

Einführung in die Programmierung

Wintersemester 2012/13

Prof. Dr. Günter Rudolph

Lehrstuhl für Algorithm Engineering

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` – Anweisung: `#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 1. Funktionsaufruf stehen!

Alternativ:

Die Funktionsdeklaration muss vor dem 1. Funktionsaufruf stehen. Dann kann die Funktionsdefinition später, also auch nach dem ersten Funktionsaufruf, erfolgen.

(a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel: bsp1.exe
#include <iostream>

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

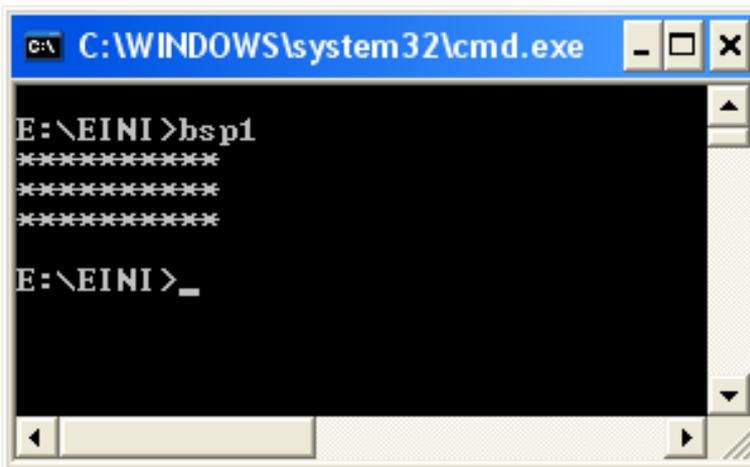
int main() {
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();

    return 0;
}
```

Zuerst Funktionsdefinition.

Dann Funktionsaufrufe.

Ausgabe:



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

(a) Funktionen ohne Parameter und ohne Rückgabewert

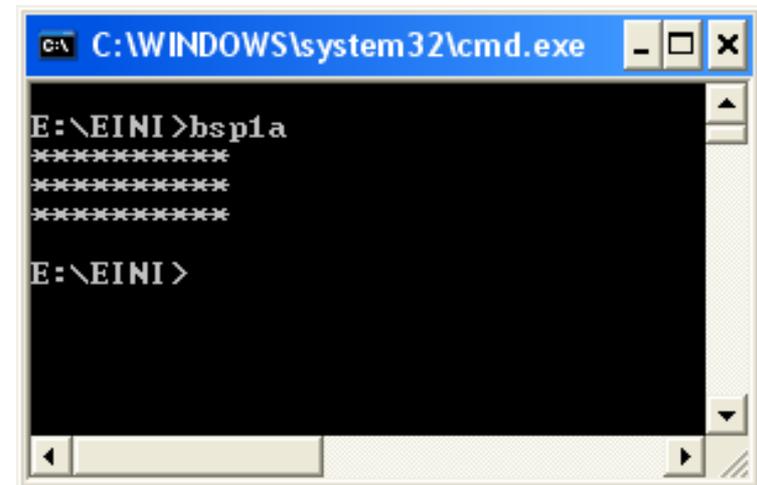
```
// Komplettes Beispiel: bspla.exe
#include <iostream>
void zeichne_sterne();
int main() {
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    zeichne_sterne();
    return 0;
}
void zeichne_sterne() {
    int k = 10;
    while (k--) std::cout << '*\n';
}
```

Zuerst Funktionsdeklaration.

Dann Funktionsaufrufe.

Später Funktionsdefinition.

Ausgabe:

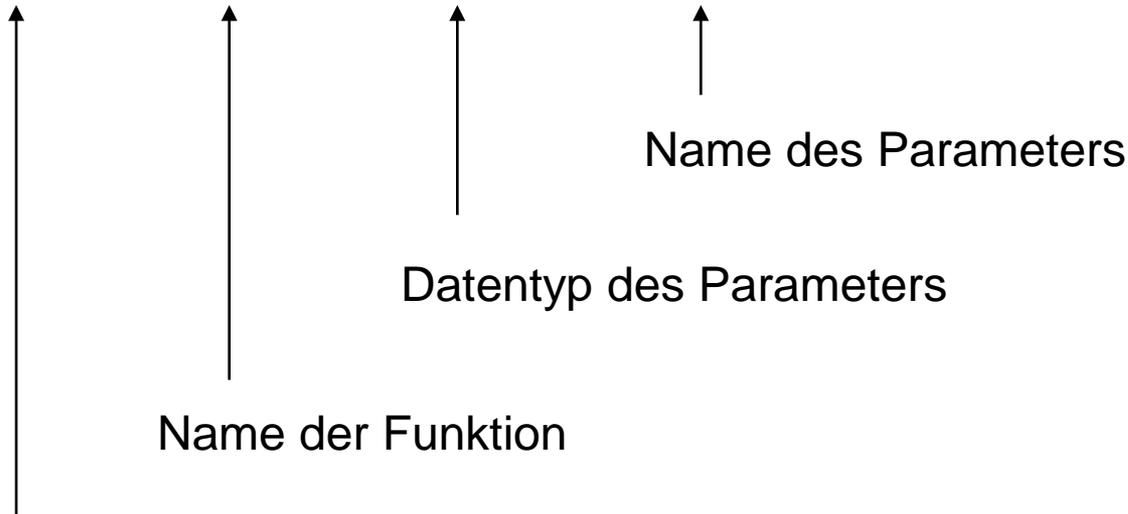


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bspla
*****
*****
*****
E:\EINI>
```

