ETH zürich

Felix Friedrich, Malte Schwerhoff

Informatik

Vorlesung am D-MATH/D-PHYS der ETH Zürich

Herbst 2019

1. Einführung

Informatik: Definition und Geschichte, Algorithmen, Turing Maschine, Höhere Programmiersprachen, Werkzeuge der Programmierung, Das erste C++ Programm und seine syntaktischen und semantischen Bestandteile

Was ist Informatik?

- Die Wissenschaft der **systematischen Verarbeitung von Informationen**,…
- …insbesondere der automatischen Verarbeitung mit Hilfe von Digitalrechnern.

(Wikipedia, nach dem „Duden Informatik“)

Informatik vs. Computer

Computer science is not about machines, in the same way that astronomy is not about telescopes.

Mike Fellows, US-Informatiker (1991)

http://larc.unt.edu/ian/research/cseducation/fellows1991.pdf

Informatik vs. Computer

- Die Informatik beschäftigt sich heute auch mit dem Entwurf von schnellen Computern und Netzwerken…
- …aber nicht als Selbstzweck, sondern zur effizienteren **systematischen Verarbeitung von Informationen**.

Informatik $\neq$ EDV-Kenntnisse

EDV-Kenntnisse: *Anwenderwissen („Computer Literacy”)*

- Umgang mit dem Computer
- Bedienung von Computerprogrammen (für Texterfassung, E-Mail, Präsentationen,…)

Informatik: *Grundlagenwissen*

- Wie funktioniert ein Computer?
- Wie schreibt man ein Computerprogramm?

Zurück in die Gegenwart: Inhalt dieser Vorlesung

- Systematisches Problemlösen mit Algorithmen und der Programmiersprache C++.
- Also: **nicht nur,**
  aber auch Programmierkurs.

Algorithmus: Kernbegriff der Informatik

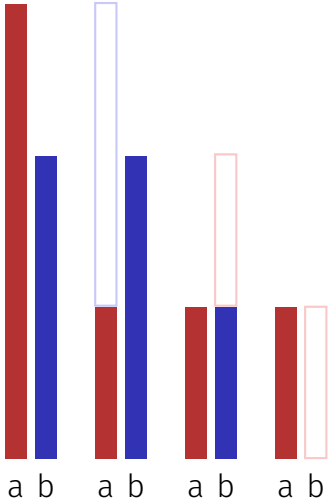
Algorithmus:

- Handlungsanweisung zur schrittweisen Lösung eines Problems
- Ausführung erfordert keine Intelligenz, nur Genauigkeit (sogar Computer können es)
- nach *Muhammed al-Chwarizmi*, Autor eines arabischen Rechen-Lehrbuchs (um 825)

“Dixit algorizmi…” (lateinische Übersetzung)

Der älteste nichttriviale Algorithmus

Euklidischer Algorithmus (aus Euklids *Elementen*, 3. Jh. v. Chr.)



- Eingabe: ganze Zahlen $a > 0, b > 0$
- Ausgabe: ggT von a und b

Solange $b \neq 0$

Wenn $a > b$ dann

$a \leftarrow a - b$

Sonst:

$b \leftarrow b - a$

Ergebnis: a.

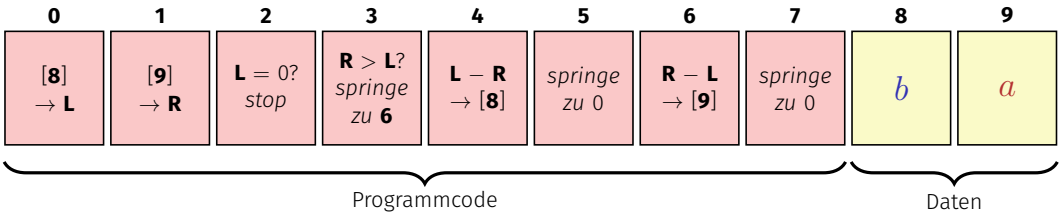
Algorithmen: 3 Abstraktionsstufen

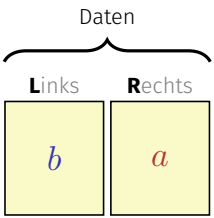
1. **Kernidee** (abstrakt)**:**
   Die Essenz eines Algorithmus' („Heureka-Moment")
2. **Pseudocode** (semi-detailliert)**:**
   Für Menschen gemacht (Bildung, Korrektheit- und Effizienzdiskussionen, Beweise)
3. **Implementierung** (sehr detailliert)**:**
   Für Mensch & Computer gemacht (les- & ausführbar, bestimmte Programmiersprache, verschiedene Implementierungen möglich)

