

11. Referenztypen

Referenztypen: Definition und Initialisierung, Pass by Value, Pass by Reference, temporäre Objekte, Const-Referenzen

Swap!

```
// POST: values of x and y have been 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! 😊  
}
```

- Wir können Funktionen in die Lage versetzen, die Werte ihrer Aufrufargumente zu ändern

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



Referenztypen: Definition



- $T\&$ hat den gleichen Wertebereich und gleiche Funktionalität wie T ...

Referenztypen: Definition



- `T&` hat den gleichen Wertebereich und gleiche Funktionalität wie `T` ...
- ...aber Initialisierung und Zuweisung funktionieren anders

Anakin Skywalker alias Darth Vader



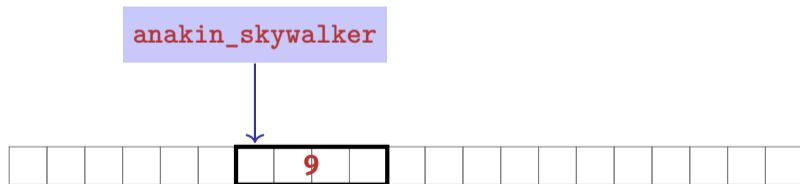
Anakin Skywalker alias Darth Vader

```
int anakin_skywalker = 9;  
int& darth_vader = anakin_skywalker; // Alias  
darth_vader = 22;  
  
std::cout << anakin_skywalker;
```

Anakin Skywalker alias Darth Vader

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

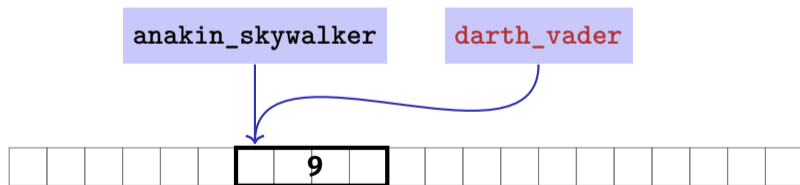
```
std::cout << anakin_skywalker;
```



Anakin Skywalker alias Darth Vader

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

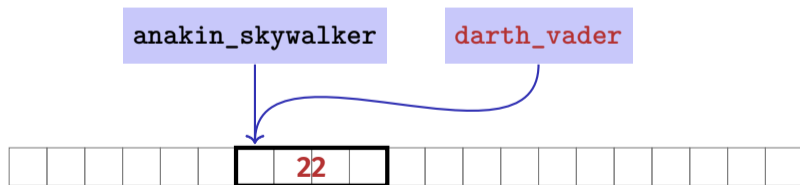
```
std::cout << anakin_skywalker;
```



Anakin Skywalker alias Darth Vader

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

```
std::cout << anakin_skywalker;
```



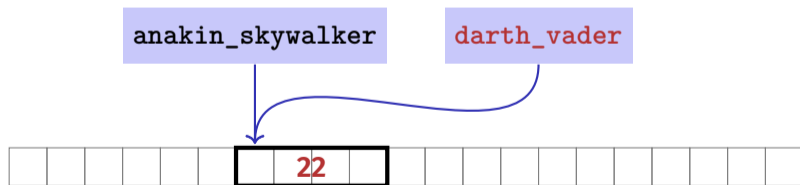
Anakin Skywalker alias Darth Vader

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

```
darth_vader = 22;
```

Zuweisung an den L-Wert hinter dem Alias

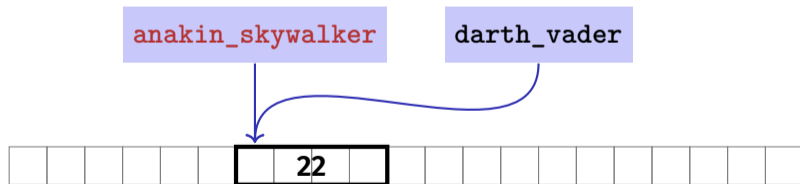
```
std::cout << anakin_skywalker;
```



Anakin Skywalker alias Darth Vader

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

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



Referenztypen: Initialisierung & Zuweisung

```
int& darth_vader = anakin_skywalker;
```

- Eine Variable mit Referenztyp (eine *Referenz*) muss mit einem L-Wert initialisiert werden

