11. Referenztypen

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

Swap!

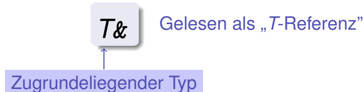
```
// POST: values of x and y are exchanged
void swap (int& x, int& y) {
 int t = x;
 x = y;
 y = t;
}
int main(){
    int a = 2;
    int b = 1;
    swap (a, b);
    assert (a == 1 && b == 2); // ok!
}
```


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

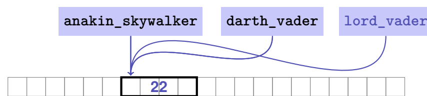
Anakin Skywalker alias Darth Vader

Anakin Skywalker alias Darth Vader

```
int anakin_skywalker = 9;
int& darth_vader = anakin_skywalker; //  Alias
int& lord_vader = darth_vader; // noch ein 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
```

Call 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
```

Call by Reference

Formales Argument hat Referenztyp:

⇒ **Call by Reference**

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

Call by Value

Formales Argument hat keinen Referenztyp:

⇒ **Call 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.

Der Compiler als Freund: Konstanten

Konstanten

- sind Variablen mit unveränderbarem Wert

```
const int speed_of_light = 299792458;
```

- Verwendung: `const` vor der Definition

Der Compiler als Freund: Konstanten

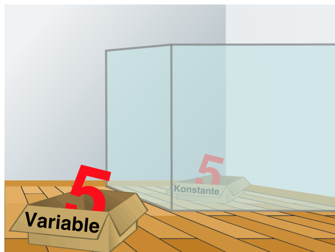
- Compiler kontrolliert Einhaltung des `const`-Versprechens

```
const int speed_of_light = 299792458;
...
speed_of_light = 300000000;
```

Compilerfehler!

- Hilfsmittel zur Vermeidung von Fehlern: Konstanten erlauben garantierte Einhaltung des Versprechens *“Wert ändert sich nicht”*

Konstanten: Variablen hinter Glas



Die `const`-Richtlinie

`const`-Richtlinie

Denke bei *jeder Variablen* darüber nach, ob sie im Verlauf des Programmes jemals ihren Wert ändern wird oder nicht! Im letzteren Falle verwende das Schlüsselwort `const`, um die Variable zu einer Konstanten zu machen!

Ein Programm, welches diese Richtlinie befolgt, heisst `const`-korrekt.

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)

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
```


Wann `const` *T*`&` ?

Regel

Argumenttyp `const` *T* `&` (call by *read-only* reference) wird aus Effizienzgründen anstatt *T* (call 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

12. Felder (Arrays) I

Feldtypen, Sieb des Eratosthenes, Speicherlayout, Iteration, Vektoren, Zeichen und Texte, ASCII, UTF-8, Caesar-Code

Felder: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren

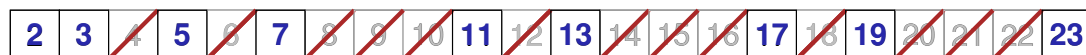
```
for (int i=0; i<n ; ++i) ...
```

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

Felder: 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 *Feld* (Array).

Sieb des Eratosthenes: Initialisierung

```
const unsigned int n = 1000;
bool crossed_out[n];
for (unsigned int i = 0; i < n; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

Konstante!

`crossed_out[i]` gibt an, ob i schon ausgestrichen wurde.

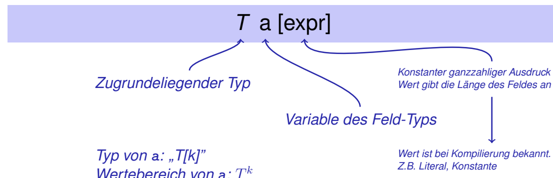
Sieb des Eratosthenes: Berechnung

```
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;
    }
}
```

Das Sieb: gehe zur jeweils nächsten nichtgestrichenen Zahl i (diese ist Primzahl), gib sie aus und streiche alle echten Vielfachen von i aus.

Felder: Definition

Deklaration einer Feldvariablen (array):

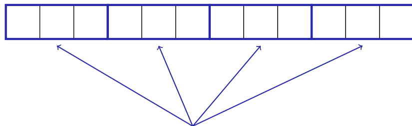


Beispiel: `bool crossed_out[n]`

Speicherlayout eines Feldes

- Ein Feld belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich

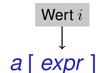
Beispiel: ein Feld mit 4 Elementen



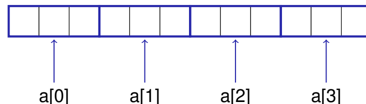
Speicherzellen für jeweils einen Wert vom Typ `T`

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

Der L-Wert



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



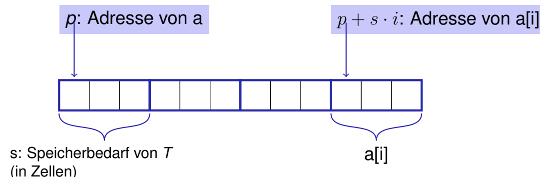
Wahlfreier Zugriff (Random Access)

a [*expr*]

Der Wert i von *expr* heisst *Feldindex*.
[]: Subskript-Operator

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

- Wahlfreier Zugriff ist sehr effizient:



Feld-Initialisierung

- `int a[5];`

  Die 5 Elemente von a bleiben uninitialisiert (können später Werte zugewiesen bekommen)

- `int a[5] = {4, 3, 5, 2, 1};`

  Die 5 Elemente von a werden mit einer *Initialisierungsliste* initialisiert.

- `int a[] = {4, 3, 5, 2, 1};`

Auch ok: Länge wird vom Compiler deduziert

Felder sind primitiv

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

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

Felder sind primitiv

Prüfung der Feldgrenzen

In Abwesenheit spezieller Compiler- oder Laufzeitunterstützung ist es die alleinige *Verantwortung des Programmierers*, die Gültigkeit aller Elementzugriffe zu prüfen.

Felder sind primitiv (II)

- Man kann Felder nicht wie bei anderen Typen initialisieren und zuweisen:

