

# Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2019/20

<https://ls11-www.cs.tu-dortmund.de/teaching/ep1920vorlesung>

Dr.-Ing. Horst Schirmeier

(mit Material von Prof. Dr. Günter Rudolph)

Arbeitsgruppe Eingebettete Systemsoftware (LS 12)  
und Lehrstuhl für Algorithm Engineering (LS11)

Fakultät für Informatik

TU Dortmund

## Inhalt

- Funktionen
  - mit / ohne Parameter
  - mit / ohne Rückgabewerte
- Übergabemechanismen
  - Übergabe eines Wertes
  - Übergabe einer Referenz
  - Übergabe eines Zeigers
- Funktionsschablonen (Übergabe von Typen)
- Programmieren mit Funktionen
  - + Exkurs: Endliche Automaten
  - + static / inline / MAKROS

## Wir kennen bisher:

- **Datentypen** zur Modellierung von Daten (inkl. Zeiger)
- **Kontrollstrukturen** zur Gestaltung des internen Informationsflusses

⇒ Damit lassen sich – im Prinzip – alle Programmieraufgaben lösen!

Wenn man aber

**mehrfach das gleiche** nur mit verschiedenen Daten tun muss,

dann müsste man

den **gleichen Quellcode mehrfach** im Programm stehen haben!

⇒ unwirtschaftlich, schlecht wartbar und deshalb fehleranfällig!

**Funktion in der Mathematik:**

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f(x) = \sin(x)$$

$y = f(0.5)$  führt zur

- Berechnung von  $\sin(0.5)$ ,
- Rückgabe des Ergebnisses,
- Zuweisung des Ergebnisses an Variable  $y$ .

$z = f(0.2)$  an anderer Stelle führt zur

- Berechnung von  $\sin(0.2)$ ,
- Rückgabe des Ergebnisses,
- Zuweisung des Ergebnisses an Variable  $z$ .

## Funktionen in C++

```
int main() {  
    double x = 0.5, y, z;  
    y = sin(x);  
    z = sin(0.2);  
    std::cout << y << " " << z << std::endl;  
    return 0;  
}
```

**Achtung:**  
`main()` ist Funktion!  
Nur 1x verwendbar!

Die Funktion `sin(·)` ist eine **Standardfunktion**.

Standardfunktionen werden vom Hersteller bereitgestellt und sind in Bibliotheken abgelegt. Bereitstellung durch `#include`-Direktive: `#include <cmath>`

Programmierer kann eigene, **benutzerdefinierte Funktionen** schreiben.

## Welche Arten von Funktionen gibt es?

- a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert: `clearscreen()` ;
- b) Funktionen mit Parameter aber ohne Rückgabewert: `background(blue)` ;
- c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert: `uhrzeit = time()` ;
- d) Funktionen mit Parameter und mit Rückgabewert: `y = sin(x)` ;

### Konstruktionsregeln für

- Standardfunktionen und
- benutzerdefinierte Funktionen

sind gleich.

## (a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

- Funktionsdeklaration:

```
void Bezeichner ();
```

Prototyp der Funktion



Nichts zwischen Klammern  $\Rightarrow$  keine Parameter

Name der Funktion

`void` (= leer) zeigt an, dass kein Wert zurückgegeben wird

## (a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

- **Funktionsdefinition:**

```
void Bezeichner () {  
  
    // Anweisungen  
  
}
```

```
// Beispiel:  
void zeichne_sterne () {  
    int k = 10;  
    while (k--) std::cout << '*';  
    std::cout << std::endl;  
}
```

### Achtung:

Variable, die in einer Funktion definiert werden, sind **nur innerhalb der Funktion gültig**.

Nach Verlassen der Funktion sind diese Variablen ungültig!



## (a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

- **Funktionsaufruf:**

Bezeichner ();

```
// Beispiel:  
#include <iostream>  
int main () {  
    zeichne_sterne ();  
    zeichne_sterne ();  
    zeichne_sterne ();  
    return 0;  
}
```

### **Achtung:**

Die **Funktionsdefinition** muss vor dem ersten Funktionsaufruf stehen.

### **Alternativ:**

Die **Funktionsdeklaration** muss vor dem ersten Funktionsaufruf stehen. Dann kann die **Funktionsdefinition** später, also auch nach dem ersten Funktionsaufruf, erfolgen.

## (a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel (v1)
#include <iostream>

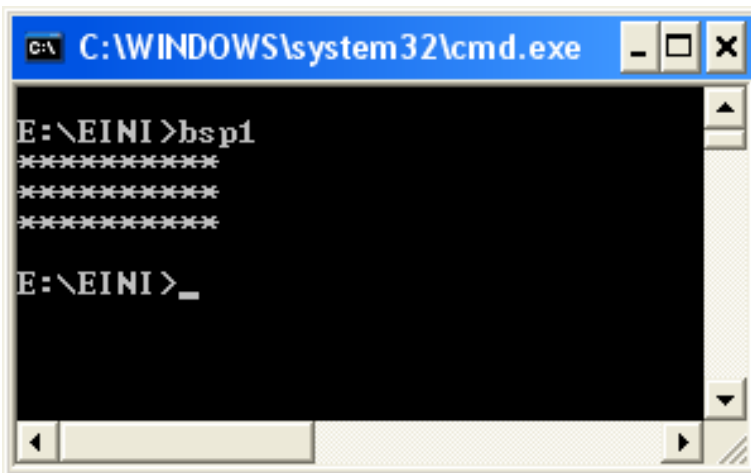
void zeichne_sterne() {
    int k = 10;
    while (k--) std::cout << '*';
    std::cout << std::endl;
}

int main() {
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    return 0;
}
```

Zuerst Funktionsdefinition.

Dann Funktionsaufrufe.

Ausgabe:



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp1
*****
*****
*****
E:\EINI>_
```

## (a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel (v2)
#include <iostream>

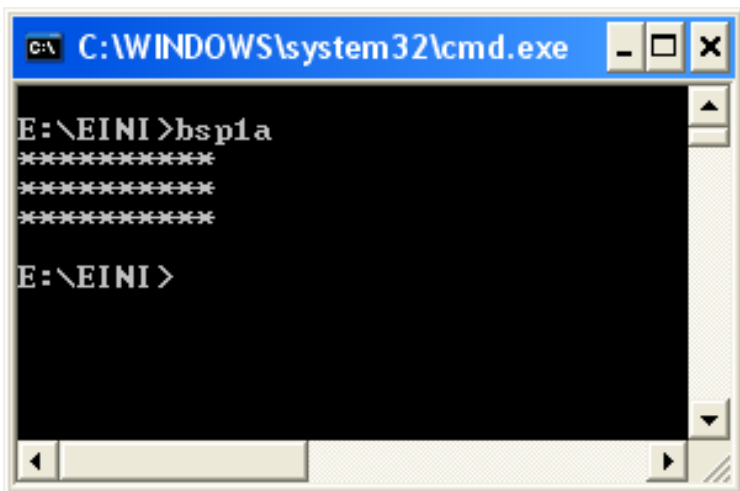
void zeichne_sterne();
int main() {
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    return 0;
}
void zeichne_sterne() {
    int k = 10;
    while (k--) std::cout << '*';
    std::cout << std::endl;
}
```

Zuerst Funktions**deklaration**.

Dann Funktions**aufrufe**.

Später Funktions**definition**.

Ausgabe:

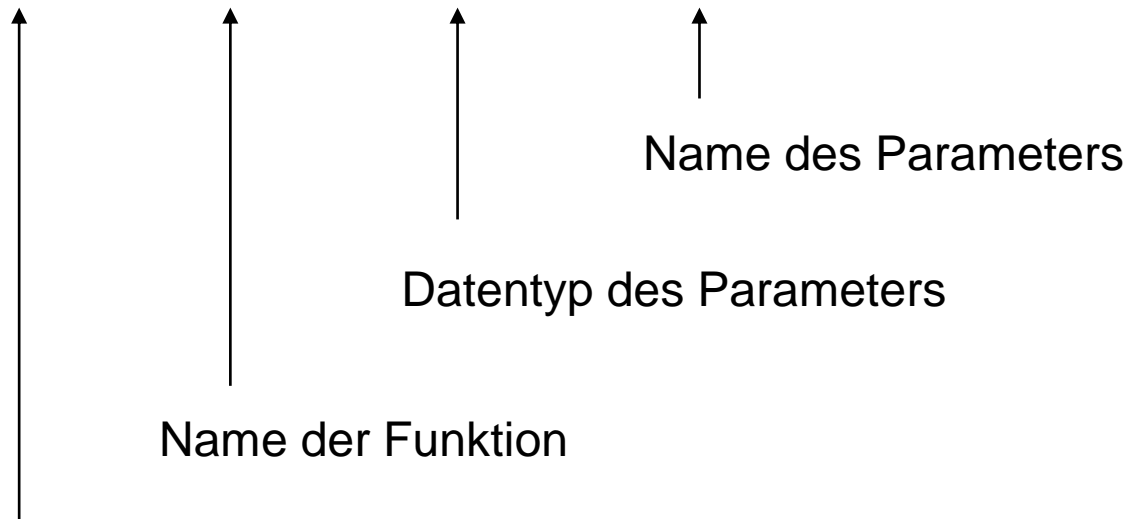


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp1a
*****
*****
*****
E:\EINI>
```

## (b) Funktionen mit Parameter aber ohne Rückgabewert

- Funktionsdeklaration:

`void Bezeichner (Datentyp Bezeichner) ;`



`void` (= leer) zeigt an, dass kein Wert zurückgegeben wird

## (b) Funktionen mit Parameter aber ohne Rückgabewert

- **Funktionsdefinition:**

```
void Bezeichner (Datentyp Bezeichner) {  
  
    // Anweisungen  
  
}
```

```
// Beispiel:  
void zeichne_sterne(int k) {  
    while (k-->0) std::cout << '*';  
    std::cout << std::endl;  
}
```

## (b) Funktionen mit Parameter aber ohne Rückgabewert

- **Funktionsaufruf:**

Bezeichner (Parameter) ;

```
// Beispiel:  
#include <iostream>  
int main() {  
    zeichne_sterne(10);  
    zeichne_sterne( 2);  
    zeichne_sterne( 5);  
    return 0;  
}
```

### **Achtung:**

Parameter muss dem Datentyp entsprechen, der in Funktionsdeklaration bzw. Funktionsdefinition angegeben ist.

Hier: `int`

Kann Konstante oder Variable sein.