Euklid: Kernidee und Pseudocode gesehen, Implementierung noch nicht

Euklid in der Box

Speicher





Register

Solange $b \neq 0$

Wenn $a > b$ dann

$a \leftarrow a - b$

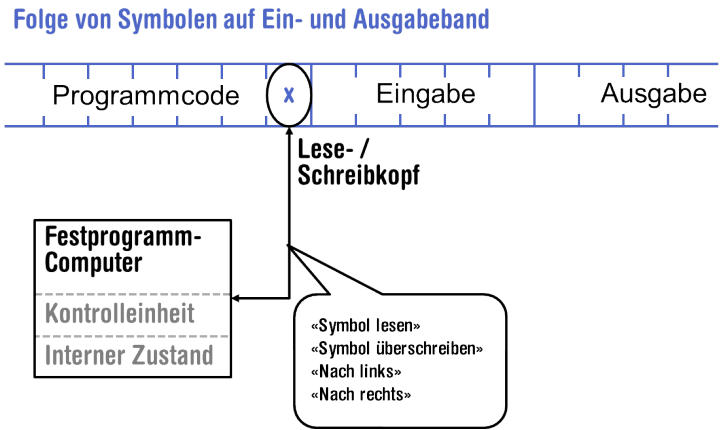
Sonst:

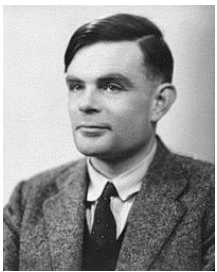
$b \leftarrow b - a$

Ergebnis: a.

Computer – Konzept

Eine geniale Idee: Universelle Turingmaschine (Alan Turing, 1936)



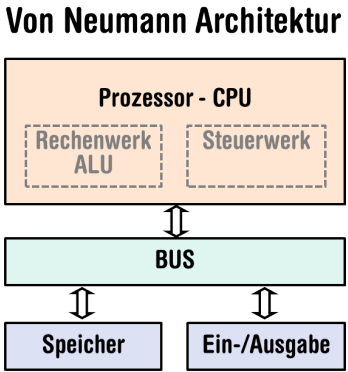


Alan Turing

http://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing

Computer – Umsetzung

- Z1 – Konrad Zuse (1938)
- ENIAC – John Von Neumann (1945)



Konrad Zuse

John von Neumann

http://www.hs.uni-hamburg.de/DE/GNT/hh/biogr/zuse.htm
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_von_Neumann.jpg

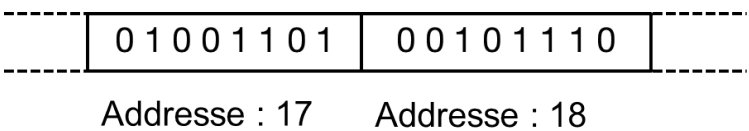
Computer

Zutaten der *Von Neumann Architektur:*

- Hauptspeicher (RAM) für Programme **und** Daten
- Prozessor (CPU) zur Verarbeitung der Programme und Daten
- I/O Komponenten zur Kommunikation mit der Aussenwelt

Speicher für Daten *und* Programm

- Folge von Bits aus $\{0, 1\}$.
- Programmzustand: Werte aller Bits.
- Zusammenfassung von Bits zu Speicherzellen (oft: 8 Bits = 1 Byte).
- Jede Speicherzelle hat eine Adresse.
- Random Access: Zugriffszeit auf Speicherzelle (nahezu) unabhängig von ihrer Adresse.



Prozessor

Der Prozessor (CPU)

- führt Befehle in Maschinensprache aus
- hat eigenen "schnellen" Speicher (Register)
- kann vom Hauptspeicher lesen und in ihn schreiben
- beherrscht eine Menge einfachster Operationen (z.B. Addieren zweier Registerinhalte)

Programmieren

- Mit Hilfe einer **Programmiersprache** wird dem Computer eine Folge von Befehlen erteilt, damit er genau das macht, was wir wollen.
- Die Folge von Befehlen ist das **(Computer)-Programm**.