(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: bsp2.exe
#include <iostream>

void zeichne_sterne(int k) {

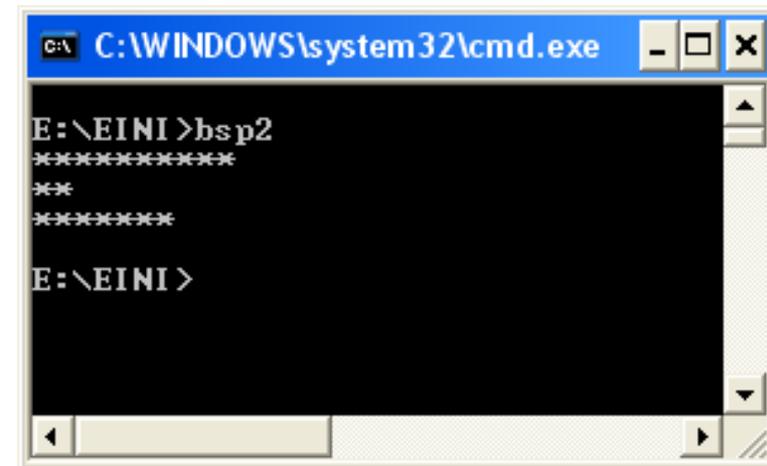
    while (k-->0) std::cout << '*';
    std::cout << std::endl;
}

int main() {

    zeichne_sterne(10);
    zeichne_sterne(2);
    zeichne_sterne(7);

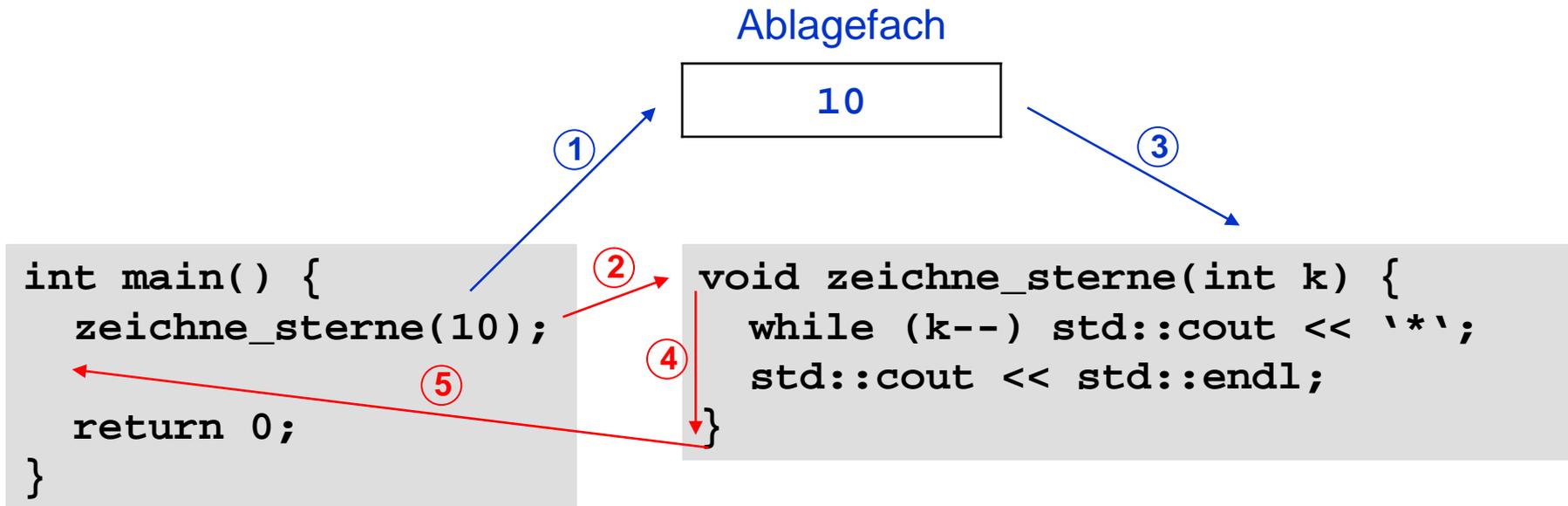
    return 0;
}
```

Ausgabe:



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

Wie wird die Parameterübergabe technisch realisiert?



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: bsp2a.exe
#include <iostream>

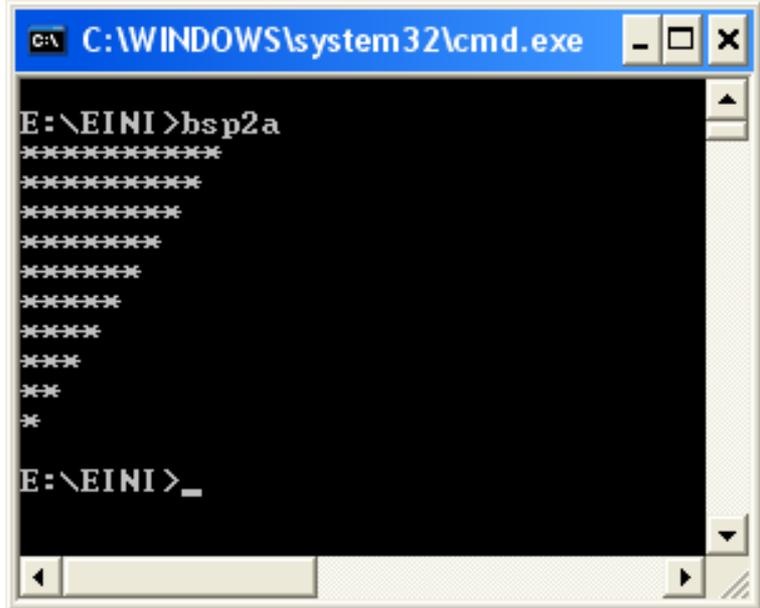
void zeichne_sterne(int k) {
    while (k--) std::cout << '*';
    std::cout << std::endl;
}

int main() {
    int i;

    for (i = 10; i > 0; i--)
        zeichne_sterne(i);

    return 0;
}
```

