

## Aufgabe 1: CPU MIPS Ausführungszeit

Der RP2040 Chip auf dem Raspberry PI Pico Board enthält einen ARM Cortex M0+ Prozessor. Nehmen Sie nun an, dass der Prozessor den MIPS Befehlssatz ausführen kann - eine fiktionale Annahme, denn in der Realität unterstützt der Prozessor den ARM Befehlssatz. Die Funktion „memcpy“ kopiert „num“ Elemente aus einem Array „src“ in ein Array „dest“. In Listing 1 ist der Code in Rust und in Listing 2 ist der Code in C angegeben. Listing 3 zeigt den MIPS Assemblercode ohne die Checks im Rustcode in den Zeilen 2 und 3. Die Argumente der memcpy Funktion werden in den Prozessorregistern gemäß Tabelle 1 übergeben.

```

1 pub fn memcpy(num: usize, src: &[i32], dest: &mut [i32]) {
2     if num >= src.len() { return };
3     if num >= dest.len() { return };
4     for i in 0..num {
5         dest[i] = src[i];
6     }
7 }

```

Listing 1: memcpy in Rust

```

void memcpy(unsigned int num, int src[], int dest[]) {
    int i = 0;
    while (i < num) {
        dest[i] = src[i];
        i = i + 1;
    }
}

```

Listing 2: memcpy in C

Tabelle 1: Registerinhalte beim Funktionsaufruf von memcpy

Register	Parameter
\$4	num
\$5	Zeiger auf das erste Element des Arrays src
\$6	Zeiger auf das erste Element des Arrays dest

```

memcpy(unsigned int, int*, int*):
    beq    $4,$0,$L9
    sll    $4,$4,2
    addu   $4,$5,$4
$L3:
    lw     $2,0($5)
    sw     $2,0($6)
    addiu  $5,$5,4
    addiu  $6,$6,4
    bne    $5,$4,$L3
    nop
$L9:
    jr     $31
    nop

```

Listing 3: memcpy in MIPS Assembler

Schätzen Sie die Ausführungszeit für einen Aufruf von „memcpy“ mit den folgenden Parametern memcpy(1000, 0x20010000, 0x20020000) ab. Geben sie in ihrer Antwort ausführlich ihre Annahmen an.

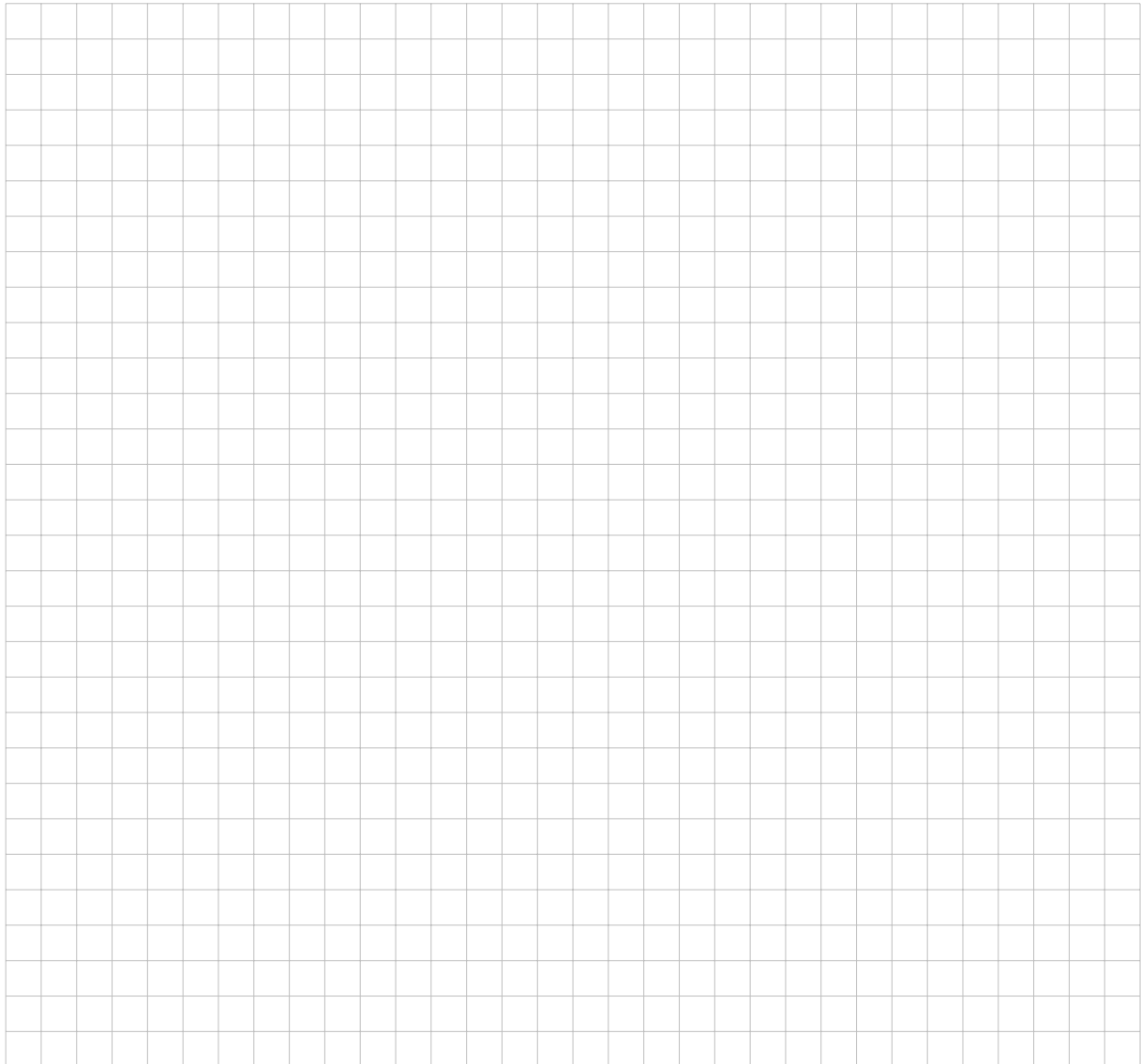
## Aufgabe 2: Ausführungszeit vs. Cache Hit Rate

