Praxis der Programmierung

Funktionen, Header-Dateien, Pointer

Institut für Informatik und Computational Science
Universität Potsdam

Henning Bordihn

Funktionen in C

Funktionsaufrufe und -definitionen

- **Aufruf:** `f(g(3),1.5);`

  1. Aufruf von `f` mit Argumenten/Parametern `g(3)` und `1.5`

Funktionsaufrufe und -definitionen

- **Aufruf:** `f(g(3),1.5);`

  1. Aufruf von `f` mit Argumenten/Parametern `g(3)` und `1.5`
  2. Aufruf von `g` mit Argument/Parameter `3`
     $\rightsquigarrow$ `f` pausiert, während `g` rechnet
  3. Rückgabe von $n = g(3)$ an `f`
  4. `f` rechnet weiter mit Argumentwerten n und $1,5$
  5. Rückgabe des Funktionswertes $f(n, 1,5)$ an den Aufrufer von f

Funktionsaufrufe und -definitionen

- **Aufruf:** `f(g(3),1.5);`

  1. Aufruf von `f` mit Argumenten/Parametern `g(3)` und `1.5`
  2. Aufruf von `g` mit Argument/Parameter `3`
     $\rightsquigarrow$ `f` pausiert, während `g` rechnet
  3. Rückgabe von $n = g(3)$ an `f`
  4. `f` rechnet weiter mit Argumentwerten n und $1,5$
  5. Rückgabe des Funktionswertes $f(n, 1,5)$ an den Aufrufer von f

- setzt **Definition** der Funktionen `f` und `g` voraus, *z.B.*:

```
double f(int x, double y) { ... }
int g(int z) { ... }
```

Definition von Funktionen

Funktionskopf Funktionsrumpf

1. **Funktionskopf (Signatur)**

   - *Rückgabetyp Bezeichner* (*Typ_1 formaler_Parameter_1*,
     Typ_2 formaler_Parameter_2,
     ⋮
     Typ_n formaler_Parameter_n)
   - legt Namen der Funktion fest: *Bezeichner*
   - legt Definitionsbereich der Funktion fest: Liste *formaler Parameter*
   - legt Wertebereich der Funktion fest: *Rückgabetyp*
   - legt fest, wie die Funktion aufgerufen wird

2. **Funktionsrumpf (Implementierung)**

- ist ein Block (Sequenz von Anweisungen)
- legt fest, wie die Eingabewerte verarbeitet werden
- `return`-Anweisung $\rightsquigarrow$ Rückkehr zu aufrufender Funktion
  $\rightsquigarrow$ Rückgabewert übergeben

Beispiel:

```
int quadrat (int n) {
  return n * n;
}
```

$\rightsquigarrow$ nach `return` kann Ausdruck stehen

Erinnerung: Blöcke und Variablen

- In Blöcken definierte Variablen sind nur innerhalb dieses Blockes sichtbar.
  - $\rightsquigarrow$ auch in enthaltenen Blöcken
  - $\rightsquigarrow$ aber **nicht** in umfassenden Blöcken

Erinnerung: Blöcke und Variablen

- In Blöcken definierte Variablen sind nur innerhalb dieses Blockes sichtbar.
  - $\rightsquigarrow$ auch in enthaltenen Blöcken
  - $\rightsquigarrow$ aber **nicht** in umfassenden Blöcken
- In Blöcken definierte Variablen *verdecken* gleichnamige Variablen von umfassenden Blöcken.