Ausgabe:

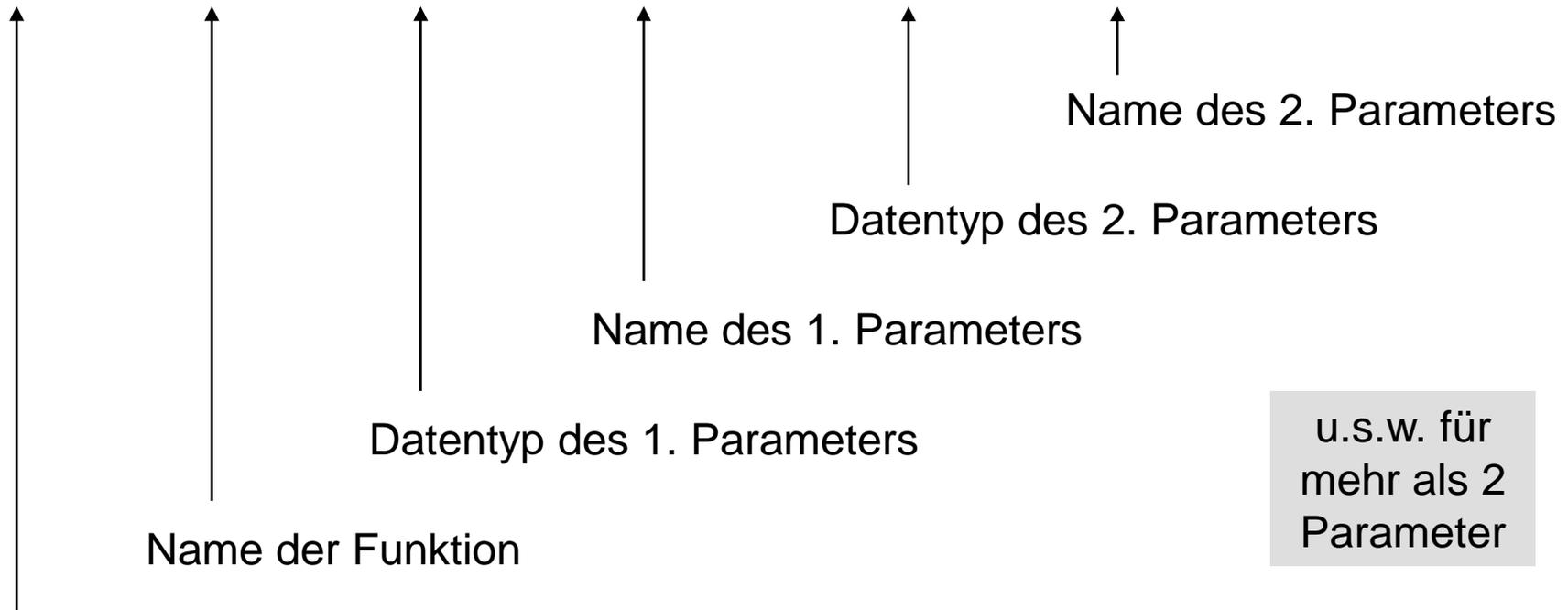


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
E:\EINI>bsp2a
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
*****
E:\EINI>_
```

(b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert

- Funktionsdeklaration:

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



`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-->0) 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!

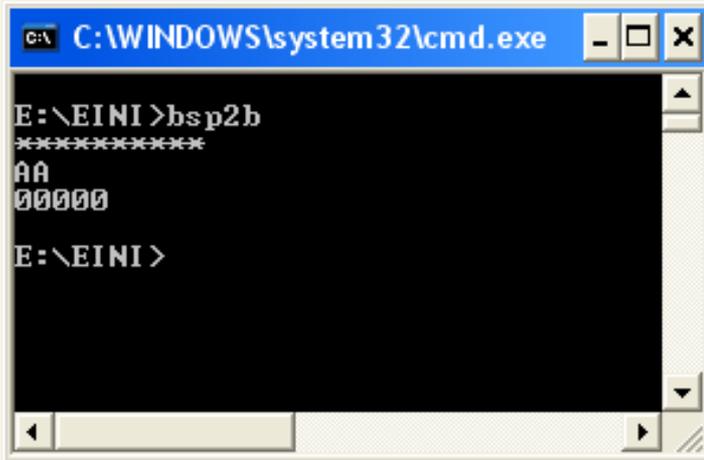
(b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel: Bsp2b.exe
#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:

A screenshot of a Windows command prompt window. The title bar reads "C:\WINDOWS\system32\cmd.exe". The command prompt shows the execution of the program "bsp2b" from the directory "E:\EINI". The output consists of three lines: a line of ten asterisks, a line of two 'A's, and a line of five '0's. The prompt returns to "E:\EINI>".

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

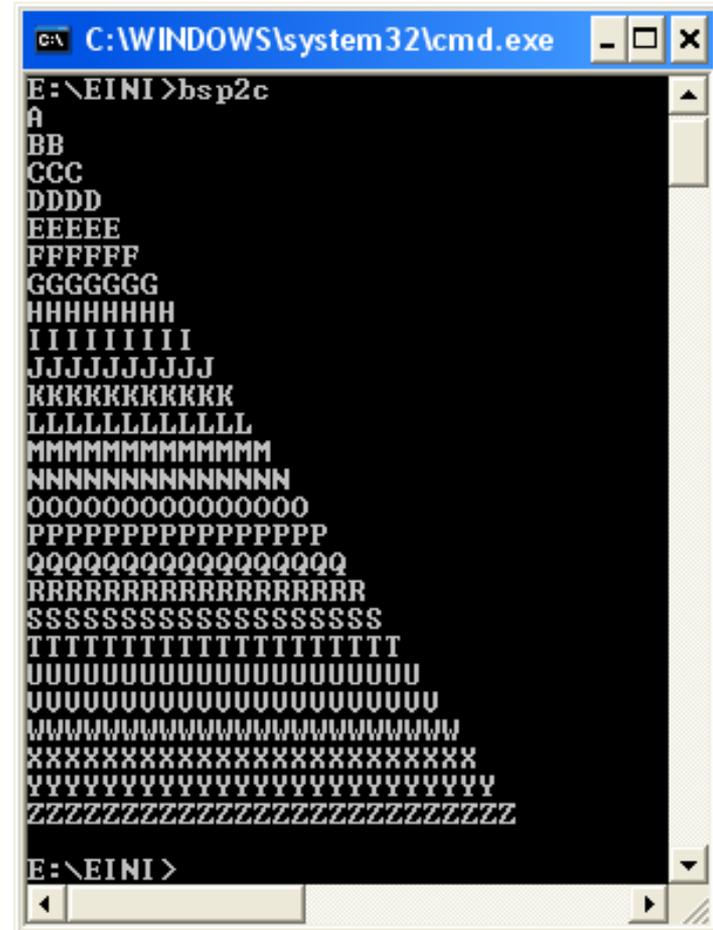
(b) Funktionen mit Parametern aber ohne Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel: Bsp2c.exe
#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
JJJJJJJJJ
KKKKKKKKK
LLLLLLLLL
MMMMMMMMM
NNNNNNNNN
OOOOOOOOO
PPPPPPPPP
QQQQQQQQQ
RRRRRRRRR
SSSSSSSSS
TTTTTTTTT
UUUUUUUUU
VVVVVVVVV
WWWWWWWWW
XXXXXXXXX
YYYYYYYYY
ZZZZZZZZZ
E:\EINI>
```

