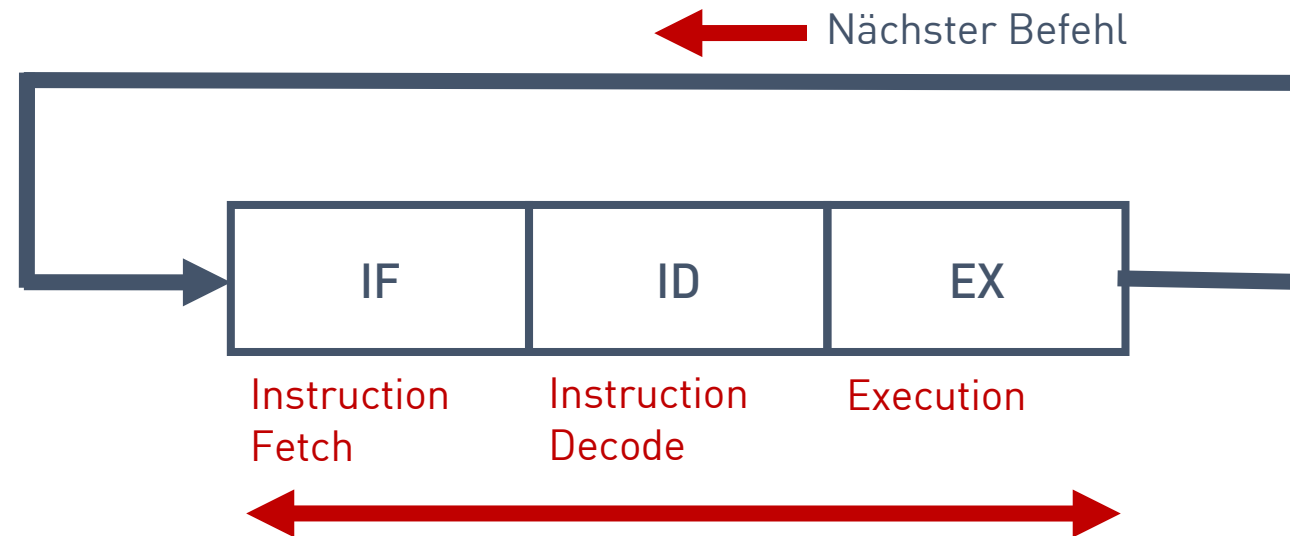
Wdh. Program Counter

- **32-Bit Register**
- **Zeigt auf den nächsten auszuführenden Befehl**
- **Wird nach jedem Befehl erhöht**
 - Außer bei Sprungbefehlen und Unterprogrammaufrufen



