

# 3. Wahrheitswerte

Boolesche Funktionen; der Typ `bool`; logische und relationale Operatoren; Kurzschlussauswertung

# Wo wollen wir hin?

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

# Wo wollen wir hin?

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

Verhalten hängt ab vom Wert eines *Booleschen Ausdrucks*

# Wo wollen wir hin?

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

Verhalten hängt ab vom Wert eines *Booleschen Ausdrucks*

# Boolesche Werte in der Mathematik

Boolesche Ausdrücke können zwei mögliche Werte annehmen:

*0* oder *1*

# Boolesche Werte in der Mathematik

Boolesche Ausdrücke können zwei mögliche Werte annehmen:

*0* oder *1*

- *0* entspricht „*falsch*“
- *1* entspricht „*wahr*“

# Der Typ `bool` in C++

- Repräsentiert *Wahrheitswerte*

# Der Typ `bool` in C++

- Repräsentiert *Wahrheitswerte*
- Literale `false` und `true`



# Der Typ `bool` in C++

- Repräsentiert *Wahrheitswerte*
- Literale `false` und `true`
- Wertebereich {*false*, *true*}

```
bool b = true; // Variable mit Wert true (wahr)
```

# Relationale Operatoren

$a < b$  (kleiner als)

Zahlentyp  $\times$  Zahlentyp  $\rightarrow$  bool

R-Wert  $\times$  R-Wert  $\rightarrow$  R-Wert

# Relationale Operatoren

`a < b` (kleiner als)

```
bool b = (1 < 3); // b =
```

# Relationale Operatoren

`a < b` (kleiner als)

```
bool b = (1 < 3); // b = true (wahr)
```

# Relationale Operatoren

`a >= b` (grösser gleich)

```
int a = 0;  
bool b = (a >= 3); // b =
```

# Relationale Operatoren

`a >= b` (grösser gleich)

```
int a = 0;  
bool b = (a >= 3); // b = false (falsch)
```

# Relationale Operatoren

a == b (gleich)

```
int a = 4;  
bool b = (a % 3 == 1); // b =
```

# Relationale Operatoren

a == b (gleich)

```
int a = 4;  
bool b = (a % 3 == 1); // b = true (wahr)
```



# Relationale Operatoren

`a != b` (ungleich)

```
int a = 1;  
bool b = (a != 2*a-1); // b =
```

# Relationale Operatoren

`a != b` (ungleich)

```
int a = 1;  
bool b = (a != 2*a-1); // b = false (falsch)
```

# Boolesche Funktionen in der Mathematik

- Boolesche Funktion

$$f : \{0, 1\}^2 \rightarrow \{0, 1\}$$

- 0 entspricht „falsch“.
- 1 entspricht „wahr“.

- „Logisches Und“

$$f : \{0, 1\}^2 \rightarrow \{0, 1\}$$

- 0 entspricht „falsch“.
- 1 entspricht „wahr“.

$x$	$y$	$\text{AND}(x, y)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

# Logischer Operator &&

`a && b` (logisches Und)

`bool × bool → bool`

R-Wert × R-Wert → R-Wert

# Logischer Operator &&

a && b      (logisches Und)

```
int n = -1;  
int p = 3;  
bool b = (n < 0) && (0 < p); //
```

# Logischer Operator &&

a && b      (logisches Und)

```
int n = -1;  
int p = 3;  
bool b = (n < 0) && (0 < p); // b = true (wahr)
```

- „Logisches Oder“

$$f : \{0, 1\}^2 \rightarrow \{0, 1\}$$

- 0 entspricht „falsch“.
- 1 entspricht „wahr“.

$x$	$y$	$\text{OR}(x, y)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



# Logischer Operator ||

`a || b` (logisches Oder)

`bool × bool → bool`

R-Wert × R-Wert → R-Wert

# Logischer Operator ||

a || b      (logisches Oder)

```
int n = 1;  
int p = 0;  
bool b = (n < 0) || (0 < p); //
```

# Logischer Operator ||

a || b      (logisches Oder)

```
int n = 1;  
int p = 0;  
bool b = (n < 0) || (0 < p); // b = false (falsch)
```

- „Logisches Nicht“

$$f : \{0, 1\} \rightarrow \{0, 1\}$$

- 0 entspricht „falsch“.
- 1 entspricht „wahr“.

