11. Referenztypen

Referenztypen: Definition und Initialisierung, Pass By Value , Pass by Reference, Temporäre Objekte, Konstanten, Const-Referenzen

Swap!

```
// POST: values of x and y are exchanged
void swap (int& x, int& y) {
 int t = x;
 x = y;
 y = t;
}
int main(){
    int a = 2;
    int b = 1;
    swap (a, b);
    assert (a == 1 && b == 2); // ok!
}
```

Referenztypen

- Wir können Funktionen in die Lage versetzen, die Werte ihrer Aufrufargumente zu ändern!
- Kein neues Konzept auf der Funktionenseite, sondern eine neue Klasse von Typen

Referenztypen

Referenztypen: Definition

T& Gelesen als „*T*-Referenz“

Zugrundeliegender Typ

- *T&* hat den gleichen Wertebereich und gleiche Funktionalität wie *T*, ...
- nur Initialisierung und Zuweisung funktionieren anders.

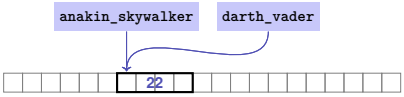
Anakin Skywalker alias Darth Vader

Anakin Skywalker alias Darth Vader

```
int anakin_skywalker = 9;
int& darth_vader = anakin_skywalker; //  Alias
darth_vader = 22;
```

Zuweisung an den L-Wert hinter dem Alias

```
std::cout << anakin_skywalker; // 22
```



Referenztypen: Initialisierung & Zuweisung

```
int& darth_vader = anakin_skywalker;
darth_vader = 22; // anakin_skywalker = 22
```

- Eine Variable mit Referenztyp (eine *Referenz*) kann nur mit einem L-Wert initialisiert werden.
- Die Variable wird dabei ein *Alias* des L-Werts (ein anderer Name für das referenzierte Objekt).
- Zuweisung an die Referenz erfolgt an das Objekt hinter dem Alias.

Referenztypen: Realisierung

Intern wird ein Wert vom Typ *T&* durch die Adresse eines Objekts vom Typ *T* repräsentiert.

```
int& j;  // Fehler: j muss Alias von irgendetwas sein

int& k = 5;  // Fehler: Das Literal 5 hat keine Adresse
```

Pass by Reference

Referenztypen erlauben Funktionen, die Werte ihrer Aufrufargumente zu ändern:

```
void increment (int& i) ← Initialisierung der formalen Argumente
{ // i wird Alias des Aufrufarguments
    ++i;
}
...
int j = 5;
increment (j);
std::cout << j << "\n"; // 6
```

Pass by Reference

Formales Argument hat Referenztyp:

⇒ **Pass by Reference**

Formales Argument wird (intern) mit der *Adresse* des Aufrufarguments (L-Wert) initialisiert und wird damit zu einem *Alias*.

Pass by Value

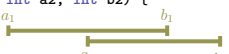
Formales Argument hat keinen Referenztyp:

⇒ **Pass by Value**

Formales Argument wird mit dem *Wert* des Aufrufarguments (R-Wert) initialisiert und wird damit zu einer *Kopie*.

Referenzen im Kontext von intervals_intersect

```
// PRE:  [a1, b1], [a2, b2] are (generalized) intervals,
// POST: returns true if [a1, b1], [a2, b2] intersect, in which case
//       [l, h] contains the intersection of [a1, b1], [a2, b2]
bool intervals_intersect (int& l, int& h,
                          int a1, int b1, int a2, int b2) {
  sort (a1, b1);
  sort (a2, b2);
  l = std::max (a1, a2); // Zuweisungen
  h = std::min (b1, b2); // via Referenzen
  return l <= h;
}
...
int lo = 0; int hi = 0;
if (intervals_intersect (lo, hi, 0, 2, 1, 3)) // Initialisierung
    std::cout << "[" << lo << "," << hi << "]" << "\n"; // [1,2]
```



