

Digitaltechnik & Rechnersysteme

Ausblick

Martin Kumm



WiSe 2022/2023

Was bisher geschah...

- MIPS Prozessor
 - MIPS Befehlssatzarchitektur und -codierung:

R	opcode	rs	rt	rd	shamt	funct	
	31 26 25	21 20	16 15	11 10	6 5	0	
I	opcode	rs	rt	immediate			
	31 26 25	21 20	16 15				
J	opcode	address					
	31 26 25						

- ## • MIPS32 Befehlssatz & Assembler

if Statement (Beispiele)

C/Java:

```
if(i == 5) {  
    //do something  
}  
else {  
    //do something else  
}
```

MIPS32 Assembler (\$1=i):

```
addi $2,$0,5          # $2 = 5  
beq $1,$2,do         # branch if $1==$2 (i==5)  
# do something else  
j end                 # skip do case  
do:  
# do something  
end:
```

if Statement (Beispiele)



C/Java:

```
if(i != 5) {  
    //do something  
}  
else {  
    //do something else  
}
```

MIPS32 Assembler (\$1=i):

```
addi $2,$0,5          # $2 = 5  
bne $1,$2,do         # branch if $1 != $2 (i != 5)  
# do something else  
j end                 # skip do case  
do:  
# do something  
end:
```

if Statement (Beispiele)

C/Java:

```
if(i > 5) {  
    //do something  
}  
else {  
    //do something else  
}
```

MIPS32 Assembler (\$1=i):

```
addi $2,$0,5          # $2 = 5  
slt $3,$2,$1          # set $3 when $2<$1 (5 < i)  
beq $3,$0,else        # skip if part when test false  
# do something  
j end                  # skip else part  
else:  
# do something else  
end:
```

for-Schleife



C/Java:

```
for(i=0; i != 10; i++)
{
    //loop body
}
```

MIPS32 Assembler (\$1=i):

```
addi $1,$0,0      #$1=i=0
addi $2,$0,10     #$2=10 (loop limit)

loop:
#loop body
addi $1,$1,1      #i++
bne $1,$2,loop    #if i!=10 branch to loop
```

Wohin geht die Reise?



Wie werden Computer in 50 Jahren aussehen?
(Wenn Sie in Rente gehen (?))

- »Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen« (Urheber unklar)
- »Der beste Weg, die Zukunft vorauszusagen, ist, sie selbst zu gestalten.« (Abraham Lincoln)

Wohin geht die Reise?

Vor über 60 Jahren, sahen Computer noch so aus:



Z23 Computer von 1959 (Quelle: [Z23 Beschreibung](#))

Er verwendete 2700 Transistoren und 7700 Dioden, lief mit 150 kHz (das sind 0,00015 GHz!) verbrauchte 4 kW und wog 1 t.

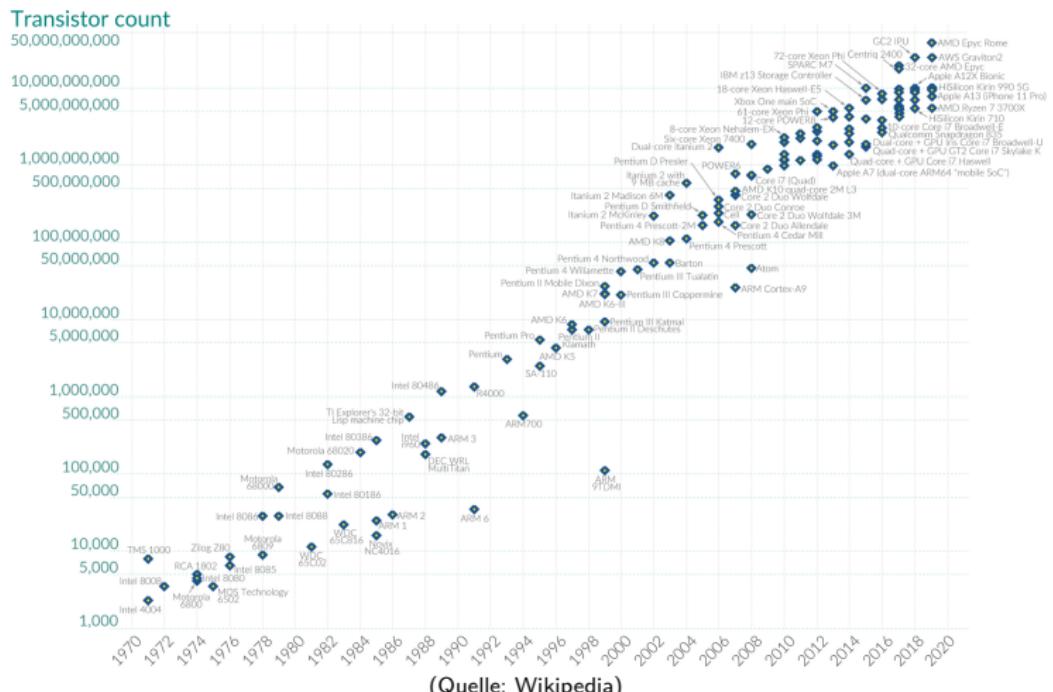
Kosten: 180.000 DM, heute: \approx 430.460€, ca. 41€ pro Halbleiter