$x$	NOT( $x$ )
0	1
1	0

# Logischer Operator !

`!b` (logisches Nicht)

`bool`  $\rightarrow$  `bool`

R-Wert  $\rightarrow$  R-Wert

# Logischer Operator !

!b      (logisches Nicht)

```
int n = 1;  
bool b = !(n < 0); //
```

# Logischer Operator !

!b      (logisches Nicht)

```
int n = 1;  
bool b = !(n < 0); // b = true (wahr)
```

# Präzedenzen

`!b && a`



# Präzedenzen

`!b && a`  
⇕  
`(!b) && a`

# Präzedenzen

a && b || c && d

# Präzedenzen

a && b || c && d  
⇕  
(a && b) || (c && d)

# Präzedenzen

a || b && c || d

# Präzedenzen

$a \ || \ b \ \&\& \ c \ || \ d$   
 $\Updownarrow$   
 $a \ || \ (b \ \&\& \ c) \ || \ d$

# Präzedenzen

```
7 + x < y && y != 3 * z || ! b
```

# Präzedenzen

*Der unäre logische* Operator !

bindet stärker als

```
7 + x < y && y != 3 * z || (!b)
```

# Präzedenzen

*Der unäre logische* Operator !

bindet stärker als

*binäre arithmetische* Operatoren. Diese

binden stärker als

```
(7 + x) < y && y != (3 * z) || (!b)
```



# Präzedenzen

*Der unäre logische* Operator !

bindet stärker als

*binäre arithmetische* Operatoren. Diese

binden stärker als

*relationale* Operatoren,

und diese binden stärker als

```
((7 + x) < y) && (y != (3 * z)) || (!b)
```

# Präzedenzen

*Der unäre logische* Operator !

bindet stärker als

*binäre arithmetische* Operatoren. Diese

binden stärker als

*relationale* Operatoren,

und diese binden stärker als

*binäre logische* Operatoren.

```
((7 + x) < y) && (y != (3 * z)) || (!b)
```

# Vollständigkeit

- AND, OR und NOT sind die in C++ verfügbaren Booleschen Funktionen.

# Vollständigkeit: $\text{XOR}(x, y)$

$$x \oplus y$$

- AND, OR und NOT sind die in C++ verfügbaren Booleschen Funktionen.
- Alle anderen *binären* Booleschen Funktionen sind daraus erzeugbar.

$x$	$y$	$\text{XOR}(x, y)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$\text{XOR}(x, y) = \text{AND}(\text{OR}(x, y), \text{NOT}(\text{AND}(x, y))).$$

$$\text{XOR}(x, y) = \text{AND}(\text{OR}(x, y), \text{NOT}(\text{AND}(x, y))).$$

$$x \oplus y = (x \vee y) \wedge \neg(x \wedge y).$$

$$\text{XOR}(x, y) = \text{AND}(\text{OR}(x, y), \text{NOT}(\text{AND}(x, y))).$$

$$x \oplus y = (x \vee y) \wedge \neg(x \wedge y).$$

$$(x \ || \ y) \ \&\& \ !(x \ \&\& \ y)$$

# Vollständigkeit Beweis

- Identifiziere binäre Boolesche Funktionen mit ihrem charakteristischen Vektor.



# Vollständigkeit Beweis

- Identifiziere binäre Boolesche Funktionen mit ihrem charakteristischen Vektor.

$x$	$y$	XOR( $x, y$ )
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Vollständigkeit Beweis

- Identifiziere binäre Boolesche Funktionen mit ihrem charakteristischen Vektor.

$x$	$y$	$\text{XOR}(x, y)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Charakteristischer Vektor: 0110

# Vollständigkeit Beweis

- Identifiziere binäre Boolesche Funktionen mit ihrem charakteristischen Vektor.