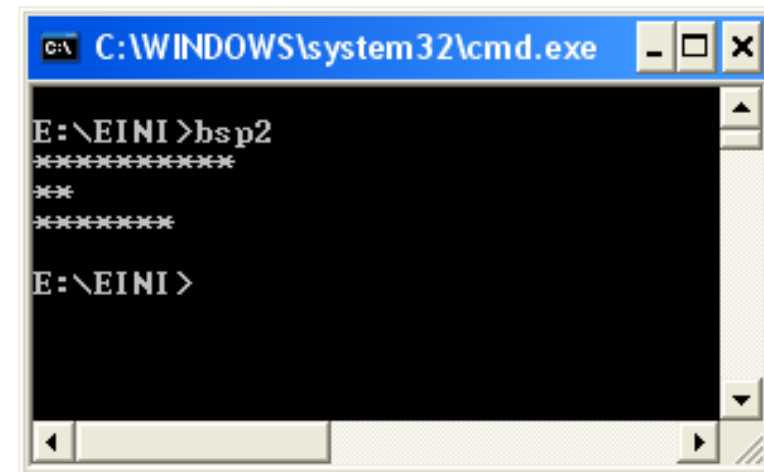
**(b) Funktionen mit Parameter aber ohne Rückgabewert**

```
// Komplettes Beispiel
#include <iostream>

void zeichne_sterne(int k) {
    while (k-->0) std::cout << '*';
    std::cout << std::endl;
}

int main() {
    zeichne_sterne(10);
    zeichne_sterne(2);
    zeichne_sterne(7);
    return 0;
}
```

Ausgabe:



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp2
*****
**
*****
E:\EINI>
```

## Wie wird die Parameterübergabe technisch realisiert?

Ablagefach

10

```
int main() {  
    zeichne_sterne(10);  
    return 0;  
}
```

```
void zeichne_sterne(int k) {  
    while (k--) std::cout << '*';  
    std::cout << std::endl;  
}
```

1. bei Aufruf `zeichne_sterne(10)` wird Parameter 10 ins Ablagefach gelegt
2. der Rechner springt an die Stelle, wo Funktionsanweisungen anfangen
3. der Wert 10 wird aus dem Ablagefach geholt und `k` zugewiesen
4. die Funktionsanweisungen werden ausgeführt
5. nach Beendigung der Funktionsanweisungen Rücksprung hinter Aufruf



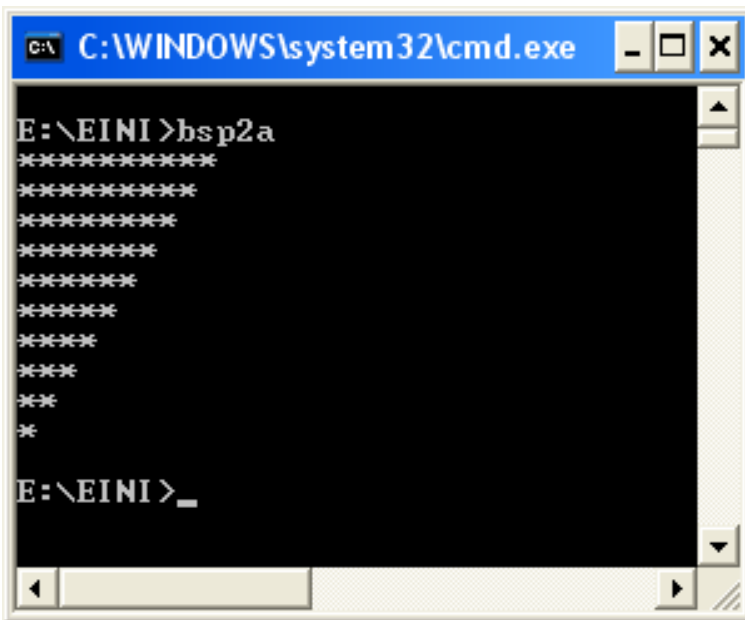
**(b) Funktionen mit Parameter aber ohne Rückgabewert**

```
// Komplettes Beispiel
#include <iostream>

void zeichne_sterne(int k) {
    while (k--) std::cout << '*';
    std::cout << std::endl;
}

int main() {
    int i;
    for (i = 10; i > 0; i--)
        zeichne_sterne(i);
    return 0;
}
```

Ausgabe:

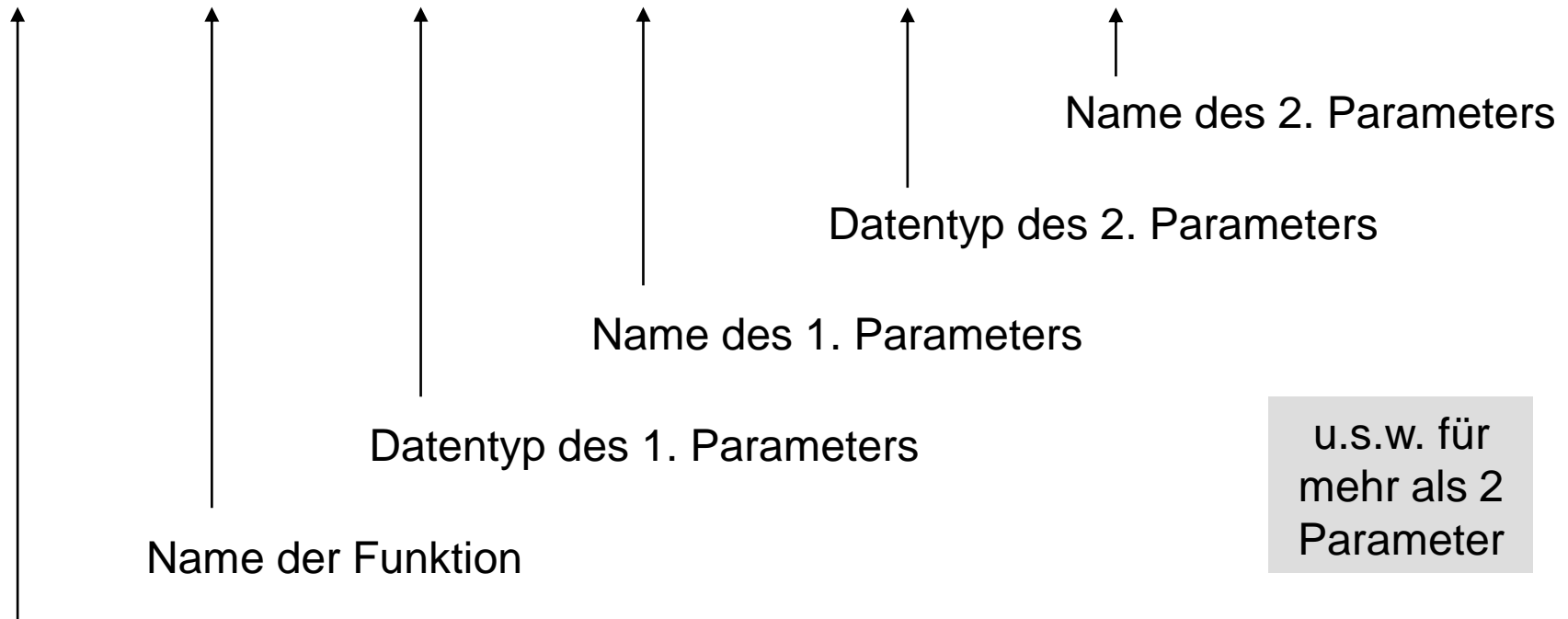


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp2a
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
E:\EINI>_
```

## (b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert

- Funktionsdeklaration:**

`void Bezeichner (Datentyp1 Bezeichner1, Datentyp2 Bezeichner2) ;`



u.s.w. für  
mehr als 2  
Parameter

`void` (= leer) zeigt an, dass kein Wert zurückgegeben wird

**(b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert****• Funktionsdefinition:**

```
void Bezeichner (Datentyp1 Bezeichner1, Datentyp2 Bezeichner2) {  
  
    // Anweisungen  
  
}
```

```
// Beispiel:  
void zeichne_zeichen(int k, char c) {  
    // zeichne k Zeichen der Sorte c  
    while (k--) std::cout << c;  
    std::cout << std::endl;  
}
```

## (b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert

- **Funktionsaufruf:**

Bezeichner (Parameter1, Parameter2) ;

```
// Beispiel:  
#include <iostream>  
int main() {  
    zeichne_zeichen(10, '*');  
    zeichne_zeichen( 2, 'A');  
    zeichne_zeichen( 5, '0');  
    return 0;  
}
```

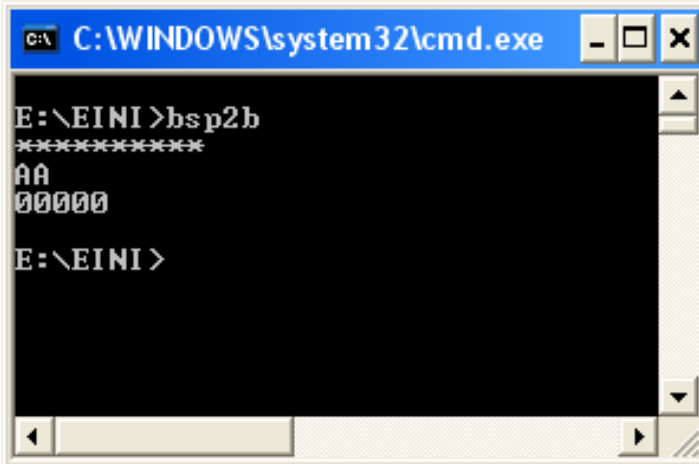
**Natürlich:**

Bei mehr als 2 Parametern wird die Parameterliste länger.

**(b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert**

```
// Komplettes Beispiel
#include <iostream>
void zeichne_zeichen(int k, char c)
{
    // zeichne k Zeichen der Sorte c
    while (k--) std::cout << c;
    std::cout << std::endl;
}
int main() {
    zeichne_zeichen(10, '*');
    zeichne_zeichen( 2, 'A');
    zeichne_zeichen( 5, '0');
    return 0;
}
```

Ausgabe:



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp2b
*****
AA
00000
E:\EINI>
```

(b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel
#include <iostream>
void zeichne_zeichen(int k, char c)
{
    // zeichne k Zeichen der Sorte c
    while (k--) std::cout << c;
    std::cout << std::endl;
}
int main() {
    int i;
    for (i = 0; i < 26; i++)
        zeichne_zeichen(i + 1, 'A' + i);
    return 0;
}
```

Ausgabe:



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp2c
A
BB
CCC
DDDD
EEEE
FFFFFF
GGGGGG
HHHHHHH
IIIIIIII
JJJJJJJJ
KKKKKKKKKK
LLLLLLLLLLLL
MMMMMMMMMMMM
NNNNNNNNNNNN
OOOOOOOOOOOO
PPPPPPPPPPPP
QQQQQQQQQQQQ
RRRRRRRRRRRR
SSSSSSSSSSSS
TTTTTTTTTTTT
UUUUUUUUUUUU
VVVVVVVVVVVV
WWWWWWWWWWWW
XXXXXXXXXXXXXX
YYYYYYYYYYYYYY
ZZZZZZZZZZZZ
E:\EINI>
```

### (c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert

- **Funktionsdeklaration:**

Datentyp Bezeichner ( ) ;



Name der Funktion

Nichts zwischen Klammern  $\Rightarrow$  keine Parameter

Datentyp des Wertes, der zurückgegeben wird

### (c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert

- **Funktionsdefinition:**

```
Datentyp Bezeichner () {  
    // Anweisungen  
    return Rückgabewert;  
}
```

**Achtung:**

Datentyp des Rückgabewertes muss mit dem in der Funktionsdefinition angegebenen Datentyp übereinstimmen.

