8.9 Arrays

Ziel: Zusammenfassen von Daten gleichen Typs

Deklaration:

```
type name [count];
```

Deklaration mit Initialwert:

```
type name [] = { val_1, val_2, ..., val_n };
```

Beschreibung:

- Ein Array ist eine eindimensionale Sequenz von Daten gleichen Typs
- Deklaration ohne Initialwert alloziert Platz für *count* Variablen vom Typ *type*, die unter dem Namen *name* erreichbar sind
- Bei Deklaration mit Initialwert kann *count* ausgelassen werden, da sich die Anzahl aus den Initialwerten *val_1* bis *val_n* ergibt

8.9 Arrays ...

Verwendung:

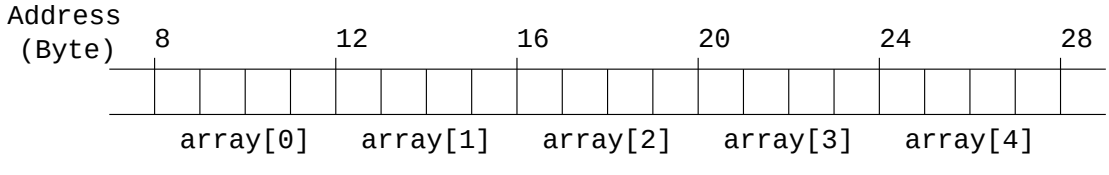
- Mit Hilfe des `[]`-Operators wird auf die einzelnen Elemente des Arrays (lesend oder schreibend) zugegriffen

Indexzählweise beginnend bei **0**, maximal bis *count*-1

Beispiel:

```
int array[] = { 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 } // 6 Elemente im Array
std::cout << "Die ersten 2-er-Exponenten: ";
for( int i = 0; i < 7, i++ ) {  // Index von 0 bis 6
  std::cout << array[i] << " ";
}
```

Speicherung: Arrays liegen im Speicher „en bloc“ vor; Beispiel int-Array:



Mehrdimensionale Arrays

Ziel: Anordnung von Daten gleichen Typs in mehreren Dimensionen

Deklaration:

- Grundsätzlich gleich wie beim eindimensionalen Array, jedoch pro Dimension wird ein `[]` hinzugefügt
- Deklaration mit Initialwert funktioniert auch hier

Beispiel: Zweidimensionales Array

```
int table[][] = { { 1, 3, 5, 7, 9 }, { 0, 2, 4, 6, 8 } }
for( int i = 0; i < 5; i++ ) {
  for( int j = 0; j < 5; j++ ) {
    std::cout << "table[" << i << "][" << j << "] ="
              << table[i][j] << std::endl;
  }
}
```

Arrays aus Zeichen

Ziel: Darstellung von Zeichenketten (***Strings***)

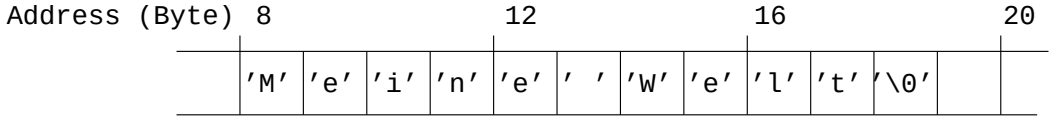
Deklaration: `char` *name*`[];`

Deklaration mit Initialwert: `char` *name*`[] = "`*string*`";`

Beschreibung:

- Zeichenketten werden intern als Arrays von UTF8-Zeichen dargestellt
- Zeichenketten müssen ***null-terminiert*** sein, d.h. das letzte Zeichen muss der Null-Character (`'\0'`) sein

Beispiel: Interne Speicherung von `Meine Welt`



Bemerkungen:

- Konstante Zeichenketten werden mit Anführungszeichen definiert und werden automatisch null-terminiert
- Die null-terminierte String-Darstellung ist für Textverarbeitung (vergl., suchen, ersetzen oder einfügen) unhandlich (⇒ `string`-Klasse)