Erinnerung: Blöcke und Variablen

- In Blöcken definierte Variablen sind nur innerhalb dieses Blockes sichtbar.
  - $\rightsquigarrow$ auch in enthaltenen Blöcken
  - $\rightsquigarrow$ aber **nicht** in umfassenden Blöcken
- In Blöcken definierte Variablen *verdecken* gleichnamige Variablen von umfassenden Blöcken.
- In Blöcken definierte Variablen werden beim Verlassen des Blockes wieder ungültig.
  - $\rightsquigarrow$ überdeckte Variablen werden wieder sichtbar

Erinnerung: Blöcke und Variablen

- In Blöcken definierte Variablen sind nur innerhalb dieses Blockes sichtbar.
  - $\rightsquigarrow$ auch in enthaltenen Blöcken
  - $\rightsquigarrow$ aber **nicht** in umfassenden Blöcken
- In Blöcken definierte Variablen *verdecken* gleichnamige Variablen von umfassenden Blöcken.
- In Blöcken definierte Variablen werden beim Verlassen des Blockes wieder ungültig.
  - $\rightsquigarrow$ überdeckte Variablen werden wieder sichtbar
- Funktionsrümpfe sind Blöcke!!! **Lokale Variablen** sind:
  - Variablen, die im Rumpf definiert werden,
  - Parameter der Funktion

Globale Variablen

- werden außerhalb jeder Funktion deklariert
- können damit von allen Funktionen der Datei verwendet werden
- gültig während des gesamten Programmlaufs

Funktionsaufruf

Funktionsname (*aktueller_Parameter_1*, ..., *aktueller_Parameter_n*);

1. automatisches Anlegen von lokalen Variablen für die Parameter

   $\rightsquigarrow$ *typ_i formaler_Parameter_i*;

2. automatische Initialisierung mit aktuellen Parametern

   $\rightsquigarrow$ *formaler_Parameter_i* = *aktueller_Parameter_i*;

   Aktuelle Parameter können **Ausdrücke** sein!

3. Abarbeitung der Anweisungen im Funktionsrumpf

Funktionsaufruf ist Ausdruck

```
int qud = quadrat(12);        // liefert qud = 144;
```

Rückgabetyp `void`

- Funktionen ohne Rückgabewert
  $\rightsquigarrow$ reine Prozeduren
- dienen z.B. zur bloßen Datenausgabe
- keine `return`-Anweisung *oder* `return;`
- `void prozedur_funktion ( ... ) { ... }`

Deklarieren *versus* Definieren

- Funktion deklarieren
  Festlegung der Schnittstelle (Signatur)

```
long cube (int n);
```

- Funktion definieren
  Festlegung der Schnittstelle (Signatur) und des Verhaltens (Implementierung)

```
long cube (int n) {
   return n*n*n;
}
```

- Anwendung: **Vorwärtsdeklaration**
  Funktionen müssen *vor* ihrem ersten Aufruf deklariert sein
  (Implementierung kann an anderer Stelle erfolgen)

Vorwärtsdeklaration

- Beispiel:

```
void g(int n);
void f(int n) { g(n-1); }
void g(int n) { f(n-1); }
```

Vorwärtsdeklaration

- Beispiel:

```
void g(int n);
void f(int n) { g(n-1); }
void g(int n) { f(n-1); }
```

- Schlüsselwort `extern` zeigt an, dass die Definition an anderer Stelle in derselben oder einer anderen Datei erfolgt

```
extern int value;   // Definition erfolgt an anderer Stelle
...
int value = 2014;   // muss vollstaendige Definition sein
```

- vorwärtsdeklarierte Funktionen sind implizit `extern`

```
void g(int n);              // steht fuer extern void g(int n);
```