```
// Beispiel:  
bool fortsetzen () {  
    char c;  
    do {  
        cout << "Fortsetzen (j/n)? ";  
        cin >> c;  
    } while (c != 'j' && c != 'n');  
    return (c == 'j');  
}
```



### (c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert

- **Funktionsaufruf:**

Variable = Bezeichner ();

*oder:*

Rückgabewert ohne  
Speicherung verwenden

```
// Beispiel:  
#include <iostream>  
int main() {  
    int i = 0;  
    do {  
        zeichne_zeichen(i + 1, 'A' + i);  
        i = (i + 1) % 5;  
    } while (fortsetzen());  
    return 0;  
}
```

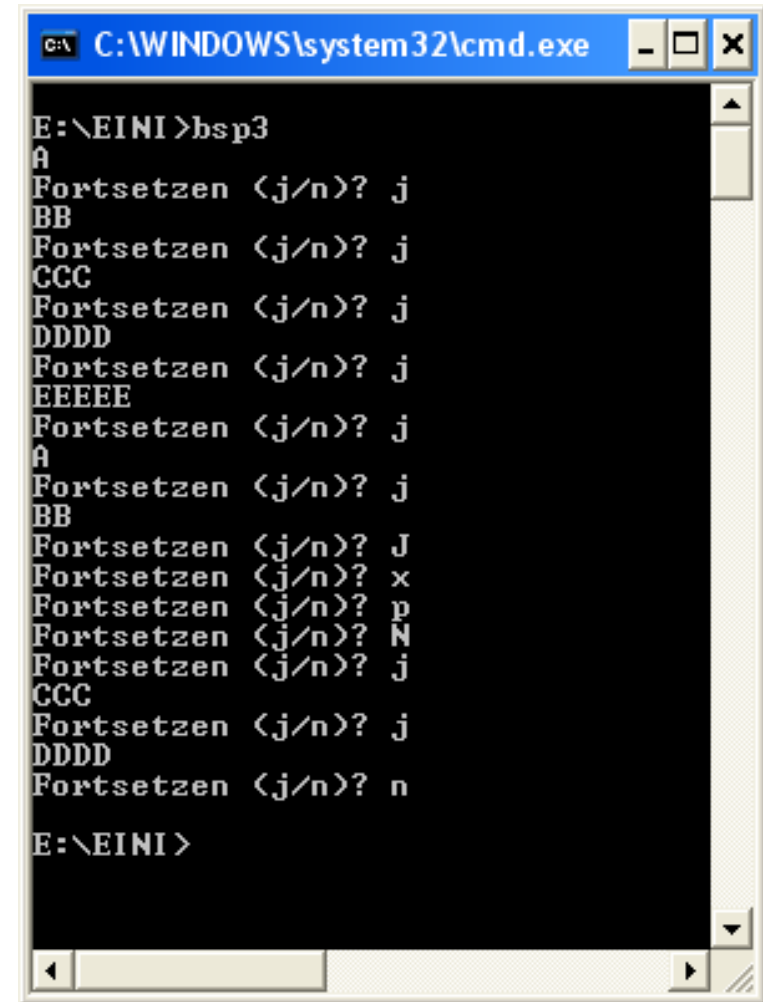
**(c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert**

```
// Komplettes Beispiel
#include <iostream>

void zeichne_zeichen(int k, char c) {
    while (k--) std::cout << c;
    std::cout << std::endl;
}

bool fortsetzen() {
    char c;
    do {
        std::cout << "Fortsetzen (j/n)? ";
        std::cin >> c;
    } while (c != 'j' && c != 'n');
    return (c == 'j');
}

int main() {
    int i = 0;
    do {
        zeichne_zeichen(i + 1, 'A' + i);
        i = (i + 1) % 5;
    } while (fortsetzen());
    return 0;
}
```



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp3
A
Fortsetzen (j/n)? j
BB
Fortsetzen (j/n)? j
CCC
Fortsetzen (j/n)? j
DDDD
Fortsetzen (j/n)? j
EEEE
Fortsetzen (j/n)? j
A
Fortsetzen (j/n)? j
BB
Fortsetzen (j/n)? J
Fortsetzen (j/n)? x
Fortsetzen (j/n)? p
Fortsetzen (j/n)? N
Fortsetzen (j/n)? j
CCC
Fortsetzen (j/n)? j
DDDD
Fortsetzen (j/n)? n
E:\EINI>
```

## Wie wird die Funktionswertrückgabe realisiert?

```
int main() {  
    char z = hole_zeichen();  
    std::cout << z << std::endl;  
    return 0;  
}  
  
char hole_zeichen() {  
    char c;  
    std::cin >> c;  
    return c;  
}
```

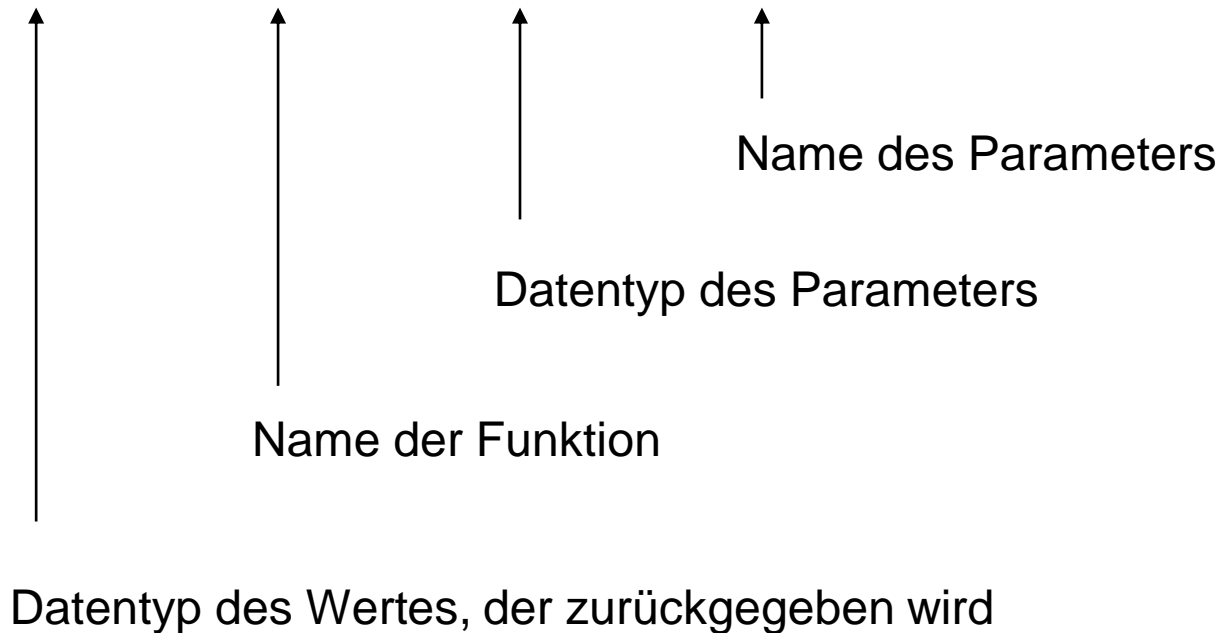
Ablagefach

1. Rechner springt bei Aufruf `hole_zeichen()` zu den Funktionsanweisungen
2. Die Funktionsanweisungen werden ausgeführt
3. Bei `return c` wird der aktuelle Wert von `c` ins Ablagefach gelegt
4. Rücksprung zur aufrufenden Stelle
5. Der zuzuweisende Wert wird aus dem Ablagefach geholt und zugewiesen

(d) Funktionen mit Parameter und mit Rückgabewert

- Funktionsdeklaration:

Datentyp Bezeichner (Datentyp Bezeichner) ;



## (d) Funktionen mit Parameter und mit Rückgabewert

- **Funktionsdefinition:**

```
Datentyp Bezeichner (Datentyp Bezeichner) {
```

```
    // Anweisungen
```

```
    return Rückgabewert;
```

```
}
```

```
// Beispiel:
```

```
double polynom(double x) {
```

```
    return 3 * x * x * x - 2 * x * x + x - 1;
```

```
}
```

Offensichtlich wird hier für einen Eingabewert  $x$  das Polynom

$$p(x) = 3x^3 - 2x^2 + x - 1$$

berechnet und dessen Wert per **return** zurückgeliefert.

## (d) Funktionen mit Parameter und mit Rückgabewert

- **Funktionsaufruf:**

Variable = Bezeichner (Parameter) ;

*oder:* Rückgabewert ohne  
Speicherung verwenden

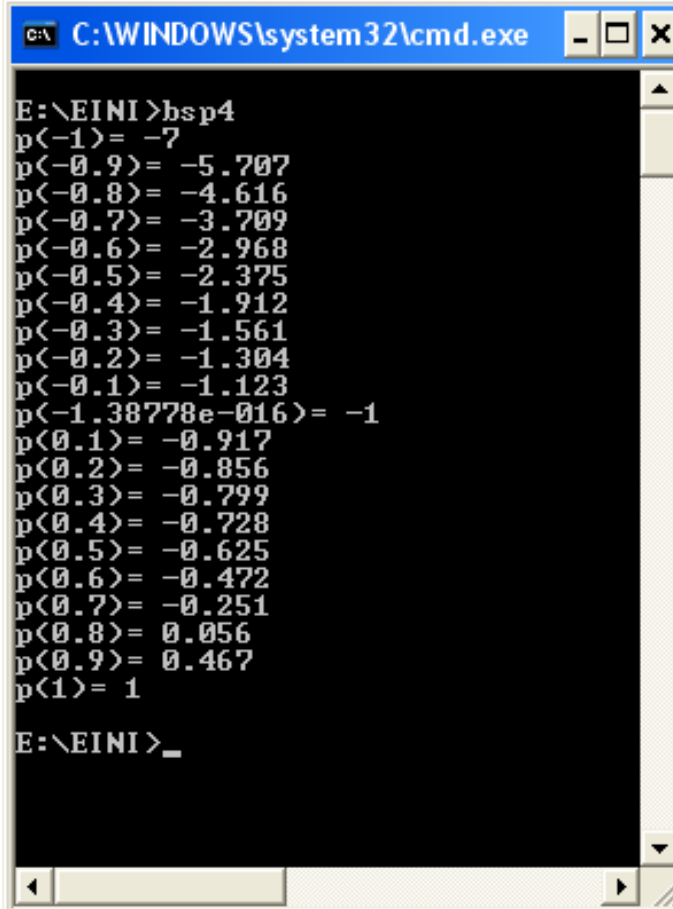
```
// Beispiel:  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main() {  
    double x;  
    for (x = -1.0; x <= 1.0; x += 0.1)  
        cout << "p(" << x << ") = "  
            << polynom(x) << endl;  
    return 0;  
}
```

## (d) Funktionen mit Parameter und mit Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel
#include <iostream>
using namespace std;

double polynom(double x) {
    return 3 * x * x * x -
           2 * x * x + x - 1;
}

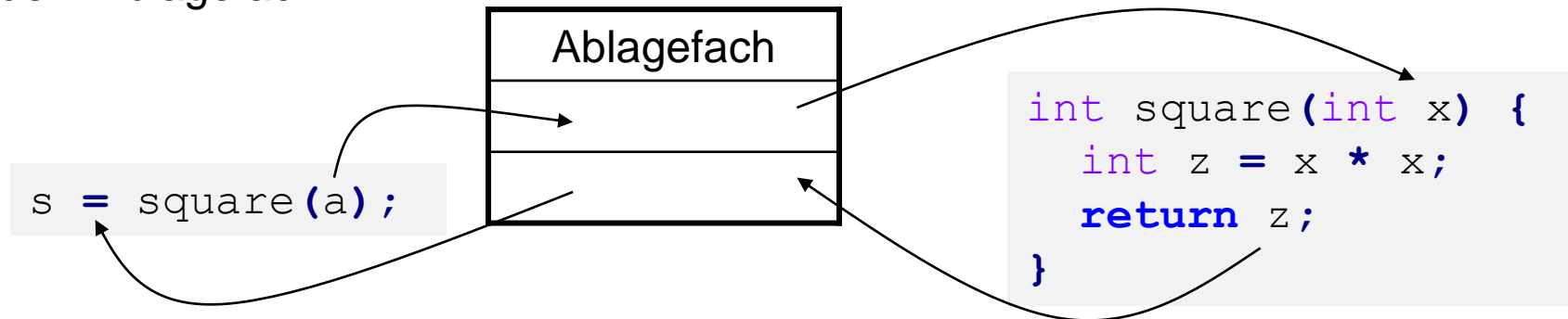
int main() {
    double x;
    for (x = -1.0; x <= 1.0; x += 0.1)
        cout << "p(" << x << ") = "
              << polynom(x) << endl;
    return 0;
}
```



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp4
p(-1)= -7
p(-0.9)= -5.707
p(-0.8)= -4.616
p(-0.7)= -3.709
p(-0.6)= -2.968
p(-0.5)= -2.375
p(-0.4)= -1.912
p(-0.3)= -1.561
p(-0.2)= -1.304
p(-0.1)= -1.123
p(-1.38778e-016)= -1
p(0.1)= -0.917
p(0.2)= -0.856
p(0.3)= -0.799
p(0.4)= -0.728
p(0.5)= -0.625
p(0.6)= -0.472
p(0.7)= -0.251
p(0.8)= 0.056
p(0.9)= 0.467
p(1)= 1
E:\EINI>
```