Referenzen (References)

Ziel: Verweis auf die Adresse einer Variable im Speicher

Deklaration: *type*`&` *refName* `=` *varName*`;`

Beschreibung:

- Definition einer Referenz-Variable auf eine (bereits initialisierte) Variable gleichen Typs im Speicher
- *refName* ist der Name der Referenz, *varName* der Name der referenzierten Variable
- *type* ist der Typ der Variable *varName*
- Die Referenz *refName* verweist ***unveränderlich*** auf die Variable `varName`
- Über die Referenz kann der Wert von *varName* verändert werden

Beachte: Es ist nicht möglich eine Referenz zu deklarieren, ohne direkt eine referenzierte Variable anzugeben!

Beispiel:

```
// Deklaration
int k      = 10;
int i      = 5;
int copy_k = k;  // setze copy_k auf den Wert von k: copy_k = 5
int& r_i   = i;  // erstelle Referenz auf i

// Zuweisung
copy_k     = 20; // setze copy_k = 20 (k bleibt 10)
r_i        = 20; // r_i bleibt unverändert. i wird auf 20 gesetzt
```

Bemerkung:

- Oftmals werden Präfixe – wie hier `r_` für Referenz – vor Variablennamen gestellt um den Typ der Variable deutlich zu machen
  (derartige Konventionen werden hier nur teilweise eingesetzt)

Zeiger (Pointer)

Ziel: Explizites Speichern von Variablen-Adressen

Deklaration: *type* ptrName*; bzw. *type* ptrName = &varName*;

Beschreibung:

- Deklaration einer Zeigervariablen `prtName`, ggf. mit Initialisierung
- `prtName` verweist auf Variable vom Typ `type`

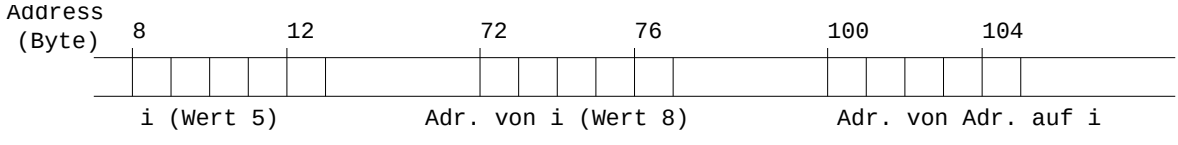
Referenz-Operator `&` holt die Adresse einer Variable

Dereferenz Operator `*` holt den Wert einer Adresse zu einem Zeiger

Beispiel: Adresse einer Variable speichern

```
int   i     = 5;    // Integer Variable (Wert 5)
int*  p_i   = &i;   // Adresse von i
int** p_p_i = &p_i; // Adresse von p_i
std::cout << "i:                  "      << i     << "\n"
          << "Adresse von i: "           << p_i   << "\n"
          << "Wert von i via Zeiger: " << *p_i  << "\n"
          << "Adresse des Zeigers "      << p_p_i << "\n";
```

Speicher-Beispiel:



Bemerkung: Einem Zeiger kann jederzeit die Adresse einer anderen Variablen gleichen Typs zugewiesen werden

Unerlaubter Speicherzugriff: Zugriff auf ungültige Speicheradresse

- Im Idealfall bricht das Programm mit einer (meist wenig aussagekräftigen) Fehlermeldung ab
- Im schlechten Fall läuft das Programm weiter und erzeugt nicht nachvollziehbare Ergebnisse

Beispiel eines ungültigen Speicherzugriffs

```
int   i     = 5;    // Integer Variable (Wert 5)
int*  p_i   = &i;   // Adresse von i

p_i  += 4711;       // Veränderung des Zeigers auf irgendeine Adresse
*p_i  = 123456;     // !!! Zuweisung auf irgendeiner Adresse !!!
```

Null-Zeiger (`NULL`):