The Harvard Computers, Menschliche Berufsrechner, ca.1890

http://en.wikipedia.org/wiki/Harvard_Computers

Rechengeschwindigkeit

In der mittleren Zeit, die der Schall von mir zu Ihnen unterwegs ist...

30 m ≙ mehr als 100.000.000 Instruktionen

arbeitet ein heutiger Desktop-PC mehr als 100 Millionen Instruktionen ab.[1]

[1] Uniprozessor Computer bei 1GHz

Warum Programmieren?

- Da hätte ich ja gleich Informatik studieren können ...
- Es gibt doch schon für alles Programme ...
- Programmieren interessiert mich nicht ...
- Weil Informatik hier leider ein Pflichtfach ist ...
- ...

Mathematik war früher die Lingua franca der Naturwissenschaften an allen Hochschulen. Und heute ist dies die Informatik.

Lino Guzzella, Präsident der ETH Zürich 2015-2018, NZZ Online, 1.9.2017

(Lino Guzzella ist übrigens nicht Informatiker, sondern Maschineningenieur und Prof. für Thermotronik ☺)

Darum Programmieren!

- Jedes Verständnis moderner Technologie erfordert Wissen über die grundlegende Funktionsweise eines Computers.
- Programmieren (mit dem Werkzeug Computer) wird zu einer Kulturtechnik wie Lesen und Schreiben (mit den Werkzeugen Papier und Bleistift)
- Programmieren ist *die* Schnittstelle zwischen Ingenieurwissenschaften und Informatik – der interdisziplinäre Grenzbereich wächst zusehends.
- Programmieren macht Spass (und ist nützlich)!

Programmiersprachen

- Sprache, die der Computer „versteht“, ist sehr primitiv (Maschinensprache).
- Einfache Operationen müssen in (extrem) viele Einzelschritte aufgeteilt werden.
- Sprache variiert von Computer zu Computer.

Höhere Programmiersprachen

darstellbar als Programmtext, der

- von Menschen *verstanden* werden kann
- vom Computermodell *unabhängig* ist

  $\rightarrow$ Abstraktion!

Programmiersprachen – Einordnung

Unterscheidung in

- **Kompilierte** vs. interpretierte Sprachen
  - C++, C#, Java, Go, Pascal, Modula, Oberon
    vs.
    Python, Javascript, Matlab
- **Höhere** Programmiersprachen vs. Assembler.
- **Mehrzweck**sprachen vs. zweckgebundene Sprachen.
- **Prozedurale, Objekt-Orientierte,** Funktionsorientierte und logische Sprachen.

Warum C++?

Andere populäre höhere Programmiersprachen: Java, C#, Python, Javascript, Swift, Kotlin, Go, ...

Allgemeiner Konsens

- „Die" Programmiersprache für Systemprogrammierung: C
- C hat erhebliche Schwächen. Grösste Schwäche: fehlende Typsicherheit.

Warum C++?

Over the years, C++'s greatest strength and its greatest weakness has been its C-Compatibility – B. Stroustrup

B. Stroustrup, Design and Evolution of C++, Kap. 4.5

Warum C++?

- C++versieht C mit der Mächtigkeit der Abstraktion einer höheren Programmiersprache
- In diesem Kurs: C++ als Hochsprache eingeführt (nicht als besseres C)
- Vorgehen: Traditionell prozedural $\rightarrow$ objekt-orientiert

Syntax und Semantik

- Programme müssen, wie unsere Sprache, nach gewissen Regeln geformt werden.
  - **Syntax**: Zusammenfügungsregeln für elementare Zeichen (Buchstaben).
  - **Semantik**: Interpretationsregeln für zusammengefügte Zeichen.
- Entsprechende Regeln für ein Computerprogramm sind einfacher, aber auch strenger, denn Computer sind vergleichsweise dumm.