## Wir kennen bisher:

- Funktionen mit/ohne **Parameter** sowie mit/ohne **Rückgabewert**
- Parameter und Rückgabewerte kamen **als Kopie** ins Ablagefach (Stack)
- Funktion holt Kopie des Parameters aus dem Ablagefach
- Wertzuweisung an neue, **nur lokal gültige** Variable
- Rückgabewert der Funktion kommt **als Kopie** ins Ablagefach
- Beim Verlassen der Funktion werden lokal gültige Variable ungültig
- Rücksprung zum Funktionsaufruf und Abholen des Rückgabewertes aus dem Ablagefach





## Übergabe eines Wertes:

```
double x = 0.123, a = 2.71, b = .35, z;  
z = sin(0.717);           // Konstante  
z = cos(x);              // Variable  
z = sqrt(3 * a + 4 * b); // Ausdruck, der Wert ergibt  
z = cos( sqrt( x ) );    // Argument ist Funktion,  
                        // die Wert ergibt  
z = exp(b * log( a ) ); // Argument ist Ausdruck aus Fkt.  
                        // und Variable, der Wert ergibt
```

Wert kann Konstante, Variable und wertrückgebende Funktion sowie eine Kombination daraus in einem Ausdruck sein.

Bevor Kopie des Wertes ins Ablagefach kommt, wird Argument ausgewertet.

## Übergabe eines Wertes:

```
struct KundeT {
    char    name[20];
    int     knr;
    double  umsatz;
};
enum StatusT { gut, mittel, schlecht };
StatusT KundenStatus(KundeT kunde) {
    if (kunde.umsatz > 100000.0) return gut;
    if (kunde.umsatz < 20000.0) return schlecht;
    return mittel;
}
```

Übergabe und Rückgabe als Wert funktioniert mit allen Datentypen ...

**Ausnahme: Array!** → später!

## Übergabe eines Wertes:

```
void tausche_w(int a, int b) {
    int h = a;
    a = b;
    b = h;
    cout << "Fkt.: " << a << " " << b << endl;
}
int main() {
    int a = 3, b = 11;
    cout << "main: " << a << " " << b << endl;
    tausche_w(a, b);
    cout << "main: " << a << " " << b << endl;
}
```

Ausgabe: **main: 3 11**  
**Fkt.: 11 3**  
**main: 3 11**

⇒ funktioniert so nicht, da Übergabe von **Kopien**

## Übergabe eines Zeigers: (als Wert)

```
void tausche_p(int* pu, int* pv) {
    int h = *pu;
    *pu = *pv;
    *pv = h;
    std::cout << "Fkt.: " << *pu << " " << *pv << std::endl;
}
int main() {
    int a = 3, b = 11;
    std::cout << "main: " << a << " " << b << std::endl;
    tausche_p(&a, &b);
    std::cout << "main: " << a << " " << b << std::endl;
}
```

Ausgabe: **main: 3 11**  
**Fkt.: 11 3**  
**main: 11 3**

⇒ funktioniert, da Übergabe von **Zeigern**

## Übergabe eines Zeigers:

Man übergibt einen Zeiger auf ein Objekt (als Wert).

```
// Beispiel:  
void square(int* px) {  
    int y = *px * *px;  
    *px = y;  
}
```

```
int main() {  
    int a = 5;  
    square(&a);  
    cout << a << endl;  
    return 0;  
}
```

```
int main() {  
    int a = 5, *pa;  
    pa = &a;  
    square(pa);  
    cout << a << endl;  
    return 0;  
}
```

## Übergabe eines Zeigers

Funktionsaufruf:

Funktionsname(&Variablenname) ;

Variable = Funktionsname(&Variablenname) ;

```
int x = 5;  
square (&x) ;
```

oder:

Funktionsname(Zeiger-auf-Variable) ;

Variable = Funktionsname(Zeiger-auf-Variable) ;

```
int x = 5, *px;  
px = &x;  
square (px) ;
```

### Achtung:

Im Argument dürfen nur solche zusammengesetzten Ausdrücke stehen, die legale Zeigerarithmetik darstellen: z.B. **(px + 4)**

## Zeigerparameter

```
void reset(int *ip) {  
    *ip = 0; // ändert Wert des Objektes, auf den ip zeigt  
    ip = 0; // ändert lokalen Wert von ip, Argument unverändert  
}
```

```
int main() {  
    int i = 10;  
    int *p = &i;  
    cout << &i << ": " << *p << endl;  
    reset(p);  
    cout << &i << ": " << *p << endl;  
    return 0;  
}
```

### Ausgabe:

```
0012FEDC: 10  
0012FEDC: 0
```

### Also:

Zeiger werden als Kopie  
übergeben (als Wert)

## Rückgabe eines Zeigers



```
struct KontoT {  
    char Name[20];  
    float Saldo;  
};
```

```
KontoT const* reicher(KontoT const* k1, KontoT const* k2) {  
    if (k1->Saldo > k2->Saldo) return k1;  
    return k2;  
}
```

```
// ...  
KontoT anton = {"Anton", 64.0 }, berta = {"Berta", 100.0};  
cout << reicher(&anton, &berta)->Name << " hat mehr Geld.\n";  
// ...
```

Ausgabe:

**Berta hat mehr Geld.**



## Rückgabe eines Zeigers

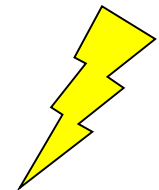
### Achtung:

Niemals Zeiger auf lokales Objekt zurückgeben!

```
KontoT const* verdoppeln(KontoT const* konto) {  
    KontoT lokalesKonto = *konto;  
    lokalesKonto.Saldo += konto->Saldo;  
    return &lokalesKonto;  
}
```

Gute Compiler  
sollten warnen!

- ⇒ nach Verlassen der Funktion wird der Speicher von `lokalesKonto` freigegeben
- ⇒ Adresse von `lokalesKonto` ungültig
- ⇒ zurückgegebener Zeiger zeigt auf ungültiges Objekt
- ⇒ kann funktionieren, muss aber nicht ⇒ **undefiniertes Verhalten!**



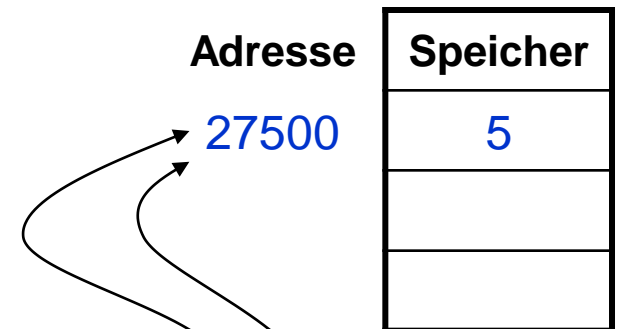
## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

Referenz einer Variablen = Kopie der Adresse einer Variablen  
 = 2. Name der Variable

```
void square(int& x) {
    int y = x * x;
    x = y;
}
int main() {
    int a = 5;
    square(a);
    cout << a << endl;
    return 0;
}
```

Name	Adresse
a	27500
x	27500



Ausgabe: 25

## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

### Bauplan der Funktionsdeklaration:

```
void Funktionsname(Datentyp& Variablenname);
```

```
Datentyp Funktionsname(Datentyp& Variablenname);
```

zeigt Übergabe per Referenz an;  
erscheint **nur im Prototypen!**

```
// Beispiele:  
void square (int& x) ;  
  
bool wurzel (double& radikant) ;
```

Durch Übergabe einer Referenz kann man den Wert der referenzierten Variable **dauerhaft** verändern!

## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

### Bauplan der Funktionsdefinition:

```
void Funktionsname(Datentyp& Variablenname) {  
    // Anweisungen  
}
```

```
Datentyp Funktionsname(Datentyp& Variablenname) {  
    // Anweisungen  
    return Rückgabewert;  
}
```

```
// Beispiel:  
void square(int& x) {  
    int y = x * x;  
    x = y;  
}
```

## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

### Funktionsaufruf:

Funktionsname(Variablenname) ;

Variable = Funktionsname(Variablenname) ;

```
// Beispiel:  
int x = 5;  
square(x) ;
```

### Achtung:

Beim Funktionsaufruf kein &-Operator!

Da Adresse geholt wird, muss Argument eine Variable sein!

→ Im obigen Beispiel würde `square(5) ;` zu einem Compilerfehler führen!

## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

```
void tausche_r(int& u, int& v) {
    int h = u;
    u = v;
    v = h;
    cout << "Fkt.: " << u << " " << v << endl;
}
int main() {
    int a = 3, b = 11;
    cout << "main: " << a << " " << b << endl;
    tausche_r(a, b);
    cout << "main: " << a << " " << b << endl;
}
```

Ausgabe: **main: 3 11**  
**Fkt.: 11 3**  
**main: 11 3**

⇒ funktioniert, da Übergabe von Referenzen!

## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

Möglicher Verwendungszweck: mehr als nur **einen** Rückgabewert!

**Bsp:** Bestimmung reeller Lösungen der Gleichung  $x^2 + px + q = 0$ .

- Anzahl der Lösungen abhängig vom Radikand  $r = (p/2)^2 - q$
- Falls  $r > 0$ , dann 2 Lösungen
- Falls  $r = 0$ , dann 1 Lösung
- Falls  $r < 0$ , dann keine Lösung

⇒ Wir müssen also zwischen 0 und 2 Werte zurückliefern und die Anzahl der gültigen zurückgegebenen Werte angeben können.

## Übergabe einer Referenz

(nur in C++, nicht in C)

Eine **mögliche** Lösung mit Referenzen:

```
int Nullstellen(double p, double q, double& x1, double& x2)
{
    double r = p * p / 4 - q;
    if (r < 0) return 0; // keine Lösung
    if (r == 0) {
        x1 = -p / 2;
        return 1; // 1 Lösung
    }
    x1 = -p / 2 - sqrt(r);
    x2 = -p / 2 + sqrt(r);
    return 2; // 2 Lösungen
}
```



## Rückgabe einer Referenz



```
struct KontoT {  
    char Name[20];  
    float Saldo;  
};
```

```
KontoT const& reicher(KontoT const& k1, KontoT const& k2) {  
    if (k1.Saldo > k2.Saldo) return k1;  
    return k2;  
}
```

```
// ...  
KontoT anton = {"Anton", 64.0 }, berta = {"Berta", 100.0};  
cout << reicher(anton, berta).Name << " hat mehr Geld.\n";  
// ...
```

Ausgabe:

**Berta hat mehr Geld.**

## Rückgabe einer Referenz

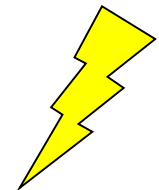
### Achtung:

Niemals Referenz auf lokales Objekt zurückgeben!

```
KontoT const &verdoppeln(KontoT const &konto) {  
    KontoT lokalesKonto = konto;  
    lokalesKonto.Saldo += konto.Saldo;  
    return lokalesKonto;   
}
```

Gute Compiler  
sollten warnen!