- Der Wert `NULL=0x0` kann jedem Zeiger zugewiesen werden
- Zeigt an, dass der entsprechende Zeiger keine gültige Adresse darstellt
- Bei konsequenter Verwendung des Null-Zeigers kann die Prüfung, ob ein Zeiger auf einen gültigen Wert verweist durch einen Vergleich mit `NULL` realisiert werden

Typ eines Zeigers:

- Prinzipiell ist ein Zeiger nichts anderes als ein `int`, der als Speicheradresse interpretiert wird
- Die Größe eines Zeigers entspricht der eines `int`, also 32 Bit bei 32-Bit Prozessoren und 64 Bit bei 64-Bit Prozessoren

Wozu Referenzen / Pointer?

Referenzen:

- Referenzen haben, genau wie Zeiger, eine feste Größe von 32 bzw. 64 Bit
- Bei Typen, die mehr Speicher belegen, ist es ggf. sinnvoller eine Referenz zu verwenden als die Variable zu kopieren
  $\Rightarrow$ wichtig im Kontext von Funktionsaufrufen

Zeiger:

- Zeiger auf Variablen können genau wie Referenzen im Kontext von Funktionen anstatt kopierten Variablen verwendet werden
- Zeiger werden auch zur Allokation und Deallokation (Freigabe) von dynamischem Speicher benötigt

Zeiger-Arithmetik

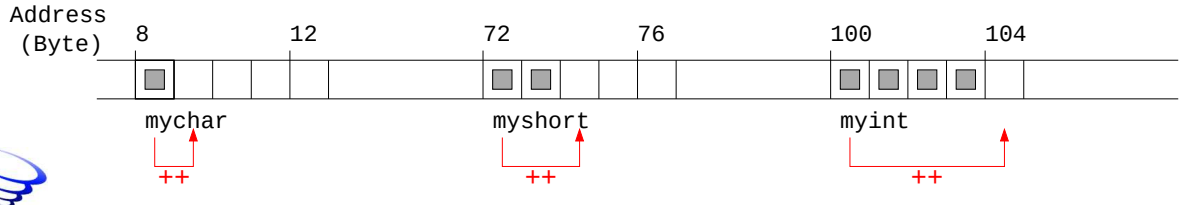
Ziel: Direkte Operationen auf Zeigern (nicht auf deren Inhalten)

Bechreibung:

- Arithmetische Operationen wie ++, -- oder +2 können auf Zeiger angewandt werden
- Die Umsetzung dieser Operationen unterscheidet sich jedoch von „normaler“ Arithmetik
- Zeiger-Arithmetik basiert immer auf der Größe des adressierten Typs in Byte

  `sizeof(char) == 1, sizeof(short) == 2, sizeof(int) == 4`
- Ein Inkrement von 1 erhöht die Adresse um die Anzahl Bytes des Types

Schaubild:



Beispiel: Zeiger-Arithmetik

```
// Array mit 6 Höhenwerten
double  heightValue[6] = {1.1, 3.1, 2.7, 8.5, 9.1, 2.1};
double* p_height = &(a[0]); // Zeiger auf erstes Element

// Ausgabe der Höhenwerte
for ( int i = 0; i < 6; i++, p_height ++ ) {
  std::cout << "Höhe " << i << ": " << *p_height << std:endl;
}
```

Bisher: Geltungsbereich von Variablen

- global, falls ausserhalb von `{}`-Blöcken
- innerhalb des aktuellen `{}`-Blocks

Diese Variablen werden als ***automatic***-Variablen bezeichnet (kurz: `auto`)