Deutsch vs. C++

Deutsch

Alleen sind nicht gefährlich, Rasen ist gefährlich!
(Wikipedia: Mehrdeutigkeit)

C++

```
// computation
int b = a * a; // b = a^2
b = b * b;     // b = a^4
```

C++: Fehlerarten illustriert an deutscher Sprache

Das Auto fuhr zu schnell.	Syntaktisch und semantisch korrekt.
DasAuto fuh r zu sxhnell.	Syntaxfehler: Wortbildung.
Rot das Auto ist.	Syntaxfehler: Satzstellung.
Man empfiehlt dem Dozenten nicht zu widersprechen	Syntaxfehler: Satzzeichen fehlen .
Sie ist nicht gross und rothaarig.	Syntaktisch korrekt aber mehrdeutig. [kein Analogon]
Die Auto ist rot.	Syntaktisch korrekt, doch semantisch fehlerhaft: Falscher Artikel. [Typfehler]
Das Fahrrad galoppiert schnell.	Syntaktisch und grammatikalisch korrekt! Semantisch fehlerhaft. [Laufzeitfehler]
Manche Tiere riechen gut.	Syntaktisch und semantisch korrekt. Semantisch mehrdeutig. [kein Analogon]

Syntax und Semantik von C++

Syntax:

- Wann ist ein Text ein C++Programm?
- D.h. ist es *grammatikalisch* korrekt?
- → Kann vom Computer überprüft werden

Semantik:

- Was *bedeutet* ein Programm?
- Welchen Algorithmus *implementiert* ein Programm?
- → Braucht menschliches Verständnis

Syntax und Semantik von C++

Der ISO/IEC Standard 14822 (1998, 2011, 2014, ...)

- ist das „Gesetz“ von C++
- legt Grammatik und Bedeutung von C++-Programmen fest
- wird seit 2011 regelmässig durch Neuerungen für *fortgeschrittenes* Programmieren erweitert

Was braucht es zum Programmieren?

- **Editor:** Programm zum Ändern, Erfassen und Speichern von C++-Programmtext
- **Compiler:** Programm zum Übersetzen des Programmtexts in Maschinensprache
- **Computer:** Gerät zum Ausführen von Programmen in Maschinensprache
- **Betriebssystem:** Programm zur Organisation all dieser Abläufe (Dateiverwaltung, Editor-, Compiler- und Programmaufruf)

Sprachbestandteile am Beispiel

- Kommentare/Layout
- Include-Direktiven
- Die main-Funktion
- Werte, Effekte
- Typen, Funktionalität
- Literale
- Variablen
- Konstanten
- Bezeichner, Namen
- **Ausdrücke**
- L- und R-Werte
- Operatoren
- Anweisungen

Das erste C++ Programm

```
// Program: power8.cpp
// Raise a number to the eighth power.
#include <iostream>
int main() {
    // input
    std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
    int a;
    std::cin >> a;
    // computation
    int b = a * a; // b = a^2
    b = b * b;     // b = a^4
    // output b * b, i.e., a^8
    std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n";
    return 0;
}
```

Anweisungen: Mache etwas (lies a ein)!

Ausdrücke: Berechne einen Wert (a^2)!

Verhalten eines Programmes

Zur Compilationszeit:

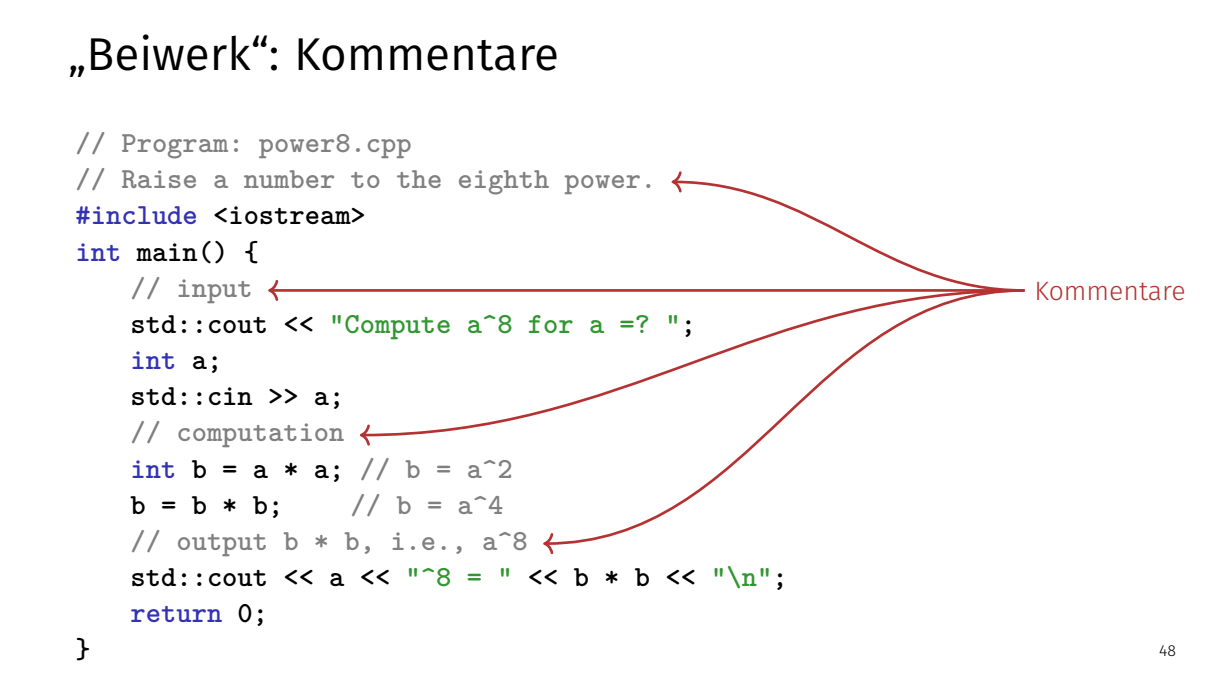
- vom Compiler akzeptiertes Programm (syntaktisch korrektes C++)
- Compiler-Fehler