```
int a[5] = {4,3,5,2,1};
int b[5];
b = a;          // Fehlermeldung des Compilers!
int c[5] = a;   // Fehlermeldung des Compilers!
```

Warum?

Felder sind primitiv

- Felder sind „Erblast" der Sprache C und aus heutiger Sicht primitiv
- Felder sehr maschinennah und daher effizient
- Fehlendes Prüfen der Feldgrenzen hat weitreichende Konsequenzen: Code mit nicht erlaubten aber möglichen Index-Zugriffen wurde von Schadsoftware schon (viel zu) oft ausgenutzt
- Die Standard-Bibliothek bietet komfortable Alternativen

Vektoren

- Offensichtlicher Nachteil statischer Felder: *konstante Feldlänge*

```
const unsigned int n = 1000;
bool crossed_out[n];
```

- Abhilfe: Verwendung des Typs `Vector` aus der Standardbibliothek

```
#include <vector>
...
std::vector<bool> crossed_out (n, false);
```

Initialisierung mit n Elementen
Initialwert `false`.

Elementtyp, in spitzen Klammern

Sieb des Eratosthenes mit Vektoren

```
#include <iostream>
#include <vector> // standard containers with array 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;
```


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:	Feld mit zugrundeliegendem Typ `char`

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)
ﯹ	`11101111 10101111 10111001`
☠	`11100010 10011000 10100000`
☃	`11100010 10011000 10000011`
☙	`11100010 10011000 10011001`
A	`01000001`

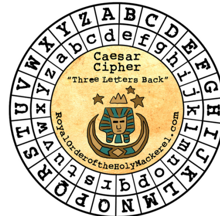
http://t-a-w.blogspot.ch/2008/12/funny-characters-in-unicode.html

P.S.: Suchen Sie mal nach `apple "unicode of death"`

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: Hauptprogramm

```cpp
// Program: caesar_encrypt.cpp
// encrypts a text by applying a cyclic shift of -3

#include<iostream>
#include<cassert>
#include<ios> // for std::noskipws

// PRE: -95 < s < 95
// POST: if c is one of the 95 printable ASCII characters, c is
//       cyclically shifted s printable characters to the right
void shift (char& c, int s);
```

Leerzeichen und Zeilenumbrüche sollen *nicht* ignoriert werden

Caesar-Code: Hauptprogramm

```cpp
int main ()
{
  std::cin >> std::noskipws; // don't skip whitespaces!

  // encryption loop
  char next;
  while (std::cin >> next) {
    shift (next, -3);
    std::cout << next;
  }
  return 0;
}
```

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

Verschiebt nur druckbare Zeichen.

Caesar-Code: shift-Funktion

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

- Call by reference!
- Überlauf – 95 zurück!
- Unterlauf – 95 vorwärts!
- Normale Verschiebung

./caesar_encrypt < power8.cpp

```
„|Moldo^j7|mltbo5+‘mm
„|O^fpb|^|krj_bo|ql|qeb|bfdeqe|mltbo+

 fk‘irab|9flpqob^j;|

fkq|j^fk%&
x
||„|fkmrq
||pqa77‘lrq|99|~@ljmrqb|^[5|clo|^|:<|~8||
||fkq|^8
||pqa77‘fk|;;|^8

||„|‘ljmrq^qflk
||fkq|_|:|^|’|^8|„|_|:|^[/
||_|:|_|’|_8|||||„|_|:|^[1

||„|lrqmrq|_|’|_)|f+b+)|^[5
||pqa77‘lrq|99|^|99|~[5|:|~|99|_|’|_|99|~+Yk~8
||obqrok|-8
z
```

Program = Moldo^j

Caesar-Code: Entschlüsselung

```
// decryption loop
char next;
while (std::cin >> next) {
  shift (next, 3);
  std::cout << next;
}
```

Jetzt: Verschiebung um 3 nach *rechts*

Interessante Art, `power8.cpp` auszugeben:

- `./caesar_encrypt < power8.cpp | ./caeser_decrypt`