$x$	$y$	XOR( $x, y$ )
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Charakteristischer Vektor: 0110

$$\text{XOR} = f_{0110}$$

# Vollständigkeit Beweis

- Schritt 1: erzeuge die *elementaren* Funktionen  $f_{0001}$ ,  $f_{0010}$ ,  $f_{0100}$ ,  $f_{1000}$

$$f_{0001} = \text{AND}(x, y)$$

$$f_{0010} = \text{AND}(x, \text{NOT}(y))$$

$$f_{0100} = \text{AND}(y, \text{NOT}(x))$$

$$f_{1000} = \text{NOT}(\text{OR}(x, y))$$

# Vollständigkeit Beweis

- Schritt 2: erzeuge alle Funktionen durch “Veroderung” elementarer Funktionen

$$f_{1101} = \text{OR}(f_{1000}, \text{OR}(f_{0100}, f_{0001}))$$

# Vollständigkeit Beweis

- Schritt 2: erzeuge alle Funktionen durch “Veroderung” elementarer Funktionen

$$f_{1101} = \text{OR}(f_{1000}, \text{OR}(f_{0100}, f_{0001}))$$

- Schritt 3: erzeuge  $f_{0000}$

$$f_{0000} = 0.$$

# bool vs int: Konversion

- `bool` kann überall dort verwendet werden, wo `int` gefordert ist

# bool vs int: Konversion

- `bool` kann überall dort verwendet werden, wo `int` gefordert ist

<code>bool</code>	→	<code>int</code>
<i>true</i>	→	1
<i>false</i>	→	0



# bool vs int: Konversion

- `bool` kann überall dort verwendet werden, wo `int` gefordert ist – und umgekehrt.

<code>bool</code>	→	<code>int</code>
<i>true</i>	→	1
<i>false</i>	→	0
<code>int</code>	→	<code>bool</code>
$\neq 0$	→	<i>true</i>
0	→	<i>false</i>

# bool vs int: Konversion

- `bool` kann überall dort verwendet werden, wo `int` gefordert ist – und umgekehrt.

<code>bool</code>	→	<code>int</code>
<i>true</i>	→	1
<i>false</i>	→	0
<code>int</code>	→	<code>bool</code>
<code>≠0</code>	→	<i>true</i>
0	→	<i>false</i>

```
bool b = 3; // b=true
```

# bool vs int: Konversion

- `bool` kann überall dort verwendet werden, wo `int` gefordert ist – und umgekehrt.
- Viele existierende Programme verwenden statt `bool` den Typ `int`.  
*Das ist schlechter Stil, der noch auf die Sprache C zurückgeht.*

<code>bool</code>	→	<code>int</code>
<i>true</i>	→	1
<i>false</i>	→	0
<code>int</code>	→	<code>bool</code>
<code>≠0</code>	→	<i>true</i>
0	→	<i>false</i>

```
bool b = 3; // b=true
```

# DeMorgansche Regeln

- $!(a \ \&\& \ b) == (!a \ || \ !b)$

# DeMorgansche Regeln

■  $!(a \ \&\& \ b) == (!a \ || \ !b)$

$!$  (reich *und* schön) == (arm *oder* hässlich)

# DeMorgansche Regeln

■  $!(a \ \&\& \ b) == (!a \ || \ !b)$

■  $!(a \ || \ b) == (!a \ \&\& \ !b)$

! (reich *und* schön) == (arm *oder* hässlich)

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

`(x || y) && !(x && y)`

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

`(x || y) && !(x && y)` x oder y, und nicht beide



# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

`(x || y) && !(x && y)` x oder y, und nicht beide

`(x || y) && (!x || !y)`

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

`(x || y) && !(x && y)` x oder y, und nicht beide

`(x || y) && (!x || !y)` x oder y, und eines nicht

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

$(x \ || \ y) \ \ \ \ \ \&\& \ ! (x \ \&\& \ y)$      $x$  oder  $y$ , und nicht beide

$(x \ || \ y) \ \ \ \ \ \&\& \ (!x \ || \ !y)$      $x$  oder  $y$ , und eines nicht

$!(\ !x \ \&\& \ !y) \ \ \ \ \ \&\& \ ! (x \ \&\& \ y)$

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

`(x || y) && !(x && y)` x oder y, und nicht beide

`(x || y) && (!x || !y)` x oder y, und eines nicht

`!(!x && !y) && !(x && y)` nicht keines, und nicht beide

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

`(x || y) && !(x && y)` x oder y, und nicht beide

`(x || y) && (!x || !y)` x oder y, und eines nicht

`!(!x && !y) && !(x && y)` nicht keines, und nicht beide

`!(!x && !y || x && y)`

# Anwendung: Entweder ... Oder (XOR)

$(x \ || \ y) \ \ \ \ \ \&\& \ ! (x \ \&\& \ y)$      $x$  oder  $y$ , und nicht beide