- ⇒ nach Verlassen der Funktion wird der Speicher von `lokalesKonto` freigegeben
- ⇒ Adresse von `lokalesKonto` ungültig
- ⇒ zurückgegebene Referenz auf Objekt ungültig
- ⇒ kann funktionieren, muss aber nicht ⇒ **undefiniertes Verhalten!**



**Beispiel:**

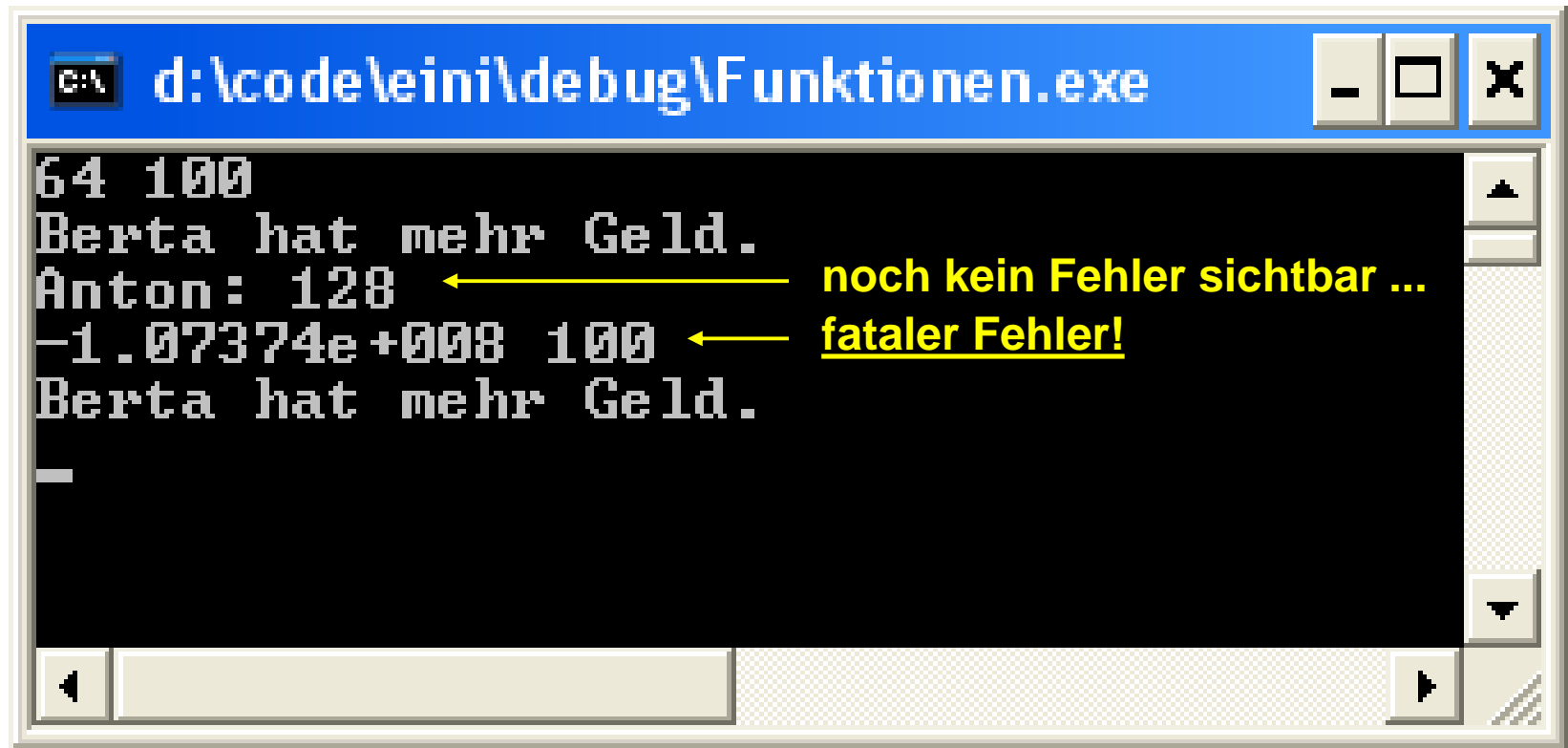
```
KontoT const& reicher(KontoT const& k1, KontoT const& k2) {
    cout << k1.Saldo << " " << k2.Saldo << endl;
    if (k1.Saldo > k2.Saldo) return k1;
    return k2;
}

KontoT const& verdoppeln(KontoT const& konto) {
    KontoT lokalesKonto = konto;
    lokalesKonto.Saldo += konto.Saldo;
    return lokalesKonto;
}

int main() {
    KontoT anton = {"Anton", 64.0 }, berta = {"Berta", 100.0};
    cout << reicher(anton, berta).Name << " hat mehr Geld.\n";
    cout << "Anton: " << verdoppeln(anton).Saldo << endl;
    cout << reicher(verdoppeln(anton), berta).Name
        << " hat mehr Geld.\n";
    return 0;
}
```

## Rückgabe einer Referenz

Resultat:



The screenshot shows a Windows command prompt window titled "d:\code\leini\debug\Funktionen.exe". The output of the program is as follows:

```
64 100
Berta hat mehr Geld.
Anton: 128
-1.07374e+008 100
Berta hat mehr Geld.
```

Yellow annotations are present in the image:

- A yellow arrow points from the text "noch kein Fehler sichtbar ..." to the output line "Anton: 128".
- A yellow arrow points from the text "fataler Fehler!" to the output line "-1.07374e+008 100".

## Übergabe von Arrays:

### Zur Erinnerung:

Name eines Arrays wird **wie** Zeiger auf einen festen Speicherplatz behandelt.

Schon gesehen: mit Zeigern kann man Originalwerte verändern.

Also werden **Arrays nicht als Kopien** übergeben.

```
void inkrement(int b[]) {
    int k;
    for (k = 0; k < 5; k++) b[k]++;
}

int main() {
    int i, a[] = { 2, 4, 6, 8, 10 };
    inkrement(a);
    for (i = 0; i < 5; i++) cout << a[i] << endl;
}
```

**Vorsicht! Gefährliche Implementierung!**

## Übergabe von Arrays:

### Merke:

Ein Array sollte immer mit Bereichsgrenzen übergeben werden, sonst Gefahr der **Bereichsüberschreitung**.

⇒ Inkonsistente Daten oder Speicherverletzung mit Absturz!

```
void inkrement(unsigned int const n, int b[]) {
    int k;
    for (k = 0; k < n; k++) b[k]++;
}

int main() {
    int i, a[] = { 2, 4, 6, 8, 10 };
    inkrement(5, a);
    for (i = 0; i < 5; i++) cout << a[i] << endl;
}
```

## Programmiertes Unheil: Bereichsüberschreitung beim Array (Beispiel)

```
int main() {  
    int i, b[5] = { 0 }, a[] = { 2, 4, 6, 8, 10 };  
    inkrement(5, a);  
    for (i = 0; i < 5; i++) cout << a[i] << " ";  
    cout << endl;  
    for (i = 0; i < 5; i++) cout << b[i] << " ";  
    cout << endl;  
    inkrement(80, a);  
    for (i = 0; i < 5; i++) cout << a[i] << " ";  
    cout << endl;  
    for (i = 0; i < 5; i++) cout << b[i] << " ";  
    cout << endl;  
    return 0;  
}
```

Bereichs-  
fehler

Ausgabe:

3	5	7	9	11
0	0	0	0	0
4	6	8	10	12
1	1	1	1	1

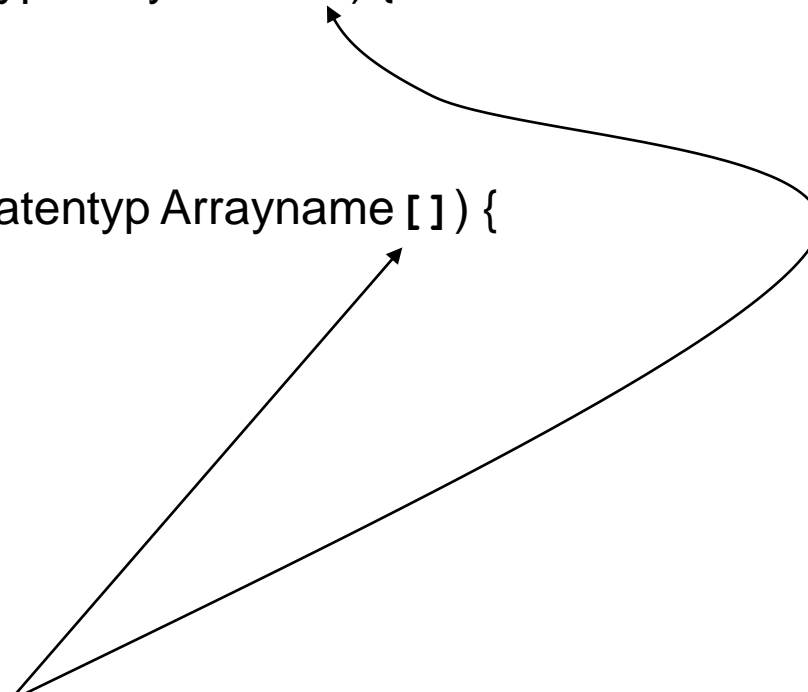
... auch Laufzeitfehler möglich!

## Übergabe eines Arrays:

### Bauplan der Funktionsdefinition:

```
void Funktionsname(Datentyp Arrayname []) {  
    // Anweisungen  
}
```

```
Datentyp Funktionsname(Datentyp Arrayname []) {  
    // Anweisungen  
    return Rückgabewert;  
}
```



### Achtung:

Angabe der eckigen Klammern [] ist zwingend erforderlich.



## Übergabe eines Arrays

### Funktionsaufruf:

Funktionsname(Arrayname) ;

Variable = Funktionsname(Arrayname) ;

```
int a[] = { 1, 2 };  
inkrement(2, a);
```

### oder:

Funktionsname(&Arrayname[0]) ;

Variable = Funktionsname(&Arrayname[0]) ;

```
int a[] = { 1, 2 };  
inkrement(2, &a[0]);
```

Tatsächlich: Übergabe des Arrays mit Zeigern!



## Übergabe eines Arrays als Zeiger:

```
void Fkt (Datentyp *Arrayname) {  
    // ...  
}
```

**Achtung:** Legale Syntax, aber irreführend:

```
void druckeWerte(int const ia[10]) {  
    int i;  
    for (i=0; i < 10; i++)  
        cout << ia[i] << endl;  
}
```

Programmierer ging davon aus, dass Array `ia` 10 Elemente hat.

**Aber:** irreführend!

Der Compiler **ignoriert die Größenangabe.**

## Übergabe von zweidimensionalen Arrays:

Im Prototypen muss **die Spaltenkonstante** angegeben werden.

Warum?

```
void inkrement(const unsigned int zeilen, int b[][4]) {  
    int i, j;  
    for (i = 0; i < zeilen; i++)  
        for (j = 0; j < 4; j++) b[i][j]++;  
}
```

```
int main() {  
    int i, j, a[][4] = {{ 2, 4, 6, 8 }, { 9, 7, 5, 3 }};  
    inkrement(2, a);  
    for (i = 0; i < 2; i++) {  
        for (j = 0; j < 4; j++) cout << a[i][j] << " ";  
        cout << endl;  
    }  
}
```

## Übergabe von zweidimensionalen Arrays:

```
void inkrement(unsigned int const z, int b[][5]);
```

Mindestanforderung!

oder:

```
void inkrement(unsigned int const z, int b[2][5]);
```

Unnötig, wenn immer alle Zeilen bearbeitet werden:  
Zeilenzahl **zur Übersetzungszeit bekannt**.