(c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert

- Funktionsdeklaration:

Datentyp Bezeichner () ;



Nichts zwischen Klammern \Rightarrow keine Parameter

Name der Funktion

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;  
}
```

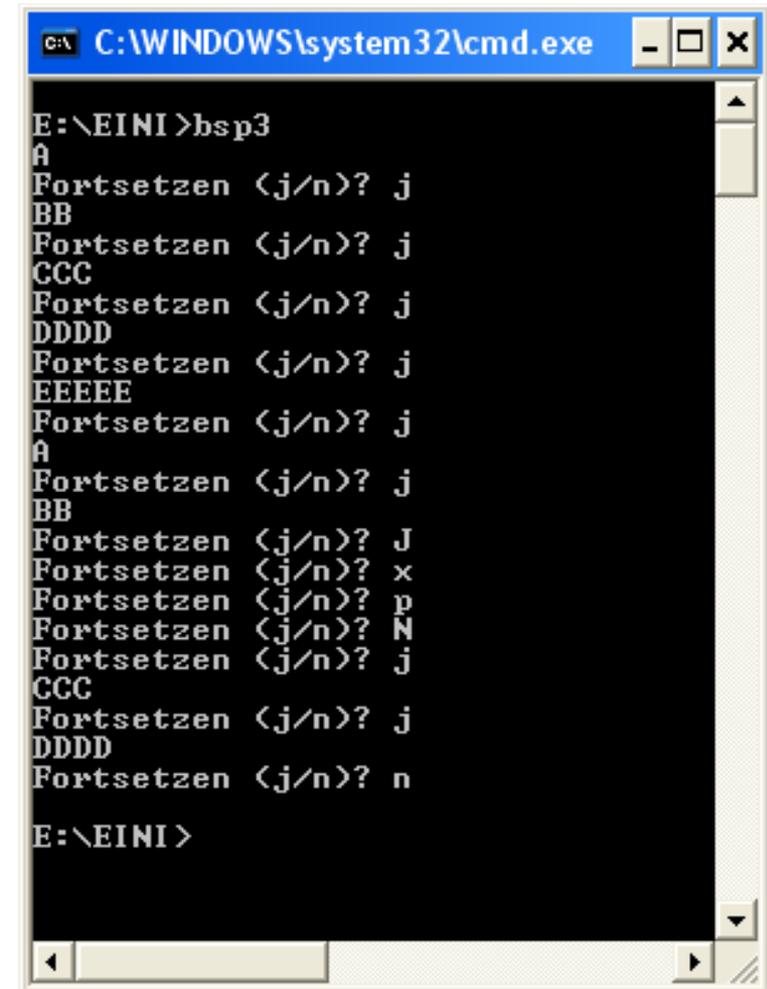
(c) Funktionen ohne Parameter aber mit Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel: bsp3.exe
#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;  
}
```