Header-Dateien

Definition von Header-Dateien

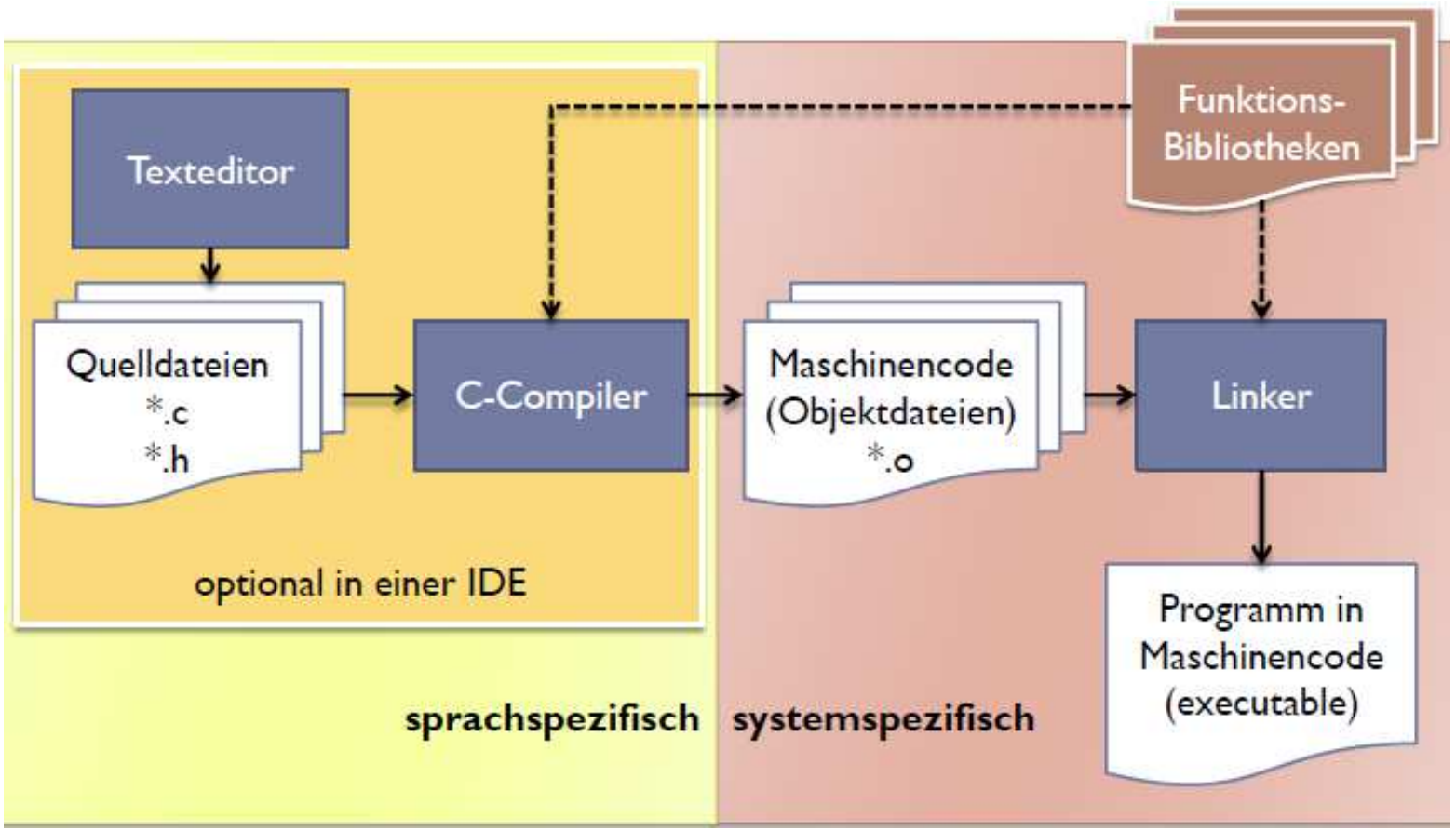
- *dateiname*`.h`
- Header-Dateien enthalten häufig Deklarationen (Signaturen)
- Die Definitionen (Implementierungen) sind dann meist in `.c`-Dateien enthalten.
- Beispiel bisher:

```
void g(int n);
void f(int n) { g(n-1); }
void g(int n) { f(n-1); }
```

- mit Header-Datei:

```
#include "bsp.h"              // enthaelt  extern void g(int n);
void f(int n) { g(n-1); }
void g(int n) { f(n-1); }
```

Einbinden der Header-Dateien (1)



Einbinden der Header-Dateien (2)

- Präprozessor setzt diese an der Stelle der `#include`-Direktive ein
  $\rightsquigarrow$ Funktionen sind dem Compiler bekannt

- Implementierung erst zur Laufzeit bedeutsam,
  wenn die Funktion aufgerufen wird

- Linker fügt die Objektcode-Dateien zusammen
  - ggf. verschiedene C-Dateien und Bibliotheksdateien
  - Objekcode-Dateien verwenden relative/virtuelle Speicheradressen
  - Linker sorgt für einheitlichen Adressraum des ausführbaren Programms
    (Zuordnung eines virtuellen, überschneidungsfreien Adressraums)

Fehlerarten

- **Compilerfehler**: Fehler, die der Compiler erkennt, z.B.
  - Semikolon vergessen
  - Variable benutzt aber nicht definiert etc.