Referenzen im Kontext von intervals_intersect

```
// POST: a <= b
void sort (int& a, int& b) {
   if (a > b)
     std::swap (a, b); // Initialisierung ("Durchreichen" von a, b)
}

bool intervals_intersect (int& l, int& h,
                          int a1, int b1, int a2, int b2) {
  sort (a1, b1); // Initialisierung
  sort (a2, b2); // Initialisierung
  l = std::max (a1, a2);
  h = std::min (b1, b2);
  return l <= h;
}
```


Return by Value / Reference

- Auch der Rückgabetyp einer Funktion kann ein Referenztyp sein (return by reference)
- In diesem Fall ist der Funktionsausfruf selbst ein L-Wert

```
int& increment (int& i)
{
    return ++i;
}
```

Exakt die Semantik des Prä-Inkrements

Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

```
int& foo (int i)
{
    return i;
}
```

Rückgabewert vom Typ `int&` wird Alias des formalen Arguments, dessen Speicherdauer aber nach Auswertung des Funktionsaufrufes endet.

```
int k = 3;
int& j = foo (k); // j ist Alias einer "Leiche"
std::cout << j << "\n";  // undefined behavior
```


Die Referenz-Richtlinie

Referenz-Richtlinie

Wenn man eine Referenz erzeugt, muss das Objekt, auf das sie verweist, mindestens so lange „leben“ wie die Referenz selbst.

Const-Referenzen

- haben Typ `const T &`
- Typ kann verstanden werden als „(`const T`) `&`“
- können auch mit R-Werten initialisiert werden (Compiler erzeugt temporäres Objekt ausreichender Lebensdauer)

`const T& r` = *lvalue*;

r wird mit der Adresse von *lvalue* initialisiert (effizient)

`const T& r` = *rvalue*;

r wird mit der Adresse eines temporären Objektes vom Wert des *rvalue* initialisiert (pragmatisch)

Wann `const T&` ?

Regel

Argumenttyp `const T &` (pass by *read-only* reference) wird aus Effizienzgründen anstatt *T* (pass by value) benutzt, wenn der Typ *T* grossen Speicherbedarf hat. Für fundamentale Typen (`int`, `double`,...) lohnt es sich aber nicht.

Beispiele folgen später in der Vorlesung

Was genau ist konstant?

Betrachte L-Wert vom Typ `const T`

- Fall 1: *T* ist kein Referenztyp

Dann ist der L-Wert eine Konstante.

```
const int n = 5;
int& i = n; // error: const-qualification is discarded
i = 6;
```

Der Schummelversuch wird vom Compiler erkannt

Was genau ist konstant?

Betrachte L-Wert vom Typ `const T`

- Fall 2: *T* ist Referenztyp

Dann ist der L-Wert ein Lese-Alias, durch den der Wert dahinter nicht verändert werden darf.

```
int n = 5;
const int& i = n;// i: Lese-Alias von n
int& j = n;      // j: Lese-Schreib-Alias
i = 6;           // Fehler: i ist Lese-Alias
j = 6;           // ok: n bekommt Wert 6
```

12. Vektoren I

Vektoren, Sieb des Eratosthenes, Speicherlayout, Iteration

Vektoren: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren

```
for (int i=0; i<n ; ++i) ...
```

- Oft muss man aber über *Daten* iterieren (Beispiel: Finde ein Kino in Zürich, das heute „C++ Runner 2049“ zeigt)
- Vektoren dienen zum Speichern *gleichartiger* Daten (Beispiel: Spielpläne aller Zürcher Kinos)

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

Am Ende des Streichungsprozesses bleiben nur die Primzahlen übrig.

- Frage: wie streichen wir Zahlen aus ??
- Antwort: mit einem *Vektor*.