Wenn aber manchmal nur die erste Zeile bearbeitet wird, dann könnte das Sinn machen.

## Übergabe eines zweidimensionalen Arrays

### Funktionsaufruf:

Funktionsname(Arrayname) ;

Variable = Funktionsname(Arrayname) ;

```
int a[][2] = {{1,2},{3,4}};  
inkrement(2, a);
```

### oder:

Funktionsname(&Arrayname[0][0]) ;

Variable = Funktionsname(&Arrayname[0][0]) ;

```
int a[][2] = {{1,2},{3,4}};  
inkrement(2, &a[0][0]);
```

Tatsächlich: Übergabe des Arrays mit Zeigern!

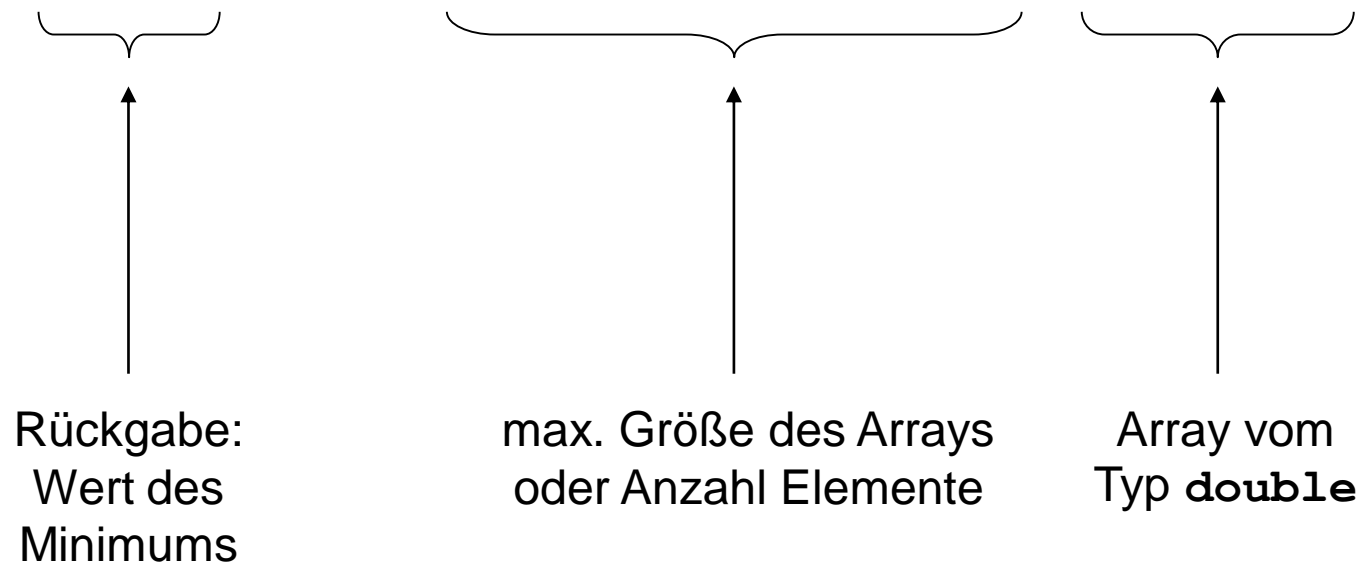
## 1. Aufgabe:

Finde Minimum in einem Array von Typ `double`

Falls Array leer, gebe Null zurück ☹ → später: Ausnahmebehandlung

Prototyp, Schnittstelle:

```
double dblmin(unsigned int const n, double a[]);
```



## 1. Aufgabe:

Finde Minimum in einem Array von Typ `double`

Falls Array leer, gebe Null zurück

Implementierung:

```
double dblmin(unsigned int const n, double a[]) {
    // leeres Array?
    if (n == 0) return 0.0;
    // Array hat also mindestens 1 Element!
    double min = a[0];
    int i;
    for (i = 1; i < n; i++)           // Warum i = 1 ?
        if (a[i] < min)
            min = a[i];
    return min;
}
```

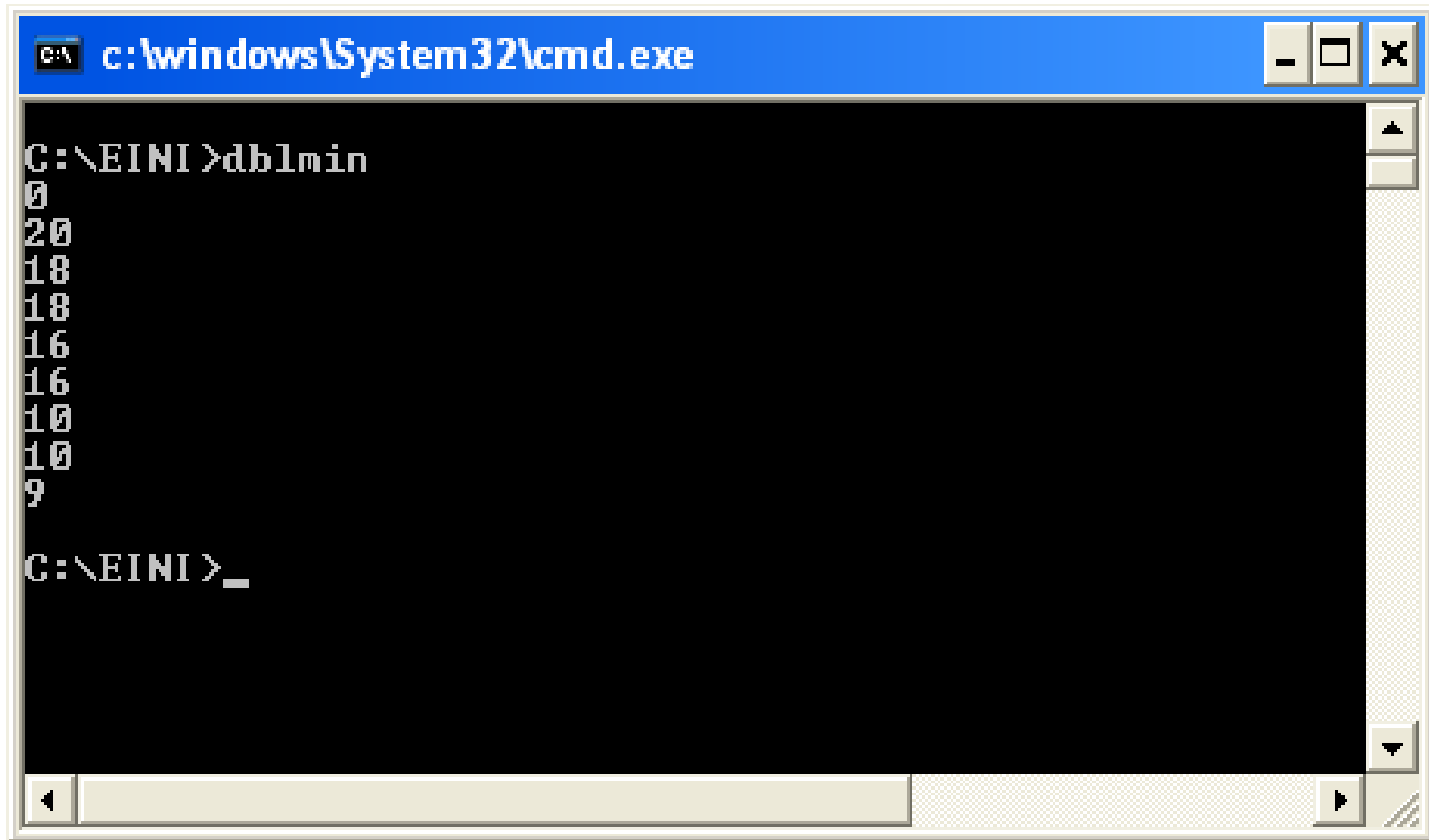
Test:

```
double dblmin(unsigned int const n, double a[]) {
    if (n == 0) return 0.0;
    double min = a[0];
    int i;
    for (i = 1; i < n; i++)
        if (a[i] < min)
            min = a[i];
    return min;
}
```

```
int main() {
    double a[] = {20.,18.,19.,16.,17.,10.,12.,9.};
    int k;
    for (k = 0; k <= 8; k++)
        cout << dblmin(k, a) << endl;
    return 0;
}
```



Der „Beweis“ ...



```
c:\windows\System32\cmd.exe

C:\EINI>dblmin
0
20
18
18
16
16
10
10
9

C:\EINI>_
```

**Variation der 1. Aufgabe:**

Finde Minimum in einem Array von Typ **short** (statt **double**)

Falls Array leer, gebe Null zurück

Implementierung:

```
short dblmin(unsigned int const n, short a[]) {  
    // leeres Array?  
    if (n == 0) return 0.0;  
    // Array hat also mindestens 1 Element!  
    short min = a[0];  
    int i;  
    for (i = 1; i < n; i++)  
        if (a[i] < min)  
            min = a[i];  
    return min;  
}
```

**Beobachtung:** Programmtext fast identisch, nur Datentyp verändert auf **short**

**Beobachtung:** Programmtext fast identisch, nur Datentyp verändert

⇒ man müsste auch den Datentyp wie einen Parameter übergeben können!

Implementierung durch **Schablonen** (*templates*):

```
template <typename T>
T dblmin(unsigned int const n, T a[]) {
    // leeres Array?
    if (n == 0) return 0.0;
    // Array hat also mindestens 1 Element!
    T min = a[0];
    int i;
    for (i = 1; i < n; i++)
        if (a[i] < min)
            min = a[i];
    return min;
}
```

Test:

```
template <typename T>
T arrayMin(unsigned int const n, T a[]) {
    if (n == 0) return 0.0;
    T min = a[0];
    int i;
    for(i = 1; i < n; i++)
        if (a[i] < min) min = a[i];
    return min;
}
```

```
int main() {
    double a[] = {20.,18.,19.,16.,17.,10.,12.,9.};
    short b[] = {4, 9, 3, 5, 2, 6, 4, 1 };
    int k;
    for (k = 0; k <= 8; k++) {
        cout << arrayMin<double>(k, a) << " - ";
        cout << arrayMin<short>(k, b) << endl;
    }
    return 0;
}
```

**Beim Compilieren:**  
Automatische  
Codegenerierung!

Funktionsdeklaration **als Schablone** (*template*):

```
template<typename T> Funktionsdeklaration;
```

**Achtung:**

Datentypen von Parametern und ggf. des Rückgabewertes mit **T** als Platzhalter

Mehr als ein Typparameter möglich:

```
template<typename T, typename S> Funktionsdeklaration;
```

U.S.W.

Auch Konstanten als Parameter möglich: ↴

```
template<typename T, int const i> Funktionsdeklaration;
```

Funktionsdefinition **als Schablone**:

```
template<typename T> Funktionsdeklaration {  
  
    // Anweisungen und ggf. return  
    // ggf. Verwendung von Typ T als Platzhalter  
  
};
```

### **Achtung:**

Nicht jeder Typ gleichen Namens wird durch Platzhalter T ersetzt.

Man muss darauf achten, **für welchen Bezeichner** der Datentyp parametrisiert werden soll!

## 2. Aufgabe:

Finde Index des 1. Minimums in einem Array von Typ `int`.  
Falls Array leer, gebe `-1` zurück.

Entwurf mit Implementierung:

```
int imin(unsigned int const n, int a[]) {  
    // leeres Array?  
    if (n == 0) return -1;  
    // Array hat also mindestens 1 Element!  
    int i, imin = 0;  
    for (i = 1; i < n; i++)  
        if (a[i] < a[imin]) imin = i;  
    return imin;  
}
```

**Variation der 2. Aufgabe:**

Finde Index des 1. Minimums in einem Array mit **numerischem** Typ.  
Falls Array leer, gebe **-1** zurück.