  $\rightsquigarrow$ meist kein ausführbares Programm

Fehlerarten

- **Compilerfehler**: Fehler, die der Compiler erkennt, z.B.
  - Semikolon vergessen
  - Variable benutzt aber nicht definiert etc.

  $\rightsquigarrow$ meist kein ausführbares Programm

- **Laufzeifehler**: Fehler, die bei der Abarbeitung des Programms auftreten, z.B.
  - Division durch 0
  - fehlende Werte
  - Zugriff auf Datei, die nicht geöffnet werden kann
  - kein Speicherplatz mehr vorhanden etc.

Fehlerarten

- **Compilerfehler**: Fehler, die der Compiler erkennt, z.B.
  - Semikolon vergessen
  - Variable benutzt aber nicht definiert etc.

  $\rightsquigarrow$ meist kein ausführbares Programm

- **Laufzeifehler**: Fehler, die bei der Abarbeitung des Programms auftreten, z.B.
  - Division durch 0
  - fehlende Werte
  - Zugriff auf Datei, die nicht geöffnet werden kann
  - kein Speicherplatz mehr vorhanden etc.

- **logische Fehler**: Fehler im Programmentwurf

Pointer (Zeiger)

Vier Kennzeichen einer Variablen

- Datentyp
- Variablenname
- Wert
- Adresse im Arbeitspeicher (Primärspeicher)

In **C**: Zugriff über Namen oder Adresse auf den Wert

Adressen von Variablen

- Arbeitsspeicher ist in (gleich große) *Speicherzellen* eingeteilt (z.B. je 1 Byte)
- Speicherzellen sind durchnummeriert (Hexadezimalzahlen)
- **Adresse** einer Variablen ist *Nummer* der Speicherzelle, in der ihr Speicherplatz beginnt.

Variablen und ihre Adressen

Variable `v`
speichert den Wert eines
bestimmten Datentyps
an einer Speicheradresse

Deklaration: `int v;`

`v` hat die Adresse `&v`

`&` - **Adressoperator**
ermittelt die Adresse / die Referenz
(den Pointer) auf `v`

Variablen und ihre Adressen

Variable `v`
speichert den Wert eines
bestimmten Datentyps
an einer Speicheradresse

Deklaration: `int v;`

`v` hat die Adresse `&v`

`&` - **Adressoperator**
ermittelt die Adresse / die Referenz
(den Pointer) auf `v`