Referenztypen: Initialisierung & Zuweisung

```
int& darth_vader = anakin_skywalker;
```

- Eine Variable mit **Referenztyp** (eine *Referenz*) muss mit einem **L-Wert** initialisiert werden
- Die Variable wird dabei ein *Alias* des **L-Werts** (ein anderer Name für das referenzierte Objekt)

Referenztypen: Initialisierung & Zuweisung

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

- Eine Variable mit **Referenztyp** (eine *Referenz*) muss 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
```

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: Literal 5 hat keine Adresse
```

Pass by Reference

```
void increment (int& i) {  
    ++i;  
}  
...  
int j = 5;  
increment (j);  
std::cout << j;
```

Pass by Reference

```
void increment (int& i) {  
    ++i;  
}  
...  
int j = 5;  
increment (j);  
std::cout << j;
```



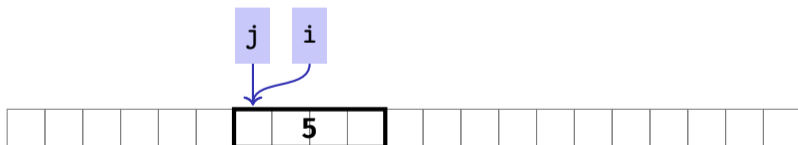
Pass by Reference

```
void increment (int& i) ← {  
    ++i;  
}
```

Initialisierung der formalen Argumente: **i**
wird Alias des Aufrufarguments **j**

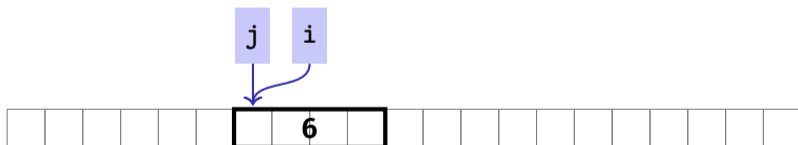
...

```
int j = 5;  
increment (j);  
std::cout << j;
```



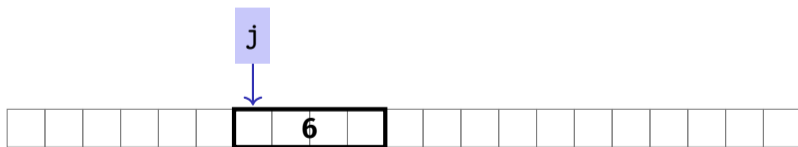
Pass by Reference

```
void increment (int& i) {  
    ++i;  
}  
...  
int j = 5;  
increment (j);  
std::cout << j;
```



Pass by Reference

```
void increment (int& i) {  
    ++i;  
}  
...  
int j = 5;  
increment (j);  
std::cout << j; // 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 Reference

- Auch der Rückgabetyt einer Funktion kann ein Referenztyp sein: *Return by Reference*

Return by Reference

- Auch der Rückgabetyt einer Funktion kann ein Referenztyp sein: *Return by Reference*

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

Return by Reference

- Auch der Rückgabetyt einer Funktion kann ein Referenztyp sein: *Return by Reference*

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

- Aufruf `inc(x)`, für eine `int`-Variable `x`, hat exakt die Semantik des Prä-Inkrementes `++x`

Return by Reference

- Auch der Rückgabetypp einer Funktion kann ein Referenztyp sein: *Return by Reference*

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

- Aufruf `inc(x)`, für eine `int`-Variable `x`, hat exakt die Semantik des Prä-Inkrementes `++x`
- Funktionsaufruf *selbst* ist nun ein L-Wert

Return by Reference

- Auch der Rückgabetypp einer Funktion kann ein Referenztyp sein: *Return by Reference*

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

- Aufruf `inc(x)`, für eine `int`-Variable `x`, hat exakt die Semantik des Prä-Inkrementes `++x`
- Funktionsaufruf *selbst* ist nun ein L-Wert
- Daher möglich: `inc(inc(x))` oder `++(inc(x))`

Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

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

Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

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

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

Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

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