Implementierung mit **Schablonen**:


```
template <typename T>
int imin(unsigned int const n, T a[]) {
    // leeres Array?
    if (n == 0) return -1;
    // Array hat also mindestens 1 Element!
    int i, imin = 0;
    for (i = 1; i < n; i++)
        if (a[i] < a[imin]) imin = i;
    return imin;
}
```



Aufruf einer **Funktionsschablone**: (hier mit Parameter und Rückgabewert)

```
template<typename T> T Funktionsbezeichner(T Bezeichner) {  
  
    T result;  
    // Anweisungen  
    return result;  
  
}
```

```
int main() {  
    short s = Funktionsbezeichner<short>(1023);  
    int i = Funktionsbezeichner<int>(1023);  
    float f = Funktionsbezeichner<float>(1023);  
    return 0;  
}
```



Typparameter kann entfallen, wenn Typ aus Parameter **eindeutig** erkennbar!

## Neue Aufgabe:

Sortiere Elemente in einem Array vom Typ `double`.  
Verändere dabei die Werte im Array.

Bsp:

8	44	14	81	12
8	44	14	81	12
12	44	14	81	8
12	44	14	81	8
81	44	14	12	8
81	44	14	12	8
81	44	14	12	8
81	44	14	12	8
81	44	14	12	8
81	44	14	12	8

$\min\{8, 44, 14, 81\} = 8 < 12$  ?

ja → tausche 8 und 12

$\min\{12, 44, 14\} = 12 < 81$  ?

ja → tausche 12 und 81

$\min\{81, 44\} = 44 < 14$  ?

nein → keine Vertauschung

$\min\{81\} = 81 < 44$  ?

nein → keine Vertauschung

fertig!

**Neue Aufgabe:**

Sortiere Elemente in einem Array vom Typ `double` oder `int` oder ...  
Verändere dabei die Werte im Array.

**Mögliche Lösung mit Schablonen:**

```
template <typename T>
void sortiere(unsigned int const n, T a[]) {
    int i, k;
    for (k = n - 1; k > 1; k--) {
        i = imin<T>(k - 1, a);
        if (a[i] < a[k]) swap<T>(a[i], a[k]);
    }
}
```

```
template <typename T>
void swap(T &a, T &b) {
    T h = a; a = b; b = h;
}
```

**Wir halten fest:**

- **Arrays** sind **statische** Datenbehälter: ihre Größe ist nicht veränderbar.
- Die **Bereichsgrenzen** von Arrays sollten an Funktionen übergeben werden, wenn sie nicht zur Übersetzungszeit bekannt sind.
- Die Programmierung mit Arrays ist unhandlich!  
Ist ein **Relikt** aus C. In C++ gibt es handlichere Datenstrukturen.  
(Kommt bald ... Geduld!)
- Die **Aufteilung von komplexen Aufgaben in kleine Teilaufgaben**, die dann in parametrisierten Funktionen abgearbeitet werden, erleichtert die Lösung des Gesamtproblems. Beispiel: Sortieren!
- Funktionen für spezielle kleine Aufgaben sind **wiederverwendbar** und bei anderen Problemstellungen einsetzbar.  
⇒ Deshalb gibt es viele Funktionsbibliotheken, die die Programmierung erleichtern!
- **Funktionsschablonen** ermöglichen Parametrisierung des Datentyps.  
Die Funktionen werden bei Bedarf automatisch zur Übersetzungszeit erzeugt.

```
#include <cmath>
```

<code>exp()</code>	Exponentialfunktion $e^x$
<code>ldexp()</code>	Exponent zur Basis 2, also $2^x$
<code>log()</code>	natürlicher Logarithmus $\log_e x$
<code>log10()</code>	Logarithmus zur Basis 10, also $\log_{10} x$
<code>pow()</code>	Potenz $x^y$
<code>sqrt()</code>	Quadratwurzel
<code>ceil()</code>	nächst größere oder gleiche Ganzzahl
<code>floor()</code>	nächst kleinere oder gleiche Ganzzahl
<code>fabs()</code>	Betrag einer Fließkommazahl
<code>modf()</code>	zerlegt Fließkommazahl in Ganzzahlteil und Bruchteil
<code>fmod()</code>	Modulo-Division für Fließkommazahlen

und zahlreiche trigonometrische Funktionen wie `sin`, `cosh`, `atan`

```
#include <stdlib.h>
```

<code>atof()</code>	Zeichenkette in Fließkommazahl wandeln
<code>atoi()</code>	Zeichenkette in Ganzzahl wandeln ( <b>A</b> SCII <b>t</b> o <b>i</b> nteger)
<code>atol()</code>	Zeichenkette in lange Ganzzahl wandeln
<code>strtod()</code>	Zeichenkette in <b>d</b> ouble wandeln
<code>strtol()</code>	Zeichenkette in <b>l</b> ong wandeln
<code>rand()</code>	Liefert eine Zufallszahl
<code>srand()</code>	Initialisiert den Zufallszahlengenerator

und viele andere ...

Wofür braucht man diese Funktionen?

## Funktion `main` (→ Hauptprogramm)

wir kennen:

```
int main() {
    // ...
    return 0;
}
```

allgemeiner:

```
int main(int argc, char *argv[]) {
    // ...
    return 0;
}
```

Anzahl der  
Elemente

Array von  
Zeichenketten

Programmaufruf in der Kommandozeile:

```
D:\> mein_programm 3.14 hallo 8
```

↑                   ↑                   ↑                   ↑  
`argv[0]`   `argv[1]`   `argv[2]`   `argv[3]`

Alle Parameter werden **textuell** als Zeichenkette aus der Kommandozeile übergeben!

`argc` hat Wert 4

**Funktion main** (→ Hauptprogramm)

Programmaufruf in der Kommandozeile:

```
D:\> mein_programm 3.14 hallo 8
```

Alle Parameter werden **textuell** als Zeichenkette aus der Kommandozeile übergeben!

```
#include <cstdlib>
int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 4) {
        cerr << argv[0] << ": 3 Argumente erwartet!" << endl;
        return 1;
    }
    double dwert = atof(argv[1]);
    int iwert = atoi(argv[3]);
    // ...
}
```



```
#include <cctype>
```

<code>tolower()</code>	Umwandlung in Kleinbuchstaben
<code>toupper()</code>	Umwandlung in Großbuchstaben
<code>isalpha()</code>	Ist das Zeichen ein Buchstabe?
<code>isdigit()</code>	Ist das Zeichen eine Ziffer?
<code>isxdigit()</code>	Ist das Zeichen eine hexadezimale Ziffer?
<code>isalnum()</code>	Ist das Zeichen ein Buchstabe oder eine Ziffer?
<code>isctrl()</code>	Ist das Zeichen ein Steuerzeichen?
<code>isprint()</code>	Ist das Zeichen druckbar?
<code>islower()</code>	Ist das Zeichen ein Kleinbuchstabe?
<code>isupper()</code>	Ist das Zeichen ein Großbuchstabe?
<code>isspace()</code>	Ist das Zeichen ein Leerzeichen?

## Beispiele für nützliche Hilfsfunktionen:

**Aufgabe:** Wandle alle Zeichen einer Zeichenkette in Großbuchstaben!

```
#include <cctype>
char *ToUpper(char *s) {
    char *t = s;
    while (*s != 0) *s++ = toupper(*s);
    return t;
}
```

**Aufgabe:** Ersetze alle nicht druckbaren Zeichen durch ein Leerzeichen.

```
#include <cctype>
char *MakePrintable(char *s) {
    char *t = s;
    while (*s != 0) *s++ = isprint(*s) ? *s : ' ';
    return t;
}
```

```
#include <ctime>
```

<code>time()</code>	Liefert aktuelle Zeit in Sekunden seit dem 1.1.1970 UTC
<code>localtime()</code>	wandelt UTC-„Sekundenzeit“ in lokale Zeit ( <code>struct</code> )
<code>asctime()</code>	wandelt Zeit in <code>struct</code> in lesbare Form als <code>char[]</code>

und viele weitere mehr ...

```
#include <iostream>
#include <ctime>

int main() {
    time_t jetzt = time(0);
    char *uhrzeit = asctime(localtime(&jetzt));
    std::cout << uhrzeit << std::endl;
    return 0;
}
```

*engl. FSM: finite state machine*

Der DEA ist **zentrales Modellierungswerkzeug** in der Informatik.

### Definition

Ein **deterministischer endlicher Automat** ist ein 5-Tupel  $(S, \Sigma, \delta, F, s_0)$ , wobei

- $S$  eine endliche Menge von Zuständen,
- $\Sigma$  das endliche Eingabealphabet,
- $\delta: S \times \Sigma \rightarrow S$  die Übergangsfunktion,
- $F$  eine Menge von Finalzuständen mit  $F \subseteq S$  und
- $s_0$  der Startzustand. ■

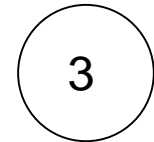
Er startet immer im Zustand  $s_0$ , verarbeitet Eingaben und wechselt dabei seinen Zustand. Er terminiert ordnungsgemäß, wenn Eingabe leer **und** ein Endzustand aus  $F$  erreicht.

⇒ Beschreibung eines Programms!

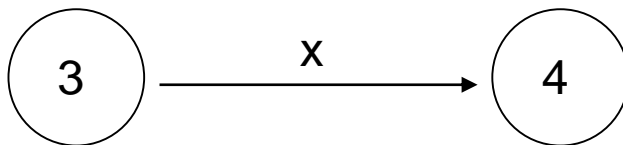
### Grafische Darstellung

Zustände als Kreise

im Kreis der Bezeichner des Zustands (häufig durchnummeriert)



**Übergänge** von einem Zustand zum anderen sind **abhängig von der Eingabe**. Mögliche Übergänge sind durch Pfeile zwischen den Zuständen dargestellt; über / unter dem Pfeil steht das **Eingabesymbol**, das den Übergang auslöst.

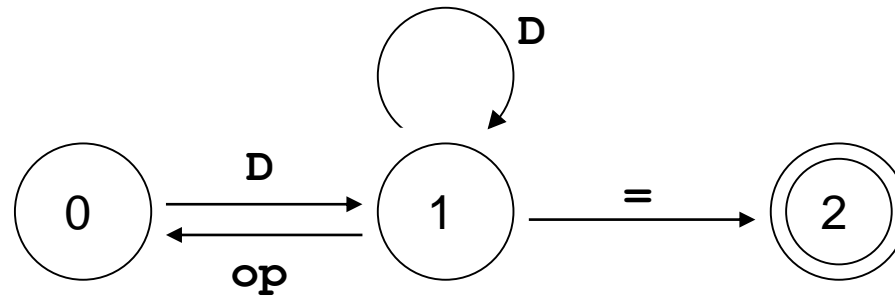


**Endzustände** werden durch „Doppelkreise“ dargestellt.



### Beispiel:

Entwerfe DEA, der arithmetische Ausdrücke ohne Klammern für nichtnegative Ganzzahlen auf Korrektheit prüft.