Pointer `p`
speichert die Adresse von `v`,
an der ihr Wert abgelegt wird

Dekalration: `int *p;`

`p` *zeigt* auf Speicherplatz mit Wert `*p`

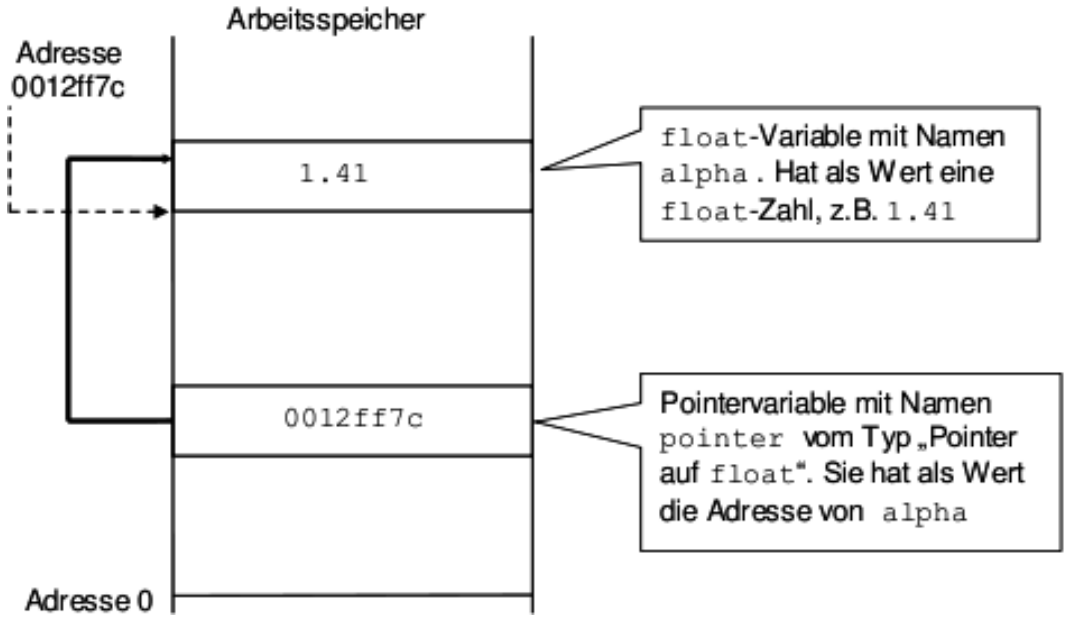
`*` - **Inhaltsoperator**
ermittelt den Wert an Speicherplatz `p`
(Dereferenzierungsoperator)

Pointer

- **Pointer:** ist Variable

  Typ: Pointer auf einen bestimmten Datentyp (z.B. float)

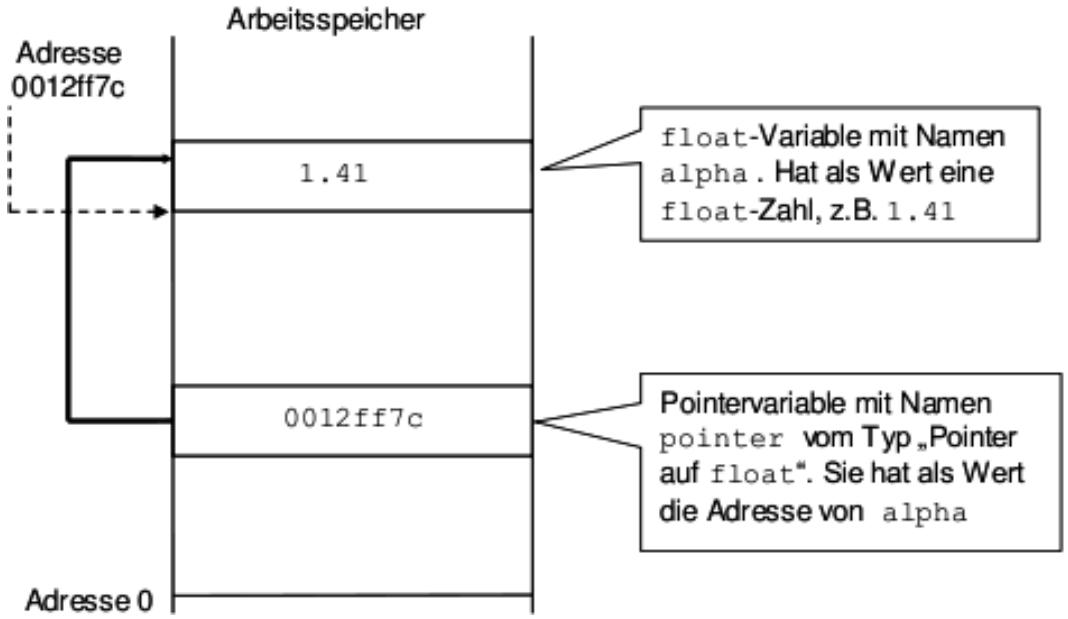
  Wert: *Adresse* einer Variablen



Pointer

- **Pointer:** ist Variable

  Typ: Pointer auf einen bestimmten Datentyp (z.B. float)
  Wert: *Adresse* einer Variablen




```
 alpha == 1.41
&alpha == 0012ff7c

 pointer == 0012ff7c
*pointer == 1.41
```