```
// main()
```

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

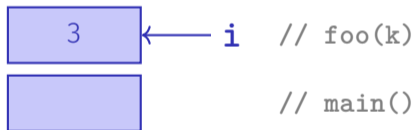
Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

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

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

Wert des Aufrufarguments kommt auf
den *Aufrufstapel*

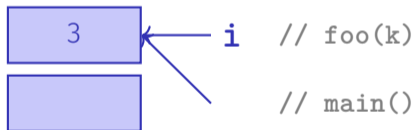


Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

i wird als Referenz zurückgegeben

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



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

Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

...und verschwindet vom Aufrufstapel

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



Speicher
freigegeben

// main()

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

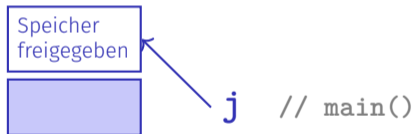
Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

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

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

j wird Alias des freigegebenen Speichers



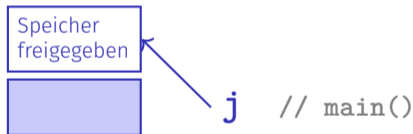
Temporäre Objekte

Was ist hier falsch?

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

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

Zugriff auf `j` ist undefiniertes Verhalten!



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-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-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 = 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& a = n;  
a = 6;
```

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& a = n; // Compilerfehler: const-qualification discarded
a = 6;
```

Unser *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 L-Wert *dahinter* nicht verändert werden darf.

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 L-Wert *dahinter* nicht verändert werden darf.

```
int n = 5;

const int& r = n; // r ist Lese-Alias von n
r = 6;           // Compilerfehler: read-only reference
```

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 L-Wert *dahinter* nicht verändert werden darf.

```
int n = 5;

const int& r = n; // r ist Lese-Alias von n
r = 6;           // Compilerfehler: read-only reference

int& rw = n;     // rw ist Lese-Schreib-Alias
rw = 6;         // OK
```

Wann `const T&` verwenden?

```
void f_1(T& arg);
```

```
void f_2(const T& arg);
```

- Argumenttypen sind Referenzen; Aufrufargumente werden daher nicht kopiert, was effizient ist
- Aber nur `f_2` „verspricht“ Argument nicht zu verändern

Wann `const T&` verwenden?

```
void f_1(T& arg);
```

```
void f_2(const T& arg);
```

- Argumenttypen sind Referenzen; Aufrufargumente werden daher nicht kopiert, was effizient ist
- Aber nur `f_2` „verspricht“ Argument nicht zu verändern

Regel

Funktionsargumenttypen, falls möglich, als `const T&` (*pass by read-only reference*) deklarieren: effizient *und* sicher.

Wann `const T&` verwenden?

```
void f_1(T& arg);
```

```
void f_2(const T& arg);
```

- Argumenttypen sind Referenzen; Aufrufargumente werden daher nicht kopiert, was effizient ist
- Aber nur `f_2` „verspricht“ Argument nicht zu verändern

Regel

Funktionsargumenttypen, falls möglich, als `const T&` (*pass by read-only reference*) deklarieren: effizient *und* sicher.

Lohnt sich i.d.R. nicht für fundamentale Typen (`int`, `double`, ...). Wir lernen später in der Vorlesung Typen kennen, die mehr Speicherplatz benötigen.

12. Vektoren I

Vektoren, Sieb des Eratosthenes, Speicherlayout, Iteration

Vektoren: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren

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

Vektoren: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren

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

- .. aber noch nicht über Daten!

Vektoren: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren

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

- .. aber noch nicht über Daten!
- Vektoren speichern *gleichartige* Daten.

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
----------	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Streiche alle echten Vielfachen von 2 ...

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
----------	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----

Streiche alle echten Vielfachen von 2 ...

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----

... und gehe zur nächsten Zahl

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----

Streiche alle echten Vielfachen von 3 ...

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	--------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----

Streiche alle echten Vielfachen von 3 ...

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	--------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----

... und gehe zur nächsten Zahl

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	--------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----

Am Ende des Streichungsprozesses bleiben nur die Primzahlen übrig.

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	--------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----

- Frage: wie streichen wir Zahlen aus?

Vektoren: erste Anwendung

Das Sieb des Erathostenes

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

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	--------------	---	--------------	---	--------------	--------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----	---------------	----	---------------	---------------	---------------	----

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

Eratosthenes mit Vektoren: Initialisierung

...