Funktionsfähiges Modell im Zuse-Museum: zuse-museum-huenfeld.de



Mooresches Gesetz

Mooresches Gesetz (*moore's law*): Die Komplexität integrierter Schaltkreise verdoppelt sich alle 18 Monate



Viele Transistoren!



AMD Ryzen 9 3900X mit 273 mm^2 ,
9,89 Milliarden Transistoren

36,2 Millionen Transistoren pro mm^2

Preis: 439,- Euro (19.11.2020),
also $0,0000000443 \text{ €/T} \hat{=} 4\mu\text{€/Transistor}$

Reis: 500 g, ~23 520 Körner (\rightarrow Zählwaage)

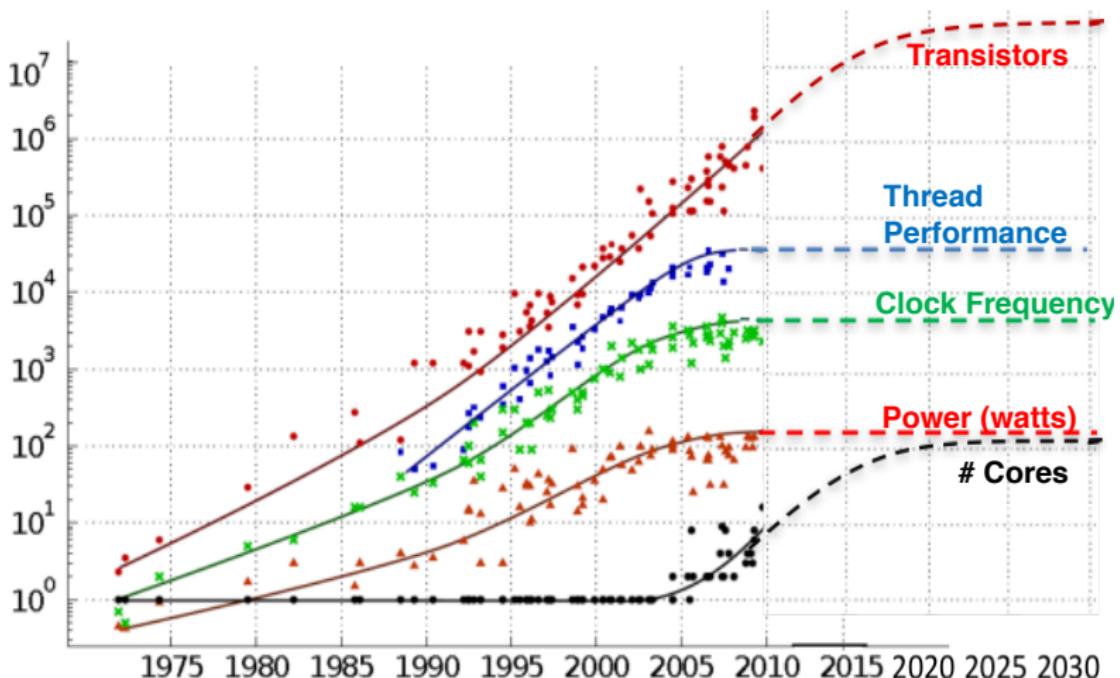
Preis: 1,49 Euro (19.11.2020),
also $0,00006335 \text{ €/Korn} \hat{=} 6,3\text{m€}$

Man benötigt also 420 493 Packungen für 9,89
Milliarden Körner!

Für ein Korn Reis bekommt man 1420
Transistoren!