Pointervariablen

- Definition als Pointer auf *Datentyp*
  $\rightsquigarrow$ Pointertyp und Datentyp des Speicherobjekts sind gekoppelt!
- *Typname* `*` *Pointername*`;`
  $\rightsquigarrow$ Datentyp: Pointer auf *Typname*
- Beispiel: `float * pointer1;`
  $\rightsquigarrow$ Pointer auf `float` mit Namen `pointer1`

Pointervariablen

- Definition als Pointer auf *Datentyp*
  $\rightsquigarrow$ Pointertyp und Datentyp des Speicherobjekts sind gekoppelt!

- *Typname* `*` *Pointername*;
  $\rightsquigarrow$ Datentyp: Pointer auf *Typname*

- Beispiel: `float * pointer1;`
  $\rightsquigarrow$ Pointer auf `float` mit Namen `pointer1`

- Vorsicht:

Definition	entspricht
`int * pointer, alpha;`	`int * pointer;` `int alpha;`
`int * pointer1, * pointer2;`	`int * pointer1;` `int * pointer2;`

Wertzuweisung an einen Pointer

1. **Adressoperator**
   - Adressoperator **&** liefert Pointer auf Speicherplatz einer Variablen
   - $\&Variable \rightsquigarrow$ Pointer auf $Datentyp$ von $Variable$
   - kann an Variable vom Typ Pointer auf $Datentyp$ zugewiesen werden:
     `pointer = &alpha;`

Wertzuweisung an einen Pointer

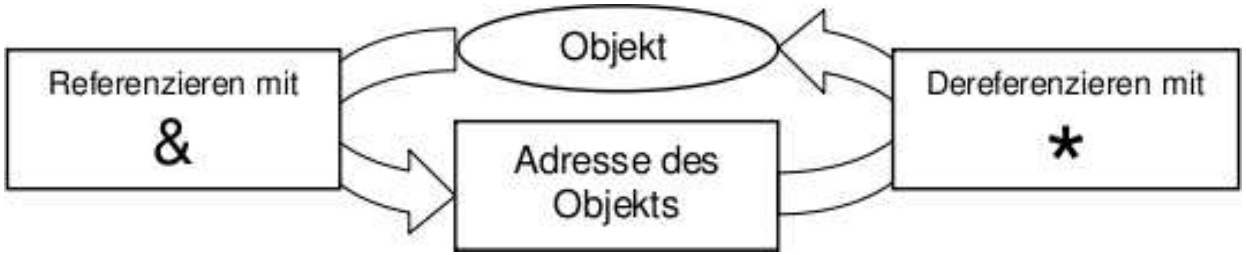
1. **Adressoperator**
   - Adressoperator **&** liefert Pointer auf Speicherplatz einer Variablen
   - $\&Variable \rightsquigarrow$ Pointer auf $Datentyp$ von $Variable$
   - kann an Variable vom Typ Pointer auf $Datentyp$ zugewiesen werden:
     `pointer = &alpha;`
2. **Wert einer anderen Pointervariablen**
   - `pointer2 = pointer1;`
   - Übergabe der Adresse von einer Pointer-Variablen an eine weitere
   - nur bei Pointern auf den gleichen Typ!

