

# Systemnahe Programmierung in C

## 9 Funktionen

**J. Kleinöder, D. Lohmann, V. Sieh, P. Wägemann**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg (FAU)

Sommersemester 2026

<http://sys.cs.fau.de/lehre/ss26>



# Was ist eine Funktion?

- **Funktion** := Unterprogramm [↔ GDI, 11-01]
  - Programmstück (Block) mit einem **Bezeichner**
  - Beim Aufruf können **Parameter** übergeben werden
  - Bei Rückkehr kann ein **Rückgabewert** zurückgeliefert werden
- Funktionen sind elementare Programmbausteine
  - Gliedern umfangreiche Aufgaben in kleine, beherrschbare Komponenten
  - Ermöglichen die einfache Wiederverwendung von Komponenten
  - Ermöglichen den einfachen Austausch von Komponenten
  - Verbergen Implementierungsdetails (**Black-Box-Prinzip**)



# Was ist eine Funktion?

- **Funktion** := Unterprogramm [↔ GDI, 11-01]
  - Programmstück (Block) mit einem **Bezeichner**
  - Beim Aufruf können **Parameter** übergeben werden
  - Bei Rückkehr kann ein **Rückgabewert** zurückgeliefert werden
- Funktionen sind elementare Programmbausteine
  - Gliedern umfangreiche Aufgaben in kleine, beherrschbare Komponenten
  - Ermöglichen die einfache Wiederverwendung von Komponenten
  - Ermöglichen den einfachen Austausch von Komponenten
  - Verbergen Implementierungsdetails (**Black-Box-Prinzip**)

## Funktion ↔ Abstraktion

↔ 4-1

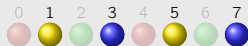
- Bezeichner und Parameter **abstrahieren**
  - Vom tatsächlichen Programmstück
  - Von der Darstellung und Verwendung von Daten
- Ermöglicht schrittweise Abstraktion und Verfeinerung



# Beispiel

- Funktion (Abstraktion) `sb_led_setMask()`

```
#include <led.h>
void main(void) {
    sb_led_setMask(0xaa);
    while(1) {}
}
```



- Implementierung in der `libspicboard`

```
void sb_led_setMask(uint8_t setting)
```

Sichtbar:

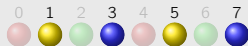
Bezeichner und  
formale Parameter



# Beispiel

- Funktion (Abstraktion) `sb_led_setMask()`

```
#include <led.h>
void main(void) {
    sb_led_setMask(0xaa);
    while(1) {}
}
```



- Implementierung in der `libspicboard`

```
void sb_led_setMask(uint8_t setting)
```

**Sichtbar:**

Bezeichner und  
formale Parameter

```
{
    uint8_t i = 0;
    for (i = 0; i < 8; i++) {
        if ((setting >> i) & 1) {
            sb_led_on(i);
        } else {
            sb_led_off(i);
        }
    }
}
```

**Unsichtbar:**

Tatsächliche  
Implementierung



- Syntax:  $Typ\ Bezeichner\ (FormaleParam_{opt})\ \{Block\}$ 
  - *Typ* Typ des Rückgabewertes der Funktion, [=Java]  
`void` falls kein Wert zurückgegeben wird
  - *Bezeichner* Name, unter dem die Funktion aufgerufen werden kann ↔ 5-3  
[=Java]
  - *FormaleParam<sub>opt</sub>* Liste der formalen Parameter:  
 $Typ_1\ Bez_1\ opt, \dots, Typ_n\ Bez_n\ opt$  [=Java]  
 (Parameter-Bezeichner sind optional)  
`void`, falls kein Parameter erwartet wird [≠Java]
  - $\{Block\}$  Implementierung; formale Parameter stehen als lokale Variablen bereit [=Java]

## Beispiele:

```
int max(int a, int b) {
    if (a > b) return a;
    return b;
}

void wait(void) {
    volatile uint16_t w;
    for (w = 0; w < 0xffff; w++) {
    }
}
```



## ■ Syntax: *Bezeichner* ( *TatParam* )

- *Bezeichner* Name der Funktion, in die verzweigt werden soll [=Java]
- *TatParam* Liste der tatsächlichen Parameter (übergebene Werte, muss anzahl- und typkompatibel sein zur Liste der formalen Parameter) [=Java]

## ■ Beispiele:

```
int x = max(47, 11);
```

```
char text[] = "Hello, World";  
int x = max(47, text);
```

```
max(48, 12);
```

Aufruf der `max()`-Funktion. 47 und 11 sind die **tatsächlichen Parameter**, welche nun den formalen Parametern `a` und `b` der `max()`-Funktion ( $\hookrightarrow$  9-3) zugewiesen werden.