Speicherung der `auto`-Variablen auf einem ***Stack***

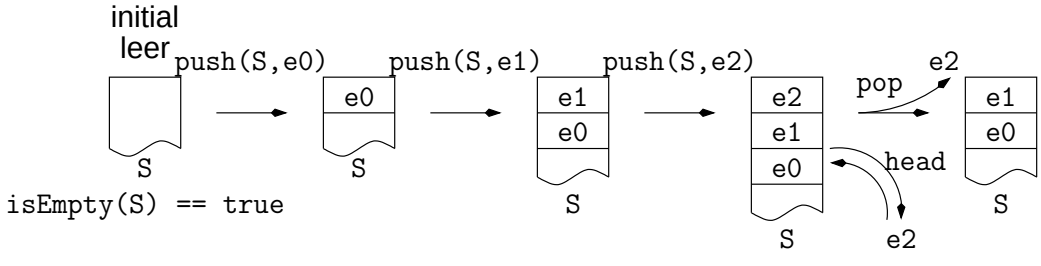
Stack-Konzept: ***Stapelspeicher*** nach dem ***Last-In-First-Out (LIFO)*** Prinzip:

- ***push***: neues Element auf den Stapel abgelegen (Variablen-Deklaration)
- ***pop***: oberstes Stapel-Element holen & vom Stapel entfernen (Blockende)
- initial ist ein Stack immer leer
- Hilfsfunktionen eines Stacks:
  - `head`: Holt oberstes Element ohne es zu entfernen
  - `isEmpty`: Prüft, ob Stack leer ist (Ergebnis: boolsch)
- Umsetzung eines Stack: später

8.11 Speicherklassen und -verwaltung ...

Stack

Beispiel zum Stack-Konzept



Stack im Kontext der Variablenverwaltung:

```
{
  int   i=0;          // push(i)
  float f=1;          // push(f)

  if ( f > 0 ) {
    float ff;         // push(ff)
    ff = f + 1;
  }                   // pop() (entfernt ff)
}                     // 2 x pop() (entfernt i, f)
```

Speicherklasse `static`

Problem: Werte einer `auto`-Variablen geht am Blockende verloren

static:
- ❍ Fester Speicherplatz für Variablen bis Programmende
- ❍ Wert der Variablen bleibt auch nach Blockende erhalten
- ❍ Sichtbarkeit wie bei `auto`-Variablen
- ❍ Allokation und Initialisierung nur beim ersten Aufruf!

Beispiel: Erhöhung nach jeder Abarbeitung des Blocks

```
{
  static float f=0;                // f erstmalig mit 0 initialisieren

  f ++;                            // f um eines erhöhen
  std::cout << "f = " << f << endl;
}                                  // f bleibt erhalten
...                                // hier: f unbekannt, aber vorhanden!
```

Ausgabe bei mehrfachem Aufruf des Blocks:

```
f = 1
f = 2
f = 3
```

Dynamischer Speicher

Grundsätzlich Programme realisierbar, die nur mit `auto, static` auskommen, aber
- ❍ feste Arraylängen ⇒ Obergrenze von „Objekten“ festgelegt
- ❍ Programm belegt Speicherplatz auf allen Fälle!

Dynamischer Speicherung: Speicher wird
- ❍ bereitgestellt, sobald im Programmablauf tatsächlich benötigt (***Allokation***)
- ❍ freigegeben, sobald er nicht mehr benötigt wird (***Deallokation***)

Freier Speicher (Free Store, Heap): Speicherbereich, der zur dynamischen Speicherung verwendet werden kann

Bemerkung: Verwaltung dynamischen Speichers ist für große Programm nicht trivial!

Dynamischer Speicher (Forts.)

Operatoren: Bereitstellung (`new`) und Freigabe (`delete`)

`new:`
- ❍ Optionale Angabe der Anzahl bereitzustellender Variablen (sonst 1)
- ❍ Rückgabe eines Zeigers auf den allokierten Speicher; wenn kein Speicherplatz vorhanden, Rückgabe des `NULL`-Zeigers

`delete:`
- ❍ Angabe des Zeigers auf allokierten Speicher
- ❍ Syntax: Zusätzlich `[]`, wenn ein Array allokiert wird