Instruction Pipeline

- **Prinzip Befehlszyklus**

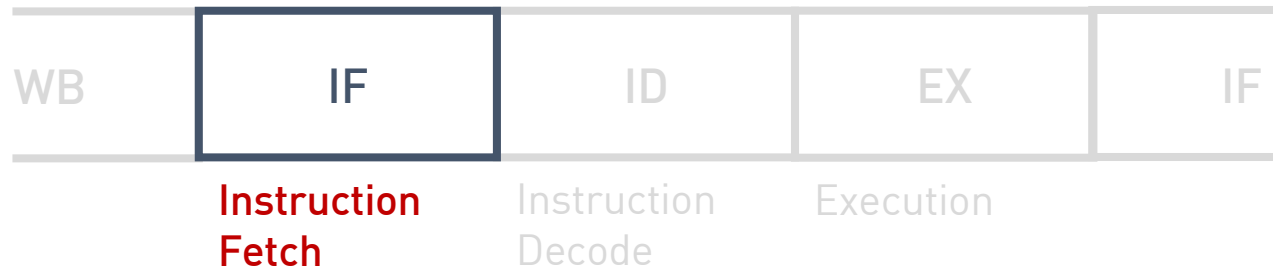


Die Ausführung eines Befehls ist in drei Teilschritte unterteilt

Instruction Pipeline

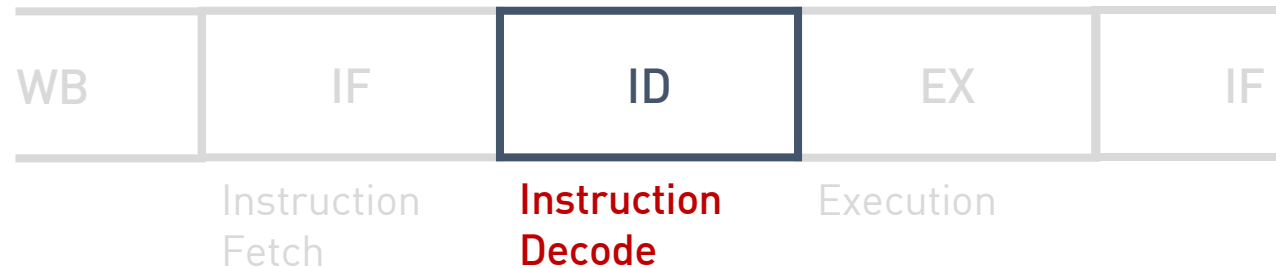
- **Instruction Fetch**

- Durch den Befehlszähler adressierten Befehl aus dem Programmspeicher laden
- Befehlszähler inkrementieren



Instruction Pipeline

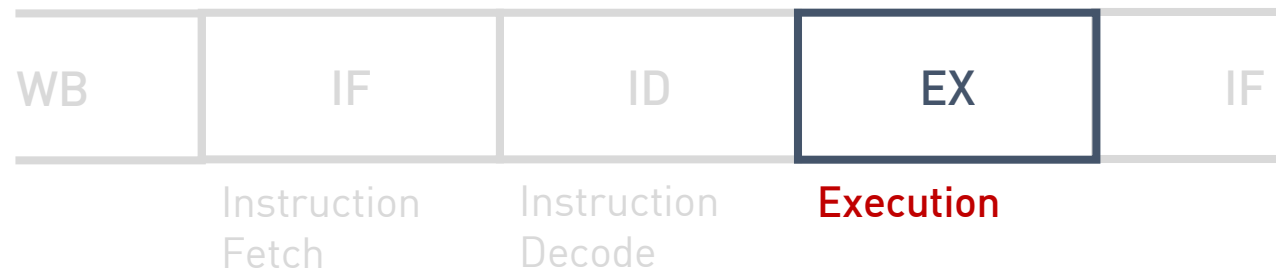
- **Instruction Decode**
 - Befehl dekodieren
 - Registeroperanden bereitstellen