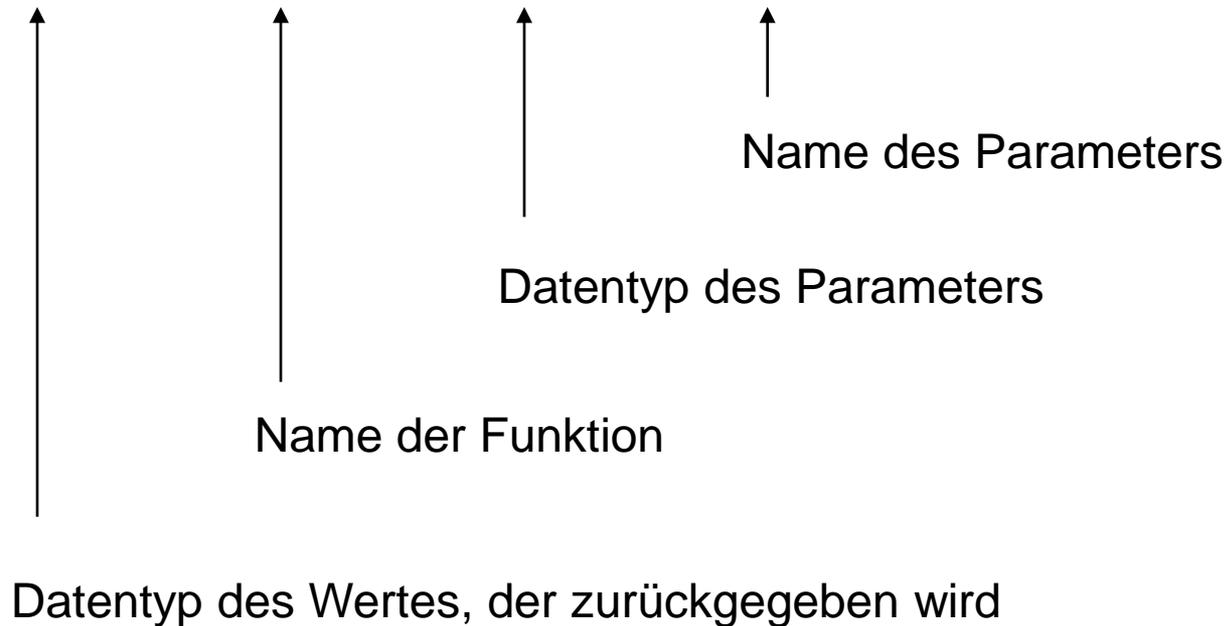
'n'
Ablagefach

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;  
}
```

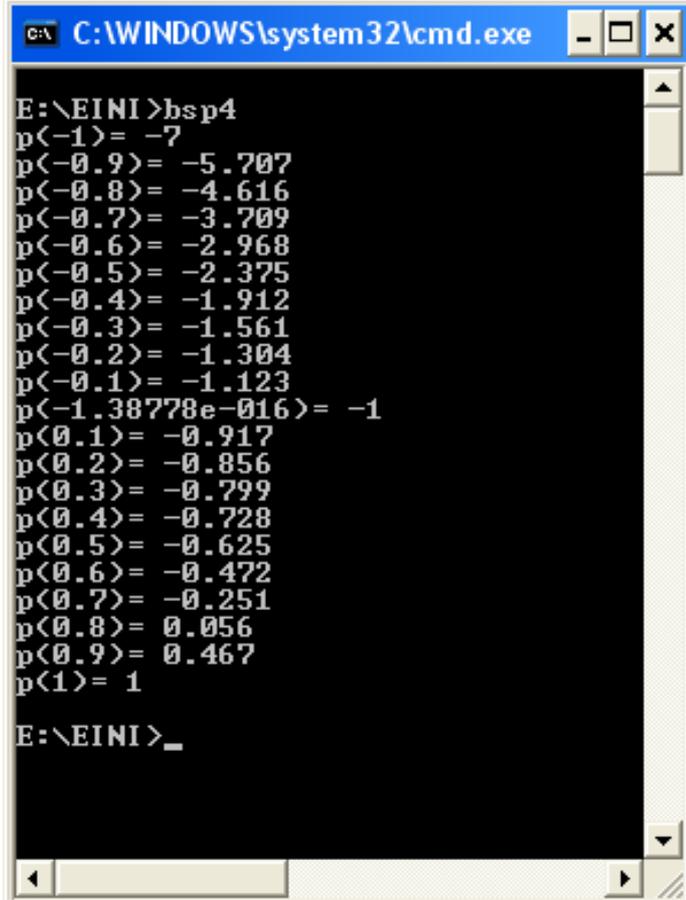
(d) Funktionen mit Parameter und mit Rückgabewert

```
// Komplettes Beispiel: Bsp4.exe

#include <iostream>
using namespace std;

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

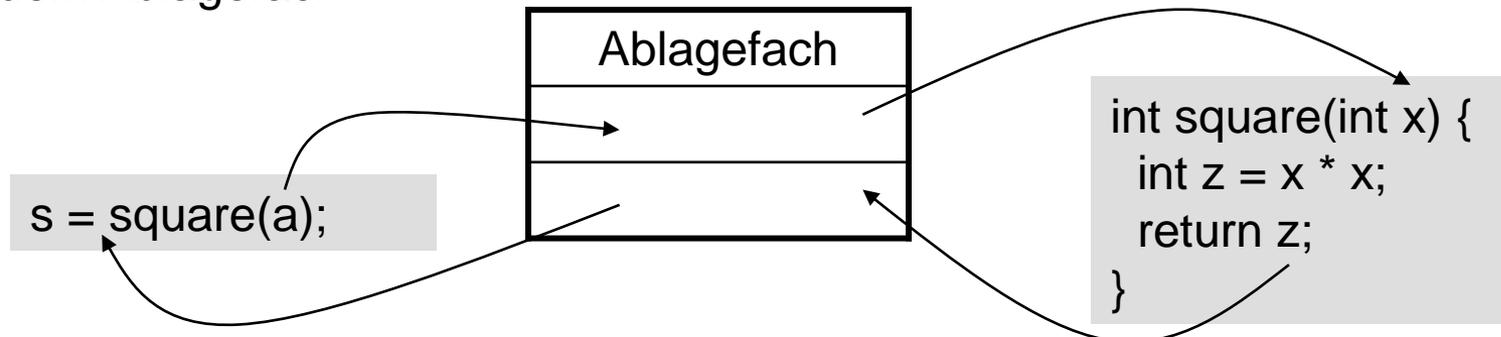
int main() {
    double x;
    for (x = -1.0; x <= 1.0; x += 0.1)
        cout << "p(" << x << ")= "
              << polynom(x) << endl;
    return 0;
}
```