Beispiel:

```
int   *p_zahl = NULL;
float *p_ff   = NULL;

p_zahl    = new int[128];   // allokiert 128 ints
p_ff      = new float;      // allokiert 1 float

delete [] p_zahl;           // Freigabe der 128 ints
p_zahl = NULL;              // Konvention: Zeiger im Folgenden ungültig
delete p_ff;                // Freigabe des float
p_ff = NULL;                // Konvention: Zeiger im Folgenden ungültig
```

8.12 Funktionen

Ziel: Zusammenfassen von Anweisungen unter einem Namen zur Abstraktion und Wiederverwendung von Programmteilen

Syntax:

```
Return-Type Function-Name ( Type_1 Argument_1, ..., Type_n Argument_n )
{
  Code
}
```

Beschreibung:
- ❍ Eine Funktion ist eine wieder verwertbare Zusammenstellung von Anweisungen
- ❍ Durch die Verwendung der Parameter *Argument_1* bis *Argument_n* können der Funktion bei jedem Aufruf andere Werte übergeben werden
- ❍ *Type_1* bis *Type_n* sind die Typen der entsprechenden Parameter
- ❍ *Return-Type* ist der Rückgabe-Typ der Funktion, also der Typ des Ergebnisses

8.12 Funktionen ...

- Funktionen müssen genau wie Variablen deklariert werden bevor sie benutzt werden können
- Eine Funktion ist eindeutig durch ihre ***Signatur***, die aus ihrem Namen, den Typen ihrer Argumente und deren Reihenfolge besteht. *Return-Type* gehört nicht zur Signatur
- Innerhalb eines Namensraums muss eine Signatur eindeutig sein
- Mit der `return`-Anweisung wird das Ergebnis der Funktion zurückgegeben
- Hat eine Funktion keinen Rückgabewert, so wird ihr Rückgabewert als `void` deklariert
- Hat eine Funktion keine Parameter, so kann ihre Parameterliste ebenfalls als `void` deklariert werden (sie kann aber auch einfach ausgelassen werden)

8.12 Funktionen ...

Beispiele:

```
float add( float a, float b ) {
  return a+b;
}

unsigned int faculty( unsigned int number ) {
  unsigned int result = 1;
  for( unsigned int i=number; i>1; i-- ) {
    result *= i;
  }
  return result;
}
```

Funktionsaufruf, z.B.: `unsigned int i = faculty( 5 ); // i = 120`

Bei Funktionsaufrufen wird für die zu übergebenden Variablen das ***Stack-Konzept*** verwendet

Parameter-Übergabe

Per Reference: Übergabe einer Referenz- oder einer Zeigervariablen

- es wird eine ***Verweis*** zu der Variablen im Funktionsaufruf erstellt
- eine Veränderung innerhalb der Funktion hat eine Wirkung „nach außen“, d.h. der Wert der referenzierten Variablen wird geändert
- Größe der zu übergebenden Daten immer gleich (`int`)
- Arrays werden automatisch per reference übergeben
- Referenz-Parameter können keine Konstanten sein

Per Value: Übergabe einer Kopie

- es wird der Wert der Variablen beim Aufruf in einen typgleiche Variable ***kopiert***
- eine Veränderung innerhalb der Funktion hat keine Auswirkung „nach außen“, d.h. der Wert der referenzierten Variablen bleibt unverändert
- bei großen Datentypen entsteht großer Kopieraufwand

Beispiel:

```
void func_a( int i ) {  // per value Übergabe
  i += 3;
}

void func_b( int& i ) { // per reference Übergabe
  i += 3;
}

void func_c( int* i ) { // per reference Übergabe mit Zeiger
  *i += 3;
}

int a = 2;
func_a( a );            // a bleibt 2
func_b( a );            // a wird auf 5 gesetzt
func_c(&a );            // a wird auf 8 gesetzt

func_b( 5 );            // das geht nicht (Compilerfehler)
func_c( 7 );            // ungültige Umwandlung (Compilerfehler)
```

Default-Wert für Parameter

Ziel: Verwendung optionaler Parameter bzw. von Standardwerten für Funktionsparameter

Syntax:

```
Return-Type
Name ( Type_1 Arg_1, ..., Type_k Arg_k,
       Type_k+1 Arg_k+1 = Val_k+1, ..., Type_m Arg_m = Val_m) {
  Code
}
```

Parameter mit Default-Wert stehen immer ***rechts*** von Parametern ohne Default-Wert

Beim Funktionaufruf können Parameter mit Default-Wert ***von rechts beginnend*** weggelassen werden

$\Rightarrow$ nur so ist eine eindeutige Interpretation des Funktionaufrufs möglich!