Skalierung der Chip-Technologie



The End of the Free Lunch



Quelle: Hennessy/Patterson, A New Golden Age for Computer Architecture, Communications of the ACM, 2019

Mooresches Gesetz

Das Mooresche Gesetz war die letzten 50 Jahre eine selbsterfüllende Prophezeiung

Chip-Hersteller haben es sich zum Ziel gemacht das Mooresche Gesetz einzuhalten

In dieser Zeit hat sich die Transistorgröße von 50000 nm auf 5 nm reduziert, der Durchmesser eines Silizium-Atoms beträgt 0.17 nm

Das Mooresche Gesetz hat daher eine natürliche Grenze und wird von vielen totgesagt

Die Power-Wall



Die Verkleinerung der Technologie erlaubt mehr Transistoren pro Fläche, mehr Geschwindigkeit und geringere Schaltspannung.

Durch die Erhöhung der Transistoren bei gleichzeitiger Reduktion der Spannung blieb die Leistungsdichte konstant.

Dieser Effekt wurde durch Dennard analysiert und nach ihm als *Dennard scaling* benannt.

Seit ca. 2006 gilt dieses „Gesetz“ nicht mehr, da in kleineren Technologien höhere Leckströme entstehen.

Seit dem stagnieren CPU-Taktfrequenzen, maßgeblich ist nun die *Thermal Design Power*

Dies wird oft als Power-Wall bezeichnet, da diese „Wand“ (momentan) nicht übersprungen werden kann.

Alternative Rechenkonzepte



Das Stagnieren der Taktfrequenz erfordert neue Konzepte um die Steigerung der Rechenkapazität aufrecht zu erhalten

Der momentane Trend: Mehr Rechenkerne (Aktuell (2022): 128 Kerne pro Chip, z.B. AMD EPYC 7004)

Dark Silicon: Viele spezialisierte effiziente Recheneinheiten die nur in bestimmten Anwendungen benötigt werden. Ansonsten sind sie abgeschaltet (*dark*)

Generalisierte Grafikprozessoren: *General Purpose Computation on Graphics Processing Unit (GPGPU)*

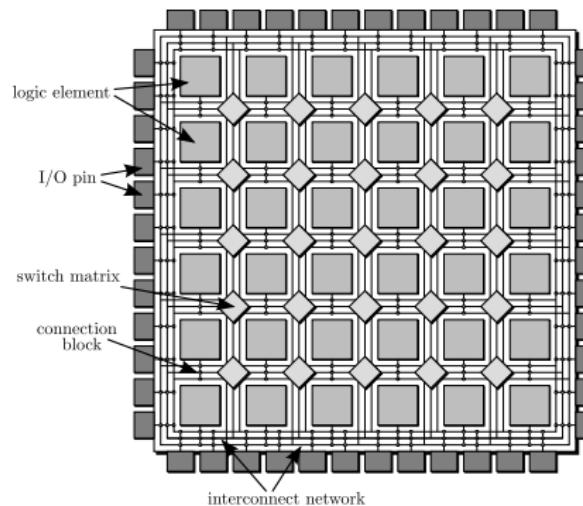
Single instruction, multiple data (SIMD): Viele Berechnungen erfolgen parallel auf Arrays/Matrizen von Daten

Rekonfigurierbares Rechnen

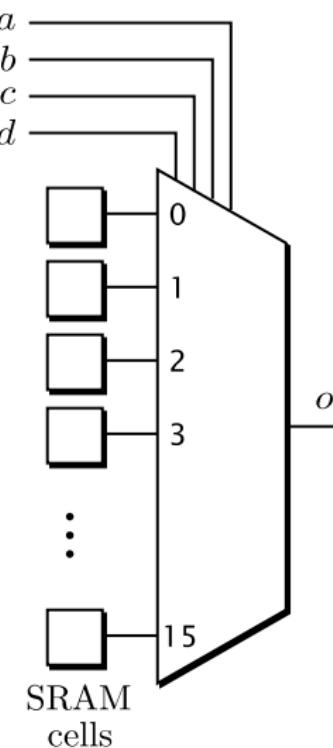


Rekonfigurierbares Rechnen (*reconfigurable computing*): Die Hardwarestruktur wird selbst programmierbar gemacht.

Konfiguration der Rechenarchitektur zur Laufzeit möglich durch *Field Programmable Gate Arrays (FPGAs)*



Rekonfigurierbares Rechnen

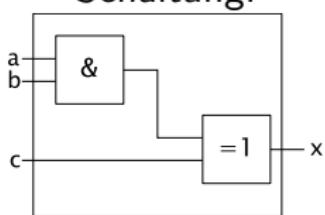


- Ein Logikelement (*logic element*) kann beliebige Boolesche-Wahrheitstabellen realisieren
- Realisierung durch MUX und SRAM-Zellen
- SRAM-Zellen programmierbar
- Durch programmierbares Routing-Netzwerk, sehr komplexe Schaltungen realisierbar (z.B. Multi-CPU Systeme)

Entwurf mit VHDL



Schaltung:



```
entity beispiel is
  port(
    a: in  std_logic;
    b: in  std_logic;
    c: in  std_logic;
    x: out std_logic
  );
end entity;

architecture verhalten of beispiel is
begin
  process(a,b,c)
  begin
    x <= (a and b) xor c;
  end process;
end architecture;
```

⇒ WP-Veranstaltung »Entwurf digitaler Systeme mit VHDL«

Quantencomputer



Alternative Quantencomputer?

