

# Übung 04: Rekursion und Calling Convention

## Einführung in die Rechnerarchitektur

**Niklas Ladurner**

School of Computation, Information and Technology  
Technische Universität München

8. November 2024



*TUM Uhrenturm*

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“ → 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 verwenden
  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)
```

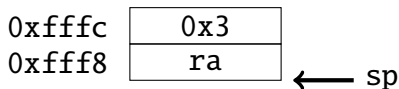
1. Abbruchbedingung(en)
2. Sicherung von ra und evtl. Parametern
3. Vorbereitung der Parameter für den rekursiven Aufruf
4. Rekursiver Aufruf
5. Ergebnis des Aufrufs verwerten
6. Wiederherstellung von ra, sp
7. Rücksprung

**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)
```

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)

```

Aufruf mit  $a0 = 3$ :

0xfffc	0x3
0xffff8	ra
0xffff4	0x2
0xffff0	ra

← sp

**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)

```

Aufruf mit  $a0 = 3$ :

0xffffc	0x3
0xffff8	ra
0xffff4	0x2
0xffff0	ra
0xfffec	0x1
0xffe8	ra

← sp

**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)

```

Aufruf mit  $a0 = 3$ :

0xfffc	0x3
0xffff8	ra
0xffff4	0x2
0xffff0	ra
0xffec	0x1
0xffe8	ra
0xffe4	0x0
0xffe0	ra

← sp

**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)

```

Aufruf mit a0 = 3:

0xfffc	0x3	
0xff8	ra	
0xff4	0x2	
0xff0	ra	
0xffec	0x1	
0xffe8	ra	
0xffe4	0x0	← sp
0xffe0	ra	

**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)

```

Aufruf mit a0 = 3:

0xfffc	0x3	
0xff8	ra	
0xff4	0x2	
0xff0	ra	
0xffec	0x1	← sp
0xffe8	ra	
0xffe4	0x0	
0xffe0	ra	

**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)

```

Aufruf mit a0 = 3:

0xfffc	0x3	← sp
0xff8	ra	
0xff4	0x2	
0xff0	ra	
0xfec	0x1	
0xfe8	ra	
0xfe4	0x0	
0xfe0	ra	

**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)

```

Aufruf mit  $a0 = 3$ :

0xfffc	0x3	← sp
0xff8	ra	
0xff4	0x2	
0xff0	ra	
0xffec	0x1	
0xffe8	ra	
0xffe4	0x0	
0xffe0	ra	

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

# Fragen?

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



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

- 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

# Übung 04: Rekursion und Calling Convention

## Einführung in die Rechnerarchitektur

**Niklas Ladurner**

School of Computation, Information and Technology  
Technische Universität München

8. November 2024