Zur Laufzeit:

- korrektes Resultat
- inkorrektes Resultat
- Programmabsturz
- Programm *terminiert* nicht (Endlosschleife)

„Beiwerk“: Kommentare

```
// Program: power8.cpp
// Raise a number to the eighth power.
#include <iostream>
int main() {
    // input
    std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
    int a;
    std::cin >> a;
    // computation
    int b = a * a; // b = a^2
    b = b * b;     // b = a^4
    // output b * b, i.e., a^8
    std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n";
    return 0;
}
```



Kommentare und Layout

Kommentare

- hat jedes gute Programm,
- dokumentieren, *was* das Programm *wie* macht und wie man es verwendet und
- werden vom Compiler ignoriert.
- Syntax: „Doppelslash“ `// bis Zeilenende.`

Ignoriert werden vom Compiler ausserdem

- Leerzeilen, Leerzeichen,
- Einrückungen, die die Programmlogik widerspiegeln (sollten)

Kommentare und Layout

Dem Compiler ist's egal...

```
#include <iostream>
int main(){std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
int a; std::cin >> a; int b = a * a; b = b * b;
std::cout << a << "^8 = " << b*b << "\n";return 0;}
```

... uns aber nicht!

„Beiwerk“: Include und Main-Funktion

```
// Program: power8.cpp
// Raise a number to the eighth power.
#include <iostream>
int main() {
    // input
    std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
    int a;
    std::cin >> a;
    // computation
    int b = a * a; // b = a^2
    b = b * b;     // b = a^4
    // output b * b, i.e., a^8
    std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n";
    return 0;
}
```

Include-Direktive

Funktionsdeklaration der main-Funktion

Include-Direktiven

C++ besteht aus

- Kernsprache
- Standardbibliothek
  - Ein/Ausgabe (Header iostream)
  - Mathematische Funktionen (cmath)
  - ...

```
#include <iostream>
```

- macht Ein/Ausgabe verfügbar

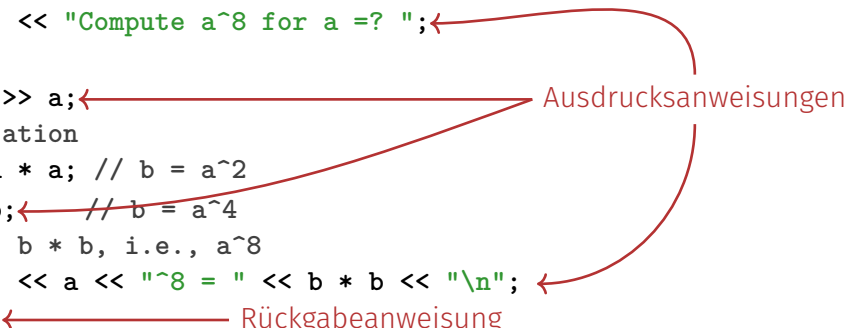
Die Hauptfunktion

Die **`main`**-Funktion

- existiert in jedem C++ Programm
- wird vom Betriebssystem aufgerufen
- wie eine mathematische Funktion …
  - Argumente (bei **`power8.cpp`**: keine)
  - Rückgabe**wert** (bei **`power8.cpp`**: 0)
- … aber mit zusätzlichem **Effekt**.
  - Lies eine Zahl ein und gib die 8-te Potenz aus.