```
#include <vector>
```

Initialisierung mit **n** Elementen
Initialwert **false**.

...

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

Elementtyp, in spitzen Klammern

Eratosthenes mit Vektoren: Berechnung

```
for (unsigned int i = 2; i < crossed_out.size(); ++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 < crossed_out.size(); m += i)
            crossed_out[m] = true;
    }
```

Speicherlayout eines Vektors

Ein Vektor belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich

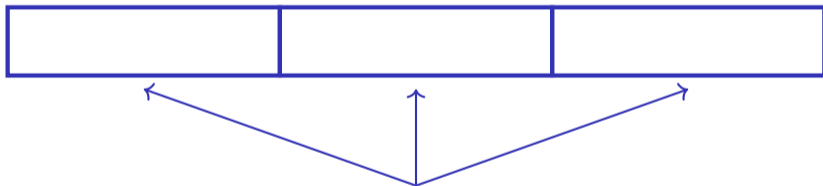
Beispiel: Ein Vektor mit 3 Elementen vom Type **T**



Speicherlayout eines Vektors

Ein Vektor belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich

Beispiel: Ein Vektor mit 3 Elementen vom Type **T**

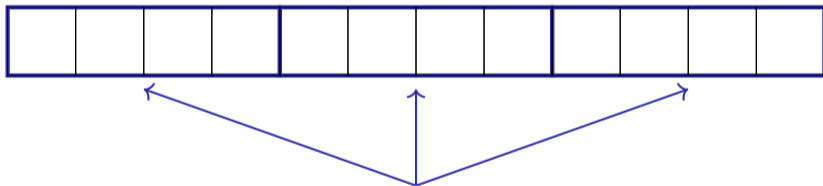


Speichersegmente für jeweils einen Wert vom Typ **T**

Speicherlayout eines Vektors

Ein Vektor belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich

Beispiel: Ein Vektor mit 3 Elementen vom Typ **T**



Speichersegmente für jeweils einen Wert vom Typ **T**
(**T** belegt z.B. 4 Bytes)

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

Gegeben

- Vektor **vec** mit **T**-Elementen
- **int**-Ausdruck **exp** mit Wert $i \geq 0$

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

Gegeben

- Vektor **vec** mit **T**-Elementen
- **int**-Ausdruck **exp** mit Wert $i \geq 0$

Dann ist der Ausdruck

vec [exp]

- ein *L*-Wert vom Type **T**

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

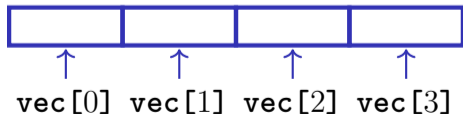
Gegeben

- Vektor **vec** mit **T**-Elementen
- **int**-Ausdruck **exp** mit Wert $i \geq 0$

Dann ist der Ausdruck

vec [exp]

- ein *L*-Wert vom Type **T**
- der sich auf das *i*-te Element von **vec** bezieht (Zählung ab 0!)



Wahlfreier Zugriff (Random Access)

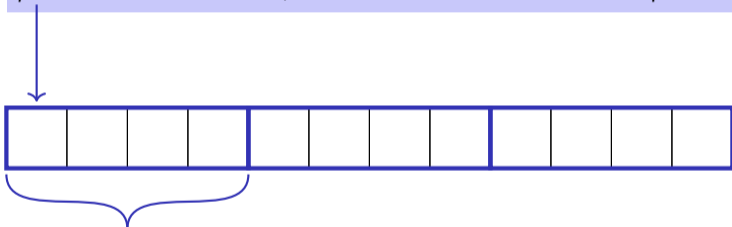
`vec [exp]`

- Der Wert i von `exp` heisst *Index*
- `[]` ist der *Index-Operator* (auch *Subskript-Operator*)

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

Wahlfreier Zugriff ist sehr effizient:

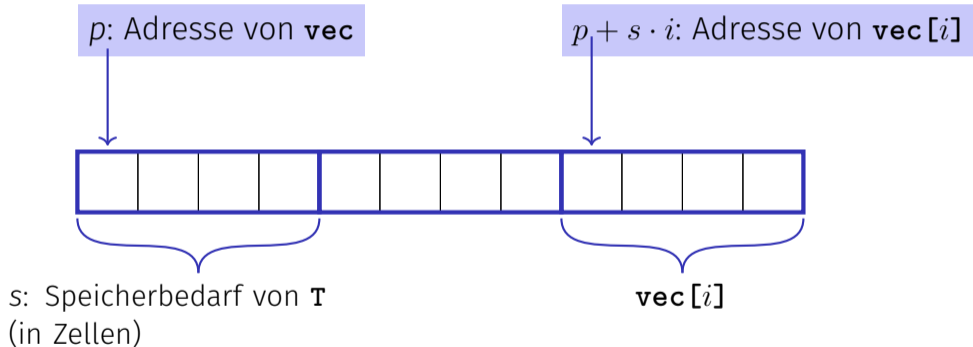
p : Adresse von **vec**, d.h. Adresse der ersten Speicherzelle



s : Speicherbedarf von **T**
(in Zellen)

Wahlfreier Zugriff (Random Access)

Wahlfreier Zugriff ist sehr effizient:



Vektorinitialisierung

■ `std::vector<int> vec(5);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit Nullen initialisiert

Vektorinitialisierung

- `std::vector<int> vec(5);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit Nullen initialisiert

- `std::vector<int> vec(5, 2);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit 2 initialisiert

Vektorinitialisierung

■ `std::vector<int> vec(5);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit Nullen initialisiert

■ `std::vector<int> vec(5, 2);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit 2 initialisiert

■ `std::vector<int> vec{4, 3, 5, 2, 1};`

Der Vektor wird mit einer *Initialisierungsliste* initialisiert

Vektorinitialisierung

■ `std::vector<int> vec(5);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit Nullen initialisiert

■ `std::vector<int> vec(5, 2);`

Die 5 Elemente von `vec` werden mit 2 initialisiert

■ `std::vector<int> vec{4, 3, 5, 2, 1};`

Der Vektor wird mit einer *Initialisierungsliste* initialisiert

■ `std::vector<int> vec;`

Ein leerer Vektor wird initialisiert

Achtung

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