$(x \ || \ y) \ \ \ \ \ \&\& \ (!x \ || \ !y)$      $x$  oder  $y$ , und eines nicht

$!(\ !x \ \&\& \ !y) \ \ \ \ \ \&\& \ ! (x \ \&\& \ y)$     nicht keines, und nicht beide

$!(\ !x \ \&\& \ !y \ || \ x \ \&\& \ y)$     nicht: keines oder beide

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 6  $\Rightarrow$

```
x != 0 && z / x > y
```



# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 6  $\Rightarrow$

```
true && z / x > y
```

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 6  $\Rightarrow$

```
true && z / x > y
```

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 0  $\Rightarrow$

```
x != 0 && z / x > y
```

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 0  $\Rightarrow$

```
false && z / x > y
```

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 0  $\Rightarrow$

```
false (falsch)
```

# Kurzschlussauswertung

- Logische Operatoren `&&` und `||` werten den *linken Operanden* *zuerst* aus.
- Falls das Ergebnis dann schon feststeht, wird der rechte Operand *nicht mehr* ausgewertet.

x hat Wert 0  $\Rightarrow$

```
x != 0 && z / x > y
```

$\Rightarrow$  Keine Division durch 0

# 4. Defensives Programmieren

Konstanten und Assertions

# Fehlerquellen

- Fehler, die der Compiler findet:  
syntaktische und manche semantische Fehler



# Fehlerquellen

- Fehler, die der Compiler findet:  
syntaktische und manche semantische Fehler
- Fehler, die der Compiler nicht findet:  
Laufzeitfehler (immer semantisch)

# 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

## Konstanten

- sind Variablen mit unveränderbarem Wert

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

- Verwendung: `const` vor der Definition

# 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*“

# 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*“

# Der Compiler als Freund: Konstanten

- Compiler kontrolliert Einhaltung des `const`-Versprechens

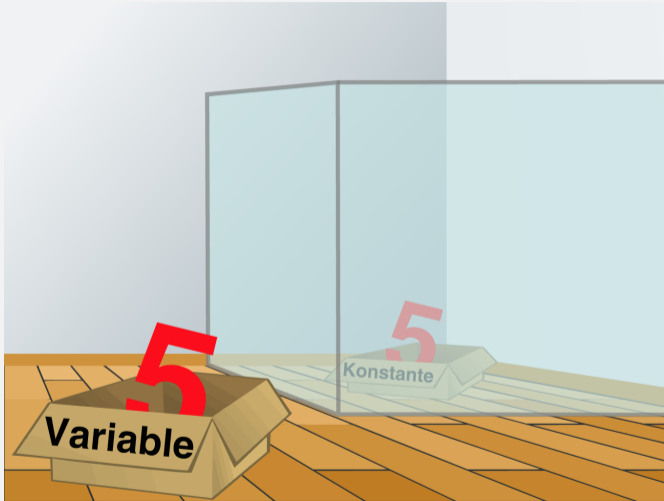
```
const int speed_of_light = 299792458;  
...  
speed_of_light = 300000000;
```

**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.

# Fehlerquellen vermeiden

1. Genaue Kenntnis des gewünschten Programmverhaltens

# Fehlerquellen vermeiden

1. Genaue Kenntnis des gewünschten Programmverhaltens

» It's not a bug, it's a feature! «

# Fehlerquellen vermeiden

1. Genaue Kenntnis des gewünschten Programmverhaltens
2. Überprüfe an vielen kritischen Stellen, ob das Programm auf dem richtigen Weg ist

# Fehlerquellen vermeiden

1. Genaue Kenntnis des gewünschten Programmverhaltens
2. Überprüfe an vielen kritischen Stellen, ob das Programm auf dem richtigen Weg ist
3. Hinterfrage auch das (scheinbar) Offensichtliche, es könnte sich ein simpler Tippfehler eingeschlichen haben

# Gegen Laufzeitfehler: *Assertions*

`assert(expr)`

- hält das Programm an, falls der boolesche Ausdruck `expr` nicht wahr ist

# Gegen Laufzeitfehler: *Assertions*

`assert(expr)`

- hält das Programm an, falls der boolesche Ausdruck `expr` nicht wahr ist
- benötigt `#include <cassert>`