Wertzuweisung an einen Pointer

1. **Adressoperator**
   - Adressoperator **&** liefert Pointer auf Speicherplatz einer Variablen
   - &$Variable$ $\rightsquigarrow$ Pointer auf $Datentyp$ von $Variable$
   - kann an Variable vom Typ Pointer auf $Datentyp$ zugewiesen werden:
     `pointer = &alpha;`
2. **Wert einer anderen Pointervariablen**
   - `pointer2 = pointer1;`
   - Übergabe der Adresse von einer Pointer-Variablen an eine weitere
   - nur bei Pointern auf den gleichen Typ!
3. **Konstante NULL**
   - vordefinierter Pointer, zeigt auf Adresse `0` / nie auf ein Speicherobjekt
   - darf nie dereferenziert werden ($\rightsquigarrow$ $Null\text{-}Pointer\text{-}Laufzeitfehler$)

Dereferenzieren

- **Inhaltsoperator** $*$: $*Pointer$
- $*$ und & sind invers: `*&alpha` ist äquivalent zu `alpha`

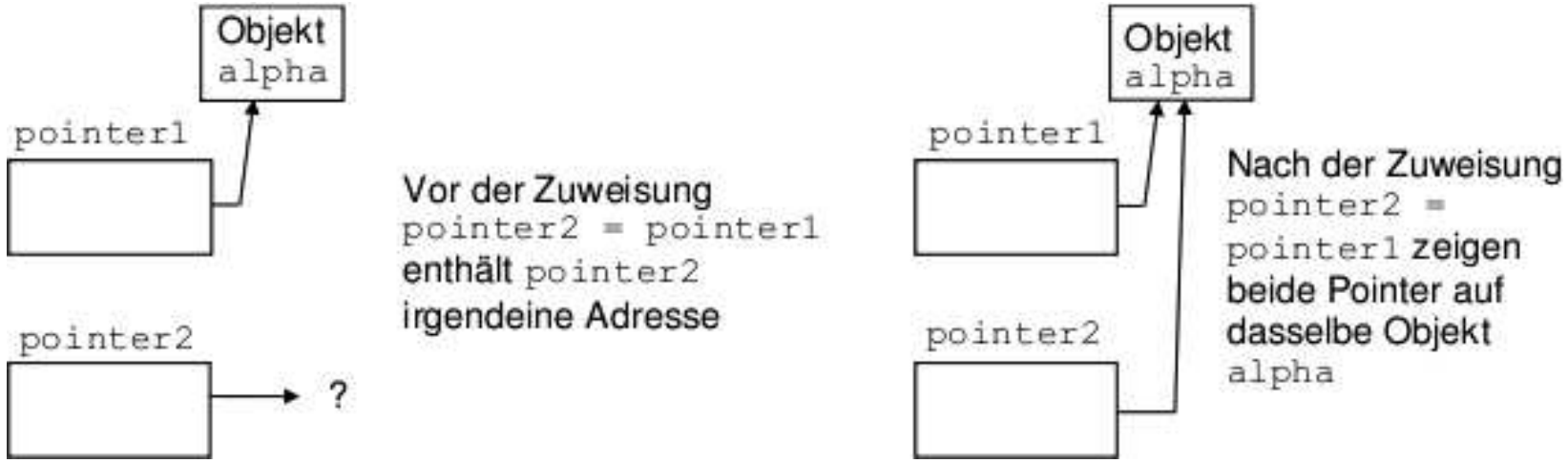


- `*pointer =` $Wert$; ist erlaubt
  $\rightsquigarrow$ nicht bevor `pointer` gültige Adresse speichert!

Arbeit mit Pointern

- nicht initialisierte Variablen haben *irgendeinen* Wert!

$\rightsquigarrow$ nicht initialisierte Pointer verweisen auf *irgendeine* Adresse!
$\hookrightarrow$ *Fehlerquelle!!!*



Rückblick: Benutzereingaben mit `scanf`

- formatiertes Einlesen eines Wertes mit `scanf`
- Formatelemente wie bei `printf`
- Beispiele: Einlesen einer ganzen Zahl und Speichern auf `int n`:
  `scanf(%d, &n);`

  Einlesen einer Gleitkommazahl und Speichern auf `double x`:
  `scanf(%f, &x)`

  Hinweis: Das Zeichen `&` ist nötig, da die Speicheradresse der Variablen angegeben werden muss (und kein Zugriff auf den Wert der Variablen erfolgt)

  $\rightsquigarrow$ Pointer können als Parameter an Funktionen übergeben werden!!!