```
std::vector vec(10);  
for (unsigned int i = 0; i <= 10; ++i)  
    vec[i] = 30;
```

Achtung

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


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

Konsequenzen illegaler Index-Zugriffe


[Alle](#) [Videos](#) [Bilder](#) [News](#) [Shopping](#) [Mehr](#) [Einstellungen](#) [Tools](#)

Ungefähr 127'000 Ergebnisse (0.30 Sekunden)

CWE - CWE-125: Out-of-bounds Read (3.0)

<https://cwe.mitre.org> > [CWE List](#) ▾ [Diese Seite übersetzen](#)

However, this method only verifies that the given array index is less than the maximum length of the array but does not check for the minimum value (CWE-839). This will allow a negative value to be accepted as the input array index, which will result in a **out of bounds** read (CWE-125) and may allow access to sensitive ...

CWE - CWE-787: Out-of-bounds Write (3.0)

<https://cwe.mitre.org> > [CWE List](#) ▾ [Diese Seite übersetzen](#)

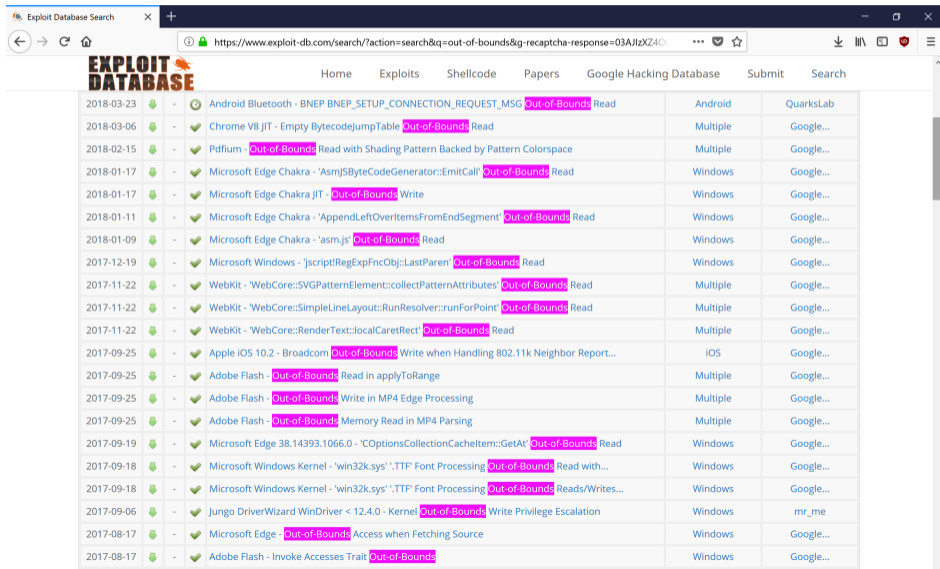
This typically occurs when the pointer or its index is incremented or decremented to a position beyond the bounds of the buffer or when pointer arithmetic results in a position outside of the valid memory location to name a few. This may result in corruption of sensitive information, a crash, or code execution among other ...

c - How dangerous is it to access an array out of bounds? - Stack ...

<https://stackoverflow.com/.../how-dangerous-is-it-to-access-an-arr...> ▾ [Diese Seite übersetzen](#)

As far as the ISO C standard (the official definition of the language) is concerned, accessing an array outside its bounds has "undefined behavior". The literal meaning of this is: behavior, upon use of a nonportable or erroneous program construct or of erroneous data, for which this International Standard imposes no ...

Konsequenzen illegaler Index-Zugriffe



The screenshot shows a web browser window with the URL `https://www.exploit-db.com/search/?action=search&q=out-of-bounds&g-recaptcha-response=03AJlzXZ40`. The page displays a list of search results from the Exploit Database. The results are organized in a table with columns for date, status, title, type, and source. The term 'Out-of-Bounds' is highlighted in pink in the original image.

Date	Status	Title	Type	Source