# Gegen Laufzeitfehler: *Assertions*

`assert (expr)`

- hält das Programm an, falls der boolesche Ausdruck `expr` nicht wahr ist
- benötigt `#include <cassert>`
- kann abgeschaltet werden (potentieller Geschwindigkeitsgewinn)



# Assertions für den $ggT(x, y)$

Überprüfe, ob das Programm auf dem richtigen Weg ist ...

```
// Input x and y
std::cout << "x =? ";
std::cin >> x;
std::cout << "y =? ";
std::cin >> y;
```

Eingabe der Argumente für  
die Berechnung

```
// Check validity of inputs
assert(x > 0 && y > 0);
```

```
... // Compute gcd(x,y), store result in variable a
```

# Assertions für den $ggT(x, y)$

Überprüfe, ob das Programm auf dem richtigen Weg ist ...

```
// Input x and y
```

```
std::cout << "x =? ";
```

```
std::cin >> x;
```

```
std::cout << "y =? ";
```

```
std::cin >> y;
```

```
// Check validity of inputs
```

```
assert(x > 0 && y > 0);
```

← Vorbedingung für die weitere Berechnung

```
... // Compute gcd(x,y), store result in variable a
```

# Assertions für den $ggT(x, y)$

... und hinterfrage das Offensichtliche! ...

...

```
assert(x > 0 && y > 0);
```

← Vorbedingung für die weitere Berechnung

```
... // Compute gcd(x,y), store result in variable a
```

```
assert (a >= 1);
```

```
assert (x % a == 0 && y % a == 0);
```

```
for (int i = a+1; i <= x && i <= y; ++i)
```

```
    assert(!(x % i == 0 && y % i == 0));
```

# Assertions für den $ggT(x, y)$

... und hinterfrage das Offensichtliche! ...

...

```
assert(x > 0 && y > 0);
```

```
... // Compute gcd(x,y), store result in variable a
```

```
assert (a >= 1);
```

```
assert (x % a == 0 && y % a == 0);
```

```
for (int i = a+1; i <= x && i <= y; ++i)
```

```
    assert(!(x % i == 0 && y % i == 0));
```

Verschiedene  
Eigenschaften  
des ggT  
überprüfen

# Assertions abschalten

```
#define NDEBUG // To ignore assertions  
#include<cassert>
```

...

```
assert(x > 0 && y > 0); // Ignored
```

```
... // Compute gcd(x,y), store result in variable a
```

```
assert(a >= 1); // Ignored
```

...

# Fail-Fast mit Assertions

- Reale Software: viele C++-Dateien, komplexer Kontrollfluss



# Fail-Fast mit Assertions

- Reale Software: viele C++-Dateien, komplexer Kontrollfluss



# Fail-Fast mit Assertions

- Reale Software: viele C++-Dateien, komplexer Kontrollfluss
- Fehler machen sich erst spät(er) bemerkbar → Fehlersuche erschwert





# Fail-Fast mit Assertions

- Reale Software: viele C++-Dateien, komplexer Kontrollfluss
- Fehler machen sich erst spät(er) bemerkbar → Fehlersuche erschwert
- Assertions: Fehler frühzeitig bemerken



# 5. Kontrollanweisungen I

Auswahanweisungen, Iterationsanweisungen, Terminierung, Blöcke

# Kontrollfluss

- Bisher: *linear* (von oben nach unten)
- Interessante Programme nutzen „Verzweigungen“ und „Sprünge“

```
// Project Hangman
...
while (game_not_over) {
    ...
    if (word.contains(guess)) {
        ...
    } else {
        ...
    }
}
...
}
```

# Auswahlweisungen

realisieren Verzweigungen

- `if` Anweisung
- `if-else` Anweisung

# if-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement
```

# if-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement
```

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";
```

# if-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement
```

Ist *condition* wahr, dann wird *statement* ausgeführt.

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";
```

# if-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement
```

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";
```

- *statement*: beliebige Anweisung (*Rumpf* der if-Anweisung)
- *condition*: konvertierbar nach bool



# if-else-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement1  
else  
    statement2
```

# if-else-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement1  
else  
    statement2
```

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

# if-else-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement1  
else  
    statement2
```

Ist *condition* wahr, so wird *statement1* ausgeführt, andernfalls wird *statement2* ausgeführt.