Zustände  $S = \{ 0, 1, 2 \}$

Startzustand  $s_0 = 0$

Endzustände  $F = \{ 2 \}$

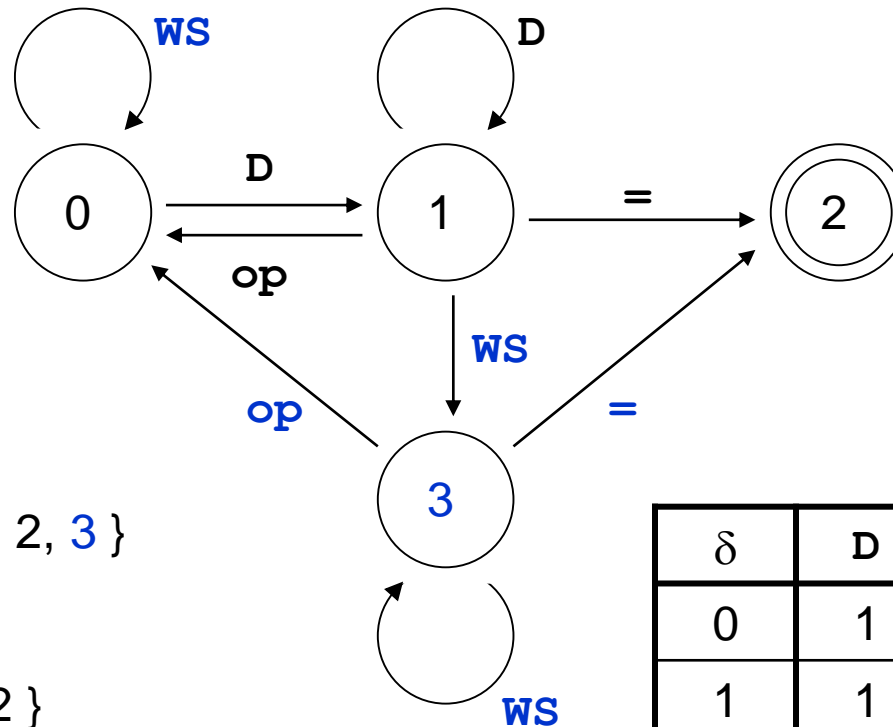
Eingabealphabet  $\Sigma = \{ D, op, = \}$

$\delta$	D	op	=
0	1	-1	-1
1	1	0	2
2	-	-	-

-1: Fehlerzustand

### Beispiel:

Erweiterung: Akzeptiere auch „white space“ zwischen Operanden und Operatoren



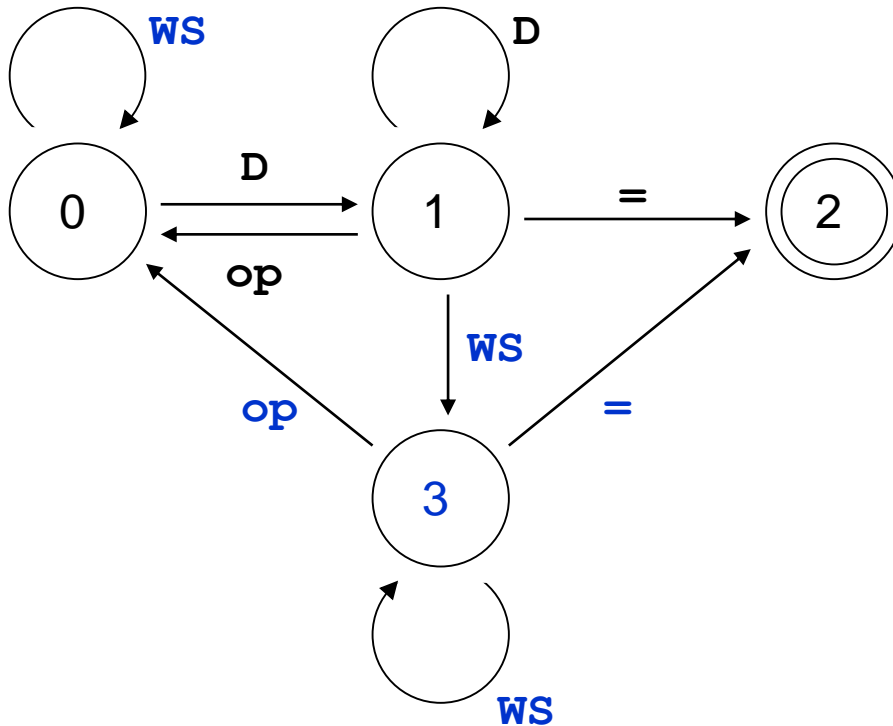
Zustände  $S = \{ 0, 1, 2, 3 \}$

Startzustand  $s_0 = 0$

Endzustände  $F = \{ 2 \}$

Eingabealphabet  $\Sigma = \{ D, op, =, WS \}$

$\delta$	D	op	=	WS
0	1	-1	-1	0
1	1	0	2	3
2	-	-	-	-
3	-1	0	2	3



Eingabe:

3 + 4 - 5 =

Zustand 0, lese D →  
 Zustand 1, lese op →  
 Zustand 0, lese WS →  
 Zustand 0, lese D →  
 Zustand 1, lese WS →  
 Zustand 3, lese op →  
 Zustand 0, lese WS →  
 Zustand 0, lese D →  
 Zustand 1, lese = →  
 Zustand 2 (Endzustand)



Wenn **grafisches Modell** aufgestellt, dann Umsetzung in ein **Programm**:

- Zustände durchnummeriert: 0, 1, 2, 3
- Eingabesymbole: z.B. als `enum { D, OP, IS, WS }` (**IS** für =)
- Übergangsfunktion als Tabelle / Array:

```
int GetState[][4] = {
    { 1, -1, -1, 0 },
    { 1, 0, 2, 3 },
    { 2, 2, 2, 2 },
    { -1, 0, 2, 3 }
};
```

Array enthält die gesamte Steuerung des Automaten!

- Eingabesymbole erkennen u.a. mit: `isdigit()`, `isspace()`

```
bool isbinop(char c) {
    return c == '+' || c == '-' || c == '*' || c == '/';
}
```

```
enum TokenT { D, OP, IS, WS, ERR };
```

```
bool Akzeptor(char const* input) {  
    int state = 0;  
    while (*input != '\0' && state != -1) {  
        char s = *input++;  
        TokenT token = ERR;  
        if (isdigit(s)) token = D;  
        if (isbinop(s)) token = OP;  
        if (s == '=') token = IS;  
        if (isspace(s)) token = WS;  
        state = (token == ERR) ? -1 : GetState[state][token];  
    }  
    return (state == 2);  
}
```

## Statische Funktionen (in dieser Form: Relikt aus C)

sind Funktionen, die nur für Funktionen in derselben Datei sichtbar (aufrufbar) sind.

### Funktionsdeklaration:

**static** Datentyp Funktionsname(Datentyp Bezeichner);

```
#include <iostream>
using namespace std;
static void funktion1 () {
    cout << "F1" << endl;
}
void funktion2 () {
    funktion1 ();
    cout << "F2" << endl;
}
```

```
void funktion1 ();
void funktion2 ();

int main () {
    funktion1 ();
    funktion2 ();
    return 0;
}
```



**Fehler!**  
**funktion1**  
nicht  
sichtbar!

wenn entfernt, dann  
gelingt Compilierung:

g++ \*.cpp -o test

Datei *Funktionen.cpp*

Datei *Haupt.cpp*

## Inline-Funktionen

sind Funktionen, deren Anweisungsteile an der Stelle des Aufrufes eingesetzt werden

### Funktionsdeklaration:

**inline** Datentyp Funktionsname(Datentyp Bezeichner);

```
#include <iostream>
using namespace std;
inline void funktion() {
    cout << "inline" << endl;
}
int main() {
    cout << "main" << endl;
    funktion();
    return 0;
}
```

→ wird zur Übersetzungszeit ersetzt zu:

↓

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
    cout << "main" << endl;
    cout << "inline" << endl;
    return 0;
}
```

## Inline-Funktionen

### Vorteile:

1. Man behält alle positiven Effekte von Funktionen:
  - Bessere **Lesbarkeit** / Verständnis des Codes.
  - Verwendung von Funktionen sichert **einheitliches Verhalten**.
  - **Änderungen** müssen einmal nur im Funktionsrumpf durchgeführt werden.
  - Funktionen können in anderen Anwendungen **wiederverwendet** werden.
2. Zusätzlich bekommt man **schnelleren Code!**  
(keine Sprünge im Programm, keine Kopien bei Parameterübergaben)

### Nachteil:

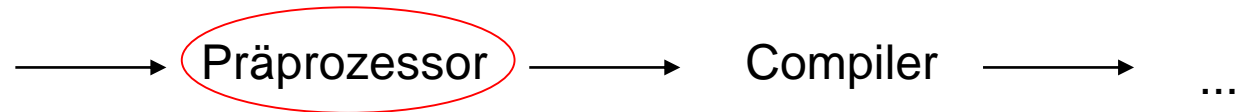
Das übersetzte Programm wird größer (benötigt mehr Hauptspeicher)

**Aber:** Vorangestelltes `inline` ist nur eine Anfrage an den Compiler, darf von ihm ignoriert werden.

## „Inline-Funktionsartiges“ mit Makros

Da müssen wir etwas ausholen ...

```
#include <iostream>
int main() {
    int x = 1;
    std::cout << x*x;
    return 0;
}
```



ersetzt Makros (beginnen mit #):  
z.B. lädt Text aus Datei `iostream.h`

**#define** Makroname Ersetzung

**Bsp:**

```
#define MAX_SIZE 100
#define ASPECT_RATIO 1.653
```

Makronamen im Programmtext werden vom Präprozessor durch ihre Ersetzung ersetzt

```
#define MAX_SIZE 100
void LeseSatz(char *Puffer) {
    char c = 0;
    int i = 0;
    while (i < MAX_SIZE && c != '.') {
        cin >> c;
        *Puffer++ = c;
    }
}
```

```
void LeseSatz(char *Puffer) {
    char c = 0;
    int i = 0;
    while (i < 100 && c != '.') {
        cin >> c;
        *Puffer++ = c;
    }
}
```

## Makros ...

dieser Art sind Relikt aus C!



Nach Durchlauf  
durch den  
Präprozessor

**Tipp: NICHT VERWENDEN!**

stattdessen:

```
int const max_size = 100;
```

## „Inline-Funktionsartiges“ mit Makros

```
#define SQUARE(x) x*x
```

**Vorsicht:** `SQUARE(x+3)` ergibt: `x+3*x+3`

besser:

```
#define SQUARE(x) (x)*(x)
```

→

`SQUARE(x+3)` ergibt: `(x+3)*(x+3)`

noch besser:

```
#define SQUARE(x) ((x)*(x))
```

→

`SQUARE(x+3)` ergibt: `((x+3)*(x+3))`

auch mehrere Parameter möglich:

```
#define MAX(x, y) ((x)>(y)?(x):(y))
```

```
int a = 5;
int z = MAX(a+4, a+a);
```

ergibt:

```
int a = 5;
int z = ((a+4)>(a+a)?(a+4):(a+a));
```

**Nachteil:**

ein Ausdruck wird **2x** ausgewertet!



## „Inline-Funktionsartiges“ mit Makros

(Relikt aus C)

## Beliebiger Unsinn möglich ...

```
// rufe Funktion fkt() mit maximalem Argument auf  
#define AUFRUF_MIT_MAX(x,y) fkt(MAX(x,y))
```

*„Makros wie diese haben so viele Nachteile,  
dass schon das Nachdenken über sie nicht zu ertragen ist.“*

Scott Meyers: Effektiv C++ programmieren, S. 32, 3. Aufl., 2006.

```
int a = 5, b = 0;  
AUFRUF_MIT_MAX(++a, b); // a wird 2x inkrementiert  
AUFRUF_MIT_MAX(++a, b+10); // a wird 1x inkrementiert
```

**Tipp:** *Statt funktionsartigen Makros besser inline-Funktionen verwenden!*