Anweisungen: Mache etwas!

```
int main() {
    // input
    std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
    int a;
    std::cin >> a;
    // computation
    int b = a * a; // b = a^2
    b = b * b;     // b = a^4
    // output b * b, i.e., a^8
    std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n";
    return 0;
}
```



Anweisungen

- Bausteine eines C++ Programms
- werden (sequenziell) *ausgeführt*
- enden mit einem Semikolon
- Jede Anweisung hat (potenziell) einen **Effekt**.

Ausdrucksanweisungen

- haben die Form

  expr;

  wobei *expr* ein Ausdruck ist
- Effekt ist der Effekt von *expr*, der Wert von *expr* wird ignoriert.

```
b = b*b;
```

Rückgabeanweisungen

- treten nur in Funktionen auf und sind von der Form

  `return` expr;

  wobei *expr* ein Ausdruck ist
- spezifizieren Rückgabewert der Funktion

```
return 0;
```

Anweisungen – Effekte

```
int main() {
    // input
    std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
    int a;
    std::cin >> a;
    // computation
    int b = a * a;// b = a^2
    b = b * b;    // b = a^4
    // output b * b, i.e., a^8
    std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n";
    return 0;
}
```

Effekt: Ausgabe des Strings `Compute ...`

Effekt: Eingabe einer Zahl und Speichern in a

Effekt: Speichern des berechneten Wertes von $a \cdot a$ in b

Effekt: Speichern des berechneten Wertes von $b \cdot b$ in b

Effekt: Rückgabe des Wertes 0

Effekt: Ausgabe des Wertes von a und des berechneten Wertes von $b \cdot b$

Werte und Effekte

- bestimmen, was das Programm macht,
- sind rein semantische Konzepte:
  - Zeichen `0` bedeutet Wert $0 \in \mathbb{Z}$
  - `std::cin >> a;` bedeutet Effekt "Einlesen einer Zahl"
- hängen vom Programmzustand (Speicherinhalte / Eingaben) ab

Anweisungen – Variablendefinitionen

```
int main() {
    // input
    std::cout << "Compute a^8 for a =? ";
    int a;
    std::cin >> a;
    // computation
    int b = a * a;// b = a^2
    b = b * b;     // b = a^4
    // output b * b, i.e., a^8
    std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n";
    return 0;
}
```

Deklarationsanweisungen

Typ-namen

Deklarationsanweisungen

- führen neue Namen im Programm ein,
- bestehen aus Deklaration + Semikolon Beispiel: `int a;`
- können Variablen auch initialisieren Beispiel: `int b = a * a;`

Typen und Funktionalität

`int`:

- C++ Typ für ganze Zahlen,
- entspricht $(\mathbb{Z}, +, \times)$ in der Mathematik

In C++ hat jeder Typ einen Namen sowie

- Wertebereich (z.B. ganze Zahlen)
- Funktionalität (z.B. Addition/Multiplikation)

Fundamentaltypen

C++ enthält fundamentale Typen für

- Ganze Zahlen (**`int`**)
- Natürliche Zahlen (**`unsigned int`**)
- Reelle Zahlen (**`float`**, **`double`**)
- Wahrheitswerte (**`bool`**)
- ...

Variablen

- repräsentieren (wechselnde) Werte
- haben
  - **Name**
  - **Typ**
  - **Wert**
  - **Adresse**
- sind im Programmtext „sichtbar“

`int a;` definiert Variable mit

- Name: `a`
- Typ: `int`
- Wert: (vorerst) undefiniert
- Addresse: durch Compiler (und Linker, Laufzeit)bestimmt

Bezeichner und Namen

(Variablen-)Namen sind Bezeichner:

- erlaubt: A,...,Z; a,...,z; 0,...,9;_
- erstes Zeichen ist Buchstabe.

Es gibt noch andere Namen:

- **`std::cin`** (qualifizierter Name)

Ausdrücke: Berechne einen Wert!