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

# if-else-Anweisung

```
if ( condition )  
    statement1  
else  
    statement2
```

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

- *condition*: konvertierbar nach bool.
- *statement1*: Rumpf des if-Zweiges
- *statement2*: Rumpf des else-Zweiges

# Layout!

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even";  
else  
    std::cout << "odd";
```

# Layout!

```
int a;  
std::cin >> a;  
if (a % 2 == 0)  
    std::cout << "even"; ← Einrückung  
else  
    std::cout << "odd"; ← Einrückung
```

# Iterationsanweisungen

realisieren Schleifen:

- `for`-Anweisung
- `while`-Anweisung
- `do`-Anweisung

# Berechne $1 + 2 + \dots + n$

```
// input
std::cout << "Compute the sum 1+...+n for n=?";
unsigned int n;
std::cin >> n;

// computation of sum_{i=1}^n i
unsigned int s = 0;
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i)
    s += i;

// output
std::cout << "1+...+" << n << " = " << s << ".\n";
```



# Berechne $1 + 2 + \dots + n$

```
// input
std::cout << "Compute the sum 1+...+n for n=?";
unsigned int n;
std::cin >> n;

// computation of sum_{i=1}^n i
unsigned int s = 0;
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i)
    s += i;

// output
std::cout << "1+...+" << n << " = " << s << ".\n";
```

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

i

s

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2, s == 0$

i	s
<hr/>	
i==1	

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2, s == 0$

i	s
i==1	i <= 2?

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2, s == 0$

i		s
i==1	wahr	

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2, s == 0$

$i$		$s$
$i==1$	wahr	$s == 1$

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2, s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2		

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2, s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2	i <= 2?	



# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2	wahr	

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2	wahr	s == 3

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2	wahr	s == 3
i==3		

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2	wahr	s == 3
i==3	i <= 2?	

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

i		s
i==1	wahr	s == 1
i==2	wahr	s == 3
i==3	falsch	

# for-Anweisung am Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )  
    s += i;
```

Annahmen:  $n == 2$ ,  $s == 0$

$i$		$s$
$i==1$	wahr	$s == 1$
$i==2$	wahr	$s == 3$
$i==3$	falsch	
		$s == 3$

# for-Anweisung: Syntax

```
for (init statement; condition; expression)  
    body statement
```

# for-Anweisung: Syntax

```
for (init statement; condition; expression)  
    body statement
```

- *init statement*: Ausdrucksanweisung, Deklarationsanweisung, Nullanweisung



# for-Anweisung: Syntax

```
for (init statement; condition; expression)  
    body statement
```

- *init statement*: Ausdrucksanweisung, Deklarationsanweisung, Nullanweisung
- *condition*: konvertierbar nach `bool`

# for-Anweisung: Syntax

```
for (init statement; condition; expression)  
    body statement
```

- *init statement*: Ausdrucksanweisung, Deklarationsanweisung, Nullanweisung
- *condition*: konvertierbar nach `bool`
- *expression*: beliebiger Ausdruck

# for-Anweisung: Syntax

```
for (init statement; condition; expression)  
    body statement
```

- *init statement*: Ausdrucksanweisung, Deklarationsanweisung, Nullanweisung
- *condition*: konvertierbar nach `bool`
- *expression*: beliebiger Ausdruck
- *body statement*: beliebige Anweisung (*Rumpf* der for-Anweisung)

# for-Anweisung: Terminierung

```
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i)  
    s += i;
```

Hier und meistens:

- *expression* ändert einen Wert, der in *condition* vorkommt.

# for-Anweisung: Terminierung

```
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i)  
    s += i;
```

Hier und meistens:

- Nach endlich vielen Iterationen wird *condition* falsch:  
*Terminierung*.

# Endlosschleifen

- Endlosschleifen sind leicht zu produzieren:

```
for ( ; ; ) ;
```

- Die *leere condition* ist wahr.
- Die *leere expression* hat keinen Effekt.
- Die *Nullanweisung* hat keinen Effekt.

# Endlosschleifen

- Endlosschleifen sind leicht zu produzieren:

```
for ( ; ; ) ;
```

- Die *leere condition* ist wahr.
  - Die *leere expression* hat keinen Effekt.
  - Die *Nullanweisung* hat keinen Effekt.
- ... aber nicht automatisch zu erkennen.

```
for (init; cond; expr) stmt;
```

# Halteproblem

## Unentscheidbarkeit des Halteproblems

Es gibt kein C++ Programm, das für jedes C++- Programm  $P$  und jede Eingabe  $I$  korrekt feststellen kann, ob das Programm  $P$  bei Eingabe von  $I$  terminiert.

