School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

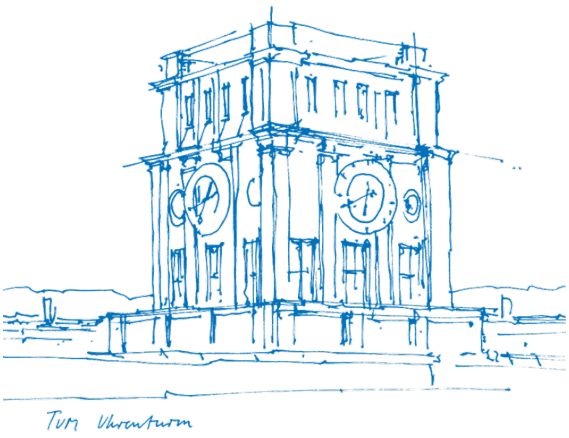
# Übung 03: Rekursion und Calling Convention

## Einführung in die Rechnerarchitektur

**Niklas Ladurner**

School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

8. November 2024



Keine Garantie für die Richtigkeit der Tutorfolien.

Bei Unklarheiten/Unstimmigkeiten haben VL/ZÜ-Folien recht!

# Caller vs. Callee

```
caller:
# aufrufende Funktion (Caller)

# Wir speichern die Rücksprungadresse auf
# den Stack -> ra ist Caller-saved!
addi sp, sp, -16
sw ra, 0(sp)

# ... irgendwas, was t0 verwendet

# da t0 caller-saved ist, müssen wir uns
# t0 absichern, wenn wir den Inhalt später
# noch brauchen
sw t0, 4(sp)
# ...
jal ra, callee  # Sprung zur Unterfunktion
# ...
lw t0, 4(sp)
# ... wieder irgendwas mit t0
lw ra, 0(sp)
addi sp, sp, 16
jalr zero, 0(ra)

callee:
# aufgerufene Funktion (Callee)

# hier dürfen wir t0-t6 bspw. verändern
# falls wir s0-s6 verändern wollen würden,
# würden wir das so machen:
addi sp, sp, -16
sw s2, 0(sp)
sw s3, 4(sp)

# s2, s3 können jetzt verwendet werden!

lw s2, 0(sp)
lw s3, 4(sp)
addi sp, sp, 16
jalr zero, 0(ra)
```

fürs Selbststudium :)

# Caller- und Callee-saved Register

| Register | ABI Name | Description | Saver |
|---|---|---|---|
| x0 | zero | Hard-wired zero | — |
| x1 | ra | Return address | Caller |
| x2 | sp | Stack pointer | Callee |
| x3 | gp | Global pointer | — |
| x4 | tp | Thread pointer | — |
| x5–7 | t0–2 | Temporaries | Caller |
| x8 | s0/fp | Saved register/frame pointer | Callee |
| x9 | s1 | Saved register | Callee |
| x10–11 | a0–1 | Function arguments/return values | Caller |
| x12–17 | a2–7 | Function arguments | Caller |
| x18–27 | s2–11 | Saved registers | Callee |
| x28–31 | t3–6 | Temporaries | Caller |
| f0–7 | ft0–7 | FP temporaries | Caller |
| f8–9 | fs0–1 | FP saved registers | Callee |
| f10–11 | fa0–1 | FP arguments/return values | Caller |
| f12–17 | fa2–7 | FP arguments | Caller |
| f18–27 | fs2–11 | FP saved registers | Callee |
| f28–31 | ft8–11 | FP temporaries | Caller |

**Abbildung 1** Übersicht über die RISC-V-Register

# Calling Convention

- „Aufrufkonvention“ $\rightarrow$ lediglich eine Vereinbarung
- definiert Parameterüberabe, Rückgabe, Registersicherung, Stack etc.
- Datentypen $\leq$ 4 Byte in a-Register, signextension
- Datentypen = 8 Byte in 2 a-Register, niedrigwertige Hälfte zuerst
- Datentypen > 8 Byte als Pointer (Zeiger auf Speicher)
- Falls zu wenige Register: Übergabe über Stack
- Stackpointer muss immer Vielfaches von 16 Byte sein!