```
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 lokale 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 Fkt.,  
                        // 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 << '\n';  
    return 0;  
}
```

```
int main() {  
    int a = 5, *pa;  
    pa = &a;  
    square(pa);  
    cout << a << '\n';  
    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)

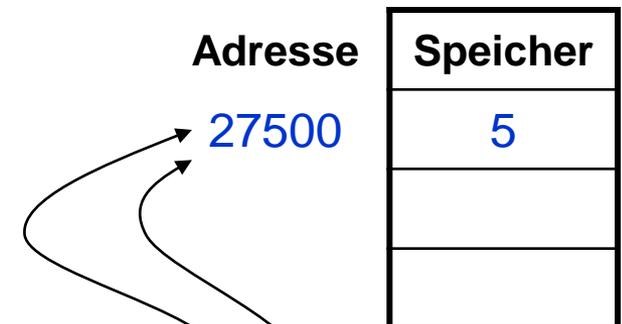
Referenz einer Variablen = Kopie der Adresse einer Variablen

= 2. Name der Variable

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

int main() {
    int a = 5;
    square(a);
    cout << a << "\n";
    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;  
}
```

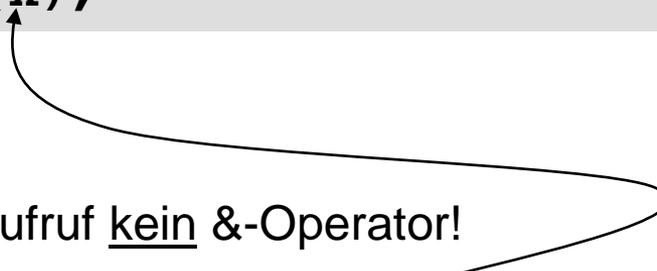
```
// Beispiel:  
  
void square(int& x) {  
    int y = x * x;  
    x = y;  
}
```

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;
    std::cout << "Fkt.: " << u << " " << v << std::endl;
}

int main() {
    int a = 3, b = 11;
    std::cout << "main: " << a << " " << b << std::endl;
    tausche_r(a, b);
    std::cout << "main: " << a << " " << b << std::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:

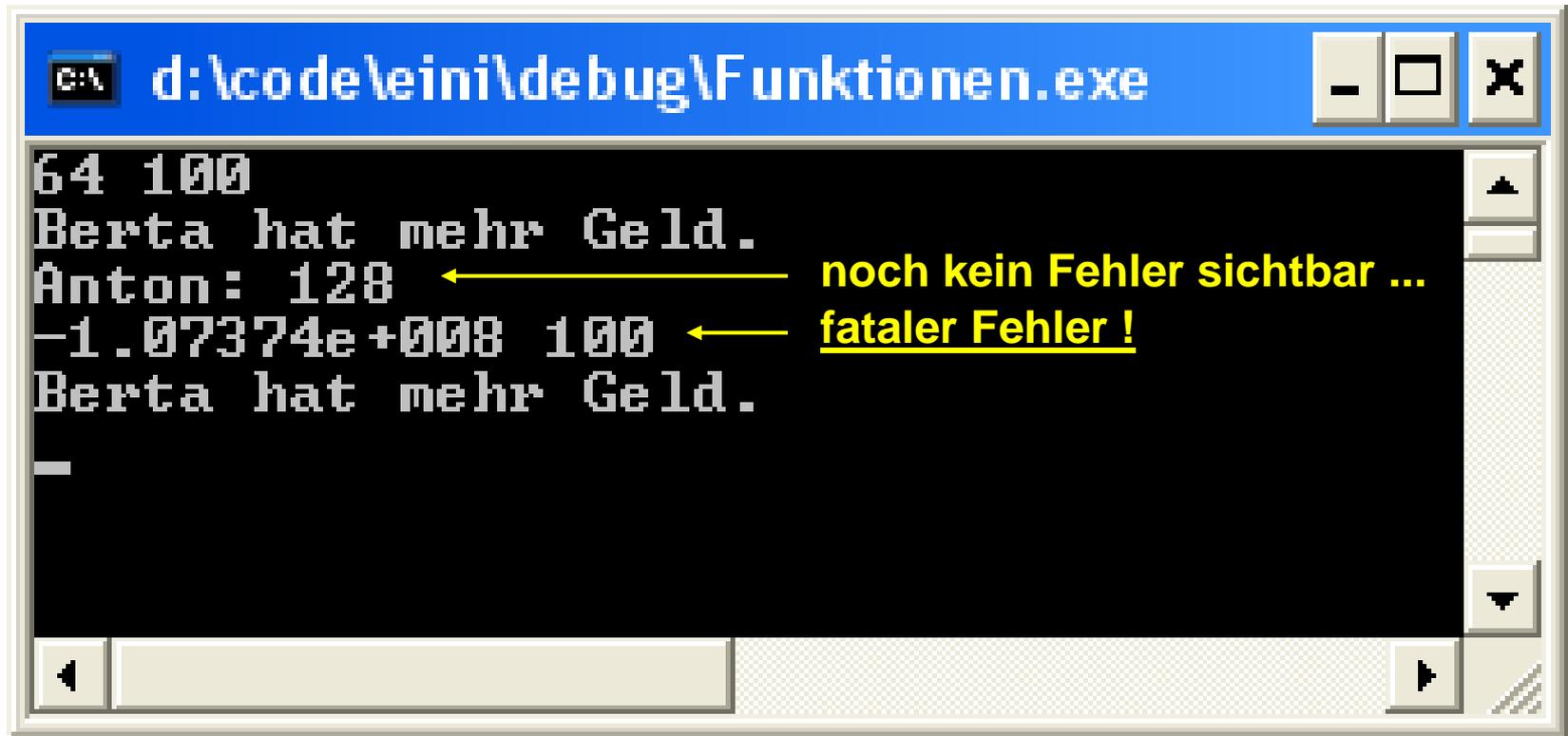
```
KontoT const& reicher(KontoT const& k1, KontoT const& k2) {
    cout << k1.Saldo << " " << k2.Saldo << endl;
    if (k1.Saldo > k2.Saldo) return k1;
    return k2;
}