---

<sup>4</sup>Alan Turing, 1936. Theoretische Fragestellungen dieser Art waren für Alan Turing die Hauptmotivation für die Konstruktion seiner Rechenmaschine.



# Halteproblem

## Unentscheidbarkeit des Halteproblems

Es gibt kein C++ Programm, das für jedes C++- Programm  $P$  und jede Eingabe  $I$  korrekt feststellen kann, ob das Programm  $P$  bei Eingabe von  $I$  terminiert.

Das heisst, die Korrektheit von Programmen kann *nicht* automatisch überprüft werden.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>Alan Turing, 1936. Theoretische Fragestellungen dieser Art waren für Alan Turing die Hauptmotivation für die Konstruktion seiner Rechenmaschine.

# Beispiel: Primzahltest

**Def.:** Eine natürliche Zahl  $n \geq 2$  ist eine Primzahl, wenn kein  $d \in \{2, \dots, n - 1\}$  ein Teiler von  $n$  ist.

# Beispiel: Primzahltest

**Def.:** Eine natürliche Zahl  $n \geq 2$  ist eine Primzahl, wenn kein  $d \in \{2, \dots, n - 1\}$  ein Teiler von  $n$  ist.

Eine Schleife, die das testet:

```
unsigned int d;  
for (d=2; n%d != 0; ++d);
```

# Beispiel: Primzahltest

**Def.:** Eine natürliche Zahl  $n \geq 2$  ist eine Primzahl, wenn kein  $d \in \{2, \dots, n - 1\}$  ein Teiler von  $n$  ist.

Eine Schleife, die das testet:

```
unsigned int d;  
for (d=2; n%d != 0; ++d);
```

(Rumpf ist die Null-Anweisung)

# Primzahltest: Terminierung

```
unsigned int d;  
for (d=2; n%d != 0; ++d); // for n >= 2
```

- Fortschritt: Startwert  $d=2$ , dann in jeder Iteration plus 1 ( $++d$ )

# Primzahltest: Terminierung

```
unsigned int d;  
for (d=2; n%d != 0; ++d); // for n >= 2
```

- Fortschritt: Startwert  $d=2$ , dann in jeder Iteration plus 1 ( $++d$ )
- Abbruch:  $n\%d \neq 0$  evaluiert zu `false` sobald ein Teiler erreicht wurde — spätestes, wenn  $d == n$

# Primzahltest: Terminierung

```
unsigned int d;  
for (d=2; n%d != 0; ++d); // for n >= 2
```

- Fortschritt: Startwert  $d=2$ , dann in jeder Iteration plus 1 ( $++d$ )
- Abbruch:  $n\%d \neq 0$  evaluiert zu `false` sobald ein Teiler erreicht wurde — spätestens, wenn  $d == n$
- Fortschritt garantiert, dass Abbruchbedingung erreicht wird

# Primzahltest: Korrektheit

```
unsigned int d;  
for (d=2; n%d != 0; ++d); // for n >= 2
```

Jeder mögliche Teiler  $2 \leq d \leq n$  wird ausprobiert. Falls die Schleife mit  $d == n$  terminiert, dann und genau dann ist  $n$  prim.



# Blöcke

- Blöcke gruppieren mehrere Anweisungen zu einer neuen Anweisung

```
{statement1 statement2 ... statementN}
```

# Blöcke

- Blöcke gruppieren mehrere Anweisungen zu einer neuen Anweisung
- Beispiel: Rumpf der main Funktion

```
int main() {  
    ...  
}
```

# Blöcke

- Blöcke gruppieren mehrere Anweisungen zu einer neuen Anweisung
- Beispiel: Schleifenrumpf

```
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i) {  
    s += i;  
    std::cout << "partial sum is " << s << "\n";  
}
```

# Blöcke

- Blöcke gruppieren mehrere Anweisungen zu einer neuen Anweisung
- Beispiel: if / else

```
if (d < n) // d is a divisor of n in {2,...,n-1}
    std::cout << n << " = " << d << " * " << n / d << ".\n";
else {
    assert (d == n);
    std::cout << n << " is prime.\n";
}
```