Parameterübergabe

Parameterübergabe mit call-by-value

- Formaler Parameter einer Funktion = Vereinbarung einer lokalen Variablen: Name und Typ des formalen Parameters
- **Kopie** des aktuellen Parameterwertes als Wert dieser lokalen Variablen
- Im Funktionsrumpf wird immer die lokale Variable verwendet.
  $\rightsquigarrow$ *kein Einfluss auf aktuellen Parameter*
  $\rightsquigarrow$ keine Seiteneffekte
- Ausdruck des aktuellen Parameters wird nur einmal ausgewertet
- verwendet in: C, C++, Java, C#, PASCAL, ...

call-by-value - Beispiel

```
int var1 = 1;
int var2 = 2;
```

Aufgabe: Tausch der Werte von `var1` und `var2`
mit einer Funktion `swap(int m, int n)`

```
void swap(int m, int n) {
   int h = m;
   m = n;
   n = h;
   }
```

call-by-value - Beispiel

```
int var1 = 1;
int var2 = 2;
```

Aufgabe: Tausch der Werte von `var1` und `var2`
mit einer Funktion `swap(int m, int n)`

```
void swap(int m, int n) {
   int h = m;
   m = n;
   n = h;
   }
```

$\rightsquigarrow$ Aufruf `swap(var1, var2)` ohne Effekt! (*Warum?*)

Andere Methoden der Parameterübergabe — nicht in C

- **call-by-value-result**
  - zunächst wie call-by-value:
    - lokale Variable mit Wert des aktuellen Parameters initialisiert
    - keine Änderung am aktuellen Parameter
  - am Ende (z.B. bei `return;`):

    eine weitere automatische Wertzuweisung

    $\rightsquigarrow$ Wert der lokalen Variablen $\longrightarrow$ aktueller Parameter

- **call-by-reference**
  - Vereinbarung von lokalen Variablen für alle Variablen in den aktuellen Parametern
  - referenzieren die Speicheradressen der Variablen in den aktuellen Parametern
  - Zuweisungen beeinflussen die Werte der aktuellen Parameter direkt

- **call-by-reference**
  - Vereinbarung von lokalen Variablen für alle Variablen in den aktuellen Parametern
  - referenzieren die Speicheradressen der Variablen in den aktuellen Parametern
  - Zuweisungen beeinflussen die Werte der aktuellen Parameter direkt
  - **in C**:
    Call-by-Reference-Semantik durch Übergabe von Pointern als Parameter

```
void swap(int *m, int *n) {
   int h = *m;
   *m = *n;
   *n = h;
}
```

- **call-by-name**
  - textuelle Übergabe des aktuellen Parameters
  - Im Funktionsrumpf wird jedes Vorkommen des formalen Parameters textuell durch den aktuellen Parameter ersetzt.
  - Seiteneffekt: kann aktuellen Partameter beeinflussen
  - Ausdruck des aktuellen Parameters wird mehrfach ausgewertet
  - kann zu Konflikten mit globalen Variablen führen

    (falls Variablen des Funktionsrumpfes einen Bezeichner verwenden, der Teil eines aktuellen Parameters ist)

- **call-by-name**
  - textuelle Übergabe des aktuellen Parameters
  - Im Funktionsrumpf wird jedes Vorkommen des formalen Parameters textuell durch den aktuellen Parameter ersetzt.
  - Seiteneffekt: kann aktuellen Partameter beeinflussen
  - Ausdruck des aktuellen Parameters wird mehrfach ausgewertet
  - kann zu Konflikten mit globalen Variablen führen

    (falls Variablen des Funktionsrumpfes einen Bezeichner verwenden, der Teil eines aktuellen Parameters ist)

```
int foo(int a) {
  int x = 1;
  return a + x;
}
```

```
int x = 300;
foo(x)  // gibt 2 zurueck
/* egal welchen Wert x hatte */
```