2018-03-23	✓	Android Bluetooth - BNEP BNEP_SETUP_CONNECTION_REQUEST_MSG Out-of-Bounds Read	Android	QuarksLab
2018-03-06	✓	Chrome V8 JIT - Empty BytecodeJumpTable Out-of-Bounds Read	Multiple	Google...
2018-02-15	✓	Pdfium - Out-of-Bounds Read with Shading Pattern Backed by Pattern Colorspace	Multiple	Google...
2018-01-17	✓	Microsoft Edge Chakra - 'AsmJSByteCodeGenerator::EmitCall' Out-of-Bounds Read	Windows	Google...
2018-01-17	✓	Microsoft Edge Chakra JIT - Out-of-Bounds Write	Windows	Google...
2018-01-11	✓	Microsoft Edge Chakra - 'AppendLeftOverItemsFromEndSegment' Out-of-Bounds Read	Windows	Google...
2018-01-09	✓	Microsoft Edge Chakra - 'asm.js' Out-of-Bounds Read	Windows	Google...
2017-12-19	✓	Microsoft Windows - 'jscript!RegExpFuncObj::LastParen' Out-of-Bounds Read	Windows	Google...
2017-11-22	✓	WebKit - 'WebCore::SVGPatternElement::collectPatternAttributes' Out-of-Bounds Read	Multiple	Google...
2017-11-22	✓	WebKit - 'WebCore::SimpleLineLayout::RunResolver::runForPoint' Out-of-Bounds Read	Multiple	Google...
2017-11-22	✓	WebKit - 'WebCore::RenderText::localCaretRect' Out-of-Bounds Read	Multiple	Google...
2017-09-25	✓	Apple iOS 10.2 - Broadcom Out-of-Bounds Write when Handling 802.11k Neighbor Report...	iOS	Google...
2017-09-25	✓	Adobe Flash - Out-of-Bounds Read in applyToRange	Multiple	Google...
2017-09-25	✓	Adobe Flash - Out-of-Bounds Write in MP4 Edge Processing	Multiple	Google...
2017-09-25	✓	Adobe Flash - Out-of-Bounds Memory Read in MP4 Parsing	Multiple	Google...
2017-09-19	✓	Microsoft Edge 38.14393.1066.0 - 'COptionsCollectionCacheItem::GetAt' Out-of-Bounds Read	Windows	Google...
2017-09-18	✓	Microsoft Windows Kernel - 'win32k.sys' 'TTF Font Processing' Out-of-Bounds Read with...	Windows	Google...
2017-09-18	✓	Microsoft Windows Kernel - 'win32k.sys' 'TTF Font Processing' Out-of-Bounds Reads/Writes...	Windows	Google...
2017-09-06	✓	Jungo DriverWizard WinDriver < 12.4.0 - Kernel Out-of-Bounds Write Privilege Escalation	Windows	mr_me
2017-08-17	✓	Microsoft Edge - Out-of-Bounds Access when Fetching Source	Windows	Google...
2017-08-17	✓	Adobe Flash - Invoke Accesses Trait Out-of-Bounds	Windows	Google...

Vektoren bieten viel Funktionalität

Hier ein paar Beispielfunktionen, weitere folgen später in der Vorlesung.

Vektoren bieten viel Funktionalität

Hier ein paar Beispielfunktionen, weitere folgen später in der Vorlesung.