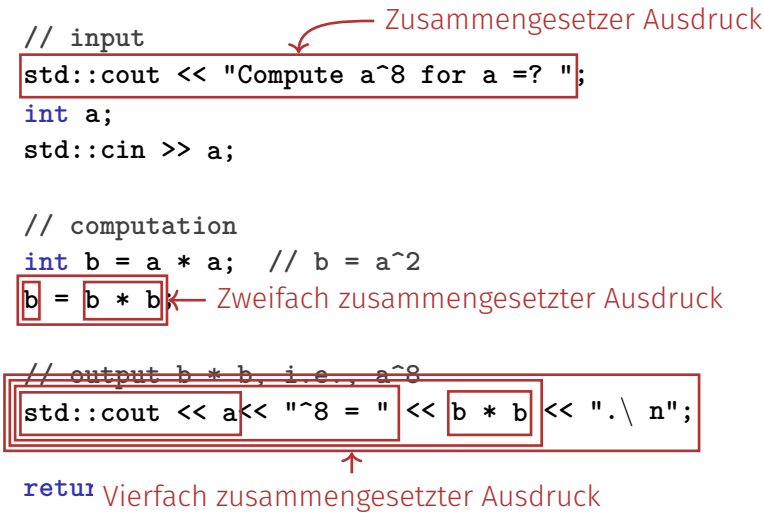
Ausdrücke

- repräsentieren *Berechnungen*
- sind entweder **primär** (`b`)
- oder **zusammengesetzt** (`b*b`)…
- …aus anderen Ausdrücken, mit Hilfe von **Operatoren**
- haben einen Typ und einen Wert

Analogie: Baukasten

Ausdrücke

Baukasten



Ausdrücke (Expressions)

- repräsentieren *Berechnungen*,
- sind *primär* oder *zusammengesetzt* (aus anderen Ausdrücken und Operationen)

  `a * a`
  zusammengesetzt aus
  Variablenname, Operatorsymbol, Variablenname
  Variablenname: primärer Ausdruck
- können geklammert werden

  `a * a` ist äquivalent zu `(a * a)`

Ausdrücke (Expressions)

haben **Typ**, **Wert** und **Effekt** (potenziell).

`a * a`

- Typ: `int` (Typ der Operanden)
- Wert: Produkt von `a` und `a`
- Effekt: keiner.

`b = b * b`

- Typ: `int` (Typ der Operanden)
- Wert: Produkt von `b` und `b`
- Effekt: Weise `b` diesen Wert zu.

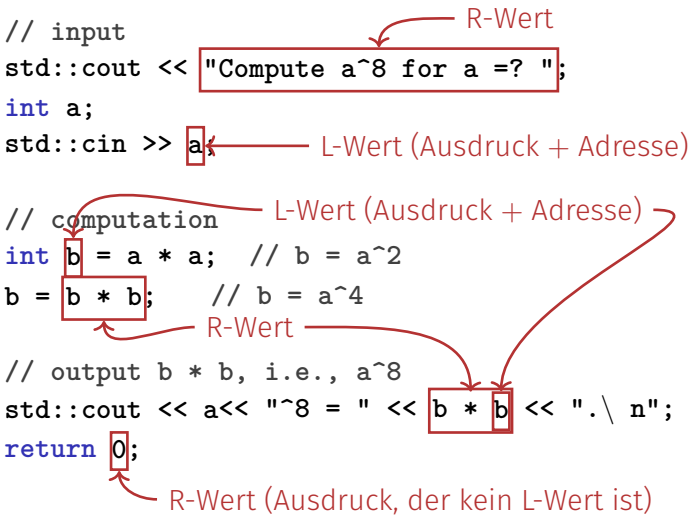
Typ eines Ausdrucks ist fest, aber Wert und Effekt werden erst durch die *Auswertung* des Ausdrucks bestimmt.

Literale

- repräsentieren konstante Werte
- haben festen **Typ** und **Wert**
- sind „syntaktische Werte“

- `0` hat Typ **`int`**, Wert 0.
- `1.2e5` hat Typ **`double`**, Wert $1.2 \cdot 10^5$.

L-Werte und R-Werte



L-Werte und R-Werte

L-Wert (“**L**inks vom Zuweisungsoperator”)

- Ausdruck mit **Adresse**
- **Wert** ist der Inhalt an der Speicheradresse entsprechend dem Typ des Ausdrucks.
- L-Wert kann seinen Wert ändern (z.B. per Zuweisung).