# Rekursion

- Funktion die **sich selbst aufruft**
- $\exists$ äquivalente iterative Funktion für jede rekursive Funktion
- Aufbau:
  1. Abbruchbedingung(en)
  2. Sicherung von `ra` und evtl. Parametern
  3. Vorbereitung der Parameter für den rekursiven Aufruf
  4. Rekursiver Aufruf
  5. Ergebnis des Aufrufs verwerten
  6. Wiederherstellung von `ra`, `sp`
  7. Rücksprung

# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

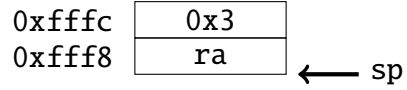
1. Abbruchbedingung(en)
2. Sicherung von `ra` und evtl. Parametern
3. Vorbereitung der Parameter für den rekursiven Aufruf
4. Rekursiver Aufruf
5. Ergebnis des Aufrufs verwerten
6. Wiederherstellung von `ra`, `sp`
7. Rücksprung

# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

Aufruf mit a0 = 3:

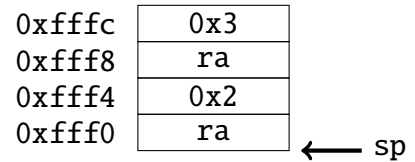


# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

Aufruf mit a0 = 3:

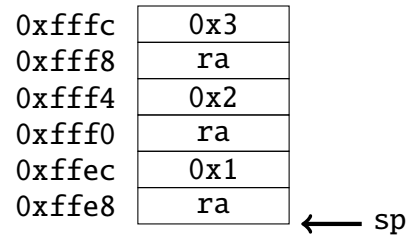


# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

Aufruf mit a0 = 3:

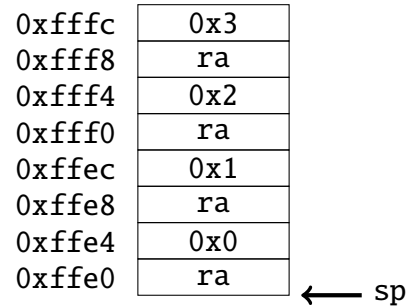


# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

Aufruf mit a0 = 3:

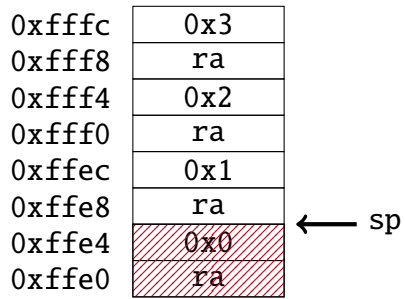


# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

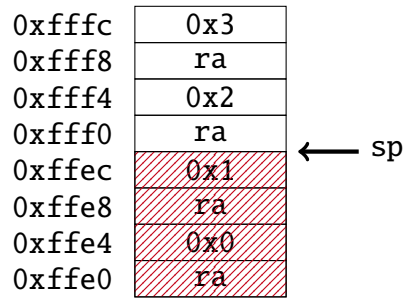
Aufruf mit a0 = 3:



# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

Aufruf mit a0 = 3:



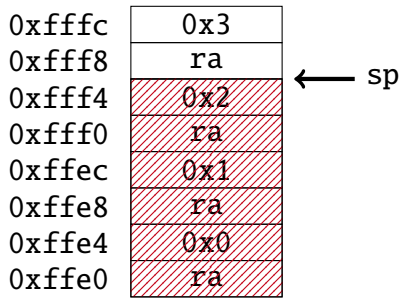

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

Aufruf mit a0 = 3:

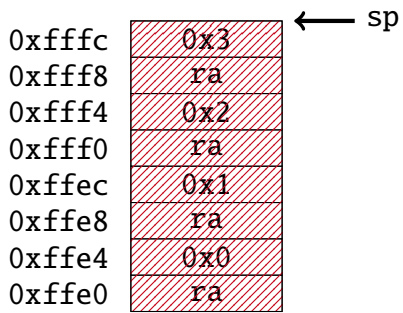


# Rekursion: Beispiel

```
1  fun:
2    addi sp, sp, -8
3    sw ra, 0(sp)
4    sw a0, 4(sp)
5    beq a0, zero, end
6    addi a0, a0, -1
7    jal fun
8    end:
9    lw ra, 0(sp)
10   addi sp, sp, 8
11   jalr zero, 0(ra)
```

**Achtung**: 8 Byte nicht CC-konform, nur zur besseren Darstellung

Aufruf mit a0 = 3:



Fragen?

(Die ZÜ-Folien sind sehr gut, schaut euch die an)

# Artemis-Hausaufgaben

- „H04 — Tribonacci“ bis 17.11.2024 23:59 Uhr
- mehrfache rekursive Aufrufe in einer Unterfunktion, Sicherung von Parametern
- Einhaltung der CC ab sofort Pflicht!

# Links

- Zulip: „ERA Tutorium - Do-1600-1“ bzw. „ERA Tutorium - Fr-1500-2“
- RISC-V-Spezifikation
- ERA-Moodle-Kurs
- ERA-Artemis-Kurs
- Übersicht an RISC-V-Instruktionen
- Übersicht an RISC-V-Pseudoinstruktionen

School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

# Übung 03: Rekursion und Calling Convention

## Einführung in die Rechnerarchitektur

**Niklas Ladurner**

School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

8. November 2024