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 on the right side of the output:

- A yellow arrow points from the text "noch kein Fehler sichtbar ..." to the value "128" on the line "Anton: 128".
- A yellow arrow points from the text "fataler Fehler !" to the value "-1.07374e+008" on the 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++) std::cout << a[i] << "\n";  
}
```

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

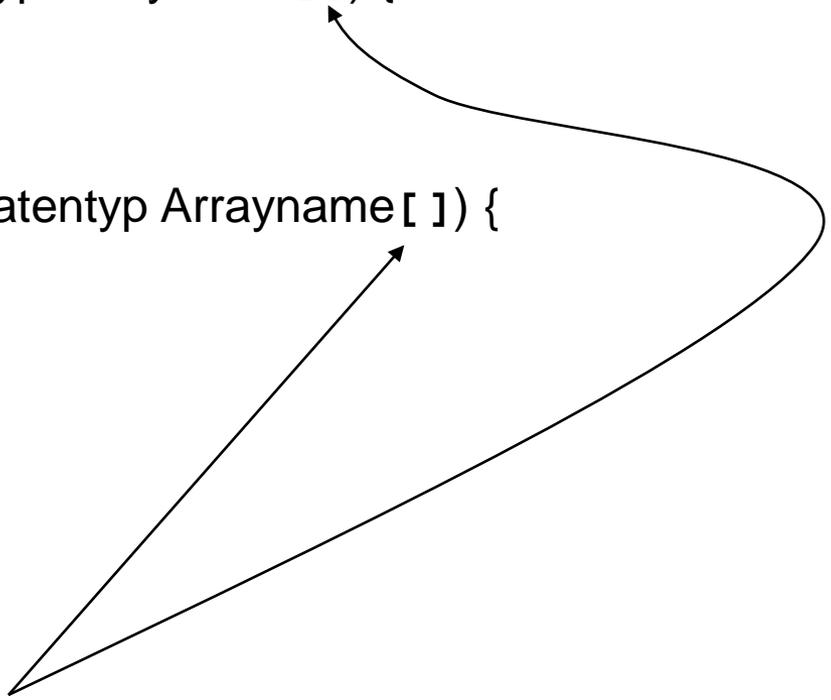
... auch Laufzeitfehler möglich!

Übergabe eines Arrays:

Bauplan der Funktionsdefinition:

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

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

A diagram consisting of two arrows. One arrow starts from the 'Achtung!' section and points to the square brackets in the second function signature. The other arrow starts from the 'Achtung!' section and points to the square brackets in the first function signature.

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;  
}
```

Programmier ging davon aus, dass Array **ia** 10 Elemente hat!

Aber: fataler Irrtum!

Compiler ignoriert die Größenangabe!

Übergabe von zweidimensionalen Arrays:

Im Prototypen muss **die Spaltenkonstante** abgegeben 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!