```
std::vector<int> v(10);  
std::cout << v.at(10);  
    // Zugriff mit Index-Check → Laufzeitfehler  
    // Ideal für Hausaufgaben
```

Vektoren bieten viel Funktionalität

Hier ein paar Beispielfunktionen, weitere folgen später in der Vorlesung.

```
std::vector<int> v(10);  
std::cout << v.at(10);  
    // Zugriff mit Index-Check → Laufzeitfehler  
    // Ideal für Hausaufgaben  
  
v.push_back(-1); // -1 is appended (added at end)  
std::cout << v.size(); // outputs 11  
std::cout << v.at(10); // outputs -1
```

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

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?

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'`)

Der Typ `char` („character“)

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

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

Deklariert und initialisiert
Variable `c` vom Typ `char`
mit Wert `'a'`

Der Typ `char` („character“)

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

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

Deklariert und initialisiert
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`

Der Typ `char` („character“)

Ist formal ein ganzzahliger Typ

- Werte konvertierbar nach `int` / `unsigned int`
- Werte belegen meistens 8 Bit

Wertebereich:

$\{-128, \dots, 127\}$ oder $\{0, \dots, 255\}$

Der ASCII-Code

- Definiert konkrete Konversionsregeln `char` \rightarrow `(unsigned) int`

Zeichen \rightarrow $\{0, \dots, 127\}$

'A', 'B', ... , 'Z' \rightarrow 65, 66, ..., 90

'a', 'b', ... , 'z' \rightarrow 97, 98, ..., 122

'0', '1', ... , '9' \rightarrow 48, 49, ..., 57

Der ASCII-Code

- Definiert konkrete Konversionsregeln `char` \rightarrow `(unsigned) int`

Zeichen $\rightarrow \{0, \dots, 127\}$

'A', 'B', ... , 'Z' \rightarrow 65, 66, ..., 90

'a', 'b', ... , 'z' \rightarrow 97, 98, ..., 122

'0', '1', ... , '9' \rightarrow 48, 49, ..., 57

- Wird von allen gängigen Computersystemen unterstützt

Der ASCII-Code

- Definiert konkrete Konversionsregeln `char` \rightarrow `(unsigned) int`

Zeichen \rightarrow $\{0, \dots, 127\}$

'A', 'B', ... , 'Z' \rightarrow 65, 66, ..., 90

'a', 'b', ... , 'z' \rightarrow 97, 98, ..., 122

'0', '1', ... , '9' \rightarrow 48, 49, ..., 57

- Wird von allen gängigen Computersystemen unterstützt
- Erlaubt Arithmetik über Zeichen

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

Erweiterung von ASCII: Unicode, UTF-8

- Internationalisierung von Software \Rightarrow grosse Zeichensätze nötig. Heute daher üblich:
 - Zeichensatz *Unicode*: 150 Schriftsysteme, ca. 137'000 Zeichen
 - Codierungsstandard *UTF-8*: Abbildung Zeichen \leftrightarrow Zahlen

Erweiterung von ASCII: Unicode, UTF-8

- Internationalisierung von Software \Rightarrow grosse Zeichensätze nötig. Heute daher üblich:
 - Zeichensatz *Unicode*: 150 Schriftsysteme, ca. 137'000 Zeichen
 - Codierungsstandard *UTF-8*: Abbildung Zeichen \leftrightarrow Zahlen
- UTF-8 ist eine *Multibyte-Codierung*: Häufig genutzte Zeichen (z.B. lat. Alphabet) belegen nur ein Byte, andere Zeichen bis zu vier

Erweiterung von ASCII: Unicode, UTF-8





- Internationalisierung von Software \Rightarrow grosse Zeichensätze nötig. Heute daher üblich:
 - Zeichensatz *Unicode*: 150 Schriftsysteme, ca. 137'000 Zeichen
 - Codierungsstandard *UTF-8*: Abbildung Zeichen \leftrightarrow Zahlen
- UTF-8 ist eine *Multibyte-Codierung*: Häufig genutzte Zeichen (z.B. lat. Alphabet) belegen nur ein Byte, andere Zeichen bis zu vier
- Länge einer Zeichen-Bytefolge wird dabei durch Bitmuster codiert

Nutzbare Bits	Bitmuster
7	0xxxxxxx
11	110xxxxx 10xxxxxx
16	1110xxxx 10xxxxxx 10xxxxxx
21	11110xxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx





Einige Unicode-Zeichen in UTF-8

Symbol	Codierung (jeweils 16 Bit)
ئ	11101111 10101111 10111001

Einige Unicode-Zeichen in UTF-8

Symbol	Codierung (jeweils 16 Bit)
	11101111 10101111 10111001
	11100010 10011000 10100000
	11100010 10011000 10000011
	11100010 10011000 10011001

Einige Unicode-Zeichen in UTF-8

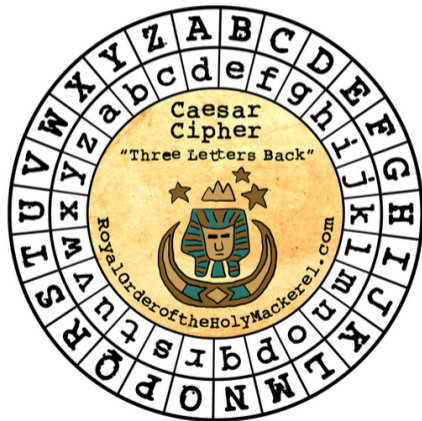
Symbol	Codierung (jeweils 16 Bit)
	11101111 10101111 10111001
	11100010 10011000 10100000
	11100010 10011000 10000011
	11100010 10011000 10011001
A	01000001

P.S.: Suchen Sie mal nach **apple "unicode of death"** P.S.: Unicode & UTF-8 sind nicht klausurrelevant

Caesar-Code

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

' ' (32) → '|' (124)
'!' (33) → '}' (125)
...
'D' (68) → 'A' (65)
'E' (69) → 'B' (66)
...
~ (126) → '{' (123)