Beispiel zur Verwendung von Default-

```
// Standardverhalten: i bleibt unverändert
void increase( int& i, int amount = 0, float factor = 1 ) {
  i = factor * ( i + amount );
}

int a = 3;
a = increase( a, 5 ); // a <- 1 * ( 3 + 5 )
```

Bemerkung: Im obigen Beispiel wird die Angabe eines optionalen Parameters immer dem Variablen `amount` zugeordnet

Das Parameter-Attribut `const`

Ziel: Anzeige, dass ein per-reference-Parameter innerhalb der Funktion nicht geändert wird

Syntax, falls *Type_i* ein Referenz- oder Zeigertyp ist: *Return-Type Name* `( ...,`

```
const Type_i Argument_i, ... ) {
  Code
}
```

Überladen von Funktionen

Problem: Funktionen, die dieselbe Funktionalität für verschiedene Parametertypen umsetzen, sollten gleich benannt werden können

Überladene Funktionen besitzen den gleichen Namen, aber eine unterschiedliche ***Parameterliste*** (Typen und Reihenfolge der Parameter)

Es ist verboten, dass sich alleine der Rückgabetyp unterscheidet!

Compiler wählt selbständig die passende Funktion aus

$\Rightarrow$ Achtung: Unter Umständen werden Parameter implizit umgewandelt

Beispiel:

```
int   add ( int   a, int   b ) { return a+b; } // Variante 1
float add ( float a, float b ) { return a+b; } // Variante 2
...
int    i1 = 2, i2 = 4;
float  f1 = 1.1, f2 = 7.9;
int    resInt = add( i1, i2 ); // Compiler wählt Variante 1
float  resFlt = add( f1, f2 ); // Compiler wählt Variante 2
double resDbl = add( f1, i2 ); // ??? (sollte vermieden werden!)
```

Prototypen

Erinnerung: Funktionen müssen ***deklariert*** werden, bevor sie genutzt werden können

Problem: Was tun, wenn sich zwei Funktionen gegenseitig aufrufen?

Bislang: Deklaration der Funktion durch deren ***Definition***, d.h. gleichzeitige Angabe des ***Funktionsheaders*** (Rückgabewert und Signatur) und des ***Funktionsrumpfs***

Prototyp (=Funktionsheader): Reine Deklaration einer Funktion möglich

Beispiel:

```
bool odd ( int a );  // Prototyp für odd
bool even( int a );  // Prototyp für even
...
bool b = odd( 3 );
...
bool even( int a ) { return !odd(a); } // Definition von even
bool odd ( int a ) { return a % 2; }   // Definition von odd
```

Die `main`-Funktion

`main`-Funktion definiert den eindeutigen ***Einstiegspunkt*** für die Ausführung des Programms

$\Rightarrow$ muss exakt einmal auftreten!

Deklaration von `main`: `int main (int argc, char* argv[])`

- Die Benennung der Parameter ist beliebig, sie werden i.a. aber wie oben benannt
- *argv* ist ein Array von char-Arrays (Zeichenketten)

`argc, argv` geben Anzahl und Inhalt der dem Programm beim Aufruf übergebenen Parameter wieder

Die Parameter können auch weggelassen werden, wenn sie nicht genutzt werden sollen: `int main()`

Nutzung der Parameter-Inhalte geschieht i.a. durch Umwandlung der Zeichenketten in entsprechende Typen (siehe dazu `string`-Klasse)