Instruction Pipeline

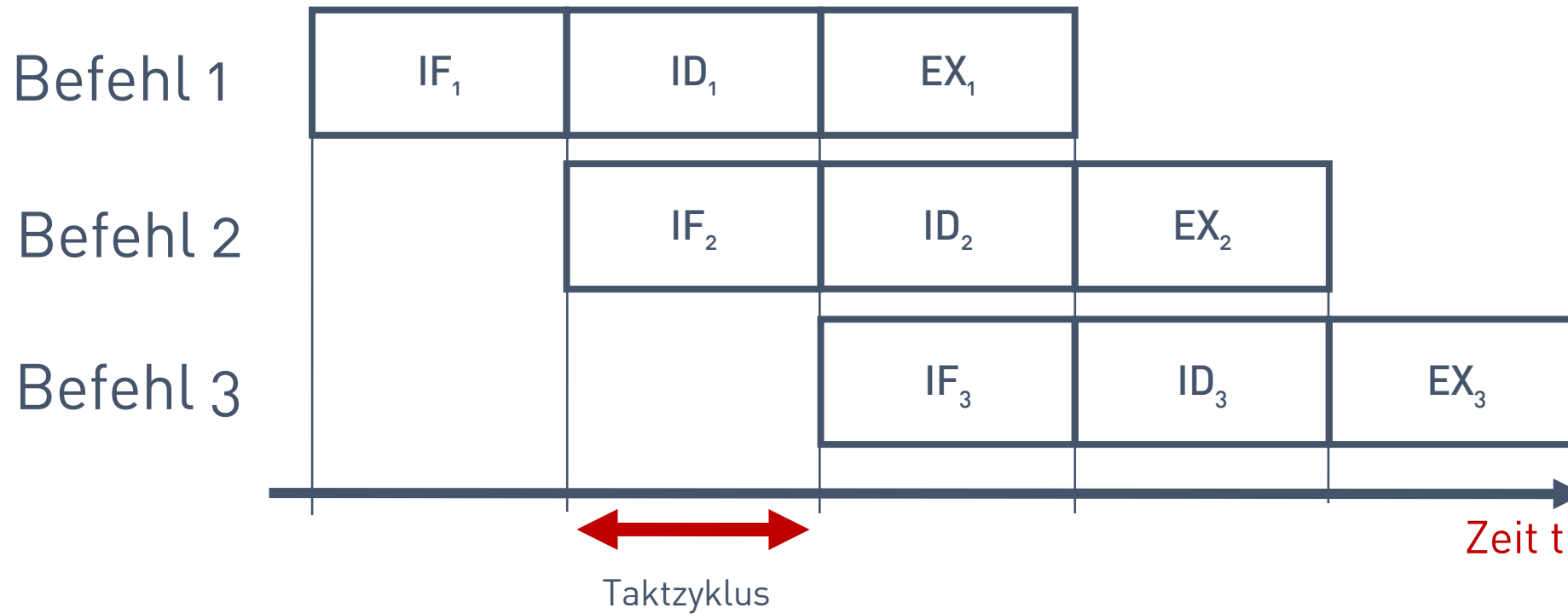
- **Execution**

- ALU-Operation ausführen
- Bei Load/Store Operationen – effektive Adresse berechnen



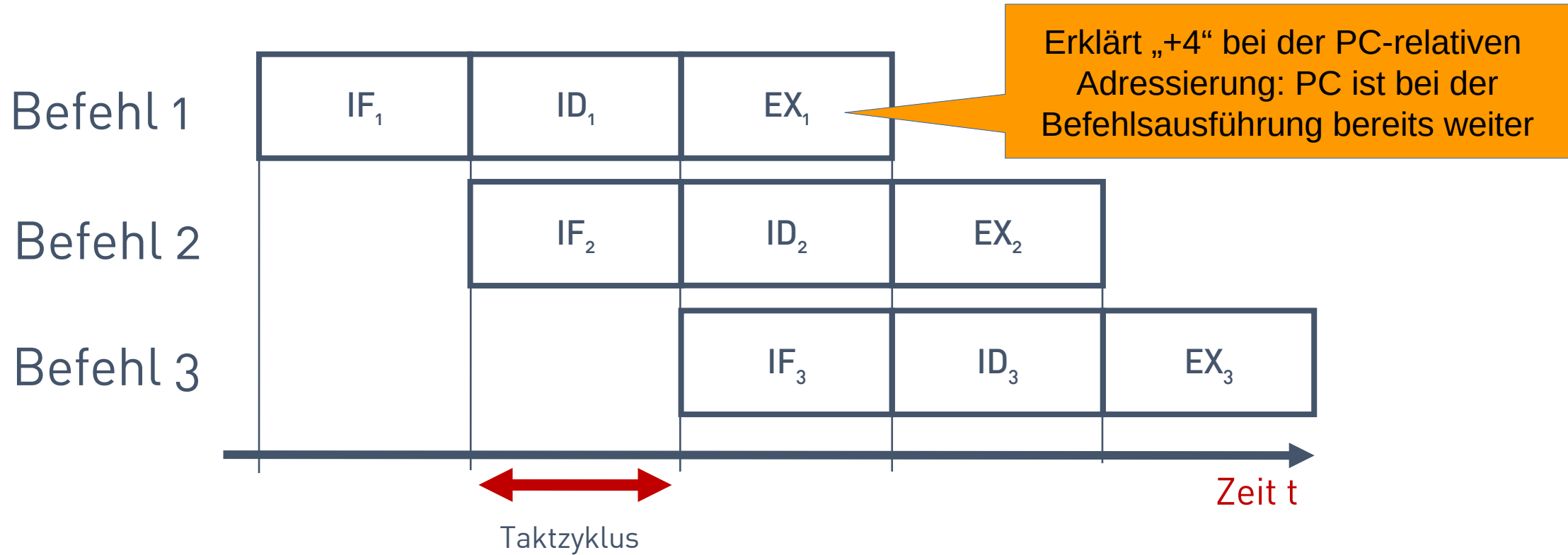
Instruction Pipeline

- **Pipelining – Parallelisierung der Befehlsverarbeitung**



Instruction Pipeline

- **Pipelining – Parallelisierung der Befehlsverarbeitung**



Instruction Pipeline

- **(Ausgeführte) Sprungbefehle leeren die Pipeline**
 - Wird der Sprung durchgeführt, war das vorausschauende Holen der nächsten Befehle umsonst
 - Vorteil der Bedingung im Befehls-Code (ARM Befehlssatz) bzw. des IT-Blocks (Thumb2 Befehlssatz): Pipeline läuft weiter