**Fehler:** `text` ist nicht `int`-konvertierbar ( **tatsächlicher Parameter 2** passt nicht zu formalem Parameter `b`  $\hookrightarrow$  9-3 )

Der Rückgabewert darf ignoriert werden (was hier nicht wirklich Sinn ergibt)



- Generelle Arten der Parameterübergabe [↔ GDI, 14-01]
  - *Call-by-value* Die formalen Parameter sind Kopien der tatsächlichen Parameter. Änderungen in den formalen Parametern gehen mit Verlassen der Funktion verloren.  
**Dies ist der Normalfall in C.**
  - *Call-by-reference* Die formalen Parameter sind Verweise (Referenzen) auf die tatsächlichen Parameter. Änderungen in den formalen Parametern betreffen auch die tatsächlichen Parameter.  
**In C nur indirekt über Zeiger möglich.** ↔ 13-5
- Des weiteren gilt
  - Arrays werden in C immer *by-reference* übergeben [=Java]
  - Die Auswertungsreihenfolge der Parameter ist **undefiniert!** [≠Java]



- Funktionen können sich auch selber aufrufen (Rekursion)

```
int fak(int n) {  
    if (n > 1)  
        return n * fak(n - 1);  
    return 1;  
}
```

Rekursive Definition der Fakultätsfunktion.



- Funktionen können sich auch selber aufrufen (Rekursion)

```
int fak(int n) {  
    if (n > 1)  
        return n * fak(n - 1);  
    return 1;  
}
```

Rekursive Definition der Fakultätsfunktion.

Ein anschauliches, aber **mieses Beispiel** für den Einsatz von Rekursion!



- Funktionen können sich auch selber aufrufen (Rekursion)

```
int fak(int n) {  
    if (n > 1)  
        return n * fak(n - 1);  
    return 1;  
}
```

Rekursive Definition der Fakultätsfunktion.

Ein anschauliches, aber **mieses Beispiel** für den Einsatz von Rekursion!

## Rekursion ↪ \$\$\$

Rekursion verursacht erhebliche **Laufzeit- und Speicherkosten!**

Pro Rekursionsschritt muss:

- Speicher bereit gestellt werden für Rücksprungadresse, Parameter und alle lokalen Variablen
- Parameter kopiert und ein Funktionsaufruf durchgeführt werden

**Regel:** Bei der systemnahen Softwareentwicklung wird möglichst auf **Rekursion verzichtet!**



- Funktionen müssen vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine voranstehende Definition beinhaltet bereits die Deklaration
  - Ansonsten (falls die Funktion „weiter hinten“ im Quelltext oder in einem anderen Modul definiert wird) muss sie **explizit deklariert** werden
- Syntax: *Typ Bezeichner ( FormaleParam ) ;*
- Beispiel:

```
// Deklaration durch Definition
int max(int a, int b) {
    if (a > b) return a;
    return b;
}

void main(void) {
    int z = max(47, 11);
}
```

```
// Explizite Deklaration
int max(int, int);

void main(void) {
    int z = max(47, 11);
}

int max(int a, int b) {
    if (a > b) return a;
    return b;
}
```



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein

## Achtung: C erzwingt dies nicht!

- Es ist erlaubt **nicht-deklarierte** Funktionen aufzurufen (↪ implizite Deklaration)
- Derartige Aufrufe sind jedoch **nicht typsicher**
  - Compiler kennt die formale Parameterliste nicht
    - ↪ kann nicht prüfen, ob die tatsächlichen Parameter passen
  - Man kann **irgendwas** übergeben
- Moderne Compiler generieren immerhin eine **Warnung**
  - ↪ Warnungen des Compilers immer ernst nehmen!



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    double d = 47.11;
    foo(d);
    return 0;
}

void foo(int a, int b) {
    printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    double d = 47.11;
    foo(d);
    return 0;
}

void foo(int a, int b) {
    printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```

Funktion `foo()` ist nicht **deklariert** ~ der Compiler **warn**t, aber akzeptiert beliebige tatsächliche Parameter



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    double d = 47.11;
    foo(d);
    return 0;
}

void foo(int a, int b) {
    printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```

foo() ist **definiert** mit den formalen Parametern (int, int). Was immer an tatsächlichen Parametern übergeben wurde, wird entsprechend interpretiert!



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    double d = 47.11;
    foo(d);
    return 0;
}

void foo(int a, int b) {
    printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```

Was wird hier ausgegeben?



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit **leerer formaler Parameterliste** deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter  $\rightsquigarrow$  **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit **leerer formaler Parameterliste** deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter ↪ **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

void foo(); // "open" declaration

int main(void) {
    double d = 47.11;
    foo(d);
    return 0;
}

void foo(int a, int b) {
    printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```

Funktion `foo` wurde mit **leerer** formaler Parameterliste deklariert  
↪ dies ist formal ein **gültiger Aufruf!**



- Funktionen müssen **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext **deklariert** (↪ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit **leerer formaler Parameterliste** deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter ↪ **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!

## Achtung: Verwechslungsgefahr

- In Java deklariert `void foo()` eine **parameterlose** Methode
  - In C muss man dafür `void foo(void)` schreiben ↪ 9-3
- In C deklariert `void foo()` eine **offene** Funktion
  - Das macht nur in (sehr seltenen) Ausnahmefällen Sinn!
  - Schlechter Stil ↪ Punktabzug

**Regel:** Funktionen werden stets **vollständig deklariert!**



- [GDI] Frank Bauer. *Grundlagen der Informatik. Vorlesung.* Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 5, 2015 (jährlich). URL: <https://gdi.cs.fau.de/w15/material>.