Ein Rechnersystem ist mit einem 2kB großen L1 Datencache, einem 4kB großen L1 Befehlscache und einem DRAM mit einer Größe von 16 Gigabyte aufgebaut. Ein Zugriff auf den L1 Cache dauert 2 Taktzyklen. Ein Zugriff auf das DRAM dauert 300 Taktzyklen. Sie haben ein Programm zur Positionsschätzung aus LiDAR Daten geschrieben. Sie haben ein Codeprofiling mit Testdaten durchgeführt. Dabei haben sie die Cachezugriffsdaten aus Tabelle 2 gemessen. Zusätzlich haben sie mit dem Profiling herausgefunden, dass 15 Prozent aller Instruktionen load oder store Befehle sind. Nehmen sie eine einfache MIPS Prozessorarchitektur an. Bei einem Cachehit dauert die Ausführung eines Befehls inklusive des Speicherzugriffs im Durchschnitt 2 Takte.

Tabelle 2: Zugriffsfehler auf den Instruction- Datacache

Cache	Missrate
Instruktion	0.4%
Data	3.7%

Schätzen Sie ab wie sich die Ausführungszeit ihres Programm im Vergleich zu einem idealen Cacheverhalten verhält.

A large grid of graph paper for calculations, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares.

### Aufgabe 3: Entwicklung der CPU Technologie

In Abbildung 1 ist der zeitliche Verlauf von Technologieparametern der Mikroprozessortechnologie über die letzten 50 Jahre dargestellt. In der Abbildung fehlt die Legende.

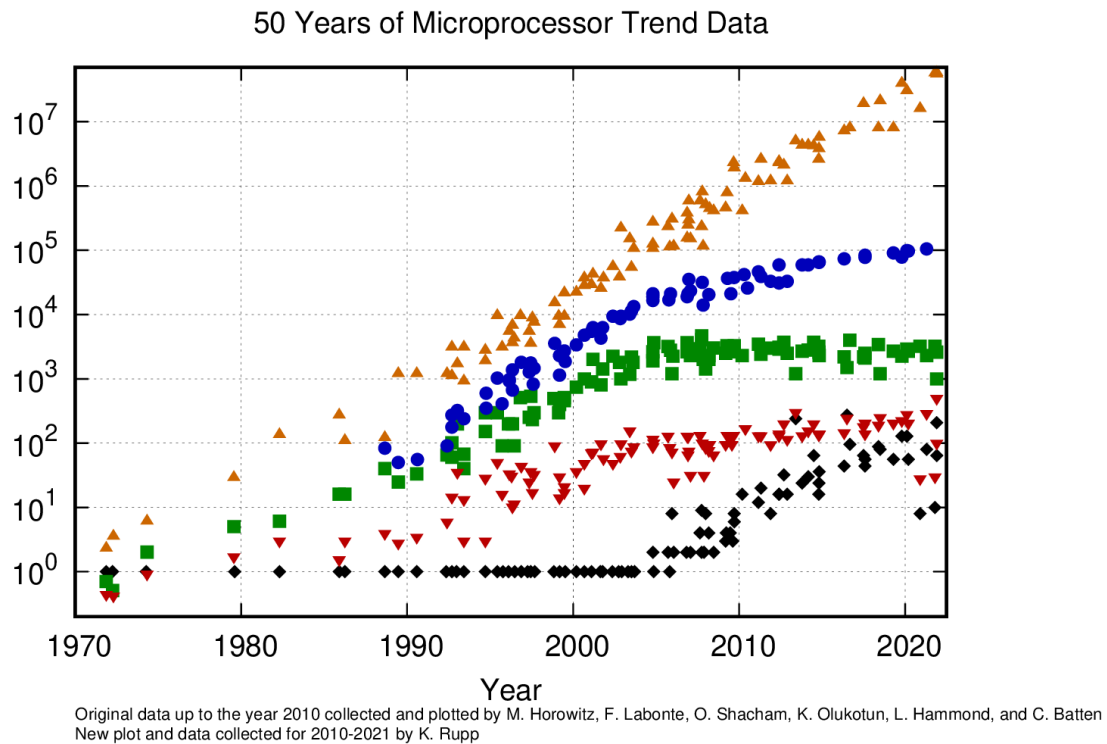


Abbildung 1: Entwicklung der Prozessortechnologie

Ergänzen sie die Legende. Ordnen sie die Begriffe

- Number of Logical Cores
- Single-Thread Performance (SpecINT  $\times 10^3$ )
- Frequency (MHz)
- Transistors (thousands)
- Typical Power (Watts)

den Datenpunkten zu.