Sieb des Eratosthenes mit Vektoren

```
#include <iostream>
#include <vector> // standard containers with vector functionality
int main() {
  // input
  std::cout << "Compute prime numbers in {2,...,n-1} for n =? ";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

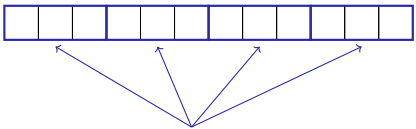
  // definition and initialization: provides us with Booleans
  // crossed_out[0],..., crossed_out[n-1], initialized to false
  std::vector<bool> crossed_out (n, false);

  // computation and output
  std::cout << "Prime numbers in {2,...," << n-1 << "}:\n";
  for (unsigned int i = 2; i < n; ++i)
    if (!crossed_out[i]) { // i is prime
      std::cout << i << " ";
      // cross out all proper multiples of i
      for (unsigned int m = 2*i; m < n; m += i)
        crossed_out[m] = true;
    }
  std::cout << "\n";
  return 0;
```

Speicherlayout eines Vektors

- Ein Vector belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich

Beispiel: ein Vektor mit 4 Elementen

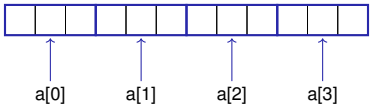


Speicherzellen für jeweils einen Wert vom Typ `T`

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

Der L-Wert

hat Typ *T* und bezieht sich auf das i-te Element des Vektors *a* (Zählung ab 0!)



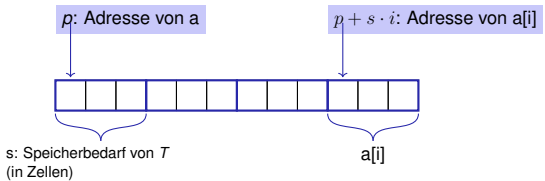
Wahlfreier Zugriff (Random Access)

a [expr]

- Der Wert i von *expr* heisst *Index*
- `[]`: Subskript-Operator
- *a*[*expr*] Ist ein L-Wert

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

- Wahlfreier Zugriff ist sehr effizient:



Vektor Initialisierung

- `std::vector<int> a (5);`
  Die 5 Elemente von `a` werden mit null initialisiert
- `std::vector<int> a (5, 2);`
  Die 5 Elemente von `a` werden mit 2 initialisiert.
- `std::vector<int> a {4, 3, 5, 2, 1};`
  Der Vektor wird mit einer *Initialisierungsliste* initialisiert.
- `std::vector<int> a;`
  Ein leerer Vektor wird erstellt.

Achtung

- Der Zugriff auf Elemente ausserhalb der gültigen Grenzen eines Vektors führt zu undefiniertem Verhalten.

```
std::vector arr (10);
for (int i=0; i<=10; ++i)
  arr[i] = 30; // Laufzeit-Fehler: Zugriff auf arr[10]!
```


Achtung

Prüfung der Indexgrenzen

Bei Verwendung des Indexoperators auf einem Vektor ist es die alleinige *Verantwortung des Programmierers*, die Gültigkeit aller Elementzugriffe zu prüfen.

Vektoren bieten Komfort

```
std::vector<int> v (10);
v.at(5) = 3; // with bound check
v.push_back(8); // 8 is appended
std::vector<int> w = v; // w is initialized with v
int sz = v.size(); // sz = 11
```

13. Zeichen und Texte I

Zeichen und Texte, ASCII, UTF-8, Caesar-Code

Zeichen und Texte

- Texte haben wir schon gesehen:

```
std::cout << "Prime numbers in {2,...,999}:\n";
```

String-Literal

- Können wir auch „richtig“ mit Texten arbeiten? Ja:

Zeichen:	Wert des fundamentalen Typs `char`
Text:	`std::string` $\approx$ Vektor von `char` Elementen

Der Typ `char` („character“)

- repräsentiert druckbare Zeichen (z.B. `'a'`) und *Steuerzeichen* (z.B. `'\n'`)

```
char c = 'a'
```

definiert Variable c vom Typ `char` mit Wert `'a'`

Literal vom Typ `char`

Der Typ `char` („character“)

ist formal ein ganzzahliger Typ

- Werte konvertierbar nach `int` / `unsigned int`
- Alle arithmetischen Operatoren verfügbar (Nutzen zweifelhaft: was ist `'a'/'b'` ?)
- Werte belegen meistens 8 Bit

Wertebereich:
$\{-128, \ldots, 127\}$ oder $\{0, \ldots, 255\}$

Der ASCII-Code

- definiert konkrete Konversionsregeln
  `char` $\longrightarrow$ `int / unsigned int`
- wird von fast allen Plattformen benutzt