```
// 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 is printable
        c = 32 + mod(c - 32 + s, 95);
    }

    return c;
}
```

```
// 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 is printable
        c = 32 + mod(c - 32 + s, 95);
    }

    return c;
}
```

"- 32" transforms interval [32, 126] to [0, 94]

"mod(x, 95)" computes $x \bmod 95$ in [0, 94]

"32 +" transforms [0, 94] back to [32, 126]


```
// 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);
    }
}
```

Leerzeichen und Zeilenumbrüche
sollen *nicht* ignoriert werden


```
// 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

```
// 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>

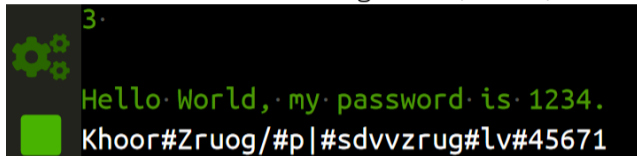
    char next;
    while (std::cin >> next) {
        std::cout << shift(next, s);
    }
}
```



Verschiebung druckbarer Zeichen um **s**

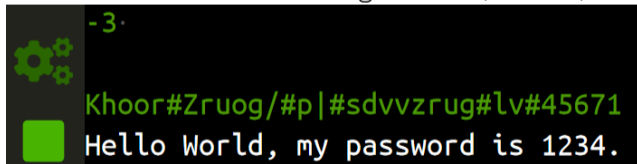
```
int main() {  
    int s;  
    std::cin >> s;  
  
    // Shift input by s  
    caesar(s);  
  
    return 0;  
}
```

Verschlüsseln: Verschiebung um n (hier: 3)



A terminal window with a dark background. The prompt is a green gear icon. The user enters '3'. The prompt is a green square. The user enters 'Hello World, my password is 1234.'. The output is 'Khoor#Zruog/#p|#sdvvzrug#lv#45671'.

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



A terminal window with a dark background. The prompt is a green gear icon. The user enters '-3'. The prompt is a green square. The user enters 'Khoor#Zruog/#p|#sdvvzrug#lv#45671'. The output is 'Hello World, my password is 1234.'.

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`

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, ...)