Quantencomputer basieren auf den Gesetzen der Quantenmechanik

Die kleinste Informationseinheit bildet ein Quantenbit (Qubit)

Mehrere Qubits bilden ein Quantenregister und sind miteinander *verschränkt* (quantenphysikalisches Phänomen)

Der Zustand eines Quantenregisters mit n Qubits repräsentiert die Überlagerung aller möglichen 2^n Zustände (im Gegensatz zu einem bei gewöhnlichen Registern)

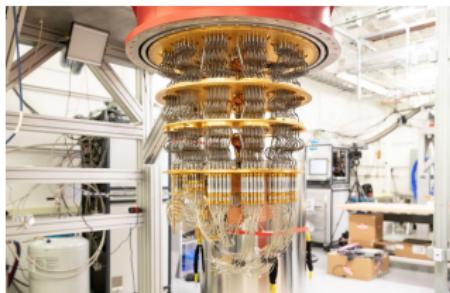
Dies verspricht mehr Information pro Qubit und somit eine potenziell größere Rechenleistung

Quantencomputer



Quantenüberlegenheit (engl. *Quantum Supremacy*) erstmals 2019 von Google gezeigt

Hierbei wurde von (sehr spezielles) Problem in 200 Sekunden gelöst für das ein Supercomputer 10.000 Jahre benötigen würde



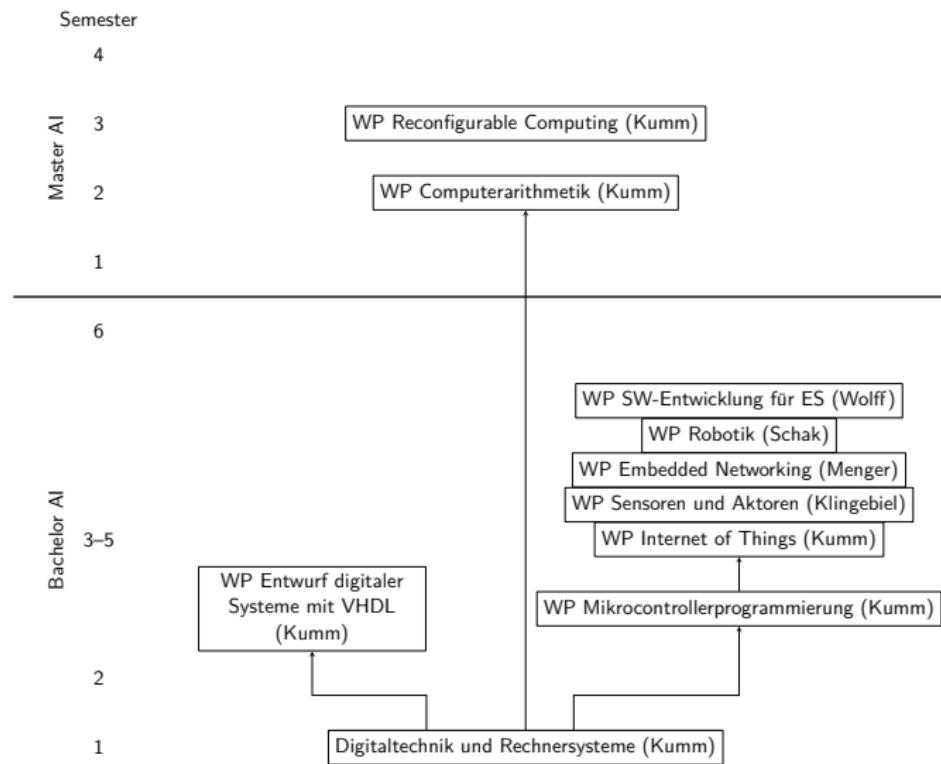
Googles Quantencomputer
»Sycamore« (53-Qubit)



IBMs Quantencomputer
»Q« (53-Qubit)

Bilder erinnern an Zuses Z23 von vor 60 Jahren...

AI Schwerpunkt Embedded Systems



The End



Machen Sie es gut!