Zeichen $\longrightarrow \{0, \ldots, 127\}$
`'A', 'B', ... , 'Z'` $\longrightarrow 65, 66, ..., 90$
`'a', 'b', ... , 'z'` $\longrightarrow 97, 98, ..., 122$
`'0', '1', ... , '9'` $\longrightarrow 48, 49, ..., 57$

- ```
  for (char c = 'a'; c <= 'z'; ++c)
      std::cout << c;
  ```
  `abcdefghijklmnopqrstuvwxyz`

Erweiterung von ASCII: UTF-8

- Internationalisierung von Software $\Rightarrow$ grosse Zeichensätze nötig. Heute üblich: Unicode, 100 Schriftsysteme, 110000 Zeichen.
- ASCII kann mit 7 Bits codiert werden. Ein achtes Bit ist verwendbar, um das Vorkommen weiterer Bits festzulegen.

Bits	Encoding
7	0xxxxxxx
11	110xxxxx 10xxxxxx
16	1110xxxx 10xxxxxx 10xxxxxx
21	11110xxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx
26	111110xx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx
31	1111110x 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx

Interessante Eigenschaft: bei jedem Byte kann entschieden werden, ob ein UTF8 Zeichen beginnt.

Einige Zeichen in UTF-8

Symbol	Codierung (jeweils 16 Bit)
ﺉ	11101111 10101111 10111001
☠	11100010 10011000 10100000
☃	11100010 10011000 10000011
🐓	11100010 10011000 10011001
A	01000001

P.S.: Suchen Sie mal nach `apple "unicode of death"` P.S.: Unicode/UTF-8 ist nicht klausurrelevant

Caesar-Code

Ersetze jedes druckbare Zeichen in einem Text durch seinen Vor-Vor-Vorgänger.

' '	(32)	$\rightarrow$	'|'	(124)
'!'	(33)	$\rightarrow$	'}'	(125)
		...		
'D'	(68)	$\rightarrow$	'A'	(65)
'E'	(69)	$\rightarrow$	'B'	(66)
		...		
$\sim$	(126)	$\rightarrow$	'{'	(123)


  ```

Caesar-Code: `shift`-Funktion

```
// pre: divisor > 0
// post: return the remainder of dividend / divisor
//       with 0 <= result < divisor
int mod(int dividend, int divisor);

// POST: if c is one of the 95 printable ASCII characters, c is
//       cyclically shifted s printable characters to the right
char shift(char c, int s) {
    if (c >= 32 && c <= 126) { // c printable
      c = 32 + mod(c - 32 + s,95)};
    }
    return c;
}
```

"- 32" transforms interval $[32, 126]$ to $[0, 94]$
"32 +" transforms interval $[0, 94]$ back to $[32, 126]$
mod(x,95) is the representative of $x (\mathrm{mod} 95)$ in interval $[0, 94]$

Caesar-Code: `caesar`-Funktion

```
// POST: Each character read from std::cin was shifted cyclically
//       by s characters and afterwards written to std::cout
void caesar(int s) {
  std::cin >> std::noskipws; // #include <ios>

  char next;
  while (std::cin >> next) {
    std::cout << shift(next, s);
  }
}
```

Konversion nach `bool`: liefert *false* genau dann, wenn die Eingabe leer ist.

Verschiebt nur druckbare Zeichen.

Caesar-Code: Hauptprogramm

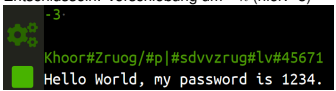
```
int main() {
  int s;
  std::cin >> s;

  // Shift input by s
  caesar(s);

  return 0;
}
```

Verschlüsseln: Verschiebung um n (hier: 3)

Entschlüsseln: Verschiebung um $-n$ (hier: -3)



Caesar-Code: Generalisierung

```
void caesar(int s) {
  std::cin >> std::noskipws;

  char next;
  while (std::cin >> next) {
    std::cout << shift(next, s);
  }
}
```

- Momentan nur von `std::cin` nach `std::cout`

- Besser: von beliebiger Zeichenquelle (Konsole, Datei, ...) zu beliebiger Zeichensenke (Konsole, ...)