Beispiel: Variablenname

L-Werte und R-Werte

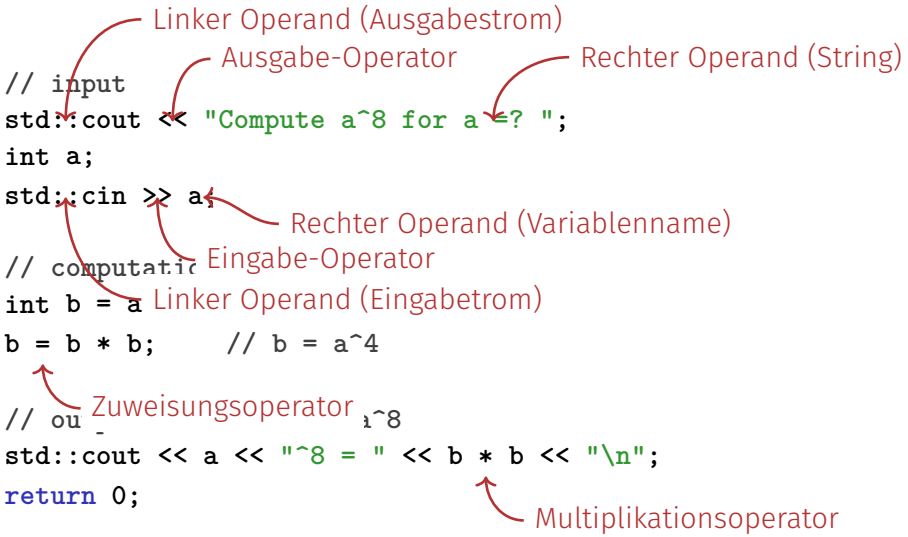
R-Wert (“**R**echts vom Zuweisungsoperator”)

- Ausdruck der kein L-Wert ist
- Jeder L-Wert kann als R-Wert benutzt werden (aber nicht umgekehrt).
- Ein R-Wert kann seinen Wert *nicht ändern*.

Beispiel: Literal `0`

Operatoren und Operanden

Baukasten



Operatoren

Operatoren

- machen aus Ausdrücken (*Operanden*) neue zusammengesetzte Ausdrücke
- spezifizieren für die Operanden und das Ergebnis die Typen, und ob sie L- oder R-Werte sein müssen
- haben eine Stelligkeit

Multiplikationsoperator `*`

- erwartet zwei R-Werte vom gleichen Typ als Operanden (Stelligkeit 2)
- "gibt Produkt als R-Wert des gleichen Typs zurück", das heisst formal:
  - Der zusammengesetzte Ausdruck ist ein R-Wert; sein Wert ist das Produkt der Werte der beiden Operanden

Beispiele: `a * a` und `b * b`

Zuweisungsoperator =

- **L**inker Operand ist **L**-Wert,
- **R**echter Operand ist **R**-Wert des gleichen Typs.
- Weist linkem Operanden den Wert des rechten Operanden zu und gibt den linken Operanden als L-Wert zurück

Beispiele: `b = b * b` und `a = b`

Vorsicht, Falle!

Der Operator `=` entspricht dem Zuweisungsoperator in der Mathematik ($:=$), nicht dem Vergleichsoperator ($=$).

Eingabeoperator »

- linker Operand ist L-Wert (*Eingabestrom*)
- rechter Operand ist L-Wert
- weist dem rechten Operanden den nächsten Wert aus der Eingabe zu, *entfernt ihn aus der Eingabe* und gibt den Eingabestrom als L-Wert zurück Beispiel: `std::cin >> a` (meist Tastatureingabe)
- Eingabestrom wird verändert und muss deshalb ein L-Wert sein!

Ausgabeoperator «

- linker Operand ist L-Wert (*Ausgabestrom*)
- rechter Operand ist R-Wert
- gibt den Wert des rechten Operanden aus, fügt ihn dem Ausgabestrom hinzu und gibt den Ausgabestrom als L-Wert zurück Beispiel:
  `std::cout << a` (meist Bildschirmausgabe)
- Ausgabestrom wird verändert und muss deshalb ein L-Wert sein!

Ausgabeoperator «

Warum Rückgabe des Ausgabestroms?

- erlaubt Bündelung von Ausgaben

```
std::cout << a << "^8 = " << b * b << "\n"
```

ist wie folgt logisch geklammert

```
((((std::cout << a) << "^8 = ") << b * b) << "\n")
```

- `std::cout << a` dient als linker Operand des nächsten `<<` und ist somit ein L-Wert, der kein Variablenname ist.